

Desmantelamento e reciclagem de linhas flexíveis: Desafios e oportunidades no descomissionamento *offshore*

Por: Isabela Fernandes

O avanço do descomissionamento de instalações *offshore* no Brasil tem trazido à tona um tema técnico de grande relevância ambiental, econômica e operacional: o desmantelamento e a reciclagem de linhas flexíveis. Amplamente utilizadas ao longo das últimas décadas na produção de petróleo e gás em águas profundas e ultraprofundas, essas estruturas chegam agora ao fim de seu ciclo de vida, exigindo soluções seguras, sustentáveis e tecnicamente viáveis para sua destinação final.

O descomissionamento é definido como o conjunto de atividades destinadas ao encerramento definitivo da operação de instalações de petróleo e gás, envolvendo a retirada de equipamentos, a destinação adequada de materiais e resíduos, e a recuperação ambiental das áreas impactadas. No ambiente *offshore*, de forma geral, essas atividades se dividem entre *topsides*, poços e sistemas submarinos.

É neste último grupo que se inserem as linhas flexíveis, juntamente com *risers*, *flowlines*, *manifolds*, PLETs, PLEMs e umbilicais, compondo uma complexa malha de interligação entre poços e unidades de produção.

As linhas flexíveis desempenharam papel central no desenvolvimento da produção *offshore* brasileira. Diferentemente dos dutos rígidos, compostos majoritariamente por aço e amplamente reciclados pela indústria siderúrgica, os dutos flexíveis apresentam uma estrutura multicamada, projetada para suportar movimentos, variações de pressão e condições severas do ambiente submarino. Essa característica técnica, que os torna altamente eficientes durante a operação, também é a principal responsável pelos desafios enfrentados ao fim do ciclo produtivo.

Do ponto de vista construtivo, os dutos flexíveis são formados por uma combinação de materiais metálicos e poliméricos.

Entre os metais, destacam-se o aço carbono e o aço inoxidável, responsáveis pela resistência mecânica e a pressões. Já entre os polímeros, estão materiais como poliamida 11, polietileno de alta densidade, polietileno reticulado, PVDF e fibras de aramida, cada um desempenhando funções específicas de vedação, proteção química e isolamento. Essa mistura inerente de materiais dificulta a separação e inviabiliza a reciclagem direta sem um pré-processamento adequado.

No contexto da economia circular e das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a reciclagem surge como estratégia prioritária para a destinação desses equipamentos.

Entretanto, para que os materiais presentes nos dutos flexíveis possam ser reinseridos em cadeias produtivas, é indispensável um processo prévio de desmantelamento, também chamado de pré-processamento.

Atualmente, duas rotas tecnológicas são adotadas para esta etapa: a trituração mecanizada e o desmantelamento manual.

A trituração consiste no processamento dos dutos em equipamentos de grande porte, reduzindo-os a fragmentos menores. Esse método apresenta vantagens operacionais importantes, como maior nível de automação, menor exposição direta dos trabalhadores ao contato com o material e maior produtividade.

Após a trituração, o material passa por separações magnéticas para recuperação do aço carbono e por etapas manuais para segregação do aço inoxidável. No entanto, uma limitação expressiva dessa rota é a deterioração de grande parte dos polímeros, o que restringe significativamente sua reciclagem e reduz o aproveitamento total do material.

Já o desmantelamento manual baseia-se na desmontagem do duto flexível, camada por camada, utilizando ferramentas manuais e equipamentos de corte controlado. Esse método permite a separação mais precisa dos diferentes materiais, preservando a integridade dos polímeros e ampliando as possibilidades de reciclagem mecânica. Em contrapartida, trata-se de um processo mais lento, intensivo em mão de obra e com maiores desafios ergonômicos e de segurança ocupacional, exigindo rigorosos controles de saúde e segurança do trabalho.

A escolha entre essas rotas de pré-processamento não é trivial e envolve uma série de fatores técnicos, econômicos e sociais. Aspectos como o nível de exposição dos trabalhadores a riscos, o grau de reciclabilidade dos polímeros, o nível de automação, a produtividade do processo e o número de profissionais envolvidos precisam ser cuidadosamente avaliados em cada projeto. Em muitos casos, estratégias híbridas e melhorias incrementais nos processos vêm sendo estudadas como forma de potencializar vantagens e mitigar desvantagens de cada método.

Além da complexidade intrínseca dos materiais, o desmantelamento e a reciclagem de linhas flexíveis enfrentam desafios adicionais consideráveis. Um deles está relacionado à presença de resíduos NORM (em inglês, *Naturally Occurring Radioactive Material*), materiais radioativos de ocorrência natural associados à produção de petróleo e gás. Embora geralmente apresentem baixos níveis de radiação, esses resíduos possuem radionuclídeos de meia-vida longa, demandando protocolos rigorosos de limpeza, monitoramento, acondicionamento, identificação e destinação. A retirada de incrustações e borras oleosas contaminadas costuma ser realizada por hidrojateamento, seguido de armazenamento controlado em embalagens apropriadas, conforme exigências regulatórias.

Do ponto de vista estratégico, a adequada gestão das linhas flexíveis descomissionadas representa uma oportunidade significativa para o Brasil. O volume expressivo de sistemas submarinos que chegarão ao fim da vida útil nos próximos anos pode contribuir para o fortalecimento da economia circular, reduzir a pressão sobre recursos naturais e apoiar a descarbonização de cadeias industriais, especialmente a da siderurgia, por meio do reaproveitamento do aço recuperado.

Ao mesmo tempo, o avanço desse mercado depende da superação de obstáculos logísticos, do fortalecimento da infraestrutura de reciclagem próxima aos portos e da consolidação de marcos regulatórios mais claros e integrados. O aprendizado acumulado em projetos pioneiros tem mostrado que o desmantelamento e a reciclagem de linhas flexíveis não são apenas um desafio técnico, mas um campo fértil para inovação, geração de empregos qualificados e construção de práticas mais sustentáveis no ciclo de vida das instalações *offshore*.

Dessa forma, o tema se consolida como um dos elementos centrais do debate sobre descomissionamento no Brasil, conectando engenharia, meio ambiente, economia e políticas públicas. À medida que o país avança nessa agenda, a gestão responsável das linhas flexíveis tende a se tornar um indicador relevante de maturidade ambiental e tecnológica do setor de óleo e gás.