



AVALIAÇÃO DE TOXICIDADE CRÔNICA DE ADITIVOS QUÍMICOS PRESENTES EM ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO UTILIZANDO OURIÇOS-DO-MAR

Fernanda Outes Amigo⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da EQ/UFRJ.

Juacyara Carbonelli Campos⁽²⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Licenciatura em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Doutorado em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professora Titular da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Sarah Dario Alves Daflon⁽³⁾

Bióloga pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da EQ/UFRJ.

Letícia Sobral Maia dos Santos Lima⁽⁴⁾

Bióloga pelo Centro Universitário da Cidade. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da EQ/UFRJ. Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da EQ/UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, 149. Escola de Química - UFRJ Centro de Tecnologia - Bloco E - Sala E206 - Ilha do Fundão - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP 21941-909 - Tel./Fax: (21) 3938-7640 - e-mail: fernandaamigops@gmail.com.

RESUMO

O efluente de maior volume obtido na exploração e produção de óleo e gás é a água produzida. Para determinar como a água produzida se comporta no oceano, é necessário saber o destino dos componentes quando estão no ambiente e seus efeitos biológicos, incluindo toxicidade aguda e crônica, nas concentrações e tempo de exposição no ambiente. Este trabalho avaliou a toxicidade crônica de curta duração com embriões de ouriço-do-mar (*Echinometra lucunter*) com aditivos químicos presentes em água produzida de petróleo: anti-incrustante, antiespumante, tensoativo, biocida, agente redutor e desemulsificante. Ensaios de toxicidade crônica são uma exigência da legislação ambiental (CONAMA 393) para descarte de água produzida em ambientes marinhos e foram realizados conforme os procedimentos descritos em ABNT NBR 15350/2020. Os resultados obtidos indicaram que a maioria dos aditivos químicos nas concentrações avaliadas representam elevado risco aos organismos aquáticos, sendo que o biocida e desemulsificante apresentaram maior toxicidade crônica, mesmo em baixas concentrações. O agente redutor não apresentou toxicidade na concentração avaliada. O presente trabalho evidencia a importância de avaliar efeitos nocivos dos aditivos químicos comumente empregados na plataforma de petróleo e da necessidade de processos de tratamento que sejam capazes de reduzir/remover esses compostos tóxicos antes que causem danos à biota aquática.

PALAVRAS-CHAVE: Toxicidade crônica, água produzida, petróleo.

INTRODUÇÃO

A alta demanda por petróleo e vasta exploração de poços provocam danos irreparáveis ao meio ambiente e comprometem sua qualidade (Assunção *et al.*, 2018). As atividades de exploração e produção de óleo e gás, além de contribuírem para alterações climáticas com a emissão de CO₂ na atmosfera, geram resíduos e efluentes, dentre os quais se destaca a água produzida (Garbado, 2007; Assunção *et al.*, 2018). Esta, por sua vez, é o maior efluente gerado pela indústria petrolífera e, por apresentar composição complexa e componentes nocivos ao ambiente, necessita de tratamento específico para todos os fins a qual for direcionada (Garbado, 2007; Assunção *et al.*, 2018).

Seu uso, entretanto, exige o enquadramento em critérios de qualidade da água, que variam com a atividade, como forma de evitar a poluição de águas subterrâneas e corpos d'água (Gabardo, 2007). Em geral, os destinos

mais comuns da água produzida são a reinjeção no reservatório em que foi produzida ou em outro do mesmo campo; o descarte no mar, quando geradas em atividades *offshore* e o descarte nos corpos hídricos ou solos próximos aos empreendimentos, quando geradas em atividades *onshore* (Gomes, 2014).

Devido aos inúmeros contaminantes com concentrações variáveis presentes na água produzida, diferentes tecnologias de tratamento foram propostas para o tratamento desse efluente (Gomes, 2014). O tratamento da água produzida facilita a gestão da água, incluindo a sua reutilização para fins agrícolas e industriais (Al-Ghouti *et al.*, 2019). Além disso, reduz as concentrações de compostos químicos possivelmente danosos ao ambiente que se encontram nesse efluente, fazendo com que ele alcance os parâmetros necessários para descarte ou reinjeção (Gomes, 2014). O conhecimento detalhado de sua composição química é fundamental para compreensão dos efeitos de seu lançamento no ecossistema marinho, pois, dentre outros fatores, pode causar possíveis efeitos biológicos, como toxicidade aguda e crônica (Gabardo, 2007).

Considerada uma mistura de produtos químicos orgânicos e inorgânicos dissolvidos e particulados, a água produzida é um efluente complexo, de composição semelhante à produção de petróleo e gás (Al-Ghouti *et al.*, 2019). Devido à variação das características da água produzida que ocorre entre as regiões, é importante a realização de estudos sobre seu descarte e suas consequências ao ambiente (Al-Ghouti *et al.*, 2019; Fakhru'l-Razi *et al.*, 2009).

Produtos químicos de tratamento são adicionados ao campo de óleo ou gás para o gerenciamento dos problemas operacionais, como auxiliar na recuperação e bombeamento de hidrocarbonetos, prevenir corrosão no sistema, facilitar o processo de separação de óleo, gás e água e prevenir formação de hidrato de metano em sistemas de produção de gás (Gomes, 2014). Dentre os aditivos químicos utilizados estão biocidas, tensoativos, anti-incrustantes, desemulsificantes, antiespumantes, entre outros (Al-Ghouti *et al.*, 2019; Neff *et al.*, 2011; Fink, 2015; Amap, 2010).

A solubilidade dos aditivos químicos e o ponto de injeção influenciam na quantidade que pode ser descarregada no ambiente marinho (Neff, 2002). Parte dos aditivos químicos apresenta maior solubilidade em óleo, descartando a necessidade de mecanismos de eliminação. Outros, entretanto, são eliminados no mar junto com a água produzida, por serem solúveis em água (Neff, 2002; Bakke *et al.*, 2013). Após o tratamento da água produzida, a concentração desses compostos geralmente é baixa. Problemas ambientais podem ocorrer com o uso frequente ou em concentrações maiores do que o necessário (Al-Ghouti *et al.*, 2019; Neff *et al.*, 2011; Neff, 2002).

Dentre os principais aditivos utilizados na plataforma de petróleo, encontram-se os biocidas que são usados para esterilizar e eliminar microrganismos responsáveis por causarem, principalmente, incrustações em equipamentos e tubulações, produção biogênica de sulfeto e corrosão (Reis, 1996; Kelland, 2014; Keasler *et al.*, 2017). Esses aditivos podem ser classificados como oxidantes e não oxidantes, dependendo do mecanismo de ação (Campbell, 2017). Os biocidas não oxidantes, em geral, são usados em dosagens altas, na faixa de 400 a 1000 mg/L (Kelland, 2014; Campbell, 2017). Nesse trabalho foi usado um biocida à base de 2,2-dibromo-3-nitripropionamida (DBNPA) e derivados de glicol, pois o DBNPA é um biocida não oxidantes regularmente usado nas indústrias de petróleo e gás (Kelland, 2014).

Já o desemulsificante, desestabiliza a emulsão óleo-em-água a fim de possibilitar a retirada de óleo para a destinação final da água produzida (Thomas, 2001; Fink, 2015; Ojinnaka *et al.*, 2016). Os desemulsificantes solúveis em água são os mais utilizados e as concentrações usuais desse aditivo químico variam entre 5 a 5000 mg/L, com base na fase aquosa (Fink, 2015; Kelland, 2014). Os desemulsificantes podem ser não iônicos ou iônicos. Os mais usados são copolímeros em bloco óxido de etileno/óxido de propileno (EO/PO), polímeros de vinil, entre outros (Kelland, 2014; Fink, 2015).

Os antiespumantes atuam reduzindo a tensão superficial da espuma e enfraquecendo as bolhas e são usados para prevenir, retardar a formação ou eliminar a espuma já formada, contribuindo para que não ocorra a redução da capacidade dos equipamentos (Daltin, 2011; Kelland, 2014; Garrett, 1992; Fink, 2015). Esses aditivos são materiais hidrofóbicos e a concentração normalmente utilizada varia de 1 a 10 mg/L, mas pode haver dosagens de até 100 mg/L (Kelland, 2014; Garrett, 1992; Fink, 2015). As principais classes de antiespumantes usadas na indústria de petróleo e gás são silicones e fluorossilicones e poliglicóis (Garrett, 1992; Kelland, 2014).

Já os anti-incrustantes são aditivos solúveis em água, que previnem ou retardam o crescimento de cristais que, ao se depositarem em uma superfície, acarretam problemas à indústria como bloqueio de tubulações, danos à equipamentos, entre outros (Kelland, 2014; Olajire, 2015). No geral, esses aditivos são injetados, continuamente em baixas concentrações, de 5 a 25 mg/L, e, os mais usados na indústria de petróleo e gás são o ácido fosfônico policarboxílico e dietileno triamina pentametileno fosfonato (Olajire, 2015; Dawson, 2010).

Em sistemas de tratamento de água, a fim de impedir que as membranas de poliamida sejam danificadas pelo cloro, são usados agentes redutores, que são capazes de neutralizar e inibir o efeito oxidante de espécies de cloro (Singh, 2015; Ho e Sirkar, 1992; Baker, 2004; Chian *et al.*, 2007; Basile e Nunes, 2011; Gu *et al.*, 2012). Os agentes redutores mais usados são bissulfito de sódio e metabissulfito de sódio e, para ocorrer a remoção de 1 mg/L de cloro livre, são necessários 1,46 mg/L de bissulfito e um tempo mínimo de contato de 5 segundos (Chian *et al.*, 2007; Basile e Nunes, 2011; Gu *et al.*, 2012; Singh, 2015). Neste trabalho foi utilizado um agente redutor à base de bissulfito.

Outro aditivo químico comumente utilizado são os tensoativos que alteram significativamente as propriedades da superfície, principalmente reduzindo a tensão superficial ou interfacial (Sheng, 2013). Na indústria de petróleo e gás, esses aditivos são usados na recuperação melhorada de petróleo (Myers, 2005). Conforme a natureza do grupo polar, os tensoativos podendo ser classificados como aniônicos, catiônicos, não iônicos e anfóteros (Bain e Company, 2014) e são empregados na faixa de 10 a 200 mg/L (Johnsen *et al.* 2004). Nesse estudo, foi avaliado o brometo de n-dodeciltrimetilamônio.

Ainda que em baixas concentrações, alguns aditivos podem apresentar elevada toxicidade (Duraismy *et al.*, 2013). Devido à complexa composição da água produzida e as possíveis interações que ocorrem entre seus componentes, a ecotoxicidade nesse efluente procedente de aditivos químicos é desconhecida (Strømgren *et al.*, 1995). Os ensaios ecotoxicológicos são realizados com organismos-teste que, devido ao pequeno limite de tolerância ecológica a determinadas substâncias químicas, apresentam alterações fisiológica, morfológica ou comportamental quando expostos a determinados poluentes (Magalhães e Ferrão Filho, 2008).

Os ensaios de toxicidade crônica permitem avaliar os possíveis efeitos adversos resultantes de uma exposição prolongada, abrangendo parte ou todo o ciclo de vida do organismo (Massaro, 2006). O fato de uma substância química não apresentar efeitos tóxicos em ensaios de toxicidade aguda não indica que não seja tóxica a organismos aquáticos (Costa *et al.*, 2008). O mais indicado neste contexto, é a realização de ensaios crônicos, que em geral, são feitos com as fases mais sensíveis do ciclo de vida dos organismos-teste, como a embrionária e a larval (Cortez, 2011).

No Brasil, o descarte da água produzida na natureza deve estar em conformidade com as diretrizes ambientais do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispostas nas Resoluções CONAMA nº 393/2007 e CONAMA nº 430/2011. A Resolução CONAMA 393/2007 é específica para o gerenciamento de água produzida e considera que cerca de 80% do petróleo nacional é produzido através de plataformas marítimas localizadas ao longo da costa brasileira, e, portanto, compreende a regulamentação de padrões e práticas relacionados a água produzida e seu lançamento, direta ou indiretamente, no ambiente marinho. Um dos parâmetros exigidos no CONAMA 393/2007 é o ensaio de toxicidade crônica na água produzida antes de seu descarte. O IBAMA por sua vez determinou que o organismo-teste a ser utilizado para tal fim seja o ouriço-do-mar.

A Norma ABNT 15350/2020 especifica um método de ensaio para avaliação da toxicidade crônica de curta duração sobre o desenvolvimento embriolarval de três espécies de ouriços-do-mar (*Lytechinus variegatus*, *Arbacia lixula* e *Echinometra lucunter*). Devido à inclusão do ouriço-do-mar *Lytechinus variegatus* na lista de espécies vulneráveis na Portaria Ministério do Meio Ambiente (MMA) 445/2014 (BRASIL, 2014), recomenda-se que *Echinometra lucunter* seja utilizada, uma vez que também está indicada para os ensaios ecotoxicológicos na norma ABNT 15350/2012.

Os ouriços-do-mar são invertebrados da Classe Echinoidea, pertencentes ao Filo Echinodermata. Exclusivamente marinhos, podem ser encontrados em todas as profundidades do planeta. Os adultos são predominantemente bentônicos, e as larvas são componentes extremamente importantes para a ecologia das comunidades pelágicas (Ventura, 2016; Brusca *et al.*, 2018).

A espécie *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) pertence à família Echinometridae, são negros e têm espinhos grossos e resistentes (ABNT, 2020). Sua capacidade de escavar substratos firmes, com o auxílio da lanterna de

Aristóteles, lhes permite modificar a estrutura da comunidade que ali vive, tendo, portanto, uma expressiva importância ecológica (Sciani, 2012; Schoppe e Werding, 1996). A distribuição dessa espécie se estende da Carolina do Norte, nos Estados Unidos, até a região sul do Brasil, assim como na costa oeste da África (Sciani, 2012; ABNT, 2020).

OBJETIVOS

Avaliar a toxicidade crônica dos principais aditivos químicos presentes na água produzida de petróleo através da determinação do desenvolvimento embriolarval de ouriço-do-mar (*Echinometra lucunter*), a partir da exposição à diferentes concentrações.

METODOLOGIA

A seguir, será descrito, de forma resumida, o que está preconizado na Norma ABNT 15350:2020, onde foram avaliados os percentuais de larvas com desenvolvimento normal e larvas afetadas (consideradas não formadas e/ou mal-formadas).

Coleta dos organismos e obtenção dos gametas

Os ouriços-do-mar (*Echinometra lucunter*) foram coletados na Praia Vermelha, situada no bairro da Urca (Rio de Janeiro – RJ) e levados ao laboratório, onde foram mantidos em um balde contendo água marinha, preparada com o sal sintético Maxxy Reef Plus. A água marinha sintética também foi utilizada em todos os demais processos de ensaio. A licença ICM-BIO para autorização para atividades com finalidade científica é no. 66841-2.

Os espécimes foram lavados com água marinha, a fim de remover possíveis dejetos aderidos ao corpo do animal. Para estimular a liberação dos gametas, foram injetados 4mL de KCl, solução 0,5 mol/L, na região perioral do animal (1mL em cada um dos quatro pontos diametralmente opostos). Logo após, os ouriços-do-mar foram homogeneizados, para que o KCl se espalhe na cavidade celômica, e os gametas liberados pelos gonóporos, localizados na região aboral do ouriço-do-mar. A sexagem dos gametas é feita pela coloração, visto que não há dimorfismo sexual externo. Enquanto os óvulos da espécie *Echinometra lucunter* são alaranjados, o esperma é branco.

Para a obtenção dos óvulos, após o início da liberação, as fêmeas foram dispostas em um béquer com a superfície aboral voltada para baixo, de forma que os óvulos expelidos ficassem em contato com a água do mar. Os óvulos de cada fêmea foram analisados separadamente em microscópio óptico, sendo considerados viáveis os com formato esférico, liso e homogêneo. Os óvulos viáveis foram lavados com água do mar sintética e passados três vezes em malha de 350µm para remoção de possíveis dejetos, o sobrenadante foi descartado. A solução de óvulos foi avolumada para 100mL.

Em relação ao esperma, foi coletado 0,5mL diretamente dos gonóporos, com o auxílio de uma pipeta Pasteur e alocado em um béquer acondicionado em um isopor com gelo. Após o término da lavagem dos óvulos, foi feita a solução espermática, a fim de ativar os espermatozoides, nas proporções de 0,5mL de esperma para 24,5mL de água do mar.

Fecundação dos gametas

A fecundação foi realizada imediatamente após o preparo da solução espermática, acrescentando 1mL da solução espermática ao béquer contendo a solução de óvulos. Em seguida, foi homogeneizada levemente a mistura e, após cinco minutos, observado ao microscópio óptico a presença da membrana de fecundação que confirma a ocorrência da fecundação.

Após 2 horas da fecundação, para que estejam em divisão celular, os ovos foram adicionados às soluções-teste. Os experimentos foram conduzidos em tubos de ensaio contendo 10mL de solução-teste, sendo utilizadas quatro réplicas para cada concentração analisada. Em cada tubo de ensaio foram introduzidos cerca de 300 ovos e, após,

foram mantidos em incubadora a 27°C, com fotoperíodo de 16h de luz e 8h no escuro por um período de 36 a 42 horas.

Com o intuito de validar os resultados obtidos nos experimentos, foram realizados ensaios com a substância de referência DSS (dodecil sulfato de sódio) em cinco concentrações (0,25mg/L; 0,5mg/L; 1,0mg/L; 2,0mg/L e 4,0mg/L), cada uma com quatro réplicas. Além disso, foram preparadas dez réplicas para o controle (somente com água do mar).

Aditivos químicos avaliados

Foram avaliados seis aditivos químicos cujas concentrações se basearam no trabalho de Johnsen *et al.* (2004), Dawson (2010) e Kelland (2014) como sendo concentrações típicas de água produzida. As soluções-teste foram preparadas com água do mar sintética, como segue:

- Anti-incrustante 0,039mg/L; 0,078mg/L; 0,156mg/L; 0,312mg/L; 0,625mg/L; 1,25mg/L; 2,5mg/L e 5,0mg/L);
- Antiespumante (0,156mg/L; 0,312mg/L; 0,625mg/L; 1,25mg/L; 2,5mg/L; 5,0mg/L; 10,0mg/L; 20,0mg/L e 40,0mg/L);
- Tensoativo (1,17mg/L; 2,34mg/L; 4,68mg/L; 9,375mg/L; 18,75mg/L; 37,5mg/L; 75,0mg/L; 150,0mg/L e 300,0mg/L);
- Biocida (0,78mg/L; 1,56mg/L; 3,125mg/L; 6,25mg/L; 12,5mg/L; 25,0mg/L; 50,0mg/L; 100,0mg/L e 200,0mg/L);
- Agente redutor (0,078mg/L; 0,156mg/L; 0,31mg/L; 0,625mg/L; 1,25mg/L; 2,5mg/L; 5,0mg/L; 10,0mg/L e 20,0mg/L);
- Desemulsificante (0,17mg/L; 0,35mg/L; 0,7mg/L; 1,4mg/L; 2,81mg/L; 5,62mg/L; 11,25mg/L; 22,5mg/L e 45,0mg/L).

Encerramento e validação do ensaio

Em um tubo controle foram adicionadas 3 gotas de lugol e, após decantar, foram contabilizadas as larvas normais na câmara de *Sedgwick-Rafter*. Para que o ensaio fosse validado, pelo menos 80% dos 100 primeiros pluteus foram contabilizados em quatro réplicas do controle como sendo saudáveis. O período máximo para o encerramento do ensaio foi de 42h contados a partir da adição de ovos nos tubos de ensaio, período após o qual, foram adicionadas 3 gotas de lugol em todas as réplicas dos ensaios.

No início e final dos ensaios de toxicidade foram realizadas análises físico-químicas de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e salinidade da maior e da menor concentração avaliada.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada através do programa estatístico TOXTAT 3.5 aplicando-se ANOVA. Para tal, os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à avaliação de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, enquanto o teste de Barlett foi utilizado para determinar a homogeneidade. Por fim, foi aplicado o teste de Dunnett para identificação das concentrações que apresentaram diferenças significativas em relação ao controle.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados ensaios de toxicidade crônica com ouriços-do-mar entre os meses de janeiro e maio de 2022, conduzidos com as amostras salinas sintéticas de aditivos químicos presentes em água produzida de petróleo. Os ensaios foram finalizados após 42 horas, com o controle atingindo uma quantidade superior a 80% de pluteus bem formados, conforme descrito nas normas vigentes. A Tabela 1 apresenta os resultados da toxicidade crônica com *Echinometra lucunter* realizado com os aditivos químicos.



Tabela 1: Resultado da avaliação da toxicidade crônica com os aditivos químicos avaliados

ADITIVO QUÍMICO	Concentração da solução do aditivo (mg/L)	CENO (mg/L)	CEO (mg/L)
Agente redutor	20	Não tóxico	Não tóxico
Antiespumante	40	10	20
Anti-incrustante	5	2,5	5
Biocida	200	0,78	1,56
Desemulsificante	45	0,35	0,7
Tensoativo	300	75	150

Conforme pode ser visualizado na Tabela 1, dentre os aditivos químicos avaliados, o biocida e o desemulsificante foram os que exibiram maior toxicidade crônica ao *E. lucunter*, com CENO de 0,78mg/L e 0,35mg/L, respectivamente.

Bento (2019) avaliou a toxicidade aguda de aditivos químicos utilizando a bactéria *V. fischeri* em meio aquático salino os aditivos estudados, o biocida e o tensoativo foram os que apresentaram efeitos agudos mais tóxicos. Agente redutor, anti-incrustante e desemulsificante não apresentaram efeito tóxico, apresentando inclusive efeito hormético, que pode estar relacionado, de acordo com Bento (2019), com a presença de Na⁺ em sua composição, já que é um nutriente não tóxico para essa bactéria. No ensaio de toxicidade crônica com ouriço-do-mar, o anti-incrustante apresentou ser tóxico somente em sua maior concentração analisada (5mg/L). O desemulsificante, por sua vez, foi um dos mais tóxicos junto ao biocida, apresentando toxicidade desde as concentrações mais baixas. Já nos ensaios de toxicidade aguda com a *V. fischeri*, ambos os aditivos químicos apresentaram efeito hormético. Além disso, o antiespumante apresentou-se como não-tóxico, diferente do resultado obtido para o ouriço-do-mar que apresentou toxicidade nas maiores concentrações 20,0mg/L e 40mg/L avaliadas.

Essa diferença na toxicidade avaliada pode ser explicada por ser organismos de níveis tróficos diferentes e pelo ensaio com o ouriço-do-mar se tratar de ensaio crônico, portanto mais sensível que o ensaio agudo com bactéria.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os aditivos químicos adicionados em diversas etapas na produção de óleo e que estão presentes na água produzida de petróleo, representam grande ameaça aos organismos aquáticos, especialmente os ouriços-do-mar, estudados no presente trabalho. Dentre os seis aditivos químicos avaliados, o biocida e o desemulsificante apresentaram maior toxicidade mesmo em concentrações bem abaixo das reportadas habitualmente em água produzida. O agente redutor não apresentou toxicidade na concentração avaliada.

O estudo revela a importância do tratamento adequado da água produzida com foco também nos aditivos químicos e não somente nos poluentes comumente tratados e exigidos na legislação. Além de processos de tratamento mais eficientes, recomenda-se a avaliação de aditivos químicos mais amigáveis ambientalmente com intuito de minimizar o impacto desse efluente em ambientes marinhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. NBR 15350: Ecotoxicologia aquática: Toxicidade crônica de curta duração – Método de ensaio com ouriço-do-mar (*Echinodermata: Echinoidea*). Rio de Janeiro, 2012. 19 p.
2. ABNT. NBR 15350: Ecotoxicologia aquática: Toxicidade crônica de curta duração – Método de ensaio com ouriço-do-mar (*Echinodermata: Echinoidea*). Rio de Janeiro, 2020. 37 p.
3. AL-GHOUTI, M. A.; AL-KAABI, M. A.; ASHFAQ, M. Y.; DA'NA, D. A. *Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. Journal of Water Process Engineering*, v. 28, p. 222-239, 2019.
4. AMAP. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Assessment 2007: Oil and Gas Activities in the Arctic - Effects and Potential Effects. Volume 2. Oslo, Noruega: AMAP, 2010, vii, 288 p.



5. ASSUNÇÃO, M. V. D.; VIEIRA, M. M.; DE ALMEIDA, M. R. *Fatores influenciadores na produção indesejada da água produzida de petróleo: um estudo na bacia Potiguar/Brasil*. *HOLOS*, v. 2, p. 146-160, 2018.
6. BAIN & COMPANY. Potencial de diversificação da indústria química Brasileira - Relatório 4 - Tensoativos. 1ª Edição, 2014, 52 p. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/arquivos/chamada_publica_FEPprospec0311_Quimicos_Relat4_tensoativos.pdf. Acesso em: 03 de fevereiro de 2022.
7. BAKER, R. W. *Membrane Technology and Applications*. 2ª Edição. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd, 2004, xiii, 552 p
8. BAKKE, T.; KLUNGSØYR, J.; SANNI, S. *Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry*. *Marine Environmental Research*, 92: p. 154-169, 2013.
9. BASILE, A., NUNES, S.P. *Advanced membrane science and technology for sustainable energy and environmental applications*. Woodhead Publishing Series in Energy: Number 25. 1ª Edição. Woodhead Publishing Limited, 2011, p. 718-745.
10. BENTO, M. I. F. C. *Avaliação dos efeitos dos aditivos químicos na ecotoxicidade aguda de uma água de produção de petróleo sintética*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa de pós-graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos – EPQB, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
11. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014. Reconhece como espécies de peixes e invertebrados aquáticos da fauna brasileira ameaçadas de extinção aquelas constantes da "Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção - Peixes e Invertebrados Aquáticos". D.O.U. – Diário Oficial da União. Publicado no D.O.U de 18 de dezembro de 2014.
12. BRUSCA, R. C.; MOORE, W.; SHUSTER, S. M. *Invertebrados*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara-Koogan, 2018.
13. CAMPBELL, C. *Advances in testing and monitoring of biocides in oil and gas*. In: ELSHERIK, A.M. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies: Production and Transmission*. Woodhead Publishing Series in Energy, Woodhead Publishing, 2017, p. 489-511.
14. CHIAN, E. S. K., CHEN, J. P., SHENG, P., TING, Y., WANG, L. K. *Reverse Osmosis Technology for Desalination*. In: WANG, L. K., HUNG, Y., SHAMMAS, N. K. *Handbook of Environmental Engineering, Volume 5: Advanced Physicochemical Treatment Technologies*. New Jersey: Humana Press, 2007, p. 329-366.
15. CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 393, de 8 de agosto de 2007. “Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências”; publicada no Diário Oficial da União em 09/09/2007. Brasília, DF.
16. CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA”; publicada no Diário Oficial da União em 16/05/2011. Brasília, DF.
17. CORTEZ, F. S. *Avaliação ecotoxicológica do fármaco Triclosan para invertebrados marinhos*. 2011. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.
18. COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. *A Toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação*. *Química Nova*, v.31, n.7, p.1820-1830, 2008.

19. DALTIM, D. Tensoativos: química, propriedades e aplicações. 1ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2011, p. 1-43
20. DAWSON, J. L. Chemical Treating in Oil and Gas Production. In: COTTIS, B., GRAHAM, M., LINDSAY, R., LYON, S., RICHARDSON, T., SCANTLEBURY, D., STOTT, H. Shreir's Corrosion. 1ª Edição. Elsevier Science, v. 4, 2010, p. 2900-2929.
21. DURAISAMY, R. T., BENI, A. H., HENNI, A. State of the Art Treatment of Produced Water. IntechOpen, p. 199-222, 2013, DOI: 10.5772/53478.
22. FAKHRU'L-RAZI, A.; ALIREZA, P.; LUQMAN, C.A.; DAYANG, R.A.B; SAYED, S.M.; ZURINA, Z.A. 2009. *Review of Technologies for oil and gas produced water treatment. Journal of Hazardous Materials*, 170: pp. 530-551.
23. FINK, J. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids. 2ª Edição. Gulf Professional Publishing, 2015, 854 p.
24. GABARDO, I. T. Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. 2007. Tese (Doutorado em química) – Programa de pós-graduação em química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
25. GARRETT, P. R. Defoaming: Theory and Industrial Applications. Surfactant Science Series, v. 45. 1ª Edição. CRC Press, 1992, 344 p
26. GOMES, A. P. P. Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: melhores práticas e experiências internacionais. 2014. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de pós-graduação em Planejamento Energético - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
27. GU, J., JUN, B., KWON, Y. *Effect of chlorination condition and permeability of chlorine species on the chlorination of a polyamide membrane. Water Research*, v. 46, p. 5389-5400.
28. HO, W. S. W., SIRKAR, K. K. Membrane Handbook. Volume I. 1ª Edição. Boston: Springer, 1992, 954 p.
29. JOHNSEN, S., UTVIK, T. I. R., GARLAND, E., DE VALS, B., CAMPBELL, J. Environmental Fate and Effect of Contaminants in Produced Water. In: SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, 7., 2004, Calgary. Anais... Calgary: SPE, 2004, p. 1-9.
30. KEASLER, V., DE PAULA, R. M., NILSEN, G., GRUNWALD, L., TIDWELL, T. J. Biocides overview and applications in petroleum microbiology. In: EL-SHERIK, A.M. Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies: Production and Transmission. Woodhead Publishing Series in Energy, Woodhead Publishing, 2017, p. 539-562.
31. KELLAND, M. A. Production Chemicals for the Oil and Gas Industry. 2ª Edição. CRC Press, 2014, 454 p.
32. MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO FILHO, A. S. F. *A Ecotoxicologia como Ferramenta no Biomonitoramento de Ecossistemas Aquáticos. Oecol. Bras.* 12 (3): p. 355-381, 2008.
33. MASSARO, F. C. Estudos Ecotoxicológicos com *Hydra viridissima* (Cnidaria: Hydrozoa). 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo.
34. MYERS, D. Surfactant Science and Technology. 3ª Edição. Wiley-Interscience, 2005, 400 p.
35. NEFF, J. M. 2002. *Bioaccumulation in marine organisms: Effects of contaminants from oil-well produced water*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science. 452 p.

36. NEFF, J. M.; LEE, K.; DEBLOIS, E. M. Produced water: overview of composition, fates, and effects. *Produced water*, p. 3-54, 2011.
37. OJINAKA, C. M., AJIENKA, J. A., ABAYEH, O. J., OSUJI, L. C., DURU, R. U. *Formulation of best-fit hydrophile/lipophile balance-dielectric permittivity demulsifiers for treatment of crude oil emulsions. Egyptian Journal of Petroleum*, 2016.
38. OLAJIRE, A. A. *A review of oilfield scale management technology for oil and gas production. Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 135, p. 723-737, 2015.
39. REIS, J. C. *Environmental Control in Petroleum Engineering*. 1ª Edição. Gulf Professional Publishing, 1996, 400 p.
40. SCHOPPE, S.; WERDING, B. *The boreholes of the sea urchin genus Echinometra (Echinodermata: Echinoidea: Echinometridae) as a microhabitat in tropical South America. Marine Ecology*, v. 17 (1-3), p. 181-186, 1996.
41. SCIANI, J. M. *Estudos toxicológicos do ouriço-do-mar Echinometra lucunter*. 2012. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Biotecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
42. SHENG, J. J. *Enhanced Oil Recovery Field Case Studies*. 1ª Edição. Gulf Professional Publishing, 2013, p. 117-142.
43. SINGH, R. *Membrane Technology and Engineering for Water Purification: Application, Systems Design and Operation*. 2ª Edição. Butterworth-Heinemann, 2015, 452 p.
44. STRØMGREN, T., SØRSTRØM, S. E., SCHOU, L., KAARSTAD, I., AUNAAS, T., BRAKSTAD, O. G., JOHANSEN, Ø. *Acute Toxic Effects of Produced Water in Relation to Chemical Composition and Dispersion. Marine Environmental Research*, v. 40, n° 2, p. 147-169, 1995.
45. THOMAS, J. E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. 1ª Edição, Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001, 271 p.
46. VENTURA, C. R. R. Filo Echinoderma. In: FRANSOZO, A. e NEGREIROS-FRANSOZO, M.L. *Zoologia dos invertebrados*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Roca, 2016. p. 892-916