

REVISÃO E ANÁLISE DE MÉTODOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DE REFINARIAS DE PETRÓLEO

Carla Cristina Moratori*

Leonardo Santos Andrade*

Resumo:

Este trabalho revisa as metodologias de tratamento e gestão de efluentes aquosos na indústria de refino de petróleo, um setor caracterizado por alto consumo de água e geração de despejos complexos. Os efluentes de refinaria contêm poluentes como óleos, compostos nitrogenados, fenóis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), muitos dos quais são recalcitrantes ou causam ecotoxicidade crônica, mesmo após o tratamento convencional. A revisão aborda o tratamento primário (separadores API/PPI) e a otimização de processos de coagulação/floculação para a remoção de emulsões oleosas. No tratamento secundário, discute-se a degradação biológica e a limitação dos parâmetros tradicionais de descarte, reforçando a necessidade de monitoramento ecotoxicológico e da metodologia TIE (*Toxicity Identification Evaluation*). São analisados os tratamentos avançados (terciários), como a eletrodialise reversa (EDR) e a osmose reversa (OR) combinada com precipitação, essenciais para o reúso de alta qualidade (ex: água de caldeira e resfriamento). Os processos oxidativos avançados (POA), como o Foto-Fenton, mostram-se eficientes na degradação de HPA e outros contaminantes refratários, superando 90% de remoção em certos casos. Finalmente, a aplicação da metodologia diagrama de fontes de água (DFA) é destacada como ferramenta fundamental na otimização da gestão hídrica, visando à redução do consumo de água e a minimização da carga poluente.

Palavras-chave: Efluentes de refinaria; Tratamento terciário; Reúso de água; Ecotoxicidade.

1. INTRODUÇÃO

i. Aspectos gerais

A água é um recurso natural renovável, mas finito, essencial tanto para a sobrevivência biológica quanto para qualquer atividade industrial desenvolvida. A indústria de refino de petróleo, devido à complexidade de seus processos e à demanda por utilidades como vapor e resfriamento, é uma das maiores

* Instituto de Química – UFCAT: ccmoratori@gmail.com, ls_andrade@ufcat.edu.br

consumidoras de água do setor industrial. Essa demanda, combinada com o aumento populacional e a crise hídrica global, cobra um tributo em termos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos.

Historicamente, os preceitos sobre a inesgotabilidade da água, baseada no ciclo hidrológico, têm sido desafiados pela realidade da poluição e da escassez. Diante deste cenário, a gestão de águas residuais tornou-se essencial para questões envolvendo sustentabilidade industrial. O tratamento de efluentes de refinaria é particularmente complexo, pois os despejos contêm uma vasta gama de contaminantes, incluindo óleos, graxas, sólidos suspensos, compostos nitrogenados, sulfetos e HPA. Muitos desses compostos são tóxicos ou recalcitrantes, dificultando a degradação pelos sistemas convencionais.

A legislação ambiental brasileira, notadamente a Resolução CONAMA nº 430/2011, exige que os efluentes sejam lançados nos corpos receptores apenas após o devido tratamento e que obedeçam a padrões e exigências rigorosas. Além disso, o órgão ambiental pode exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento, compatível com as condições do corpo receptor. A simples conformidade com os parâmetros físico-químicos tradicionais nem sempre garante a segurança ambiental. Estudos têm demonstrado que efluentes de refinaria podem estar enquadrados nos padrões de descarte, mas ainda assim apresentar toxicidade crônica, reforçando a necessidade do monitoramento ecotoxicológico (DAFLON, 2013; Resolução CONAMA Nº 430, 2011).

Nesse sentido, este trabalho de conclusão de curso se justifica pela urgência em analisar e propor métodos que vão além da filosofia *end of pipe* (fim de tubo), buscando a otimização na fonte (*in plant control*) e a maximização do reúso e reciclo a partir de um trabalho de revisão e análise que engloba:

- A descrição das fontes e da complexidade dos efluentes gerados nos principais processos de refino.
- A análise da eficiência e das limitações dos processos convencionais, como a coagulação/floculação e o tratamento biológico.
- A avaliação de tecnologias avançadas (terciárias), como processos oxidativos avançados (POA) para eliminação de recalcitrantes e processos de

membrana (osmose reversa e eletrodialise reversa) para dessalinização visando o reúso de alta qualidade.

- A exploração de metodologias de gestão hídrica, como o Diagrama de Fontes de Água (DFA), para otimização de consumo e redução de custos.

2. CONTEXTO DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO E EFLUENTES

i. Processos de Refino e Geração de Efluentes

A refinaria é uma combinação complexa de operações que processam o petróleo bruto, majoritariamente composto por hidrocarbonetos e impurezas como compostos de enxofre, nitrogênio, sais e fenóis. O processamento consiste em desdobrar o petróleo em frações derivadas por meio de operações industriais.

A primeira etapa é a **Unidade de Destilação Atmosférica e a Vácuo**. Nela, o petróleo é fracionado por faixas de ebulição. Antes do fracionamento, o petróleo passa pela **Dessalgadora** (ou dessalinizadora), que remove sais, água e partículas sólidas, sendo o descarte da água da dessalgadora uma fonte de efluente oleoso. A destilação utiliza vapor d'água injetado nos "strippers" para baixar a pressão parcial dos hidrocarbonetos, sendo este vapor condensado no topo da coluna e separado da fase orgânica no tambor de acúmulo. A destilação a vácuo é necessária para fracionar o resíduo pesado (cru reduzido) sem causar craqueamento térmico (que danifica os equipamentos).

Outras unidades importantes geradoras de efluentes são:

- **Craqueamento Catalítico Fluidizado (UFCC):** Transforma frações pesadas em leves (nafta, GLP) por decomposição. A água gerada nessa unidade (Operação II em estudos de reúso) é relevante para otimização hídrica.
- **Hidrorrefino (HDR):** Ganha importância ao redor do mundo, viabilizando o atendimento a crescentes exigências ambientais e de saúde ocupacional, reduzindo emissões de enxofre e nitrogênio e melhorando a qualidade dos produtos.

ii. Consumo Hídrico

O Sistema de Utilidades (que inclui a Estação de Tratamento de Água - ETA, a Estação de Tratamento de Despejos Industriais - ETDI, Torres de Resfriamento e

Sistemas de Geração de Vapor) utiliza grande parte da água em uma refinaria. As **Torres de Resfriamento** são tipicamente os maiores consumidores de água, podendo chegar a 50% ou 60% do consumo total. O efluente gerado nestes sistemas (purga das torres) é uma corrente contaminada, com sais dissolvidos concentrados. O consumo total de água de uma refinaria pode variar, em média, de 0,4 a 1,6 vezes o volume de óleo processado.

3. CARACTERIZAÇÃO E FONTES DOS EFLUENTES DE REFINARIA

A caracterização dos efluentes líquidos gerados nas refinarias é fundamental para a escolha e otimização dos métodos de tratamento. As principais fontes e a natureza dos poluentes são:

i. Natureza e Tipos de contaminantes

O efluente bruto de refinaria é uma mistura complexa, variando em função da matéria-prima e dos processos de refino.

- **Óleos e Graxas (O&G):** São poluentes primários e podem causar a formação de um filme insolúvel na superfície, prejudicando a troca gasosa, o que é crítico para as etapas posteriores de tratamento biológico. O óleo pode estar presente em três formas: livre, emulsificada e solubilizada.
- **Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA):** Compostos orgânicos recalcitrantes, preocupantes por serem tóxicos e potencialmente carcinogênicos, especialmente os tri, tetra, penta e hexacíclicos. Possuem alta afinidade lipofílica e baixa solubilidade em água, com a volatilidade diminuindo à medida que a massa molar aumenta.
- **Compostos nitrogenados e sulfetados:** As águas ácidas de lavagem ácida (provenientes do fracionamento de cru) são as maiores fontes de sulfetos, mercaptanas e fenóis. O SO_x e o NO_x precisam ser reduzidos, principalmente por questões ambientais.

ii. Fontes de Despejos na Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI)

A ETDI de uma refinaria tipicamente recebe duas grandes correntes:

- **Esgoto oleoso:** É composto por efluentes das unidades de destilação, craqueamento, hidrorrefino, parques de bombas e descartes da dessalgadora. Este efluente segue, por gravidade, para os separadores Água/Óleo.
- **Esgoto contaminado:** Constituído por despejos gerados nas áreas de tancagem e purgas de torres de resfriamento. Este efluente é conduzido para uma bacia de contenção, onde se une à saída do tratamento oleoso e segue para o poço de carga do flotor.

4. PROCESSOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento de despejos industriais em refinarias geralmente engloba tratamento preliminar, primário (físico-químico) e secundário (biológico).

i. Tratamento Preliminar e Primário (Físico-Químico)

Esta fase visa à remoção de sólidos grosseiros e do óleo livre e emulsificado, protegendo as etapas subsequentes.

- **Gradeamento e Desarenação:** São operações iniciais. O gradeamento retém sólidos grosseiros. A desarenação remove areia e sólidos sedimentáveis por decantação, protegendo equipamentos como bombas e raspadores.
- **Separação Água/Óleo (SAO):** Envolvem separadores gravitacionais, como os tipos **API** e **PPI**, que removem o óleo livre. Os separadores API são projetados para remover gotas com diâmetro superior a 150 μm , reduzindo o teor de óleo para valores inferiores a 100 ppm. Os separadores PPI (Placas Paralelas ou Inclínadas) são mais eficientes e compactos, removendo gotas maiores que 50 μm e reduzindo o teor de óleo para menos de 50 ppm.
 - ✓ **Remoção Mecânica e Compostos Orgânicos Voláteis (VOC):**
Nos separadores API, a camada de óleo livre formada na superfície é conduzida por raspadores de superfície (tipo corrente e lâminas) e removida por tambores rotativos ou tubos coletores. Os resíduos sedimentados (lodo oleoso) no fundo também são raspados. A liberação dos VOC é um desafio para o processo SAO; para mitigá-lo, são instaladas coberturas (fixas e flutuantes) e um sistema de exaustão que succionam os gases (incluindo H_2S) e os encaminha

para tratamento em **biofiltro** e filtro de carvão ativado, alcançando remoção superior a 95% de VOC e H₂S.

- **Coagulação/Floculação/Flotação:** Esta etapa é essencial para desestabilizar emulsões oleosas, removendo o óleo emulsionado. A maior parte dos coloides (partículas em suspensão) em efluentes naturais torna-se carregada negativamente e são mantidos em suspensão por forças eletrostáticas de repulsão (Potencial Zeta). A adição de coagulantes químicos desestabiliza essas emulsões, permitindo a formação de flocos.
 - ✓ **Estudo de Eficiência:** Ensaio comparativos (KNORST, 2012) mostraram que o coagulante Al₂(SO₄)₃ teve melhor eficiência do que o FLOC C[®], e o floculante Mafloc[®] superou o FLOC F[®]. O melhor resultado de clarificado foi obtido com Al₂(SO₄)₃ (140 ppm) e Mafloc[®] (2 ppm), resultando em 1,20 NTU de turbidez e 15,6 ppm de óleos e graxas.
 - ✓ **Flotação:** É a operação unitária para separar partículas sólidas ou líquidas através da injeção de bolhas de gás (geralmente ar), que se aderem aos flocos e promovem a ascensão à superfície. A Flotação por Ar Dissolvido (FAD) é comumente utilizada.

ii. Tratamento Secundário (Biológico)

O efluente clarificado segue para o tratamento secundário, que visa a degradação da matéria orgânica biodegradável (DBO) e a remoção de nutrientes.

- **Sistemas de biodiscos:** São reatores onde a biomassa cresce aderida a discos rotativos. Os discos ficam parcialmente imersos no efluente e parcialmente expostos ao ar, promovendo a aeração. A unidade de biodiscos pode ser segmentada para diferentes finalidades: degradação de DBO, nitrificação, denitrificação e polimento (KNORST, 2012).
- **Otimização biológica:** Em estudos utilizando o fungo *Aspergillus niger* em reatores de leito fixo (SANTAELLA *et al*, 2009), o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de oito horas foi o mais indicado para remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) solúvel por apresentar eficiência similar aos maiores TDH, mas com menor custo. Houve remoção praticamente total de

nitrito (99,7%) e produção de amônia (amonificação). É importante notar que concentrações de fenóis totais obtidas nos efluentes, mesmo com baixas eficiências de remoção, conseguiram obedecer às exigências legais (0,5 mg/L).

5. DESAFIOS ANALÍTICOS E TRATAMENTOS AVANÇADOS (TERCIÁRIO)

i. Desafios Analíticos e Ecotoxicidade

Apesar do tratamento convencional, efluentes de refinaria podem conter contaminantes recalcitrantes ou vestígios de substâncias que, mesmo em baixas concentrações, causam impacto ambiental.

- **Insuficiência de parâmetros tradicionais:** Os resultados preliminares de ensaios (DAFLON, 2013) demonstraram que, mesmo quando os parâmetros tradicionais de monitoramento (como DBO, DQO) estão em conformidade com as exigências de descarte, os efluentes ainda podem apresentar toxicidade crônica.
- **Ecotoxicidade e TIE:** Torna-se necessário o monitoramento dos efluentes por meio de ensaios crônicos, utilizando o conceito de **CENO** (Concentração de Efeito Não Observado, 25%) e **CEO** (Concentração de Efeito Observado, 50%). A metodologia **TIE** (*Toxicity Identification Evaluation*) é aplicada para identificar os compostos químicos responsáveis por essa toxicidade. Esta abordagem é crucial para nortear estudos posteriores e melhorar a qualidade do efluente.

ii. Processos Oxidativos Avançados (POA)

Os POA são tecnologias promissoras para a degradação de poluentes tóxicos e resistentes (recalcitrantes). Baseiam-se na geração do radical hidroxila, que possui um forte poder oxidante ($E = +2,80$ V) e é capaz de oxidar um extenso grupo de substâncias orgânicas.

- **Fenton e Foto-Fenton:** O processo Fenton utiliza peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e Fe^{2+} . O processo Foto-Fenton é ainda mais eficaz, utilizando irradiação (UV ou solar) para melhorar o rendimento, regenerando o Fe^{2+} e

fechando o ciclo catalítico. O Foto-Fenton demonstrou (MORAES, 2012; COELHO, 2004) alta capacidade de degradação, superando 90% de remoção de HPA (como Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno e Benzo(a)pireno). Essa degradação atendeu aos padrões estabelecidos pela RESOLUÇÃO CONAMA nº 357/2005 (0,05 g/L) para esses compostos.

- **Toxicidade e Modelagem:** O tratamento com POA (Fenton e Foto-Fenton) comprovou-se eficiente na redução da toxicidade, aumentando a porcentagem de sobreviventes em testes ecotoxicológicos. A degradação de HPA por POA pode ser modelada utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA), permitindo prever a otimização do processo e o tempo necessário para que o efluente atinja o valor de Carbono Orgânico Total (COT) requerido.

iii. Tratamentos Terciários para Reúso (Dessalinização)

Para o reúso em aplicações mais exigentes, como água de caldeira ou reposição de torre de resfriamento, é essencial remover sais dissolvidos (TDS), o que requer o tratamento terciário.

iii.1 Osmose Reversa (OR) e Pré-Tratamento

A OR é um processo de membrana consolidado na dessalinização e desmineralização, produzindo um permeado de elevada pureza. A membrana de OR atua como uma barreira quase absoluta para partículas, colóides, íons e orgânicos. A qualidade da água obtida é tão alta que pode atender aos requisitos mais restritivos, como os recomendados pela ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) para caldeiras de alta pressão.

Contudo, a OR é altamente sensível à incrustação (*scaling*) causada pelo acúmulo de sais de baixa solubilidade (como sulfato de cálcio, sílica, e sais de bário e estrôncio). Para proteger as membranas, é crucial o pré-tratamento.

- **Precipitação como Pré-tratamento:** O efluente bruto da refinaria demonstrou (MOREIRA, 2017) estar supersaturado em sílica (SiO_2) e barita (BaSO_4). A estratégia proposta é a precipitação química para remover os íons incrustantes antes da OR. Foi identificado que a elevação do pH da

solução para **9,5** é a condição ideal para coprecipitar, em média, 90% dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} e H_4SiO_4 presentes.

- **Eficácia:** O pré-tratamento de precipitação pode reduzir significativamente o potencial de incrustação nas membranas em níveis de 96% para barita, 91,6% para sílica e 99,97% para complexos de apatita. Sem a precipitação, a incrustação seria muito maior.

iii.2 Eletrodialise Reversa (EDR)

A EDR é um processo alternativo que remove íons dissolvidos (TDS) utilizando membranas de troca iônica (catiônicas e aniônicas) sob a aplicação de um campo elétrico.

- **Atrativos da EDR:** A EDR é considerada mais robusta e tolerante à variação da qualidade da água de alimentação do que a OR. Possui maior resistência à variação de pH e a desinfetantes (hipoclorito). As membranas de EDR geralmente têm uma vida útil superior (cerca de 10 anos).
- **Limitações e Parâmetros Críticos:** A EDR remove somente íons (substâncias carregadas). Não é uma barreira eficiente para sílica (composto apolar), compostos orgânicos ou turbidez. Por isso, o pré-tratamento é vital. O limite de COT na alimentação da EDR é de 15 ppm. A operação sem pré-tratamento com carvão ativado (COT de 18-30 ppm) reduziu a taxa de remoção de cloretos e TDS (MACHADO, 2008).
- **Otimização Operacional:** Estudos (MACHADO, 2008) em unidade piloto (REGAP) visaram o reúso em sistemas de resfriamento, utilizando a concentração de cloretos (100 ppm) como parâmetro de controle. A configuração mais eficiente encontrada foi: 2 estágios, vazão de $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$ e voltagem de 275 V. Nesta condição, a eficiência de remoção de TDS e cloretos foi de 63% e 70%, respectivamente. O consumo energético total obtido foi de $1,95 \text{ kWh/m}^3$ de produto tratado, levemente acima da referência de literatura (1 a $1,5 \text{ kWh/m}^3$) devido ao maior consumo de bombeamento na planta piloto.

6. GESTÃO HÍDRICA E MINIMIZAÇÃO DOS EFLUENTES

i. Princípios de Gerenciamento

A gestão de águas residuais em refinarias deve seguir a hierarquia dos 3 R: Redução (conservação), Reúso (sem tratamento prévio) e Reciclo (com tratamento de qualidade). A redução na fonte oferece o maior potencial de economia e minimização de investimentos.

A conservação da água pode ser alcançada por meio de ações como otimização de procedimentos operacionais (ex: regeneração de filtros/resinas via automação) e uso de analisadores *on-line* e otimização do balanço energético da planta.

Um estudo em refinaria, CARVALHO (2006) demonstrou que a implementação de um programa de gerenciamento resultou em uma redução de consumo de água de 108000 m³/ano na etapa de redução, 6100 m³/ano no reúso e 130000 m³/ano no reciclo. O resultado global foi uma redução de 80% na vazão de efluente descartado e redução na concentração dos principais contaminantes (DQO, DBO e fenol).

ii. Diagrama de Fontes de Água (DFA) para Máximo Reúso

O DFA é um procedimento algorítmico utilizado para definir as metas de consumo mínimo de água e maximizar o reúso ou a regeneração, considerando as restrições operacionais, especialmente a concentração máxima permitida ($C_{in,máx}$). O DFA é uma ferramenta da Análise Pinch que trata a minimização de contaminantes.

- **Metodologia:** O DFA é construído em intervalos de concentração e representa as operações de transferência de massa. O ponto de Pinch (estrangulamento) é o ponto na curva composta que determina as operações que precisam ser otimizadas e a meta mínima de consumo de água limpa.
- **Regras heurísticas:** Para garantir o consumo mínimo, o DFA segue regras como: utilizar a fonte de água com maior concentração com prioridade. Para múltiplos contaminantes (como cloro, amônia, fenol e pH), deve-se selecionar um contaminante de referência e ajustar as concentrações dos demais para evitar resultados negativos.

- **Viabilidade econômica do reúso:** A aplicação da metodologia DFA mostrou que as propostas de reúso e reciclo podem ser economicamente muito atrativas (HIGA, 2006). Analisando três opções de reúso, a melhor foi a que propôs o reúso da água da Operação II (UFCC) na Operação IV (dessalinização) e o reciclo da ETDI. Esta opção resultou em uma redução de aproximadamente 13,8% no custo anual total (cerca de R\$124 milhões/ano, quando comparado ao cenário sem reúso). A redução total da vazão de água limpa consumida foi de 19,1% no modelo simplificado.

CONCLUSÃO

Com base na revisão e análise dos métodos de tratamento e gestão de efluentes de refinaria, conclui-se que o desafio da indústria reside na complexidade dos poluentes e na necessidade de ir além da conformidade legal.

i. Limitações do tratamento convencional: O tratamento físico-químico (SAO e Coagulação/Floculação/Flotação) é eficaz na remoção de óleos livres e emulsificados, sendo o $Al_2(SO_4)_3$ e o Mafloc[®] quimicamente superiores aos reagentes tradicionais para essa finalidade. O tratamento biológico (Biodiscos) é eficaz para remoção da DBO e nitrificação, mas o efluente resultante pode ainda apresentar toxicidade crônica, o que exige a avaliação ecotoxicológica e o uso da metodologia TIE.

ii. Eficácia dos Tratamentos Avançados:

- **Degradação de recalcitrantes:** Os Processos Oxidativos Avançados (POA), especialmente o Foto-Fenton, são essenciais para degradar contaminantes recalcitrantes de alta massa molar, como HPA, atingindo eficiências superiores a 90% e garantindo o atendimento aos limites legais mais rigorosos.
- **Reúso de alta qualidade:** Para o reúso em caldeiras e torres de resfriamento, o tratamento terciário é mandatório para a remoção de Sólidos Dissolvidos Totais (TDS). A combinação de Osmose Reversa (OR) com um pré-tratamento de precipitação (pH 9,5) mostrou-se técnica e

economicamente viável para mitigar a incrustação de sais de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} e H_4SiO_4 .

- **Eletrodíálise Reversa (EDR):** A EDR é uma alternativa robusta para redução de sais, mais tolerante a variações da água de alimentação que a OR, mas requer pré-tratamento eficiente para manter o COT abaixo de 18 ppm e evitar o *fouling*.

iii. Otimização Hídrica e Econômica: A adoção de ferramentas de gestão hídrica, como o Diagrama de Fontes de Água (DFA), permite otimizar o reuso interno e o reciclo do efluente final. A estratégia de reuso otimizada resultou em uma significativa redução no consumo de água (19,1% no modelo simplificado) e uma expressiva redução no custo operacional anual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, K. S., ANTONELLI, R., GAYDECZKA, B., GRANATO, A. C., MALPASS, G. R. P. **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais.** Revista Ambiente & Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 11, n. 2, abr/jun 2016.
- BARROS, L. C.; FRANCO, M. J.; MANO, A. P. **Tratamento de Águas Residuais em Refinarias: Enquadramento Geral.** Anais do 7º Congresso de Água. Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH), 1-16, 2004. Disponível em: <https://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/73.PDF>. Acesso em 30/10/2025.
- CARVALHO, J. H. S. **Conservação de água, tratamento, reuso e reciclo de efluentes em refinaria de petróleo.** Dissertação (Mestrado em Química Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- COELHO, A. D. **Tratamento das águas ácidas de refinaria de petróleo pelos processos Fenton e Foto-Fenton.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

DAFLON, D. A., CAMPOS, J. C. **Avaliação ecotoxicológica do efluente de refinaria - Resumo**. Estudo Técnico sobre Ecotoxicidade e TIE, Reunião Anual de Avaliação de PRHS/ANP, 7º PDPETRO, Aracaju/SE, 2013. Disponível em:

https://www.portalabpg.org.br/site_portugues/anais/anais7/repositorio/resumo/483510300620135097.pdf. Acesso em 30/10/2025.

HIGA, C. M.; PENHA, N. P. **Minimização de Efluentes Aquosos: O Caso de uma Refinaria de Petróleo**. Projeto de Final de Curso – Escola de Química (UFRJ), 2006.

KNORST, A. J. **Estudo da eficiência de coagulação-floculação na remoção de óleo do efluente gerado em uma empresa do ramo petroquímico**. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química (UFRGS), 2012.

MACHADO, M. B. et al. **Avaliação do processo de eletrodialise reversa no tratamento de efluentes de refinaria de petróleo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia (UFRGS), 2008.

MORAES, S. C. G. **Avaliação do tratamento de efluentes de uma unidade de refino de petróleo por processos oxidativos avançados utilizando redes neurais artificiais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química (UFPE), 2012.

MOREIRA, R. H. **Desenvolvimento de um processo de reúso do efluente de refinaria baseado em sistema de osmose reversa combinado com precipitação**. Dissertação de Mestrado em Ciências (USP), 2017.

ODOURNET. **Tratamento de emissões de odores de refinarias**. Material institucional – Site. Disponível em: <https://www.odournet.com/pt-pt/ambiental/sectores-industriais/tratamento-de-emissoes-de-odores-de-refinarias/>. Acesso em 30/10/2025.

SANTAELLA, S. T. et al. **Tratamento de efluentes de refinaria de petróleo em reatores com *Aspergillus niger***. Engenharia Sanitária Ambiental, v.14, n.1, p.139-148, jan/mar 2009.