UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE

ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DE EFLUENTES E RESÍDUOS DE UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Desiriee Caroline Araujo Schultz

2015

ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DE EFLUENTES E RESÍDUOS DE UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Desiriee Caroline Araujo Schultz

Projeto de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos necessários à graduação em Engenharia Agroindustrial Agroquímica.

Orientador: Prof. Dra. Cristina Benincá

Santo Antônio da Patrulha

Dezembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Flavia da Silva Araujo, por sempre estar presente, e apoiando incondicionalmente. Ao meu pai, Alex Fabiano Schultz, por todo o suporte, auxílio e incentivo.

A minha amada irmã Izy Araujo Schultz (*in memorian*), por me ensinar que devemos ter sempre esperança, fé e amor e que me auxiliou na minha formação como pessoa. Ao meu querido irmão Enzo Araujo Schultz, pelo amor, pela amizade e por apenas existir na minha vida. Aos meus queridos irmãos Eduardo Propp Schultz e Pricila Propp Schultz, pelo amor e pela irmandade.

Muito obrigada também ao meu amor, Lucas Pinheiro Flores, que compartilhou comigo esse momento, foi muito paciente em minhas ausências e me ajudou bastante nos momentos de dificuldade.

A minha tia Andréia da Silva Araujo, meu grande exemplo de garra e perseverança, que sempre me incentivou nos estudos.

As minhas amigas de coração Jéssica Suzuki, Mariana Scardueli, Carol Bianchi, Luane Martins dos Santos, Suélen do Santos, Hemilim Fraga, Andrieli Alves, Camila Jardim e ao meu amigo Vinicius Gallego por toda força e companheirismo durante a minha graduação e que vou levar para a vida toda.

A todos os meus amigos tapenses, principalmente as minhas amigas de todos os momentos Jeniffer Sue, Cristiane Stein, Bianca Oliveira Costa e Tamires Mayer Forte pela compreensão da minha ausência, pelo companheirismo, pelo amor e pela amizade.

À universidade, seu corpo docente, direção e administração pela oportunidade de realizar o curso.

A minha orientadora, Cristina Benincá, por todos os ensinamentos, orientações, sugestões, dedicação e empenho no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Fernanda Arhnold Pagnussat, Marcelo Escobar Aragão, Kessiane Silva de Moraes, Itiara Gonçalves Veiga, Alex Leonardi pelas sugestões e orientações prestadas na realização do trabalho.

A Ludmila Dias, Josianne Ana Moser, Patricia Araujo Correa e ao Evandro Rigo pela disponibilidade e que colaboraram com o fornecimento de dados e informações que sustentam este trabalho.

E a todos os familiares, amigos, colegas e professores que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

O setor petroquímico é o segmento mais expressivo e dinâmico da indústria química nacional. Ele utiliza uma quantidade intensiva de recursos naturais, além de gerar volumes expressivos de resíduos que podem alterar propriedades do ar, solo e água. Em vista disso, é de extrema relevância o conhecimento dos aspectos ambientais e prováveis impactos que este setor ocasiona ao meio ambiente. O presente trabalho teve como objetivo principal investigar quais os aspectos ambientais, relativos às atividades realizadas na indústria petroquímica, que são responsáveis por gerar algum impacto ambiental. Este trabalho se caracteriza como um estudo de caso. Devido a multiplicidade de processos existentes na indústria petroquímica, são gerados vários tipos de efluentes líquidos, resíduos sólidos e gasosos. Os impactos ambientais mais relevantes dos efluentes líquidos são observados na produção de aromáticos e etileno. Para atuar neste aspecto ambiental, uma alternativa sugerida seria a adição de um evaporador para o tratamento de efluentes. Enquanto que o tratamento dos efluentes gerados dos processos de sulfonação de oleofinas e craqueamento poderia ser realizado por meio de osmose reversa, permitindo o reuso deste efluente. No presente trabalho também foi possível identificar os aspectos e impactos ambientais relativos a contaminação do solo e do ar.

Palavras-chave: Indústria petroquímica, Tratamento de Efluente, Resíduos, Meio ambiente.

ABSTRACT

The petrochemical sector provides a more meaningful contribution towards national chemical industry. The petrochemical industry uses a significant amount of natural resources and generates large residual volumes, responsible for air, water and soil damages. In view of this, the knowledge of the environmental aspects and impacts related to this sector is particularly important. This work aimed to investigate the relationship between wastes, petrochemical industry processes and identification of environmental aspects and impacts. To achieve the goal of this work all data were collected basically from literature and also by field research. This work is a case study. Due to many processes existing in petrochemical industries, many wastes are generated. The more relevant impacts related to the effluent result from ethylene and aromatics manufacture. One possible solution to deal with this environmental aspect could be the insertion of an evaporator to treat this wastewater. The wastewater released from sulfonation and cracking could be treated by reverse osmosys membrane, enabling the efluent reuse. In this work it was also possible to identify environmental aspects and impacts related to soil and air contamination.

Keywords: Petrochemical Industry, Wastewater treatment, Waste, Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia produtiva do setor petroquímico. 14
Figura 2 – Tratamento de efluentes convencional no setor petroquímico 26
Figura 3 – Bacia de Equalização 33
Figura 4 – Tratamento de efluente inorgânico 34
Figura 5 – Separador API 35
Figura 6 – Tratamento primário do tratamento de efluente orgânico. 35
Figura 7 – Decantador secundário 36
Figura 8 – Fazendas de lodo 37
Figura 9 – Tratamento secundário do tratamento de efluente orgânico. 37
Figura 10 – Tratamento de efluentes. 39
Figura 11 – Lagoas de estabilização. 40
Figura 12 – Aspesores para disposição final e tubulação perfurada. 40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Impactos Ambientais / Potenciais da Indústria Química. 21
Quadro 3 – Principais matérias-primas da cadeia da petroquímica. 30
Quadro 4 – Aspectos e impactos ambientais relativos à contaminação hídrica. 41
Quadro 5 – Aspectos e impactos ambientais relativos à danos e contaminação do solo. 44
Quadro 6 – Aspectos e Impactos Ambientais referente aos poluentes atmosféricos. 46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIA – Avaliação de Impacto Ambiental

API – *American Petroleum Institute Separator*

BTEX – Benzeno, Tolueno, Etil-benzeno e Xileno

BTX – Benzeno, Tolueno e Xileno

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COV – Composto Orgânico Volátil

CPI – *Corrugated Plate Interceptor*

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

Fentox® - Reação foto-fenton

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

HPA - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

ISO - *International Organization for Standardization*

NBR – Norma Brasileira Registrada

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

PET - Politereftalato de Etileno

POA – Processos Oxidativos Avançados

PPI – *Parallel Plate Interceptor*

PVC – Policloreto de Polivinilia

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

UPGNs – Unidade de Processamento de Gás Natural

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10

2 OBJETIVOS 12

2.1 OBJETIVO GERAL 12

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13

3.1 SETOR PETROQUÍMICO BRASILEIRO 13

3.2 CADEIA PETROQUÍMICA 14

3.3 POLUIÇÃO DO SETOR PETROQUÍMICO 15

3.3.1 Poluição Atmosférica no Setor Petroquímico 16

3.3.2 Poluição do Solo no Setor Petroquímico 16

3.3.3 Poluição da Água no Setor Petroquímico 17

3.4 ISO 14.000 18

3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS 19

3.5.1 Impactos Ambientais da Indústria Química 20

3.5.2 Impactos Ambientais da Indústria Petroquímica 23

3.6 ASPECTOS AMBIENTAIS 24

3.7 TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA 25

4 METODOLOGIA 27

4.1 CENÁRIO DA PESQUISA 27

4.2 METODOLOGIA DA PESQUISA 27

4.3 ANÁLISE DE DADOS 28

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 29

5.1 MATÉRIAS-PRIMAS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA 29

5.2 PROCESSOS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA 31

5.2.1 Refino e Extração 31

5.2.2 Primeira Geração 31

5.2.3 Segunda Geração 31

5.3 TRATAMENTO DE EFLUENTE 32

5.3.1 Tratamento de Efluentes Líquidos Inorgânicos 33
5.3.2 Tratamento de Efluentes Líquidos Orgânicos 34
5.3.3 Etapa Final do Tratamento de Efluentes 38
5.4 IDENTIFICAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS 40
5.4.1 Identificação de Aspectos e Impactos Ambientais de Efluentes Líquidos 41
5.4.2 Identificação de Impactos e Aspectos Ambientais de Resíduos Sólidos 43
5.4.3 Identificação de Impactos e Aspectos Ambientais de Resíduos Atmosféricos 45
5 CONCLUSÃO 47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

1 INTRODUÇÃO

A questão ambiental, que é o conjunto de idéias sobre a proteção e qualidade da vida e melhoria do meio ambiente, vem sendo considerada cada vez mais urgente e importante para a sociedade, pois o futuro da humanidade depende da relação estabelecida entre a natureza e o uso dos recursos naturais disponíveis pelo homem.

A atual crise ambiental teve origem no século passado e, desde então tem desencadeado uma série de movimentos sociais com o propósito de reconsiderar os métodos de produção industrial e as técnicas empregadas, buscando minimizar os impactos causados no meio ambiente. Os fatores que agravam a crise é a crescente queima de combustíveis fósseis e biomassa, contribuindo para a poluição do ar e doenças respiratórias, danos em florestas e plantações, e agravamento do efeito estufa. Com a produção em um nível superior à sua capacidade de absorção pelo meio ambiente, tem-se como resultado a contaminação de reservas de água potável, além de danos a vida aquática (SCHOSSLER; MORIGI, 2011).

A problemática deste modelo de poluição descontrolada iniciou após a II Guerra Mundial, que teve várias consequências (CAMARGO, 2003), dentre elas o aquecimento global, alterações climáticas, desaparecimento de espécies, catástrofes ambientais, elevação do nível da água do mar, entre outros efeitos.

De acordo com Camargo (2003), o mundo atual, apesar do reconhecimento da importância da concepção de desenvolvimento sustentável, caminha concretamente por rumos que desafiam qualquer noção de sustentabilidade. Nesse contexto, o desenvolvimento sustentável é um dos grandes temas do século XXI, e sua obtenção, um dos grandes desafios. Entretanto, é necessário que ações cooperativas e integradas possam desenvolver processos que tenham por objetivo a responsabilidade social e ambiental, além de atender às leis ambientais. A busca pela eficácia industrial só terá valia se o modelo empregado preservar a natureza, promovendo um entorno social favorável e de qualidade.

As organizações empresariais podem produzir efeitos significativos junto ao meio ambiente, se não houver um tratamento de resíduos eficaz. Os processos produtivos são os principais segmentos que consumem uma quantidade elevada de recursos naturais e, consequentemente, geram danos ao meio ambiente, devido ao volume de resíduos, efluentes, subprodutos e contaminantes produzidos. Para que as políticas e práticas de sustentabilidade empresarial se concretizem é indispensável o estudo de novas tecnologias para a eliminação de gases poluentes, efluentes e resíduos, bem como novas alternativas de reuso.

Os processos de beneficiamento e transformação da matéria-prima em produtos que utilizam água podem gerar efluentes com características físicas, químicas e biológicas variadas, de acordo com o ramo de atividades de cada organização. As características dos efluentes variam em virtude da tecnologia escolhida, do regime de operação (contínuo ou intermitente), do custo da matéria-prima e insumos, do tempo de funcionamento da indústria, da qualificação dos operadores e do sistema de tratamento de efluentes (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Segundo Bastos (2009), a petroquímica, produtora de resinas termoplásticas e fabricante de biopolímeros, é o principal segmento da indústria química brasileira, em termos de produção e faturamento. O setor petroquímico compreende uma ampla cadeia produtiva que inclui o refino do petróleo e o processamento do gás natural, dos quais fazem parte da produção de petroqúmicos básicos, intermediários e finais. Deste modo, alcança uma atividade industrial mais próxima do consumidor final, como a transformação de plásticos.

O domínio petroquímico é caracterizado pelos seus elevados impactos ambientais, nos quais contribuem para a destruição do meio ambiente, produzem resíduos cancerígenos e consumindo verozmente água já escassa (BLOCK; PATTERSON; SUBAR, 1992), isso se o domínio industrial não possuir sistemas de monitoramento e controle adequados. Além disso, é caracterizada por exigir uma quantidade intensiva de recursos naturais. Neste sentido, considerando o potencial poluidor da indústria petroquímica e a importância das indústrias que constituem um polo petroquímico no Brasil, o estudo foi desenvolvido junto à uma indústria petroquímica. O presente trabalho foi de fundamental importância para identificar os aspectos e impactos ambientais de efluentes líquidos, resíduos sólidos além de poluentes atmosféricos relacionados à este segmento, os quais devem ser extensivamente identificados, monitorados e controlados pelas empresas deste segmento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar os aspectos e impactos ambientais relacionados aos efluentes e resíduos gerados em uma indústria do setor petroquímico e compreender os riscos ambientais para a manutenção da ISO 14000.

2.2 Objetivos Específicos

- Conhecer o processo produtivo e identificar as diferentes etapas que geram efluentes líquidos;
- Identificar os aspectos que causam impactos ambientais, relativos a produção de efluentes líquidos, resíduos atmosféricos e sólidos durante os processos industriais;
- Fazer análise crítica sobre os aspectos ambientais identificados e discutir sobre o potencial poluidor decorrente dos aspectos identificados;
- Discutir alternativas de ação e de controle no tratamento de efluentes que possam contribuir para a gestão de efluentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo tem como objetivo dissertar sobre a importância do setor petroquímico brasileiro, bem como, sobre a cadeia produtiva deste domínio. Especial destaque será dado a identificação de aspectos e impactos ambientais, que são necessárias para obter e manter a certificação ISO 14000. Esse capítulo também visa descrever os principais tipos de poluentes gerados pela indústria petroquímica em relação aos efluentes gerados, resíduos sólidos e poluentes atmosféricos, e como estes são controlados na indústria petroquímica.

3.1 Setor Petroquímico Brasileiro

A petroquímica é o segmento mais significativo e dinâmico da indústria química nacional, em termos de produção e faturamento, que utiliza matérias-primas derivadas de petróleo e do gás natural para a obtenção de intermediários e resinas termoplásticas, principais produtos do setor de uso industrial (GOMES; DVORSAK; HEIL, 2005). O setor é um dos pilares da indústria moderna, em função do seu papel como fornecedores de insumos para uma grande diversidade de produtos (MACHADO, 2012).

A petroquímica brasileira foi criada ao longo dos anos 70 e 80, com envolvimento marcante do Estado. A grande preocupação em construir empresas nacionais e, ao mesmo tempo, atrair multinacionais foi uma das características empregadas para a construção do setor petroquímico (SCHUTTE, 2003). O porte reduzido de empresas do setor e a escassa disponibilidade de matérias-primas eram os principais limitadores para a expansão desse mercado petroquímico (BASTOS, 2009).

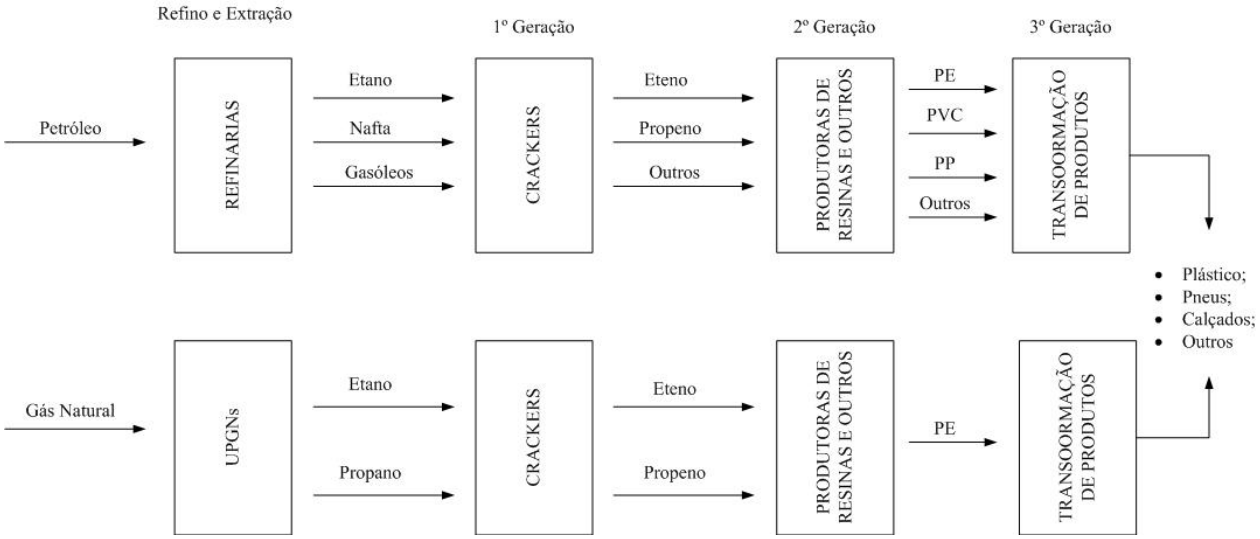
Na área petroquímica, o Brasil já fez parte do grupo dos países intermediários no ranking mundial, juntamente com a Inglaterra, Itália e Coréia do Sul (SCHUTTE, 2003). Em 2010 o tamanho do setor químico foi estimado em US$ 3,3 trilhões no mundo, dentro do qual a petroquímica representou o maior segmento com US$ 1,3 trilhões.

De acordo com ABIQUIM (2014), a petroquímica possui cerca de 65% do faturamento total de US$ 48,3 bilhões estimado para o conjunto dos produtos químicos de uso industrial, os quais representam quase metade do faturamento total da indústria química brasileira. Assim, a petroquímica, com quase um terço do faturamento global da indústria química, é considerado o principal setor da indústria química no país.

3.2 Cadeia Petroquímica

A cadeia petroquímica (Figura 1) é formada por unidades industriais de primeira geração, de empresas de segunda geração e indústrias de terceira geração, que atuam na transformação do plástico (HIRATUKA; FURTADO; GARCIA; SABBATINI, 2002).

Figura 1 – Cadeia produtiva do setor petroquímico.



Fonte: Adaptado de ABDI, 2009.

As matéria-primas da indústria petroquímica pode ser obtida de duas unidades. Uma delas são as refinarias, que produzem a nafta, o etano e gasóleos a partir do petróleo. A outra unidade utilizada como fonte de matéria-prima para o processo petroquímico, é a Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGNs), onde a partir do gás natural, o etano e o propano são extraídos. Assim, esses compostos são levados para a indústria de primeira geração da petroquímica.

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI – (2009), os produtores de primeira geração (denominados de craqueadores) fracionam a nafta ou o gás natural, principais insumos, transformando-os em petroquímicos básicos, como oleofinas. Os principais produtos obtidos são eteno, propeno, butadieno, benzeno, tolueno e xileno (MACHADO, 2012). Estes produtos são elementos essenciais para as indústrias de segunda geração.

As empresas de segunda geração são aquelas que recebem os petroquímicos básicos para ser possível realizar a produção de polímeros, principalmente as resinas plásticas, como PVC, polietileno, polipropileno e PET (FLEURY; FLEURY, 2000). Devido a logística de

suprimentos que impõe dificuldades no transporte dos grandes volumes básicos de insumos (gases inflamáveis), as empresas de segunda geração se localizam próximas das indústrias de primeira geração, configurando o chamado pólo petroquímico (MENDEL, 2006). Nos municípios brasileiros, as indústrias se concentram em grandes áreas, chamadas de polos, onde se reúnem devido as necessidades comuns, como energia, logística e vantagens fiscais (GRANZIEIRA; AMORIM; OLIVEIRA, 2011).

Tipicamente, cada polo petroquímico contém um único produtor de primeira geração e vários produtores de segunda geração que adquirem insumos da central de matérias-primas.

Os processos finais são aqueles que produzem insumos apenas para a transformação industrial de outros ramos e são conhecidos por empresas de terceira geração (GUIMARÃES, 1990). Os produtos de terceira geração possuem especialidades e são manufaturados, concentrando-se, deste modo, nos segmentos potencialmente mais lucrativos da petroquímica (GUERRA, 1993).

3.3 Poluição do Setor Petroquímico

A poluição é a degradação das características físicas ou químicas do ecossistema, por meio de remoção ou adição de determindas substâncias (BALAN, 2002).

A indústria petroquímica é caracterizada por necessitar de uma quantidade intensiva de recursos naturais. Além disso, os rejeitos dos processos produtivos lançados no meio ambiente, quando lançados com o tratamento ineficaz, resultam no acúmulo de poluentes acima da sua capacidade de absorção, gerando então, a poluição ambiental (LUSTOSA, 2002), que pode alterar os compartimentos do meio ambiente, tais como o ar, o solo e a água (MARTINS; SANTOS, 2002).

Um polo petroquímico gera poluentes convencionais, tais como material particulado, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), monóxido de carbono e ozônio. Além desses poluentes, a produção deste setor produz compostos orgânicos voláteis (COVs) e metais, considerados poluentes não convencionais (NEVES; COUTO; BRITO, 1997).

Os resíduos sólidos e lodos que são gerados são considerados perigosos, visto que existe a presença de compostos orgânicos tóxicos como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), sulfonato de alquilbenzeno linear e nonilfenol e metais pesados (GONZÁLES et al., 2011).

Os resíduos químicos apresentam um alto teor de nocividade e são classificados como perigosos conforme classificação da NBR 10.005, da ABNT (FIORILLO, 2011). São

classificados como perigosos aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenecidade e mutagenecidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica (AMADO, 2011).

3.3.1 Poluição Atmosférica no Setor Petroquímico

Um poluente atmosférico é caracterizado por qualquer substância presente no ar, que dependendo da sua concentração pode se tornar prejudicial à saúde, impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde e inconveniente ao bem estar público (NEVES; COUTO; BRITO, 1997). Essa definição está de acordo com a Resolução do CONAMA (BRASIL, 1990), a qual dispõe que "poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos".

Segundo Freedman (1995), os poluentes atmosféricos podem ser dividos em primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles liberados direto das fontes de emissão, por exemplo, amônia (NH_3), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_X), dentre outros. Os poluentes secundários são aqueles produzidos através de reações químicas em conjunto com os poluentes primários, onde essas reações podem formar, geralmente, peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ácido nítrico (HNO_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4), nitrato (NO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}) e ozônio (O_3). Estes e outros compostos são responsáveis pelas mudanças climáticas, chuva ácida, aquecimento global, destruição da camada de ozônio, prejuízos à agricultura e danos a toda a vida terrestre.

Segundo Neves, Couto e Brito (1997), cerca de 90% de todas as emissões atmosféricas geradas em um pólo petroquímico são provenientes de apenas 10% das empresas localizadas no ambiente industrial petroquímico. A indústria petroquímica gera enormes volumes desses poluentes atmosféricos, os quais, quando não tratados corretamente, podem acarretar em sérios problemas ambientais e de contaminação do solo e da água.

3.3.2 Poluição do Solo no Setor Petroquímico

Qualquer alteração indesejável nas características físicas, químicas e biológicas do solo que podem afetar a vida do homem ou das espécies que nele habitam é considerado como poluição do solo (ODUL, 1997). De acordo com Dinis e Fraga (2005), os níveis de poluição

dos solos também são influenciados pelas práticas de cultivo inadequados e pela contaminação da área cultivada pelo homem. Mesmo os solos que aparentemente não foram afetados pelas atividades humanas podem revelar níves de substâncias naturais superiores aos normais. Os níveis naturais de elementos inorgânicos (metais pesados, por exemplo) variam de acordo com a localidade (FERNANDES, 2005).

A existência de locais contaminados representam uma ameaça real para os ecossistemas, as comunidades e a população que neles habitam, podendo influenciar significativamente no meio, dependendo dos contaminantes que ali se encontram, principalmente em função de sua toxicidade. Também deve-se destacar o potencial de mobilidade de muitas substâncias tóxicas que podem interagir com solos e águas subterrâneas devido à lixiviação ou percolação destas substâncias (DINIS; FRAGA, 2005).

Na indústria petroquímica, a principal preocupação com a poluição do solo é devido aos grandes vazamentos, que são bastante recorrentes. De acordo com a origem do petróleo, a composição química e as propriedades físicas do óleo cru podem variar demasiadamente, e é devido a esses fatores (composição complexa e variabilidade na composição) que se encontram dificuldades para o tratamento de áreas contaminadas por tais substâncias (FORNO, 2006).

A contaminação do solo com petróleo cru e seus derivados tem se tornado um problema mundial. O óleo cru é física, química e biologicamente prejudicial ao solo devido aos seus compostos tóxicos, presentes em concentração elevadas (FRANCO et al., 2002).

3.3.3 Poluição da Água no Setor Petroquímico

Aproximadamente um terço de todos os compostos orgânicos produzidos pelo homem tem como destino final o meio ambiente, incluindo, principalmente, a água (PRIMEL et al., 2005). A água pode ter sua qualidade afetada pelas atividades comerciais ou industriais e cada uma dessas atividades gera poluentes característicos que possuem uma determinada implicação na qualidade do corpo receptor (PEREIRA, 2004).

A poluição pode ter origem química, física ou biológica, sendo que em geral a adição de alguns compostos químicos orgânicos e inorgânicos alteram as características da água. O descarte desses poluentes podem acarretar variações significativas na acidez, na alcalinidade, na salinidade e na toxicidade das águas (AZEVEDO, 1999).

Quando efluentes líquidos do setor petroquímico com pouco ou nenhum tratamento são lançados diretamente nos cursos de água, aumenta o grau de poluição da água, pois estes

possuem elevadas concentrações de óleos, graxas, carga orgânica e metais pesados. Estes poluentes danificam todo o ecossistema aquático (BALBINOT, 2010).

3.4 ISO 14.000

Após a Revolução Industrial, a preocupação com a escassez de recursos naturais começou a ser objeto de estudo, de forma que, a percepção do meio ambiente aumentou significativamente, evidenciando uma interdependência entre a economia e o meio ambiente.

Um dos resultados do processo em torno dos problemas ambientais e de como promover desenvolvimento econômico juntamente com uma imagem ambientalmente adequada, foi o surgimento das normas ISO 14.000 (SEIFFERT, 2011).

De acordo com Seiffert (2011), os objetivos a que se destinam as normas da série ISO 14.000 e normas complementares para a gestão ambiental levaram ao surgimento de diferenciadas normas na sua aplicação. A norma ISO 14.001 é a única da série que permite a certificação por terceiros de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), cujo conteúdo é efetivamente auditado na forma de requisitos obrigatórios. Esta norma se aplica a qualquer organização que deseja: estabelecer, implementar, manter e aprimorar um sistema de gestão ambiental; assegurar-se da conformidade com sua política ambiental definida ou demonstrar conformidade com esta norma ao fazer uma auto-avaliação ou autodeclaração (ABNT, 2005).

A Política Ambiental, conforme a ABNT (2005), compreende as intenções e princípios gerais de uma organização em relação ao seu desempenho ambiental, conforme formalmente expresso pela alta administração.

A norma ABNT NBR ISO 14.001:2004 é baseada na metodologia *Plan – Do – Check – Act* (PDCA). Na etapa do planejamento são estabelecidos objetivos necessários para atingir resultados em concordância com a política ambiental da organização, e na etapa de execução são implementados os processos. Na etapa de verificação são monitorados os processos conforme a política ambiental, os objetivos, as metas, os requisitos legais dentre outros requisitos da norma. E, por fim, tem-se e etapa agir, para continuamente melhorar o desempenho do sistema de gestão.

A organização que busca a certificação nesta norma deve estabelecer, documentar, implementar, manter e continuamente melhorar um sistema da gestão ambiental em conformidade com os requisitos desta norma e determinar como ela irá atender a esses requisitos (ABNT, 2005).

Segundo Seiffert (2011), a norma ISO 14.001 determina que a organização deve estabelecer e manter procedimento para identificar e ter acesso a legislação e outros requisitos por ela subscritos aplicáveis aos aspectos ambientais de suas atividades, produtos e serviços. Além disso a organização deve providenciar que todos os seus integrantes que estejam diretamente envolvidos com a questão ambiental estejam capacitados e comprometidos para exercer sua função frente as necessidades do (SGA) e suas implicações ambientais.

É importante considerar que uma das orientações básicas para a elaboração da norma é sua aplicabilidade a todos os tipos de portes de empresas, a qual permite um aprimoramento contínuo dos processos, através do comprometimento de todos os níveis organizacionais. Embora a norma seja flexível, uma vez que não estabelece padrões de desempenho ambiental, segundo a ABNT NBR ISO 14.001:2004, esta norma não estabelece requisitos absolutos para o desempenho ambiental, além dos comprometimentos, expressos na política ambiental.

A certificação de um Sistema de Gestão Ambiental pela ISO 14.001 é um requisito essencial para empresas que pretendem melhorar seu desempenho ambiental e como consequência, registrar seus produtos em um contexto de mercado globalizado e participar do mercado de ações (SEIFFERT, 2011).

3.5 Impactos Ambientais

A definição legal de impacto ambiental, conforme a Resolução nº 01/86 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) é:

> Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota e a qualidade dos recursos ambientais.

Como é observado no texto acima, o risco imposto à população ou ao meio ambiente devido aos acidentes, que podem vir a ocorrer durante a operação de um dado empreendimento industrial, pode ser considerado uma forma de impacto ambiental (VERITAS, 2006).

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) tem como objetivo analisar as consequências ambientais prováveis de uma atividade humana no momento de sua proposição. Essas informações devem ser levadas em consideração no processo decisório, juntamente com outras de caráter financeiro, técnico, legal e político (PHILIPPI; ROMÉRO; BRUNA, 2012).

O propósito da avaliação é que tais ações respeitem o meio ambiente e todas as consequências ambientais negativas sejam determinadas desde o início do projeto e levadas em consideração na sua concepção (AMADO, 2011). A avaliação do impacto ambiental deve determinar, prever e interpretar os efeitos ambientais de uma atividade humana no momento de sua proposição, seja ela uma política, um programa ou um projeto (PHILIPPI; ROMÉRO; BRUNA, 2012).

No Brasil, a avaliação de impacto ambiental foi introduzida em 1980, pela Lei nº 6.803, que dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição. Desta forma, com a implementação da Lei foi necessário a exigência de um estudo prévio de impacto ambiental para aprovação de zonas estritamente industriais, destinadas à localização de polos petroquímicos, cloroquímicos, carboquímicos e instalações nucleares (PHILIPPI; ROMÉRO; BRUNA, 2012).

Segundo Zimmerman e Mihelcic (2012), a avaliação de impacto tem as seguintes finalidades: fornecer informação para o processo de decisão relativamente as consequências biofísicas, sociais, econômicas e institucionais de ações propostas; promover a transparência e a participação do público nos processos de decisão; identificar procedimentos e métodos para o seguimento ao longo dos ciclos de política, planejamento e projeto; e contribuir para um desenvolvimento ambientalmente seguro e sustentável.

3.5.1 Impactos Ambientais da Indústria Química

A indústria química apresenta uma enorme variedade de processos e produtos, podendo ser considerado o setor mais diversificado da área industrial. É caracterizada por ser um segmento no qual se concentram de maneira mais intensa as preocupações quanto à contaminação ambiental, seja pelos processos utilizados, em que os reagentes e produtos obtidos em sua grande parte são inflamáveis e explosivos, tóxicos e/ou carcinogênicos, ou pela aplicação desses produtos em outros setores de atividades, consequentemente causando danos ao meio ambiente (DIAS et al.,1999).

Na indústria química são empregadas grandes quantidades de água, para o processo e para as operações de resfriamento e lavagem. Durante o processo de produção, a água pode ser contaminada com produtos ou subprodutos químicos. Estes produtos podem representar perigo, caso sejam descartados em rios ou atingirem aquíferos subterrâneos, pela possibilidade de conter materiais tóxicos, compostos carcinogênicos, sólidos suspensos e uma alta demanda de oxigênio bioquímico e químico (DIAS et al., 1999).

Apesar da indústria química contribuir para o avanço tecnológico e para o desenvolvimento do país, a mesma é responsável por gerar diversos impactos ambientais, tais como: formação de subprodutos tóxicos, contaminação do ambiente, produção de grandes volumes de efluentes tóxicos, aquecimento global, dentre outros (MEIRELLES, 2009).

Os principais impactos ambientais potenciais da indústria química e as medidas atenuantes relativas a cada um desses impactos são caracterizados abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 – Impactos Ambientais / Potenciais da Indústria Química.

Impactos Ambientais Potenciais	Medidas Atenuantes
Contaminação hídrica devido ao lançamento de efluentes, águas de lavagem, águas de resfriamento e lixiviação das áreas de depósitos de materiais ou rejeitos.	• Não deve ser lançada nenhuma água residuária sem o tratamento necessário para sua depuração, nos rios ou em locais onde possa ocorrer infiltração. • Os depósitos de materiais que possam ser lixiviados através das águas da chuva devem ser cobertos e possuir sistema de drenagem de forma a evitar a contaminação das águas pluviais. • As áreas de armazenamento e manuseio de matérias-primas e produtos devem ser impermeabilizadas e contar com sistema de canaletas ou ralos coletores de forma que os derrames eventuais sejam conduzidos ao tratamento, assim como as águas de lavagem destas áreas.
Emissões de partículas para a atmosfera, provenientes de todas as operações da planta.	• As emissões de partículas podem ser controladas pelo uso de equipamentos como ciclones, filtros de manga, precipitadores eletrostáticos e lavadores, entre outros. • A emissão da poeira dos pátios e áreas externas, onde não haja contaminantes químicos, pode ser controlada através de pulverização de água.

Impactos Ambientais Potenciais	Medidas Atenuantes
Emissões gasosas de óxidos de enxofre e nitrogênio, dentre outros.	• O controle das emissões de gases pode ser feito pelo uso de lavadores de gases, ou adsorção com carvão ativado entre outras técnicas.
Liberação casual de solventes e materiais ácidos ou alcalinos, potencialmente perigosos.	• Manutenção preventiva de equipamentos e áreas de armazenamento para evitar fugas casuais. • Instalar diques e bacias de contenção ao redor ou a jusante dos tanques de armazenamento de produtos perigosos ou que possam apresentar riscos para o meio ambiente.
Contaminação do solo e/ou de águas superficiais ou subterrâneas pela disposição inadequada de resíduos sólidos resultantes dos processos da indústria química, nos quais se incluem também os lodos de tratamentos de efluentes hídricos e gasosos de partículas sólidas dos coletores de poeira.	• Os resíduos sólidos que não possam ser recuperados e reaproveitados devem ser tratados adequadamente antes da disposição final. • De acordo com a natureza do resíduo, as possibilidades incluem: incineração, disposição em aterro industrial controlado, inertização e solidificação química, encapsulamento, queima em fornos para a produção de cimento, entre outros. • Não havendo possibilidade de tratamento na área da indústria, o resíduo pode ser tratado em outra planta que disponha de instalações adequadas para tratamento. Neste caso, deve-se ter cuidado especial com o armazenamento e transporte.

Impactos Ambientais Potenciais	Medidas Atenuantes
Alterações no trânsito local, decorrentes da circulação de caminhões de transporte de carga (inclusive cargas perigosas).	• Devem ser avaliadas as condições de acesso e sistema viário durante o estudo de viabilidade do empreendimento, selecionando-se as melhores rotas, de forma a reduzir os impactos e riscos de acidentes. • Devem ser desenvolvidos planos de emergência e regulamentos para reduzir os riscos de acidentes (cargas perigosas).
Poluição sonora causada pelo uso de equipamentos e operações que geram resíduos elevados.	• Tratamento acústico por meio de enclausuramento de equipamentos ou de proteção acústica nas edificações onde estão instalados os equipamentos ruidosos e/ou nas unidades cujas operações gerem níveis de ruídos elevados.

Fonte: DIAS et al., 1999.

Os impactos ambientais citados no Quadro 1 estão relacionados a indústria química de um modo geral.

3.5.2 Impactos Ambientais da Indústria Petroquímica

As atividades da indústria petroquímica, pela multiplicidade de processos empregados e de produtos obtidos, acarretam na geração de muitos tipos de efluentes sólidos, líquidos e gasosos, implicando na utilização de toda uma gama de métodos e técnicas especiais de tratamento (DIAS et al., 1999).

O impacto ambiental da indústria petroquímica ocorre em todos os compartimentos ambientais, envolvendo a fauna, a flora, a água, o ar, o solo e os recursos naturais. O processo petroquímico opera com elevado risco ambiental, com alta probabilidade de incêndios, explosões e vazamentos, o que exige elevados investimentos em controles operacionais (ABREU; RADOS; FIGUEIREDO, 2004).

Em um polo petroquímico, não existem processos de descarga zero, sendo assim, há sempre a necessidade de instalações de tratamento de efluentes e disposição de resíduos. Parte do custo necessário para tratar os resíduos pode ser absorvida com vantagens, com uma melhor tecnologia de processo e consequentemente redução da carga de poluente mediante o uso de unidades de produção mais eficientes. Deste modo, o processamento de matérias-primas, o tratamento de resíduos e outros fatores, devem ser relacionados, para que seja possível a reutilização e reciclagem dos despejos (DIAS et al., 1999).

Os controles internos que constituem um dos primeiros passos a serem dados para a melhoria do tratamento dos resíduos e efluentes, apesar de atuarem no final dos processos, também devem ser considerados importantes. Estes controles incluem a recuperação de substâncias que não reagiram, recuperação de produtos, recirculação de água e redução de vazamentos e respingos (DIAS et al., 1999).

3.6 Aspectos Ambientais

Aspecto ambiental é definido pela NBR ISO 14.001 como “elementos das atividades, produtos e serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente”. O aspecto tanto pode ser uma máquina ou equipamento, como uma atividade executada por ela ou por alguém que produza (ou possa produzir) algum efeito sobre o meio ambiente.

Em qualquer processo produtivo existem riscos ambientais, tanto pela natureza do processo, quanto pelos produtos envolvidos. Por exemplo, o manuseio de líquidos inflamáveis tem um aspecto ambiental associado com a possibilidade de um derrame acidental que leva a um impacto de contaminação do solo e/ou da água (ABREU; RADOS; JUNIOR, 2004).

O levantamento de aspectos ambientais pode ser realizado por uma equipe multidisciplinar, através de uma análise de riscos ambientais, entrevistas, inspeções diretas ou qualquer outra técnica que permita à empresa conhecer como é sua interação com o meio ambiente (ANDRADE; TURRONI, 2000).

Para proceder com a identificação dos aspectos e impactos a ABNT NBR ISO 14004 (1996) sugere que o processo seja realizado em quatro etapas: seleção de uma atividade, produto ou serviço; identificação de aspectos ambientais; identificação de impactos ambientais e a avaliação da importância dos impactos. O levantamento e a análise dos aspectos e impactos ambientais constitui uma das mais importantes tarefas na implementação de um Sistema de Gestão Ambiental (ANDRADE; TURRONI, 2000).

Toda empresa que deseja ter um Sistema de Gestão Ambiental baseado na ISO 14.001, deve identificar todos os aspectos ambientais relacionados com o escopo da empresa. A partir da identificação dos aspectos, a empresa deve analisar os seus impactos e tomar ações de proteção, mitigação e planejamento de ações de contenção e emergência (ZIMMERMAN; MIHELCIC, 2012).

3.7 Tratamento de Efluentes na Indústria Petroquímica

As indústrias do setor petroquímico são grandes consumidoras de água, gerando grandes quantidades de efluentes líquidos (PELEGRIN et al., 2011).

Segundo Rosa (2002), na indústria petroquímica os principais contaminantes orgânicos são óleos e graxas diversos, emulsões, compostos orgânicos e tensoativos. A presença de óleos resulta em prejuízos na aeração e iluminação natural de cursos d'água, devido a formação de um filme insolúvel na parte superior que produz efeitos nocivos sobre a flora e a fauna aquática, se não tratados corretamente. Adicionalmente, favorece a ocorrência de incêndios quando as concentrações de materiais combustíveis derramados são excessivas. As concentrações podem variar numa mesma indústria ao longo do tempo.

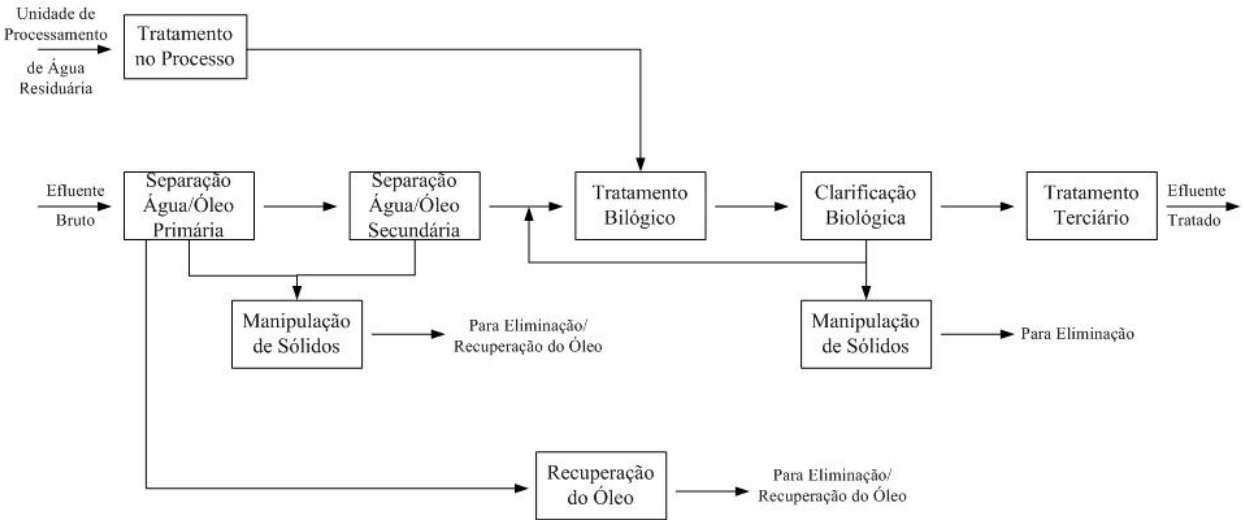
Os efluentes da indústria petroquímica são compostos de resíduos de petróleo de diversas origens, tais como derivados e produtos químicos utilizados no processamento de refino ou beneficiamento. Além destes, existe a presença de poluentes gerados no próprio petróleo, como fenóis, metais pesados e hidrocarbonetos ou que são originados no transporte, como sais das águas de lastro, por exemplo (GIORDANO, 2004). Portanto, o tratamento de efluentes líquidos do segmento petroquímico requer, normalmente, uma combinação de diferentes processos, com intuito de remover óleo e outros contaminantes, antes de serem descartados ao meio ambiente (WIMMER, 2007).

De acordo com Giordano (2004), os processos de tratamento de efluentes na indústria de petroquímicos têm como finalidade principal a redução da carga orgânica, a toxicidade inerente, a carga oleosa (incluindo óleos emulsionados), bem como a presença de compostos nitrogenados.

As etapas geralmente aplicadas e encontradas nas instalações petroquímicas são a preliminar e a secundária. Na fase preliminar ocorre a remoção de areia e separação de água e óleo. No estágio secundário, o tratamento é feito por intermédio de lagoas aeradas ou lodos ativados. Frequentemente, para realizar a remoção de óleos emulsionados, metais pesados, sulfetos e compostos orgânicos tóxicos, é necessário a inserção de um tratamento a nível

primário para ser possível efetuar a clarificação química dos efluentes. Neste caso, é aconselhável a utilização de flotadores a ar dissolvido ou ejetado (GIORDANO, 2004).

Figura 2 – Tratamento de efluentes convencional no setor petroquímico



Fonte: Adaptado de Wimmer, 2007.

O modelo de tratamento de efluente líquido considerado ideal (Figura 2), inclui também a coleta no qual permite que diferentes correntes sejam recolhidas, distribuídas e tratadas separadamente, se for necessário. Além disso, na etapa inicial do processo, o óleo é recuperado com a utilização de diversas técnicas de separação, tais como decantação, centrifugação e flotação. Os equipamentos mais empregados são os separadores do tipo API (American Petroleum Institute Separator), CPI (Corrugated Plate Interceptor) e PPI (Parallel Plate Interceptor), hidrociclones, células de flotação, entre outros aparatos. São equipamentos usados na indústria petroleira para realizar a separação do óleo e da água.

No caso dos metais pesados, usualmente uma combinação de oxidação/redução, precipitação e filtração, é utilizada. Para a remoção de compostos orgânicos, uma combinação de *stripping* com ar ou vapor, adsorção em carvão ativado, degradação por oxidação, troca iônica, osmose reversa e eletrodiálise são usados. Um sistema típico de tratamento de efluentes pode incluir neutralização, coagulação/floculação, flotação/sedimentação, biodegradação (lagoa aerada e lodo ativado) e clarificação (MARIANO, 2001). Segundo Wimmer (2007), uma etapa final de polimento que também pode ser proposta é a utilização de filtração por membranas, ozonização, carvão ativado ou tratamento químico.

4 METODOLOGIA

4.1 Cenário da Pesquisa

O presente estudo foi desenvolvido numa indústria petroquímica, com o intuito de identificar os aspectos e impactos ambientais relacionados aos efluentes gerados, bem como identificar algumas práticas adotadas pela empresa no domínio da gestão ambiental destes resíduos. A indústria está localizada na região Sul do Brasil e é uma empresa pertencente ao setor petroquímico brasileiro, onde atua na primeira e segunda geração no setor. Ela é responsável pela produção de matérias-primas e resinas termoplásticas que são utilizadas na fabricação de inúmeros produtos plásticos.

4.2 Metodologia da Pesquisa

O método utilizado na pesquisa foi um estudo de caso e para alcançar os objetivos propostos, o presente estudo teve enfoque principal nos aspectos e impactos ambientais relacionados à geração de efluentes líquidos resultante dos diversos processos químicos realizados na indústria. Também foram identificados aspectos e impactos ambientais relacionados à poluição atmosférica e demais resíduos.

Para o desenvolvimento do estudo de caso, foi fundamental fazer visitas de campo, possibilitando a coleta de dados diretamente nas dependências da empresa, com o auxílio de funcionários, supervisores ou técnicos bem como obter informações contidas nos registros da empresa. Com o auxílio de colaboradores do setor de meio ambiente e segurança da empresa, foram realizadas visitas no setor produtivo para a identificação dos potenciais aspectos e impactos ambientais; visitas na área interna da empresa onde é realizada a etapa preliminar de tratamento de efluentes para seu acondicionamento para as etapas seguintes; além de diversas reuniões para esclarecimentos de dúvidas para contribuir no desenvolvimento deste trabalho. Estes colaboradores também apresentaram vídeos, mapas e documentos pertinentes à gestão de efluentes, bem como forneceram todas as informações necessárias sobre o pólo petroquímico e a própria indústria. Para o conhecimento de todo o processo de tratamento de efluentes, também foi realizada uma visita na Corsan, empresa terceirizada que trata os efluentes das indústrias que compõem o pólo petroquímico, com o objetivo de avaliar as tecnologias que a mesma adota para realizar o tratamento dos efluentes. O objetivo desta

etapa foi a coleta de informações que permitiram conhecer os processos produtivos realizados na empresa que geram correntes de efluente, além de promover um maior entendimento de todos os aspectos ambientais relacionados aos poluentes presentes nestes resíduos.

A partir da coleta de dados, em um segundo momento, foram elaborados fluxogramas do processo de tratamento de efluentes para uma melhor visualização deste. De posse dessas informações, foi possível conhecer os tipos de poluentes presentes nas diferentes correntes dos efluentes gerados pela indústria.

4.3 Análise de Dados

Após realizar a coleta de dados junto à empresa, foi possível fazer uma análise crítica qualitativa sobre os aspectos e impactos ambientais identificados, relativos aos efluentes, poluentes atmosféricos e resíduos sólidos gerados pela unidade industrial. Com posse de informações fornecidas pela empresa, tal análise foi fundamentada em investigação de literatura, considerando o potencial poluidor do setor petroquímico, além das exigências legais, mais especificamente relacionadas à licença ambiental de operação. Desta forma, foi possível discutir alternativas tecnológicas que podem auxiliar inclusive no reuso de efluente tratado, ou ainda sugerir outras alternativas que podem ser agregadas à atual configuração de técnicas de tratamento de efluentes para reforçar o atendimento às exigências legais impostas por órgãos ambientais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo encontra-se dividido em quatro secções, nas quais as secções 5.1 e 5.2 reportam as principais matérias-primas utilizadas e distribuídas para cada setor da indústria petroquímica e quais os processos que ocorrem na cadeia produtiva da indústria petroquímica, respectivamente. Na seção 5.3 é apresentada a descrição do tratamento de efluentes que é realizado na empresa, destacando-se os pontos em que pode-se realizar algumas modificações no sistema de tratamento de efluentes. Finalmente, a seção 5.4 apresenta os aspectos e impactos ambientais identificados no setor petroquímico, onde são evidenciados os impactos mais críticos em relação ao meio ambiente e são propostas algumas alternativas a fim de melhorar o desempenho ambiental da empresa.

5.1 Matérias-primas da Indústria Petroquímica

Como descrito no item 3.2, o conjunto da indústria petroquímica divide-se em três gerações. Deste modo, a cadeia petroquímica é organizada em produtores de primeira, segunda e terceira geração, com base na fase de transformações de várias matérias-primas ou insumos petroquímicos. Configura a transformação de subprodutos do refino do petróleo bruto, principalmente a nafta ou o gás natural, em bens de consumo e industrial utilizado para diversas finalidades. O tipo de matéria-prima empregado tem rendimento variado e influencia nos diferentes produtos resultantes.

A primeira geração da indústria petroquímica necessita de matérias-primas como gás natural, gás de refinaria ou o gás liquefeito de petróleo (GLP). Cada uma dessas matérias-primas origina outras matérias-primas para as indústrias de segunda geração. Com a utilização do GLP é possível produzir propileno, butileno, butadieno, que são vendidos para a indústria de segunda geração. Com esses produtos é possível realizar o craqueamento, obtendo o ácool isopropílico e a glicerina.

Com o gás obtido nas refinarias são produzidos o acetileno e o etileno, produtos importantes para os craqueadores. Partindo disso, a indústria de segunda geração pode produzir a partir dessas duas matérias-primas tetracloroetano, vinilacetileno, óxido de etileno, ácool etílico, dicloroetileno, tricloroetileno, cloreto de etila e fluoretanos.

As indústrias de primeira geração também têm a escolha de obter as resinas termoplásticas através do gás natural obtido pelas UPGNs. Deste modo, o gás natural gera o gás de síntese de amônia, gás de síntese de metanol e gás de síntese do ácido cianídrico. Estas

são matérias-primas fundamentais para que as indústrias de segunda geração possam produzir amoníaco, uréia, metanol, formaldeído e acrilonitrila.

No Quadro 2 é possível observar as principais matérias-primas da indústria onde foi realizado o estudo de caso. Além disso, quais matérias-primas são utilizadas em cada etapa das três gerações da indústria necessita para obter o produto final, isto é, as resinas termoplásticas.

Quadro 2 – Principais matérias-primas da cadeia da petroquímica.

Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração
Gás natural	Gás de sínetese de amônia: H_2, N_2, CO e CO_2	Amoníaco e uréia
	Gás de síntese do metanol: H_2 e CO	Metanol e formaldeído
		Síntese baseada em reações de oxidação
	Gás de síntese do ácido cianídrico: NH_3 e CH_4	Acrilonitrila
Gás de refinaria	Acetileno: C_2H_2	Tetracloroetano
		Vinilacetileno
	Etileno: C_2H_4	Óxido de etileno
		Álcool etílico
		Dicloroetileno
		Tricloroetileno
		Cloreto de etila
		Fluoroetanos
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Propileno: C_3H_6	Álcool isopropílico
		Glicerina
	Butilenos: C_4H_8	
	Butadieno: C_4H_6	

Fonte: Adaptado de Conselho Regional de Química - IV Região, 2015.

As matérias-primas das indústrias de segunda geração estão todas presentes na fase gasosa.

5.2 Processos da Indústria Petroquímica

A indústria no qual o estudo foi realizado possui unidades de primeira e segunda geração na sua configuração, sendo estes segmentos considerados e avaliados para a identificação de aspectos e impactos ambientais. A indústria petroquímica onde se realizou o estudo faz parte do terceiro polo petroquímico a base de nafta que foi construído em 1982.

5.2.1 Refino e Extração

Antes da primeira geração, é necessário que o petróleo ou o gás natural passe pela etapa de refino e extração destes produtos. São as refinarias e as unidades de processamento de gás natural que fazem a primeira transformação do petróleo e do gás natural por meio de diversos processos, tais como a produção de nafta, etano e gasóleos, a partir das refinarias, além de produzir etano e propano, a partir das UPGNs. A nafta é a principal matéria-prima da cadeia petroquímica e a mais utilizada nas indústrias, seguida do gás natural.

5.2.2 Primeira Geração

As indústrias de primeira geração, denominadas craqueadores, são as que utilizam as matérias-primas (nafta, gás natural, GLP, gás de xisto, etc) produzidas na etapa de refino e extração. A nafta é fornecida por empresas brasileiras e também de fornecedores do exterior. A nafta e o gás passam por um processo de craqueamento, que resulta nos petroquímicos básicos, como eteno, propeno, butadieno e aromáticos como benzeno, xileno e tolueno.

A indústria onde foi realizado o estudo possui quatro unidades de craqueamento. Os petroquímicos básicos produzidos na primeira geração, que estão na forma gasosa ou líquida, são vendidos para indústrias de segunda geração da cadeia petroquímica, sendo transportados por meio de dutos.

5.2.3 Segunda Geração

Os produtores da segunda geração processam os petroquímicos básicos comprados das unidades de craqueamento de nafta ou gás natural, transformando-os em polietileno, poliestireno e PVC, que são produzidos a partir do eteno. O polipropileno e acrilonitrila são produzidos a partir do propeno. Já o cumeno e o etilbenzeno são produzidos a partir da

matéria-prima, vinda da indústria de primera geração, que é o benzeno. Além destes produtos, é possível obter o polibutadieno, que é produzido a partir do butadieno.

5.3 Tratamento de Efluente

Os principais poluentes encontrados nos efluentes líquidos das indústrias petroquímicas são os sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e compostos orgânicos. Os metais pesados, poluentes biológicos, gases que se apresentam dissolvidos e radioativos aparecem em menor intensidade nesses efluentes (MUSTAFA, 1998).

Os efluentes líquidos gerados pela indústria petroquímica podem ser classificados em efluentes não contaminados e efluentes orgânicos, de acordo com suas características físico-químicas. Tipicamente, o sistema de efluentes não contaminados recebe correntes com características inorgânicas, como exemplo purgas dos sistemas de água de resfriamento e de geração de vapor. O sistema de efluentes orgânicos coleta poluentes contaminados com compostos orgânicos, como drenagem de água de processo e drenagem de tanques (MUSTAFA, 1998).

Na indústria petroquímica em que foi realizado o estudo de caso, os efluentes são divididos da mesma maneira, onde possui duas correntes, uma de efluentes líquidos inorgânicos e outra de efluentes líquidos orgânicos. O pré-tratamento de ambos é realizado na indústria petroquímica, ainda dentro da unidade produtiva. Sendo que o tratamento primário, secundário e terciário é efetivado por uma empresa terceirizada, que é uma unidade de tratamento de efluentes líquidos resultantes das atividades operacionais das indústrias que configuram o polo petroquímico.

O sistema de efluentes empregado por esta empresa terceirizada remove poluentes físicos, químicos e biológicos dos efluentes. Deste modo, esta unidade de tratamento de efluentes recebe duas correntes de efluentes pré-tratados da indústria petroquímica. Uma corrente de efluentes orgânicos, resultante do processo de fabricação e a outra corrente são dos efluentes inorgânicos, que são utilizados nos sistemas de resfriamento do processo produtivo. Os efluentes orgânicos exigem aplicação de técnicas mais complexas de tratamento através de processos físico-químico e biológico (tratamento biológico por aeração prolongada). O efluente inorgânico é uma corrente mais limpa e necessita apenas de um polimento final. Essas duas correntes se encontram numa fase final chamada de tratamento de efluente terciário, contendo oito lagoas de estabilização. Como o efluente inorgânico não

necessita de um tratamento muito complexo, se comparado ao efluente orgânico, a empresa terceirizada adota uma boa tática para a redução de custos e energia.

5.3.1 Tratamento de Efluentes Líquidos Inorgânicos

Os efluentes inorgânicos passam apenas pelo tratamento físico na indústria petroquímica e são levados diretamente para o tratamento terciário na empresa terceirizada. Primeiramente, o efluente inorgânico já pré-tratado passa por um sistema de gradeamento para a retenção de sólidos grosseiros. Em seguida, é levado para uma bacia de equalização (Figura 3) para homogenizar e acondicionar o efluente para seguir para as lagoas de estabilização, no qual é o último processo que o efluente inorgânico percorre. Desta forma, o fluxograma do processo de tratamento de efluente inorgânico pode ser observado na Figura 4.

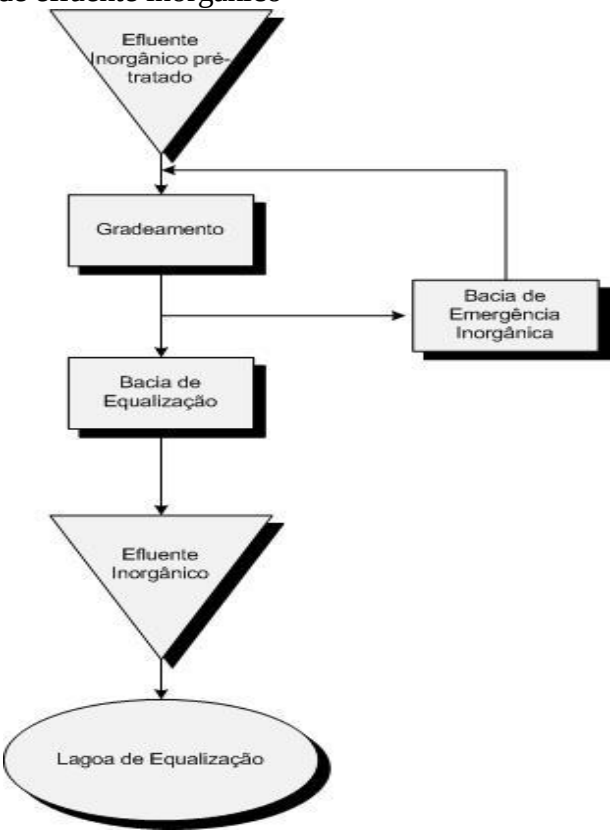
Figura 3 – Bacia de Equalização

Fonte: Corsan, 2015.

Para as duas correntes de efluentes (orgânico e inorgânico), o processo possui uma bacia de emergência, que tem a finalidade de receber efluentes inorgânicos fora dos padrões de recebimento da empresa terceirizada (conforme procedimento interno da mesma), bem como quando ocorre chuvas em grande intensidade. Os efluentes são monitorados e analisados dentro da própria indústria petroquímica antes do mesmo ser enviado para tratamento pela empresa terceirizada, para garantir que eles presentem características físico-

químicas adequadas para receber os tratamentos subsequêntes. Desta forma é possível adicionar gradativamente parcelas deste efluente em particular junto às correntes com características rotineiras de parâmetros físico-quimicos, sem afetar a eficiência do sistema de tratamento de efluentes.

Figura 4 – Tratamento de efluente inorgânico



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.2 Tratamento de Efluentes Líquidos Orgânicos

Os efluentes orgânicos são todos os efluentes que podem ser tratados biologicamente através de processos de biodegradação em condições favoráveis. A utilização do lodo biológico para o processo de biodegradação nada mais é do que a degradação da matéria orgânica por micro-organismos na presença de oxigênio dissolvido. Deste modo, ocorre a conversão da matéria orgânica gerando água e gás garbônico. O tratamento de efluentes orgânico é divido em duas etapas antes de se juntar com a corrente de efluente inorgânico.

Na primeira etapa, os efluentes orgânicos passam pelo tratamento primário. Primeiramente, ocorre a separação de sólidos mais grosseiros, pelo uso de sistema de gradeamento. Após, para ser possível realizar uma separação de óleo e partículas sólidas, é

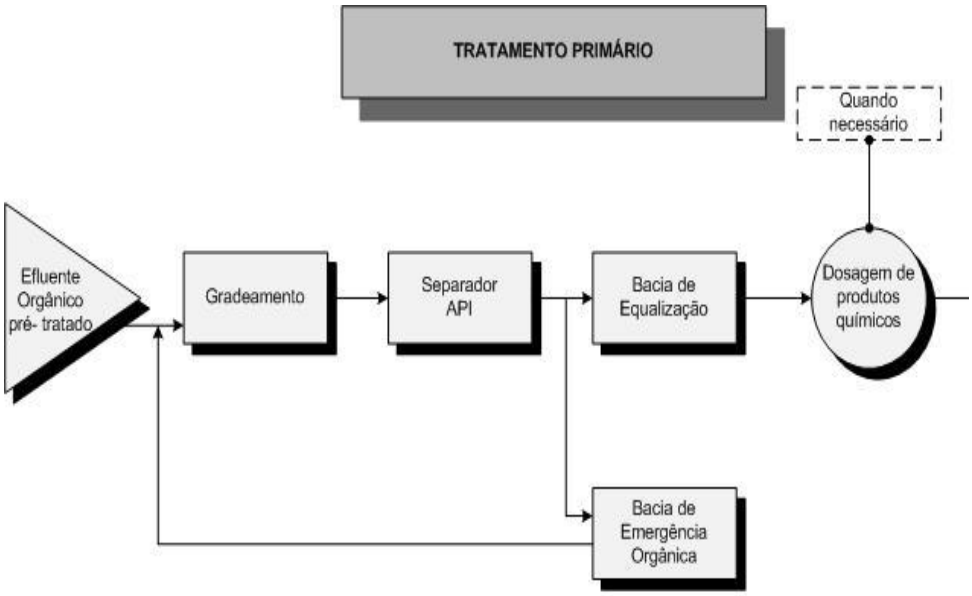
utilizado o separador API (Figura 5), equipamento que é bastante difundido em indústrias petroquímicas.

Figura 5 – Separador API

Fonte: Corsan, 2015.

Após passar pelo separador API, a bacia de equalização recebe o efluente orgânico. Quando necessário, os efluentes recebem uma determinada dosagem de produtos químicos para a adequação do pH próximo a neutralidade, ou seja, de 6 a 8, para ser acondicionado para a próxima etapa de tratamento. Deste modo, a eficiência do tratamento é garantida. O tratamento primário descrito, pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Tratamento primário do tratamento de efluente orgânico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente, o efluente é conduzido para o tratamento secundário. No tratamento secundário, é eliminada a matéria orgânica através do processo biológico por lodo ativado nas bacias de aeração. A primeira etapa é o flotador, onde ocorre a separação de líquido e de sólidos através do ar que arrasta as impurezas em suspensão para a superfície, facilitando a remoção. Após, já no tanque de aeração, ocorre a biodegradação da matéria orgânica. Deste modo, para o efluente chegar até o decantador secundário (Figura 7), faz-se necessário o uso de uma bomba para este transporte. O decantador separa o líquido clarificado do lodo ativado o qual sedimenta no fundo do decantador. O lodo separado do decantador retorna para a bacia de aeração, afim de dar continuidade ao processo de biodegradação. Enquanto o excesso de lodo obtido do decantador é encaminhado para um adensador de lodo. O andesador de lodo consegue separar mais uma quantidade de água clarificada e espessar o lodo. Assim, a água clarificada é encaminhada de volta ao processo.

Figura 7 – Decantador secundário

Fonte: Corsan, 2015.

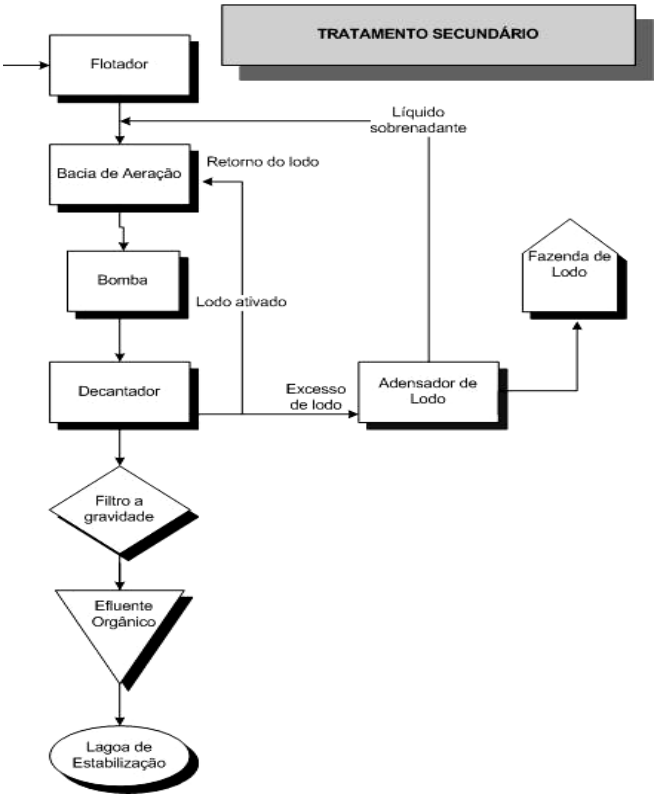
O excesso de lodo, ou seja, aquele que não retorna para o processo é direcionado para as fazendas de lodo (Figura 8), onde é aplicado diretamente no solo por sistema de aspersão.

Figura 8 – Fazendas de lodo

Fonte: Corsan, 2015.

O esquema de tratamento secundário dos efluentes orgânicos pode ser visualizado no fluxograma apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Tratamento secundário do tratamento de efluente orgânico.



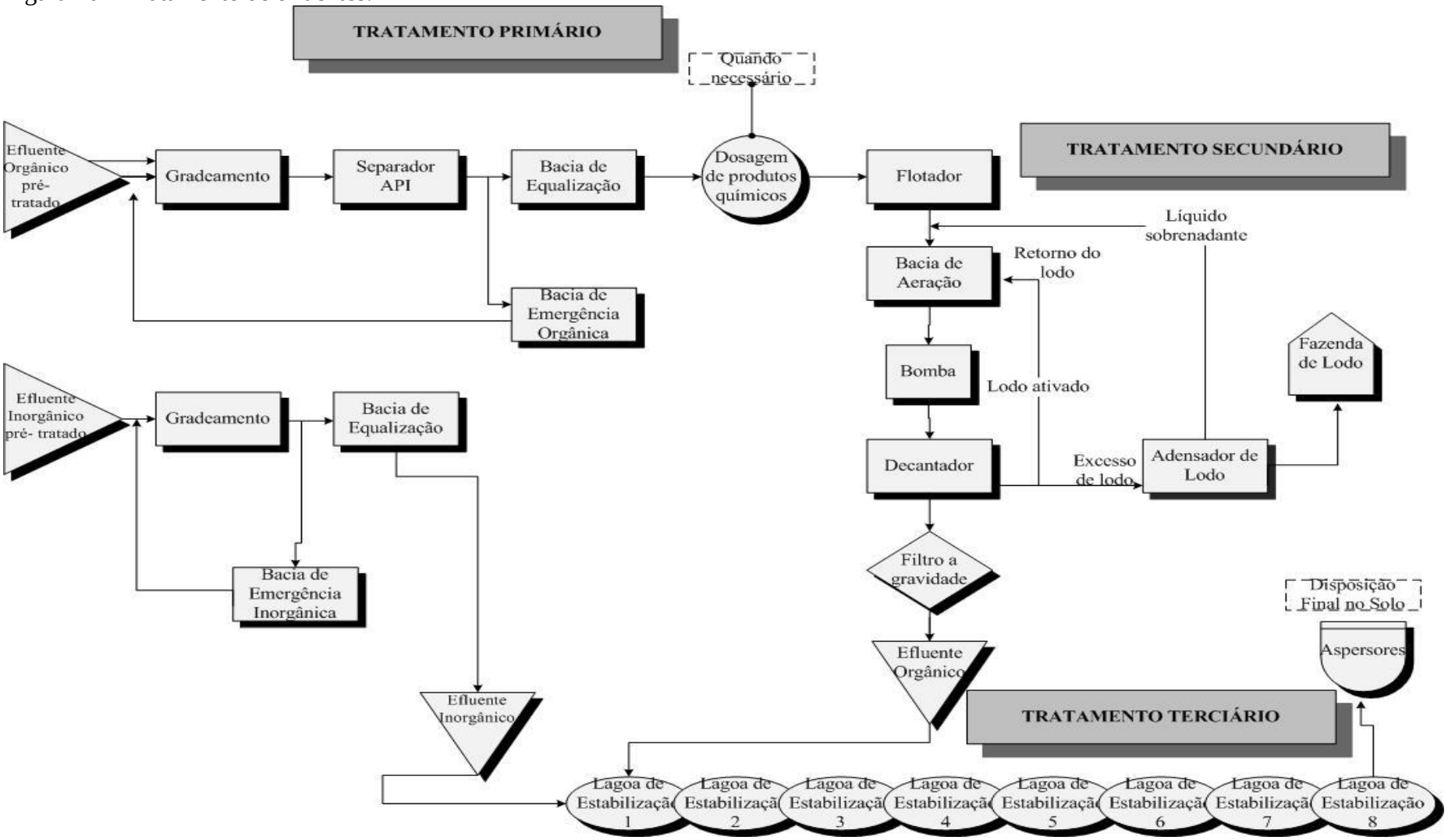
Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Mustafa (1998), a remoção de compostos orgânicos de efluentes líquidos pode ser realizada através de oxidação, adsorção com carvão ativado, processos biológicos, destilação e extração. A ozonização é o processo de oxidação mais utilizado atualmente, por possuir grande eficiência na remoção dos compostos orgânicos, além de ser uma excelente tecnologia para a eliminação de micro-organismos. A oxidação com oxigênio, peróxido de hidrogênio e a catalítica são processos utilizados em menor escala. A adsorção com carvão ativado é outra tecnologia bastante difundida em sistemas de purificação de efluentes, em função da sua grande simplicidade e eficiência. Os processos biológicos, apesar de requererem grandes áreas de instalação, possuem alta eficiência na remoção de compostos orgânicos, além de serem atrativos do ponto de vista econômico. A destilação e a extração têm um alto índice de eficiência, porém, têm elevado consumo de energia.

5.3.3 Etapa Final do Tratamento de Efluentes

Na etapa final de tratamento dos efluentes orgânicos e inorgânicos gerados na indústria petroquímica, ocorre a união das duas correntes de efluentes que seguem para o tratamento terciário, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Tratamento de efluentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na última etapa, antes das correntes se juntarem, os sólidos remanescentes são removidos por filtração, detalhe não mostrado na figura. Finalmente, as duas correntes se encontram e são conduzidas para oito lagoas de estabilização em série, que podem ser identificadas na Figura 11.

Figura 11 – Lagoas de estabilização.

Fonte: Corsan, 2015.

Finalmente, o efluente tratado é encaminhado para aspersores (Figura 12a) e tubulação perfurada (Figura 12b), no qual ocorre a disposição final no solo. Também é utilizado sistema de veículo para transporte e para aspersão do lodo nas fazendas.

Figura 12 – Aspesores para disposição final e tubulação perfurada.

Figura 12a Figura 12b

Fonte: Corsan, 2015.

5.4 Identificação de Aspectos e Impactos Ambientais

Segundo Dyllick (2000), deve ficar claro para as organizações que os aspectos ambientais são as causas controláveis, por exemplo, de certos processos de produção ou produtos, enquanto que os impactos ambientais são os efeitos no meio ambiente causados

isoladamente ou não, por exemplo, na forma de poluição das águas ou existência de riscos de poluição ou de acidentes ambientais.

5.4.1 Identificação de Aspectos e Impactos Ambientais de Efluentes Líquidos

A indústria petroquímica utiliza demasiadamente água para o seu processo, além disso, deve-se considerar que muitos poluentes gerados durante as diferentes atividades de processamento acabam sendo diluídos nas correntes de efluentes geradas. Por este motivo, o tratamento de efluentes necessita ser eficaz, para que seja possível reduzir os impactos ambientais provenientes desse resíduo. No Quadro 3, são apresentados os aspectos e impactos ambientais relativos a diferentes etapas de produção, que afetam a qualidade dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, e são responsáveis por causar poluição em outros compartimentos ambientais, como o solo.

Quadro 3 – Aspectos e impactos ambientais relativos à contaminação hídrica.

Etapa de produção	**Aspectos ambientais (resíduos liberados)**	**Impactos ambientais**
Planta de etileno	Efluente contendo fenóis, benzeno, óleos e graxas, sólidos suspensos, DBO, DQO.	Alteração da qualidade da água.
Sulfonação de Oleofinas	Efluente contendo álcoois, hidrocarbonetos polimerizados, sulfato de sódio, éteres.	Alteração na qualidade da água.
Sulfonação de Aromáticos	Efluente contendo soda cáustica.	Alteração na qualidade da água.
Craqueamento	Efluente contendo ácidos, sulfetos de hidrogênio, hidrocarbonetos solúveis, compostos fenólicos.	Alteração na qualidade da água.
Dessulfuração	Efluente contendo sulfato de hidrogênio, mercaptanas.	Alteração na qualidade da água.
Isomerização	Efluente contendo hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos.	Alteração na qualidade da água.
Planta de aromáticos	COVs, orgânicos dissolvidos, metais pesados, hidrocarbonetos, particulados, H_2S, SOx, NOx, CO, efluentes contendo DBO, DQO, sólidos suspensos, óleos e graxas, tolueno, benzeno, xileno, HCl, cloro, cádmio.	Alteração da qualidade da água e do ar.

Produção de Amônia	Efluente contendo ácidos, bases e amônia.	Alteração na qualidade da água.
Fornos e sistema de geração de vapor	Consumo de energia elétrica, água.	Redução da disponibilidade de recursos naturais e de energia elétrica.

Fonte: Elaborado pelo autor; adapatdo de Wimmer (2007); Piveli *et al*. (2006); Rebhun e Galil (1994).

Na natureza os hidrocarbonetos são potenciais contaminantes, pois podem causar danos que vão desde a inutilização do ponto de captação da água, a destruição da flora e fauna, a inutilização de lavouras, a redução de micro-organismos no solo e até mesmo o risco de explosão devido à volatilidade destes compostos (RESCHKE, 2012).

A planta de produção de etileno, a qual emprega o método de craqueamento, utiliza alta pressão e temperaturas elevadas para quebrar o gás natural por compressão. Esta planta, bem como a planta de aromáticos gera efluentes contendo sólidos suspensos, além de DBO e DQO alta. Para este aspecto ambiental (produção de etileno), é possível ser realizado o tratamento de efluentes por evaporação, o qual é bastante eficiente para remoção de DBO e DQO de uma corrente líquida, além ser altamente eficiente para remoção de sólidos dissolvidos. Segundo Mustafa (1998), a evaporação é uma técnica utilizada para a separação de sólidos dissolvidos de uma corrente líquida, através da vaporização do solvente e concentração de sólidos na fase líquida. A vaporização é obtida a partir da transferência de calor de vapor d’água, para a corrente de alimentação do evaporador. O evaporador pode recuperar de 95 a 99% da água com uma pureza superior a 10 ppm de sólidos totais.

A evaporação permite processar resíduos sólidos, líquidos, oleosos ou não, em base aquosa, como por exemplo emulsões oleosas de diversos processos. Esta técnica, apesar de um método com investimento inicial alto, é bastante utilizada para a recuperação de efluentes líquidos que contém alta concentração de sólidos (MUSTAFA, 1998). Esse processo é ideal para um tratamento de efluente que será despejado em algum corpo hídrico ou diretamente no solo, que é o que ocorre na indústria estudada, sem que haja reaproveitamento de efluente tratado para a reutilização em algum processo produtivo ou no setor de utilidades, como em torres de resfriamento ou caldeiras.

Os processos como sulfonação de oleofinas, craqueamento, dessulfuração e isomerização, por possuírem poluentes caracterizados como compostos orgânicos em seu efluente, podem ter como opção de tratamento o emprego de osmose reversa. A separação por

osmose reversa é obtida sem mudança de fase, assim a energia requerida é considerada baixa. Mas o maior consumo de energia neste sistema se deve ao uso de altas pressões (MUSTAFA, 1998). Além disso, para este tipo de tratamento, é necessário realizar uma etapa preliminar para remover sólidos em suspensão e possíveis colóides. Sem este pré-tratamento, pode-se inviabilizar o processo por osmose reversa devido a formação de fouling e necessidade de limpeza com bastante freqüência. A implementação de osmose reversa é ideal e viável somente para indústrias que pretendem realizar o reuso da água nos processos produtivos, nas caldeiras ou nos sistemas de torres de resfriamento, visto que esta tecnologia ainda é considerada cara. Na indústria petroquímica em que foi realizado o estudo de caso, esta técnica seria bastante útil, visto que a reutilização de efluente tratado iria contribuir para a redução de consumo de água tratada na ETA (Estação de Tratamento de Água). Seria interessante para a empresa, fazer uma análise de custos para adotar um sistema de filtração por membrana de osmose reversa.

Os efluentes advindos dos setores de craqueamento, isomerização, planta de aromáticos e sulfonação de aromáticos podem ser tratados pelo processo de adsorção, por possuírem em seus efluentes componentes como metais pesados e compostos aromáticos como poluente. A adsorção é uma tecnologia bastante utilizada em sistemas de purificação de efluentes líquidos, devido a sua grande simplicidade e eficiência, por remover substâncias odoríferas aromáticas e também por fazerem a remoção de metais pesados (MUSTAFA, 1998).

5.4.2 Identificação de Impactos e Aspectos Ambientais de Resíduos Sólidos

Além da identificação dos aspectos em impactos ambientais dos efluentes gerados na indústria petroquímica, no presente trabalho também foi realizada a identificação dos aspectos e impactos ambientais atribuídos aos resíduos sólidos. No Quadro 4 são apresentados aspectos e impactos ambientais relativos à diferentes atividades da indústria petroquímica que têm potencial de contaminar o solo pela produção de resíduos sólidos.

Deve-se considerar que muitos resíduos sólidos também são gerados pelo setor de utilidades. Em particular, as cinzas volantes geradas nas caldeiras, que utilizam carvão como combustível, apresentam alto risco para o meio ambiente por carregarem consigo uma grande quantidade de poluentes tóxicos, por exemplo, metais pesados. Estas cinzas volantes causam poluição não somente para a atmosfera, mas em outros compartimentos do meio ambiente (SMOLKA-DANIELOWSKA, 2006).

Quadro 4 – Aspectos e impactos ambientais relativos à danos e contaminação do solo.

Etapa de produção	**Aspectos ambientais (resíduos liberados)**	**Impactos ambientais**
Fornos e sistema de geração de vapor	Geração de resíduos não perigosos e não inertes (Classe IIA)	Contaminação do solo, impacto visual.
Fornos e sistema de geração de vapor	Consumo de combustível, insumos e matéria-prima.	Redução de recursos naturais/minerais (água, petróleo, carvão).
Coleta e transporte de resíduos sólidos	Geração de resíduos perigosos (Classe I), geração de resíduos não perigosos e inertes (Classe IIB)	Contaminação do solo, impacto visual.
Coleta e transporte de resíduos sólidos	Consumo de combustível.	Redução de recursos naturais/minerais (água, petróleo, carvão).

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com McLean e Bledsoe (1992), os solos apresentam naturalmente traços de metal. Dependendo das condições locais, as concentrações de metais no solo podem exceder valores limites estabelecidos por órgãos ambientais.

Os solos que são contaminados por indústrias petroquímicas apresentam compostos como os BTEXs (benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno). Tais compostos são caracterizados como tóxicos ao meio ambiente (BAIRD, 2002).

Andrade (2005) desenvolveu um estudo com o objetivo de aperfeiçoar o uso de um dos tipos de POAs (processos oxidativos avançados), que é a reação de Fenton, trabalhando em um pH próximo das condições naturais, utilizando agentes estabilizantes do catalisador que dispensam o uso de ácidos fortes. O estudo foi focado na remediação *in-situ* de águas subterrâneas contaminadas com BTEX, onde mostrou que o processo Fentox® pode ser bastante útil na remoção de contaminantes e que pode ser utilizado em solos de indústrias petroquímicas, apresentando alta eficiência de tratamento. O processo Fentox é um tipo de tratamento que utiliza a reação foto-fenton para eliminação de metais pesados. Os POAs podem ser muito eficientes no que diz respeito à destruição de compostos tóxicos e recalcitrantes, uma vez que promovem a oxidação e/ou redução de poluentes químicos tanto no ar, quanto na água e no solo. Além disso, os POAs, em função de suas eficiências

comprovadas na degradação de petróleo e seus derivados, representam, atualmente, uma alternativa importante para a mitigação de problemas ambientais (ANDRADE, 2005).

Segundo Moura (2006), as técnicas e processos de transferência de contaminantes são uma abordagem simples para a solução do problema, devido ao resultado rápido e de curto prazo. Em relação aos metais pesados, não há formas de destruí-los, apenas modificar seu estado de oxidação, por isso existe a necessidade de desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e mais eficazes que garantam o seu aprisionamento em matrizes de vida útil prolongada, ou até mesmo o seu reaproveitamento em determinados produtos.

Em relação a solos contaminados com metais pesados, existem as técnicas tradicionais de remediação de solos contaminados que são baseadas em processos físicos, químicos, térmicos, ou uma combinação entre estes processos.

5.4.3 Identificação de Impactos e Aspectos Ambientais de Resíduos Atmosféricos

No presente trabalho também foi realizada a identificação dos aspectos e impactos ambientais atribuídos aos resíduos que são liberados para a atmosfera. No Quadro 5 são apresentados aspectos e impactos ambientais relativos à diferentes atividades da indústria petroquímica que apresentam potencial poluidor atmosférico. Dentre os poluentes citados, o dióxido de carbono (CO_2), causa maior impacto global por ser o principal gás causador do efeito estufa na atmosfera (MATOS, 2010). Alguns dos compostos citados, como SOx e NOx, são responsáveis por causar chuva ácida e smog fotoquímico (MARIANO, 2005). O dióxido de enxofre (SO_2) é o principal poluente atmosférico primário da família dos SOx. Quando ele é lançado na atmosfera, sofre reações químicas gerando outros óxidos, por exemplo, o trióxido de enxofre (SO_3), o qual é um poluente atmosférico secundário formado pela reação entre SO_2 e O_2 do ar. O SO_3 reage com a água e finalmente forma outro poluente secundário, o ácido sulfúrico (H_2SO_4), o qual é co-responsável pela acidificação da água e gerar chuva ácida (ALMEIDA, 1999).

Quando o combustível é queimado, não libera apenas energia, mas muitos produtos químicos, incluindo enxofre e nitrogênio contidos no material orgânico. Essas substâncias são dois dos mais importantes componentes na chuva ácida. Estes são subprodutos indesejáveis na queima dos combustíveis, os quais são geralmente lançados diretamente na atmosfera. A chuva ácida afeta diretamente a natureza (BAINES, 1993).

Quadro 5 – Aspectos e Impactos Ambientais referente aos poluentes atmosféricos.

Etapa de produção	Aspectos ambientais (resíduos liberados)	Impactos ambientais
Craqueamento de nafta	Emissão de alcenos (propileno e etileno) de sulfitos inorgânicos, mercaptanas, hidrocarbonetos solúveis, compostos fenólicos, sulfito, cianeto, óleos, coque, rejeitos cáustico, SOx, NOx, hidrocarbonetos, particulados, efluentes contendo DBO, DQO, sólidos suspensos e óleo	Alteração da qualidade do ar
Hidrogenação	Emissão de COVs, NOx, monóxido de carbono e material particulado	Alteração da qualidade do ar
Regeneradores catalíticos	Emitem material particulado, CO, óxidos de nitrogênio e enxofre	Alteração na qualidade do ar
Planta de cloreto de vinil	Emissão de COVs como dicloroetileno, cloreto de vinil, organoclorados	Alteração na qualidade do ar
Processos de produção na planta petroquímica	Emissão de COVs como acetaldeído, acetona, benzeno, tolueno, tricloroetileno, triclorotolueno e xileno	Alteração na qualidade do ar

Fonte: Elaborado pelo autor; adaptado de Wimmer (2007); Rebhun e Galil (1994).

Os principais poluentes e que são mais comumente controlados são os que servem como indicadores de qualidade de ar, tais como dióxido de enxofre (SO_2), hidrocarbonetos totais e óxido de nitrogênio (NOx) (Wimmer, 2007).

A indústria petroquímica em que foi realizado o estudo de caso é uma empresa que se empenha em manter o controle dos poluentes liberados para o meio ambiente abaixo dos índices e concentrações, que a normas ambientais estabelecem. Entretanto, ainda é possível aprimorar os sistemas de remoção e tratamento de poluentes, no sentido de implementar novas tecnologias que permitam atuar mais próximo do que seria uma produção sustentável.

5 CONCLUSÃO

O setor da indústria petroquímica é responsável pela produção de resíduos, na forma de efluentes, de gases e na forma de resíduos sólidos, que impactam de maneira crucial o meio ambiente. Além disso, são consumidos muitos recursos naturais para fornecimento de energia, ou na forma de insumos, causando sérios impactos em todos os compartimentos ambientais, envolvendo a fauna e a flora, a água, o ar, o solo, os recursos naturais e os recursos humanos.

Todas as etapas que geram correntes de efluentes (purgas dos sistemas de águas de resfriamento e dos geradores de vapor, além do processo de drenagem de água e drenagem de tanques) são identificadas como focos de aspectos ambientais, pois possuem risco ou possibilidade de causar impactos ambientais, devido à natureza orgânica e inorgânica dos poluentes.

Na empresa estudada, tanto a natureza como a concentração dos poluentes, assossiados à constantes riscos de vazamentos ou acidentes de operação, podem comprometer a eficiência das operações realizadas para controle dos poluentes. Neste sentido é possível adaptar algumas tecnologias de tratamento de efluentes os quais têm a capacidade de aumentar a eficiência na remoção dos poluentes, ou mesmo de diminuir a toxicidade de uma grande parte deles, como COVs, hidrocarbonetos, cianetos, etc, afim de torná-los facilmente biodegradáveis pelos sistemas utilizados atualmente.

Neste sentido, as principais alternativas sugeridas neste trabalho para a empresa em questão, consiste na instalação de um evaporador para que seja possível tratar o efluente líquido originário da etapa de produção de aromáticos e produção de etileno. Outra opção, embora onerosa, é o emprego de osmose reversa para o tratamento adequado dos efluentes gerados nos processos como sulfonação de oleofinas, craqueamento, dessulfuração e isomerização, permitindo o reuso integral deste efluente em algumas etapas produtivas, especialmente no setor de utilidades. Já para a remoção de metais pesados que possam vir a contaminar os solos por motivo de vazamentos, uma alternativa é a utilização de tratamento utilizando processos oxidativos avançados, os quais têm uma grande eficiência na remoção destas substâncias.

Com o desenvolvimento do presente trabalho foi possível identificar aspectos relacionados a algumas atividades de produção na indústria petroquímica e os relativos impactos ambientais causados por tais atividades. Este levantamento de aspectos e impactos ambientais da indústria petroquímica é um estudo exclusivamente qualitativo, mas serve

como um ponto de partida para a realização de um estudo quantitativo, baseado em técnicas e métodos já pré-estabelecidos e disponíveis na literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIE, E. Processo de refino: Curso de Formação de Operadores de Refinaria Processo de Refino. **Unicemp – Centro Universitário Positivo**, Curitiba, p. 7 – 15, jun. 2002.

ABNT NBR ISO 14004. **Sistemas de Gestão Ambiental:** Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro, 1996.

ABREU, M. C. S.; RADOS, G. V. J.; FIGUEIREDO, H. S. As pressões ambientais da estrutura da indústria. **RAE eletrônica**, v. 3, n. 2, jul. 2004.

ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 187 p. Dissertação Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

ANDRADE, J.A. **Otimização da reação de Fenton visando aplicações na remediação *in-situ* e *ex-situ* de águas subterrâneas** (Dissertação de mestrado em química analítica). Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 249p.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Caracterização da cadeia petroquímica e da transformação de plásticos.** Rio de Janeiro: ABDI, 2009. 285p.

AMADO, F. A. T. **Direito ambiental esquematizado**. 2. ed. São Paulo: Método, 2011. 614p.

ANDRADE, M. R. S; TURRONI, J. B. Uma metodologia de análise dos aspectos e impactos ambientais através da utilização do FMEA. **ENGEP**, USP/POLI, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. **O desempenho da indústria química brasileira em 2014.** São Paulo: ABIQUIM, 2014. 20p. Disponível em: < http://www.abiquim.org.br/pdf/livreto-de-dados-2014-paginas.pdf>. Acesso em: 9 Mai. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2005). **NBR ISO 14001:2004**: Sistema da gestão ambiental – Requisitos com orientação para isso. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

AZEVEDO, E. B. Poluição vs. Tratamento de água: duas faces da mesma moeda. **Química nova na Escola**, São Paulo, nº 10, nov. 1999.

BAINES, J. Chuva Ácida. 2. ed. São Paulo: Scipione. 1993.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2ª ed. RECIO, M.A.L.; e CARRERA, L.C.M. (Trad.). Porto Alegre: Bookman, 622 p., 2002.

BALAN, D. S. L. **A indústria têxtil e o meio ambiente. Tecnologia limpa e controle ambiental.** Química Têxtil, Barueri, v. 66, p. 26-31, 2002.

BASTOS, V. D. Desafios da Petroquímica Brasileira no Cenário Global. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 321-358, mar. 2009.

BLOCK, G; PATTERSON, B; SUBAR, A. **Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence.** Nutrition and Cancer, v. 18, p. 1-29, 1992.

BRASIL. 1986. **Resolução CONAMA nº 3, de 17 de fevereiro de 1986. Dispõe sobre procedimentos relativos a estudo de impacto ambiental.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p. 2548 – 2549, 1986.

BRASIL. 1990**. Resolução CONAMA, nº 3, de 28 de Setembro de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p. 15937 - 15939, 1990.

CAMARGO, R. **A possível futura escassez de água doce que existe na Terra.** São Paulo: Revista Sinergia, v.3, n.1, 2003.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA – IV REGIÃO, **Petroquímica**. Disponível em: < http://www.crq4.org.br/quimica_viva__petroquimica>. Acesso em: 6 Dez. 2015.

DIAS , M. C; et al. **Manual de impactos ambientais:** orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999. 297p.

DYLLICK, G. **Guia da Série de Normas ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental**. Blumenau: Edifurb, 2000. 144p.

DINIS, A.; FRAGA, H. Poluição dos solos: riscos e consequências. **Revista da Faculdade e Ciência e Tecnologia**, v. 97, n. 106, p. 98 - 105, mar. 2005.

FERNANDES, A. A. Controle da Qualidade do Solo. **Sanemaneto, Saúde e Ambiente**, p. 485 – 515, mar. 2005.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro**. 2011. 7º ed. São Paulo: Revista atual e ampl. 2011.

FLEURY, A; FLEURY, M. T. Capacitação competitiva da indústria de transformação de plástico. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 4 - 10, 2000.

FORNO, R. G. **Avaliação da poluição do solo por derivados de petróleo e sua remediação**. 2006, 54 p. Dissertação Mestrado em Ciência do Solo. Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2006.

FRANCO, I; CONTIN, M; BRAGATO, G; NOBILI, M. **Microbiological resilience of Soils Contamined with crude oil**, 2003. Published by Geoderma, 14p.

FREEDMAN, B. **Enviromental ecology**: the ecological effects of pollution, disturbance and other strees. 2. ed. San Diego: Academic Press Inc, 1995, 606p.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. 2004. 81 p. Apostila. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

GOMES, G; DVORSAK, P; HEIL, T. Indústria petroquímica brasileira: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, p. 74-104.

GONZÁLES, M. M. et al (2011). **Metais pesados e compostos orgânicos tóxicos em lodo de esgoto e composto de lixo produzidos na cidade de Porto Alegre, RS**. 2011. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

GRANZIEIRA, M. L. M.; AMORIM, L. F. C.; OLIVEIRA F. B. Aspectos jurídicos da poluição ambiental no pólo petroquímico de Cubatão: o caso Rhodia. **ANAP – Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista**, São Paulo, v. 7, n. 12, mar. 2011. Disponível em: <http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/217/216> Acesso em: 10 maio 2015.

GUERRA, O. **Desafios competitivos para a petroquímica brasileira**. Salvador: PADCT, n. 21, p. 48 – 67, 1994.

GUIMARÃES, A. S. A. **A gestão do trabalho na indústria petroquímica (a forma geral e a variante paternalista**. USP/UNICAMP, Anais do Seminário interdisciplinar 'Padrões tecnológicos e políticos de gestão', n. 12, p. 55 – 69, São Paulo, 1990.

HIRATUKA, C; FURTADO, J. E. M. P; GARCIA, R. C; SABBATINI, R. La nueva petroquimica brasileña: limites para la competitividad sustentable**. Comércio Exterior**, México, v. 52, n. 8, p. 736 – 745, ago. 2002.

LUSTOSA, M. C. J. 2002. 267p. **Meio ambiente, inovação e competitividade na indústria brasileira**: a cadeia produtiva do petróleo. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MACHADO M. L. **Petróleo e petroquímica**. EBC Núcleo de Estudos de Baixo Carbono. 2012. São Paulo.

MARIANO, J. B. **Impactos Ambientais do refino de petróleo**, Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

MARTINS, R. F; SANTOS, A. S. R. Poluição: considerações ambientais e jurídicas. **Revista Imes**, São Paulo, n. 5, p. 97 – 102, dez. 2002.

MATOS, A. T. **Poluição Ambiental**: impactos no meio físico. Viçosa: Editora UFV, 2010.

MCLEAN, J. E.; BLEDSOE, B. E. **Behavior of metals in soil. USEPA**. USEPA, office of solid waste an emergency response and office of research and development, 1992.

MEIRELLES, S. L. **Química verde**: a indústria química e seus impactos na indústria da construção. 2009. 165p. Tese (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MENDEL, P. R. **O processo de gestão de alianças estratégicas: o caso da Braskem S. A**. 2006. 150p. Dissertação (Mestrado em Administração e Negócios) - Faculdade de

Administração, Contabilidade e Economia, Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria – Uso racional e reúso.** Editora Oficina de Textos. São Paulo, 144 p. 2005.

MOURA, A. N. **Remediação de áreas contaminadas com metais pesados utilizando *acidithiobacillus sp***. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MUSTAFA, G. S. 1998. 115p. Reutilização de Efluentes Líquidos em Indústria Petroquímica. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Bahia, Bahia, 1998.

NEVES, N. M. S; COUTO, E. R; BRITO, J. R. Rede de monitoramento do ar do pólo petroquímico de Camaçari: uma concepção avançada. **ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Bahia, v. 43, p. 2464 – 2477, 1997.

ODUM, E. **Fundamentos da Ecologia**. 5. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, 823p.

PELEGRIN, D. C; et al. **Remoção de contaminantes petroquímicos de efluentes industriais utilizando coluna de adsorção**. 2011. Reunião Anual de Avaliação PRH-ANP (Engenharia Química e Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

PEREIRA, R. S. Poluição Hídrica: causas e consequências. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 20 – 36, jun. 2004.

PHILIPPI, A; ROMÉRO M. A; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. 6. ed. São Paulo: Manole Ltda, 2012. 1045p.

PIVELI, P. R.; GIORGI, F. C.; WADA, M. L. **Tratamento de efluentes líquidos industriais: tratamento de efluentes líquidos de petroquímica**. 2006. 17p. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - Universidade de São Paulo Escola Politécnica. São Paulo, 2006.

PRIMEL, E. G; et al. Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: predição teórica e monitoramento. **Química Nova**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 605 – 609, nov. 2005.

REBHUN, M; GALIL, N. Technological strategies for protecting and improving the biological treatment of waste-water from a petrochemical complex. **Water Science and Technology**, v. 29, n. 9, p. 133 – 141, 1994.

RESCHKE, K. S. S. **Estudos microbiológicos para tratamento de água subterrânea de áreas contaminadas por hidrocarbonetos**. 2012. 97p. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Vale dos Sinos. São Leopoldo. 2012

ROSA, J. J. **Tratamento de efluentes oleosos por floculação pneumática em linha e separação por flotação – processo FF**. 2002. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SCHOSSLER, G. B.; MORIGI, V. J. **Sustentabilidade e responsabilidade social:** um estudo na empresa Florestal de Alimentos S.A. em Lajeado – RS. Univates: Destaques Acadêmicos. 2011.

SCHUTTE G. R. **Elo Perdido**: Estado, globalização e indústria petroquímica no Brasil. 3. ed. São Paulo: Annablume, 2003. 260p.
SEIFFERT, M. E. B. ISO 14001 **Sistemas de Gestão Ambiental**: Implantação objetiva e econômica. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 239p.

SMOLKA-DANIELOWSKA, D. **Heavy metals in fly ash from a coal-fired power station in Poland. Polish Journal of Environmental Studies**. v. 15, 2006, p. 943-946.

VERITAS, D. N. **Risco e Impacto Ambiental**. Curso sobre estudo de análise de riscos e programa de gerenciamento de riscos, Rio de Janeiro, jul. 2006.

ZIMMERMAN, J. B; MIHELCIC, J. R. **Engenharia ambiental**: fundamentos, sustentabilidade e projeto. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012, 617p.

WIMMER, A. C. S. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica.** 2007. 195p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2007.