



Tipo de artigo: Artigo original

Controle de exposição a rejeitos radioativos de ocorrência natural em descomissionamento offshore

Adelci Almeida de Mello Junior^a <https://orcid.org/0000-0001-6430-1329>; Ney Robinson Salvi Reis^b <https://orcid.org/0009-0003-9347-2153>; Geraldo de Souza Ferreira^a <https://orcid.org/0000-0002-0064-5197>

^a Universidade Federal Fluminense - UFF, Programa de Pós-Graduação em Montagem Industrial - PMI, Escola de Engenharia, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

^b Petrobras - Petróleo Brasileiro SA

Resumo: A produção de petróleo *offshore* possui extrema relevância na cadeia produtiva mundial, sendo base de sustentação da geração de energia e tem sido objeto de muita discussão face aos impactos associados às mudanças climáticas e redução da vida útil dos campos de petróleo marítimos. A produção de petróleo, dentre outros elementos associados ao óleo, ocasiona o acúmulo de borras em tanques, incrustações em tubos e vasos que constituem um significativo perigo radiológico, denominado *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials* (TENORM). Quando da necessidade de descomissionamento das plataformas, faz-se necessário o emprego de trabalhadores para a limpeza de equipamentos e tanques de carga, que podem ficar expostos a radiação por longos períodos, haja vista que não há uma orientação técnica homogênea que permita às empresas seguirem um mesmo padrão de controle de exposição. Desta forma, este artigo buscou avaliar os principais regulamentos e documentos técnicos sobre exposição ao TENORM e comparar os dados a partir de países envolvidos nos cenários de produção e consumo de petróleo, bem como aqueles envolvidos no descomissionamento de plataformas e navios com o objetivo de elaborar uma metodologia orientativa com vista à padronização do controle de gerenciamento de exposição de trabalhadores. Com a entrada do Brasil no cenário de reciclagem de plataforma, fica claro que, além das práticas adotadas pelas empresas, faz-se necessário a adoção de uma legislação específica para este novo seguimento, tendo em vista o quantitativo de instalações que serão descomissionadas nos próximos anos.

Palavras-chave: TENORM, rejeito radioativo, offshore, instalação marítima, radiação.

Abstract: The offshore oil production is significant in the global production chain, being the basis for supporting energy generation and has been the subject of much discussion due to the impacts associated with climate change and the reduction in the useful life of offshore oil fields. Among other elements, oil production causes sludge accumulation in tanks and scale in pipes and vessels, constituting a significant radiological hazard called Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM). When platforms need to be decommissioned, it is necessary to employ workers to clean equipment and cargo tanks,

which can be exposed to radiation for long periods, given that no homogeneous technical guidance allows companies to follow the same exposure control standard. In this way, this research sought to evaluate the principal regulations and technical documents on exposure to TENORM and compare data from countries involved in oil production and consumption scenarios, as well as those involved in the decommissioning of platforms and ships to develop a guiding methodology to standardize worker exposure management control. With Brazil's entry into the platform recycling scenario and the practices adopted by companies, it is necessary to adopt specific legislation for this new segment, given the number of facilities that will be decommissioned in the following years.

Keywords: TENORM, radioactive waste, offshore, maritime installation, radiation.

MELLO JÚNIOR, Adelci Almeida; REIS, Ney. Robinson Salvi; FERREIRA, Geraldo de Souza. **Controle de Exposição a Rejeitos Radioativos de Ocorrência Natural em Descomissionamento Offshore** *Engevista*, vol. 22, n.1, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, 2024.

Autor para contato: Adelci Almeida. E-mail: adelcia@id.uff.br

Financiamento: Nenhum.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

1 INTRODUÇÃO

A produção de petróleo é uma atividade de negócio essencial para a economia global, a qual se divide em três segmentos distintos, porém interdependentes, sendo estes: *upstream*, *midstream* e *downstream* (Thomas, 2001).

Desde o início do processo de produção de petróleo e gás em ambiente *offshore* no Brasil, inúmeras unidades de produção e sistemas submarinos de coleta e escoamento foram instalados nas mais diversas bacias sedimentares marítimas. Ao longo desse período, estes sistemas de produção passam por manutenções constantes, algumas delas ocorrendo durante paradas programadas de produção, quando são realizadas atividades de limpeza de tanques, vasos e linhas para remoção de borras e incrustações que podem conter rejeitos radiativos, chamados TENORM. Em adição, muitos desses sistemas de produção vem operando há décadas, sendo que alguns deles, especialmente aqueles instalados em bacias sedimentares dotadas de campos produtores mais antigos/maduros (por exemplo, Bacia Potiguar, Bacia Sergipe-Alagoas, Bacia de Campos, Bacia do Espírito Santo, etc.), chegaram ao término de sua economicidade, ocasionando a necessidade de iniciar o descomissionamento das instalações, em consonância com o previsto em normas específicas da Agência Nacional do Petróleo (ANP) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA).

Para viabilização desses descomissionamentos foram estabelecidas exigências pelos órgãos reguladores que envolvem a elaboração de um Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI), cujas diretrizes são descritas pela Resolução ANP n° 817/2020 (ANP, 2020).

Ademais, os Projetos de Descomissionamento devem fazer a previsão de um plano de gerenciamento adequado para tratamento e disposição de material radioativo (incluindo rejeitos), caso eles estejam presentes. Este plano deve ser apresentado na forma de medidas mitigadoras de impactos no âmbito dos licenciamentos ambientais, conforme previsto em Termos de Referência (TR) específicos, vinculados ao licenciamento ambiental federal, conforme a Portaria MMA 422/2011 (BRASIL, 2011), que estabelece essa exigência.

A crosta terrestre possui radionuclídeos em concentração que a torna a maior fonte de material radioativo de ocorrência natural, NORM (*Naturally Occurring Radioactive*

Materials) no meio ambiente. Este acrônimo é comumente empregado na designação de rejeitos radioativos quando não sofre alteração, ou seja, é um rejeito que se encontra na forma bruta, como é o caso daqueles oriundos da mineração. Quando o rejeito radioativo passa por um processo de transformação tecnológica ele é designado como TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*), seguindo a orientação dos Regulamentos de Transporte da Agência Internacional de Energia Atômica (IOGP 412, 2016). Baseado neste conceito, o rejeito radioativo oriundo da exploração e produção de petróleo é considerado um TENORM e esta será a designação adotada nesta dissertação.

A maior parcela dos radionuclídeos pertence às cadeias de decaimento que se iniciam com Urânio-238 (U-238) e Tório-232 (Th-232). Práticas industriais, como a exploração e produção de petróleo, envolvendo recursos naturais, podem concentrar esses radionuclídeos a um grau que pode gerar riscos ao ser humano e ao ambiente circundante, se não forem controlados.

Os rejeitos radioativos necessitam ser gerenciados de forma segura em alinhamento com os requisitos aplicáveis, bem como as melhores práticas e normas internacionais de segurança. As soluções para gerenciar essa classe de rejeitos devem estar alinhadas às melhores práticas, para a adequada proteção dos trabalhadores expostos, conforme os princípios do ICRP 60 (ICRP, 1991), que estabelece: "o objetivo principal da radioproteção é prover um nível adequado de proteção ao homem, sem prejudicar excessivamente os benefícios práticos advindos da exposição à radiação".

1.1 Descrição do problema

No mercado offshore brasileiro, a partir de 2013, foi iniciado um processo de desinvestimento de algumas instalações por grandes operadoras em campos maduros¹. Apesar de o panorama do mercado de óleo e gás brasileiro apresentar expressivos investimentos em campos novos

¹ Conforme a Resolução ANP nº 794/2018, um campo maduro é definido como o campo de petróleo ou de gás natural com histórico de produção efetiva, realizada a partir de instalações definitivas de produção, maior ou igual a vinte e cinco anos, ou cuja produção acumulada corresponda a, pelo menos, 70% (setenta por cento) do volume a ser produzido previsto, considerando as reservas provadas (1P).

na região do Pré-Sal², na realidade do cenário nacional ainda há predominância de campos maduros, com mais de 25 anos de operação.

Um fator importante é que, durante as operações de exploração e produção de petróleo, é gerado um rejeito ainda pouco conhecido, de difícil gerenciamento e controle de exposição de trabalhadores, denominado TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*). Face à sua característica radioativa, este rejeito requer controle especial, quando da realização de limpeza e desmontagem de equipamentos tanto na fase de operação para fins de manutenção dos equipamentos onde eles podem se acumular, como na fase de descomissionamento a bordo da plataforma, bem como nas instalações terrestres, como estaleiros.

Os elementos radioativos de maior incidência são Ra 226 e Ra 228, oriundos da série de decaimento do U 238 e Th 232, os quais são carregados até a superfície junto com o petróleo, associados à fase aquosa, e ficam agregados aos equipamentos ao precipitar com o sulfato de bário ou, no próprio sedimento (borra oleosa) no fundo de tanques de carga de plataformas, que armazenam petróleo.

Os principais problemas associados a esses materiais são a irradiação e contaminação de trabalhadores em dutos e equipamentos onde as incrustações são depositadas, quando eles atuam direta ou indiretamente nas atividades de manutenção e limpeza de equipamentos.

1.2 Objetivos

São considerados os seguintes objetivos específicos, tendo como referência a condição de armazenagem destes rejeitos e as principais vias de exposição do trabalhador:

- Identificar as referências técnicas e científicas de proteção contra exposição à radiação no cenário global;
- Avaliar as características radiológicas dos rejeitos de TENORM;
- Apresentar uma metodologia para o controle de exposição ao TENORM.

² O Pré-sal é uma sequência de rochas sedimentares formadas há mais de 100 milhões de anos no espaço geográfico criado pela separação do antigo continente Gondwana. A camada Pré-sal é a terceira classificada abaixo do nível do mar, sob as camadas pós-sal e sal, e chega a mais de sete mil metros abaixo da superfície do mar.

1.3 Etapas da Pesquisa

O processo de desenvolvimento da metodologia está dividido em três etapas (Figura 1), visando a melhor organização e acompanhamento. Com a definição dos objetivos, foi feita uma revisão da literatura para suportar a pesquisa. A busca por informações foi realizada nas fontes públicas com base nos documentos técnicos.

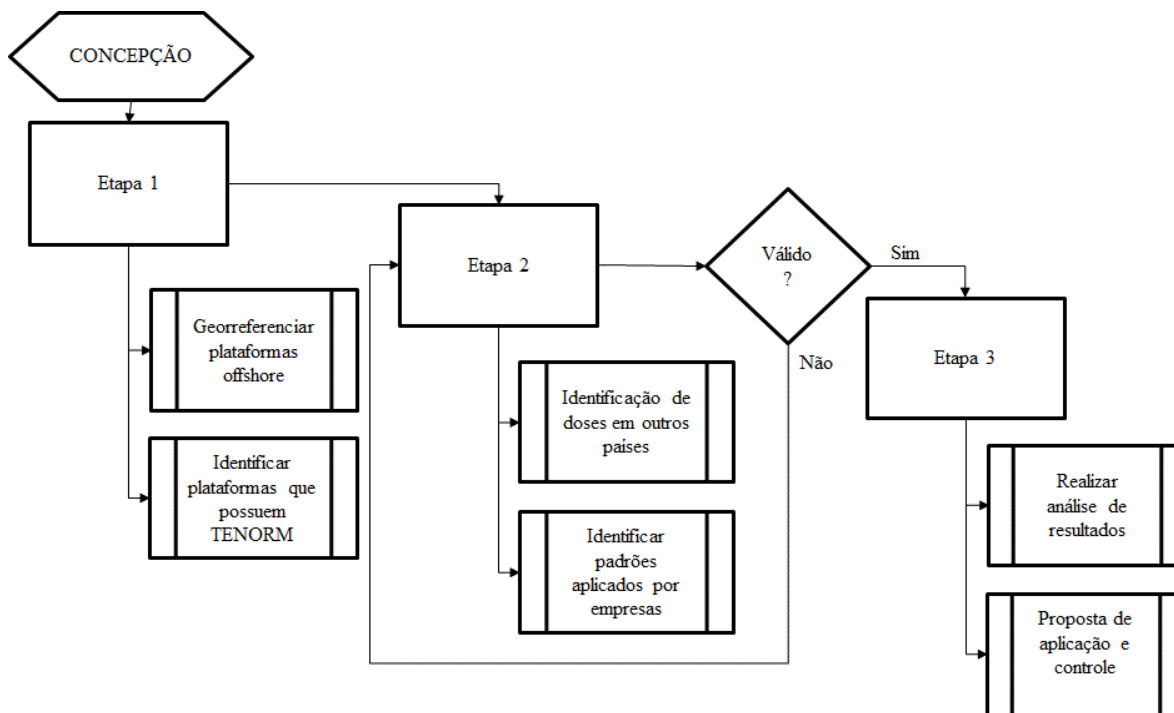


Figura 1. Etapas do processo de desenvolvimento da pesquisa

Fonte: o autor.

As informações sobre as instalações e plataformas de petróleo foram obtidas a partir da lista de plataformas em operação e do painel dinâmico de descomissionamento disponibilizados na página da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis listadas nas referências bibliográficas.

2 ASPECTO CONCEITUAL DE RADIOATIVIDADE

A desintegração de isótopos naturais de número atômico elevado na busca do equilíbrio nuclear é capaz de emitir radiação, dando origem a outro isótopo, também radioativo. Assim,

este fenômeno ocorre sucessivamente, até alcançar uma forma isotópica estável, constituindo uma série de decaimento radioativo ou série radioativa natural.

Elementos radioativos de ocorrência natural são parte constituinte do nosso planeta. Eles estão presentes na crosta terrestre e na atmosfera através de diferentes tipos de materiais radioativos naturais. O tório e o urânio, por exemplo, estão presentes nas rochas e são praticamente insolúveis, enquanto seus descendentes Ra-226 e Ra-228, mostrados nos fluxogramas das Figuras 2 e 3, são mais solúveis (Tauhata *et al*, 2014).

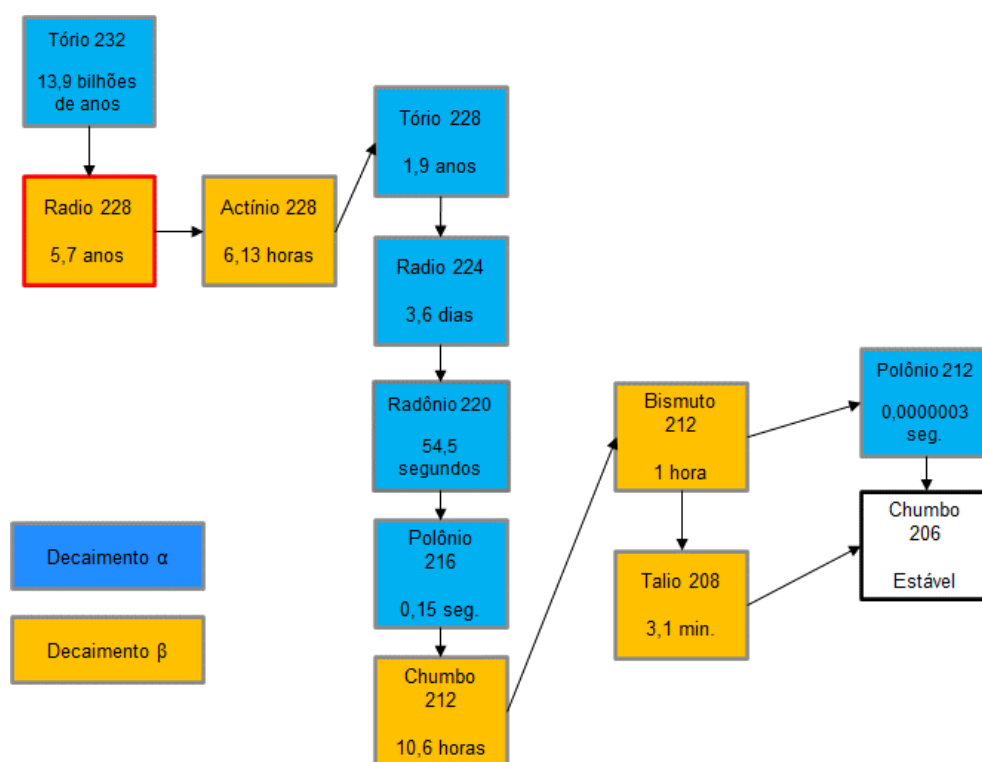


Figura 2. Série de decaimento natural do Th-232

Fonte: Adaptado de Tauhata *et al.* (2014)

O TENORM consiste em materiais enriquecidos por meio de processos industriais/tecnológicos com elementos radioativos encontrados na natureza, como urânio, tório e seus descendentes, tais como rádio e radônio.

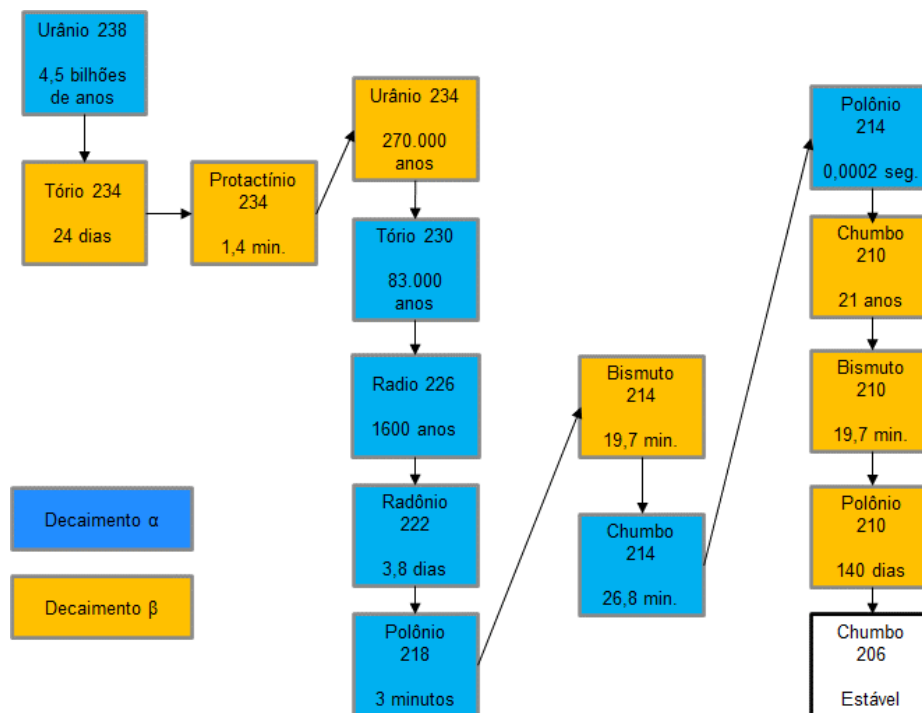


Figura 3. Série de decaimento natural do U-238

Fonte: Adaptado de Tauhata *et al.* (2014)

Cabe ressaltar que as séries radioativas naturais do U-238 e do Th- 232 possuem maior contribuição para a taxa de dose equivalente, oriundas de fontes naturais, contribuindo para uma média da ordem de 1,33 mSv/ano (56% da dose total) e 0,33 mSv/ano (14% da dose total), respectivamente, o que totaliza aproximadamente 70% da dose total (Pontedeiro, 2006).

Em função das características dessas radiações é possível estabelecer os métodos de controle de exposição e até mesmo proteção dos trabalhadores em função do potencial de penetração, conforme Figura 4.

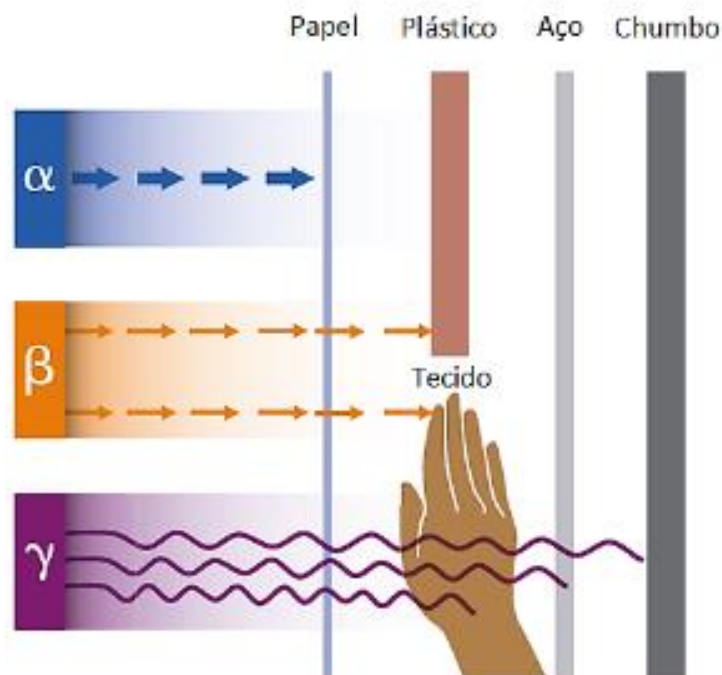


Figura 4. Capacidade de penetração da radiação ionizante.

Fonte: Adaptado de IOGP 412 (2016, p. 13)

3 PROCESSO PRODUTIVO DE PETRÓLEO

No processo produtivo de petróleo, os fluidos (água, gás e óleo) são direcionados para a plataforma através das linhas de produção submarinas conectadas ao poço produtor, onde se localiza a cabeça de poço, que é equipada com uma válvula para controle de vazão (Thomas, 2001). Após percorrer as linhas de produção, os fluídos (água, óleo e gás) chegam à plataforma através do *manifold* de produção para a separação dos fluidos, que pode ser bifásica (gás/ líquido) ou trifásica (água, óleo e gás).

Como pode ser observado na Figura 5, os pontos identificados pelo símbolo internacional de radiação, no caminho percorrido pela corrente de água e óleo, em especial do óleo, são os que possuem maior probabilidade de ocorrência de TENORM em função dos sedimentos presentes (BSW)³.

³ BSW: *Basic Sediments and Water*: é o quociente entre a vazão de água mais os sedimentos que estão sendo produzidos e a vazão de líquidos e sedimentos.

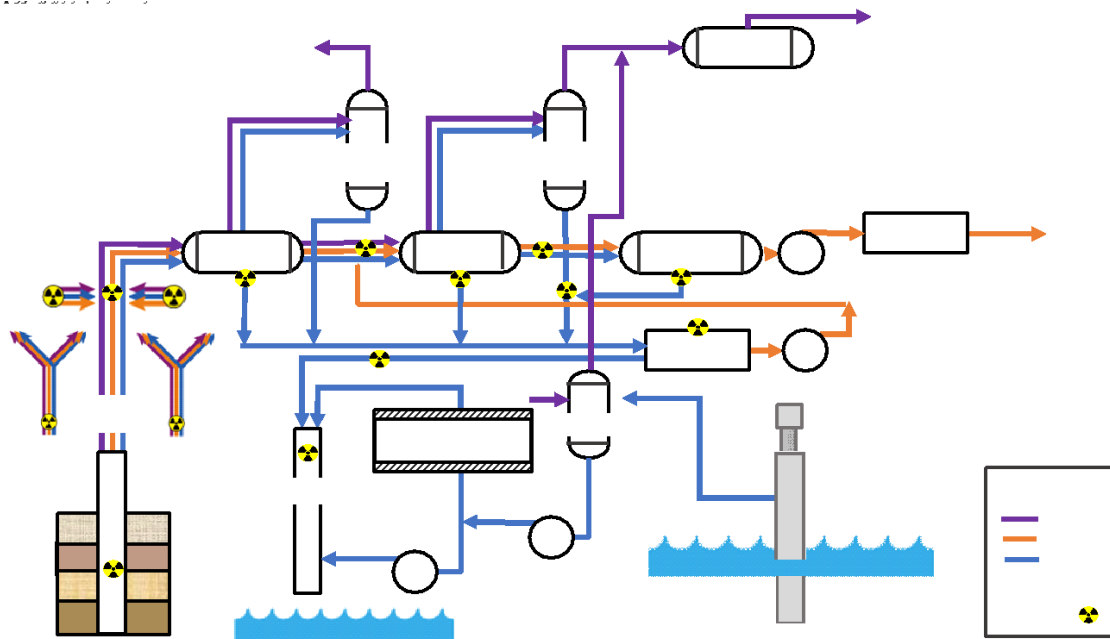


Figura 5. Capacidade de penetração da radiação ionizante.

Fonte: IOGP 412 (2016)

4 RISCO DE EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO

A classificação de exposição à radiação no ambiente profissional está dividida em dois grupos: exposição pública ou exposição ocupacional. Desta forma, para a ICRP (International Commission on Radiological Protection), que atua na proteção à exposição no ambiente de trabalho, quando um indivíduo desempenha função que está diretamente ligada ao desempenho de atividades envolvendo material radioativo, esta é considerada exposição ocupacional. Quando uma exposição ocorre de forma não diretamente ligada a uma atividade, ou até mesmo acidentalmente, esta é identificada como exposição pública (ICRP, 2015).

A equação utilizada para representar o risco radiológico associada aos efeitos estocásticos⁴ “dose efetiva” é:

$$E = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R} \quad (1)$$

⁴ Efeitos para os quais não existe um limiar de dose para sua ocorrência e cuja probabilidade de ocorrência é uma função da dose. A gravidade desses efeitos é independente da dose. Norma CNEN NN 3.01.

onde: W_T = fator de ponderação do órgão ou tecido. É responsável pela susceptibilidade de danificar diferentes tecidos; W_R = fator de ponderação de radiação - considera as propriedades prejudiciais de diferentes tipos de radiação; $D_{T,R}$ = dose média absorvida pelo tecido T devido à radiação R e expresso em termos de J/Kg (ou gray (Gy)).

A exposição à radiação ionizante pode causar efeitos biológicos de natureza variável e dependem de fatores como dose e forma de resposta. Sendo assim, em função do tempo de resposta, são classificados em estocástico (probabilístico) e não estocástico (determinístico); em termos de tempo de manifestação, em imediatos e tardios; em função do nível de dano, em somáticos ou genéticos, conforme o Quadro 1 (Tauhata *et al.*, 2014).

Quadro 1. Classificação dos efeitos biológicos (forma de resposta).

Estocástico (probabilístico)	Não Estocástico (determinístico)
Acumulativo e tardio	Dose única e imediata
A probabilidade de ocorrência do dano depende da dose	Severidade do dano é em função da dose
Não possui limiar de ocorrência	Possui limiar de ocorrência
Crônico	Agudo
Pode causar câncer, efeito hereditário, envelhecimento precoce, redução da longevidade	Causa esterilidade, catarata e síndrome da radiação (náusea, leucopenia)

Fonte: Adaptado de Norma CNEN 3.01 (2024).

A busca por informações considerou países que atuam no cenário de gestão de rejeitos radioativos, mesmo aqueles que não atuam no cenário de offshore, porém realizam processamento de petróleo, o que acarreta a geração de TENORM. Sendo assim, o levantamento considerou os seguintes países que tem algum tipo de informação disponível sobre controle de gerenciamento deste tipo de rejeito radioativo:

- Alemanha;
- Inglaterra;
- Argentina;
- Estados Unidos;
- Noruega.

Na Alemanha, o trabalho com TENORM não requer autorização para lidar com este tipo de rejeito. Contudo, ele deve ser formalmente liberado pela autoridade regulatória do país antes da utilização ou descarte.

Na Inglaterra há um sistema de orientação para o processo de gerenciamento de TENORM. Este processo tem como prioridade a prevenção da geração de TENORM e, como última alternativa, a disposição final de rejeitos.

Na Argentina, um estudo foi conduzido pelo ICRP para monitorar as instalações de prestação de serviço envolvendo a indústria de óleo e gás, relacionadas à exposição ao TENORM (ICRP. 2011).

Nos EUA não há uma legislação federal definindo os parâmetros para gerenciamento de rejeitos de TENORM, embora haja limite de exposição. Esta medida fica a cargo de cada Estado implementar as medidas localmente (ICRP, 2013).

No caso da Noruega, o estudo conduzido pelo ICRP identificou que já são estabelecidos limites para a classificação dos rejeitos de TENORM. Da mesma forma, há controle mais preciso dos rejeitos TENORM, sendo os radionuclídeos mais comuns Ra 226 e Ra 228, que variam de acordo com as condições geológicas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A proposta de controle de exposição de trabalhadores ao TENORM tem como fundamentação os fatores de proteção radiológica, definidos no item 2.5: tempo, distância e blindagem (barreira). Tais mecanismos de controle permitem um gerenciamento adequado das exposições, de acordo com o local, método de trabalho e condição do rejeito de TENORM.

Sendo assim, este artigo tangencia a área de conhecimento de exposição, de forma a subsidiar o melhor resultado para o controle de exposição em função dos seguintes cenários:

- Gerenciamento de risco da tarefa;
- Permissão de trabalho;
- Limites de exposição e controle de monitoramento;
- Área de armazenagem de TENORM;
- Classificação de TENORM;

- Equipamentos de Proteção Individual;
- Treinamento.

5.1 Gerenciamento de risco operacional

O gerenciamento de risco tem com premissa garantir que as atividades sejam avaliadas e controladas de forma a prevenir a ocorrência de acidentes ou, quando da ocorrência, as consequências sejam minimizadas para os trabalhadores. O gerenciamento de risco deve iniciar previamente à realização do trabalho, utilizando técnicas e ferramentas alinhados aos limites de tolerância estabelecidos (CCPS, 2014).

5.2 Limite de exposição e controle de monitoração

Os resultados da monitoração devem estar registrados em prontuário individual de forma a garantir um controle e rastreamento para eventuais questões de saúde que possam ter relação com a exposição única, fracionada ou periódica da radiação do trabalhador no descomissionamento. Deve ser levado em consideração os dados presentes no Quadro 2.

Quadro 2. Proposta de limite de dose baseada na NORMA 3.01 da CNEN

Parâmetros de monitoramento					
	Limite anual	Limite Mensal	Limite semanal	Limite diário	Limite horário
IOE (Indivíduo Ocupacionalmente Exposto)	2 REM 20 mSv	160 mREM 1,6 mSv	40 mREM 0,4 mSv	8 mREM 0,08 mSv	1,0 REM 0,01 mSv
IP (Indivíduo do Público)	100 mREM 1 mSv	8,0 mREM 80 µSv	2,0 mREM 20 µSv	0,4 mREM 20 µSv	0,05 mREM 0,5 µSv

Fonte: Adaptado de CNEN (2023).

5.3 Área de armazenagem de TENORM

A classificação de área deverá ser realizada com base na monitoração do local onde está armazenado o rejeito de TENORM, considerando as horas estabelecidas no quadro 2. Estes locais devem estar sinalizados, sendo classificados em área supervisionada ou controlada de acesso restrito ao trabalhador considerado IOE.

5.4 Classificação de TENORM

O processo de classificação de TENORM deve ser realizado considerando as características dos rejeitos de forma a permitir o controle das informações durante todo o processo de descomissionamento. Para a melhor organização deste processo e controle das informações, deve se orientar pelo fluxograma estabelecido na Figura 5.

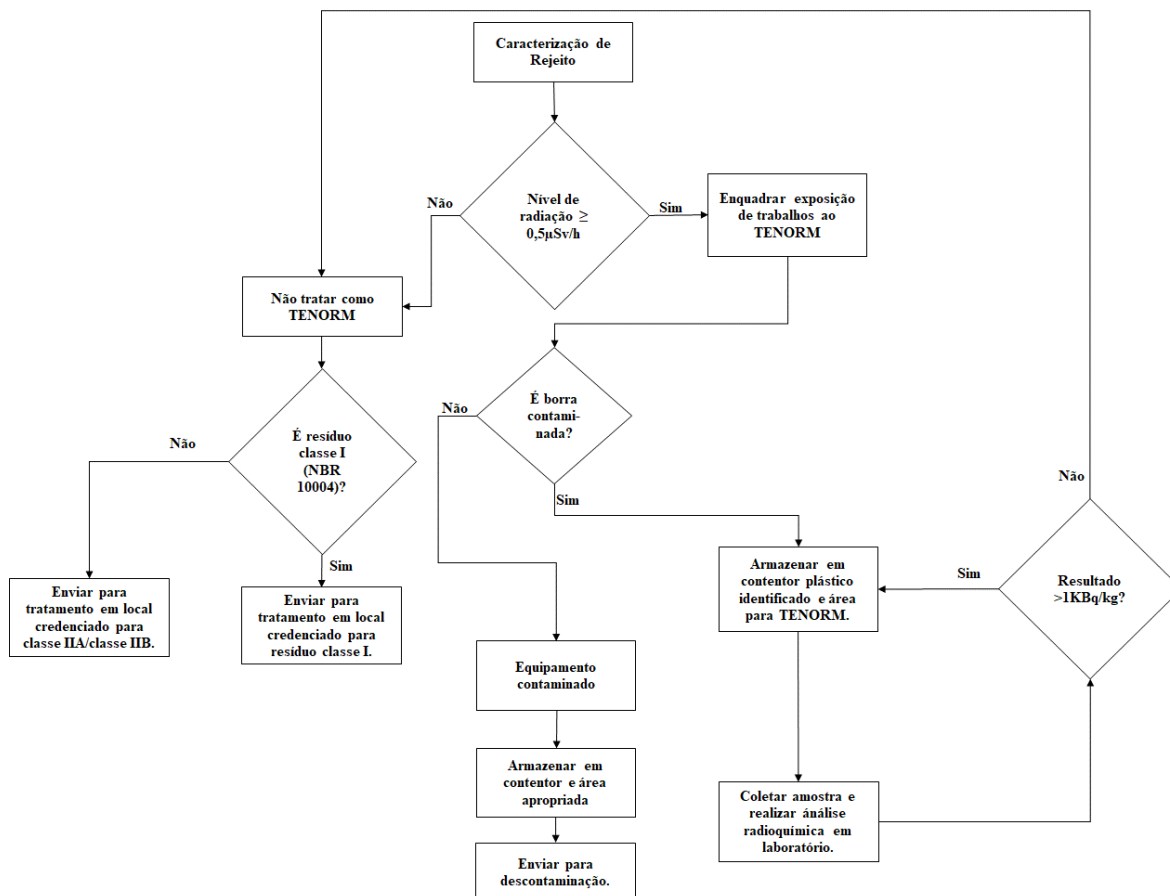


Figura 6. Processo para classificação de rejeitos contendo radionuclídeos - TENORM

Fonte: o autor.

5.5 Equipamento de Proteção Individual

Embora a utilização de Equipamentos de Proteção Individual - EPI não atue como blindagem (barreira) para a radiação gama (γ), estes têm papel importante na proteção de trabalhadores na prevenção de contaminação por radiação alfa (α) e beta (β). A atuação na limpeza de equipamentos e áreas contendo TENORM devem ser realizadas com o uso de equipamento de proteção individual. Os trabalhadores envolvidos em operações onde ocorra o contato direto com TENORM através da limpeza de equipamentos e áreas contendo borra oleosa devem usar, no mínimo, os seguintes EPIs:

- Macacão de proteção impermeável de corpo inteiro;
- Máscara facial total com filtro para particulado e radionuclídeos;
- Calçado impermeável cano longo;
- Luvas impermeáveis de cano longo;
- Capacete de proteção com jugular.

5.6 Treinamento

Todos os trabalhadores envolvidos em atividades com a presença de TENORM, próprios ou contratados, devem receber treinamento periódico com base neste procedimento e requisitos legais aplicáveis, de forma a garantir o conhecimento necessário para a execução das tarefas de maneira segura. Os treinamentos devem ser realizados de forma a garantir o conhecimento e a preparação do colaborador para a correta qualificação e prevenção associadas ao trabalho com TENORM, conforme conteúdo abaixo, distribuídos em carga horária de 16 horas:

- Introdução às radiações e radioatividade;
- Legislação destinada a proteção radiológica;
- Tipos de fontes radioativas;
- Grandezas radiológicas;
- Tipos de exposição (Irradiação e contaminação) ao TENORM;
- Princípios e objetivos da radioproteção;
- Principais instrumentos utilizados em radioproteção;
- Limites e controle de dose (tempo, distância e blindagem);
- Detecção e medição da radiação (monitoração individual e de área);

- Definição de área livre, área supervisionada e área controlada;
- Equipamento de Proteção Individual e Proteção Coletiva para atividades envolvendo TENORM;
- Controle e registro de doses;
- Perigos, riscos e medidas de controle à exposição ao TENORM.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o cenário de exposição de trabalhadores frente às emissões radioativas associadas aos rejeitos de TENORM em operações de descomissionamento de unidades marítimas, tendo como limite geográfico a bacia de Campos, onde estão alocadas as plataformas de interesse, independente das características de construção.

A revisão bibliográfica considerou a legislação brasileira e internacional, bem como teses e documentos técnicos emitidos por organismos internacionais reguladores de atividades envolvendo exposição à radiação, como por exemplo, ICRP e IAEA.

Neste cenário foram considerados como objeto de estudo os elementos radiativos Ra 226 e Ra 228, oriundos da série de decaimento do U 238 e Th 232, os quais são carregados até a superfície junto com o petróleo, associados a fase aquosa, e ficam agregados aos equipamentos ao precipitar com o sulfato de bário, ou no próprio sedimento (borra oleosa) no fundo de tanques de carga de plataformas que armazenam petróleo.

Como este ainda é um tema pouco conhecido, é de suma importância que, em função do aumento no cenário de descomissionamento e estabelecimento da indústria de reciclagem, a disseminação de conhecimento seja ampliada para a sedimentação dos aspectos de proteção dos trabalhadores, passando a fazer parte do dia a dia das atividades. Neste contexto, o assunto TENORM não deve ficar restrito às operações de instalações offshore.

Para o aprofundamento do assunto é importante considerar em estudos futuros os efeitos da radiação nos cenários de trabalho com TENORM, e que podem influenciar em doses excessivas, quando somados a outras exposições fora do ambiente de trabalho.

Outro tema importante é quanto a incorporação nos estudos de riscos das plataformas, desde a fase de projetos, bem como as condições e atividades que requerem a armazenagem de TENORM a bordo, mesmo que temporariamente.

Além disso, é importante que ocorra revisão do arcabouço jurídico, tal qual a inclusão nos projetos das unidades de produção de petróleo, e considerarem suas análises de riscos locais para armazenagem deste tipo de rejeito e a bordo.

Por fim, apresenta-se uma proposta de gerenciamento para controle da exposição de trabalhadores através de taxa de dose a ser aplicada para indivíduo do público e indivíduo ocupacionalmente exposto, considerando o limite de dose efetiva por ano.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir trilhar este caminho na busca pelo conhecimento.

Aos Professor Geraldo de Souza Ferreira e Ney Robinson Salvi dos Reis.

À Escola de Engenharia da UFF por proporcionar conhecimento e aprendizagem através deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 817 de 24 de abril de 2020.** GOV, 2020. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-817-2020-dispoe-sobre-descomissionamento-de-instalacoes-de-exploracao-e-de-producao-de-petroleo-e-gas-natural-a-inclusao-de-area-terrestre-sob-contrato-em-processo-de-licitacao-a-alienacao-e-a-reversao-de-bens-o-cumprimento-de-obrigacoes-remanescentes-a-devolucao-de-areae-da-outras-providencias?origin=instituicao&q=817/2020>. Acesso em: 19 mai. 2023.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Painel Dinâmico de descomissionamento de Instalações.** GOV, 2020. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2UyMjUyMmMtM2Y5Yy00YzU1LWJjM2MtYzJkODJlNGEYmZlIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzIxMyJ9>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Lista de Plataformas em operação**. GOV, 26 out. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/lista-de-plataformas-em-operacao>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Relação de Programas de Descomissionamento de Instalações submetidos à ANP**. GOV, 24 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/publicidade-dos-programas-de-descomissionamento-de-instalacoes>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria nº 422**. GOV, 2011. Disponível em: Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2UyMjUyMmMtM2Y5Yy00YzU1LWJjM2MtYzJkODJlNGEYnMZhIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzIxMyJ9>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

CCPS – Center for Chemical Process Safety. **Diretrizes para Segurança de Processos Baseado em Risco**. Tradução Petrobras/ Recursos Humanos/ Universidade Petrobras. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. **NORMA CNEN NN 3.01: diretrizes básicas de proteção radiológica**. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. Disponível em: < <https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/normas/grupo-3/grupo3-nrm301.pdf>>. Acesso em 23 mai. 2024

ICRP – International Commission on Radiological Protection. **NORM Management in the Oil and Gas Industry**. Proceedings 2011, 2011.

ICRP – International Commission on Radiological Protection. **Recomendações de 1990 da Comissão internacional de Proteção Radiológica**. ICRP, 1991.

ICRP – International Commission on Radiological Protection. **Radiological Protection in North American occurring radioactive material industries**. Proceedings 2013, 2013.

ICRP – International Commission on Radiological Protection. **Understanding existing exposure situation**. Proceedings 2015, 2015.

IOGP - International Association of Oil & Gas Producers. **Managing Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in the oil and gas industry**. Report 412, 2016.

PONTEDEIRO, E. M. B. D. **Avaliação de modelos de impacto ambiental para deposição de resíduos sólidos contendo radionuclídeos naturais em instalações mínero-industriais**. 2006. 167 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/20836020>>. Acesso em: 03 mar. 2023.

TAUHATA, L., SALATI, I. P. A., DI PRINZIO, R., DI PRINZIO, M. A. R. R. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos. Instituto de Radioproteção e Dosimetria.** Comissão Nacional de Energia Nuclear. 10ª revisão, 2014.

THOMAS, J. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** 2ª edição. Rio de Janeiro: Editoria Interciência, 2001.

Contribuição dos autores: AAM: conceituação, pesquisa bibliográfica, metodologia, sistematização, redação; NRS: pesquisa bibliográfica, metodologia, revisão; GSF: conceituação, supervisão, sistematização, revisão.

Editores: Bruno Campos Pedroza, Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro.