



## Estimativa de famílias de materiais com potencial de reutilização durante a reciclagem do Floating, Production, Storage and Offloading - FPSO P32

Guilherme Ciríaco Ribeiro<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0006-1327-0167>

Newton Narciso Pereira<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3432-7063>

<sup>a</sup>UFF, Mestrado Profissional em Montagem Industrial, Niterói, RJ, Brasil

<sup>b</sup>UFF, Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica, Departamento de Engenharia de Produção, Volta Redonda, RJ, Brasil

**Resumo:** O descomissionamento de unidades de Exploração e Produção no setor de Óleo e Gás já é uma realidade no Brasil, uma vez que esta demanda se encontra em execução. Contudo, trata-se de um mercado incipiente que está se estruturando. Com isso, notam-se lacunas durante este processo, como por exemplo a destinação final de equipamentos de uma Unidade FPSO descomissionada, e o potencial de reuso que estes materiais podem ter em seu fim de vida, trazendo à tona um mercado muito utilizado em outras indústrias, porém pouco explorado no setor de Óleo & Gás brasileiro: o mercado de reciclagem, reuso e remanufatura. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é estimar o potencial de reuso dos materiais a serem descomissionados, separando-os por famílias de equipamentos. A metodologia proposta é através da pesquisa documental do Programa de Descomissionamento de Instalações Marítimas da Plataforma P-32. Foi realizada uma análise dos equipamentos descomissionados desta unidade de Exploração e Produção, a partir do inventário de materiais. Sendo este detalhado de acordo com o sistema submarino e sistema de *topside*, através da divisão de nove famílias de equipamentos, apresentando perspectivas e discussões para a identificação das melhores alternativas de destinação e reciclagem destes materiais. Como resultado identificou-se nove famílias com potencial de reutilização no sistema *topside*, com 1.174 toneladas de equipamentos, além de 2.124 toneladas de materiais encontrados no sistema submarino, totalizando aproximadamente 3.300 toneladas de material que poderá ser reaproveitado no mercado nacional e internacional.

**Palavras-chave:** descomissionamento, reciclagem, fpso, óleo & gás, reutilização.

**Abstract:** Since this demand is being executed, the decommissioning of Exploration and Production units in the *Oil & Gas* sector is already a reality in Brazil. However, it is an incipient market that is being structured. As a result, gaps are noted during this process, such

as the final destination of equipment from a decommissioned FPSO Unit and the potential for reuse that these materials may have at the end of their life, bringing to light a market widely used in other industries, but little explored in the Brazilian Oil & Gas sector: the recycling market, reuse and remanufacture. In this context, this work aims to estimate the potential for reuse of the materials to be decommissioned, separating them by equipment families. The proposed methodology is through documentary research on the Program for the Decommissioning of Maritime Installations of Platform P-32. An analysis of the decommissioned equipment of this Exploration and Production unit was carried out based on the materials inventory. This is detailed according to the submarine and topside systems through the division of nine families of equipment, presenting perspectives and discussions for identifying the best alternatives for the disposal and recycling of these materials. As a result, nine families were identified with potential for reuse in the topside system, with 1,174 tons of equipment, in addition to 2,124 tons of materials found in the submarine system, totaling approximately 3,300 tons of material that can be reused in the national and international market.

**Keywords:** decommissioning, recycling, fpso, oil & gas, reuse.

**Como citar:** RIBEIRO, G. C., PEREIRA, N.N. **Estimativa de famílias de materiais com potencial de reutilização durante a reciclagem do Floating, Production, Storage and Offloading - FPSO P32.** *Engevista*, vol. 22, n.1, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, 2024.

**Autor para contato:** Guilherme Ciríaco Ribeiro. E-mail: [gcribeiro@id.uff.br](mailto:gcribeiro@id.uff.br)

**Financiamento:** Nenhum.

**Conflito de interesse:** Nada a declarar.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de óleo e gás, especialmente a nacional, enfrenta grandes desafios no descomissionamento de projetos em águas ultraprofundas, agravados por questões regulatórias, uma vez que essa prática ainda está em estágio inicial (Borges, 2018). Há também uma crescente preocupação global com as condições ambientais e de segurança, com discussões sobre boas práticas na reciclagem de navios. O desmantelamento ecologicamente correto é um grande desafio para armadores, estaleiros, governos e agências em todo o mundo (Du *et al.*, 2018).

O descomissionamento apresenta potencial para o desenvolvimento de mercados de reciclagem, logística reversa e remanufatura, que beneficiam os pilares da sustentabilidade: ambiental, econômico e social. Esses processos demandam pouca matéria-prima e energia, reduzindo o impacto ambiental (Wahab *et al.*, 2018). Mudanças já estão ocorrendo, como a reciclagem de navios da União Europeia em instalações certificadas, com práticas seguras e sustentáveis, diminuindo a necessidade de recursos como metais, florestas e petróleo (Hassanpour, 2017).

A reciclagem de navios permite o reaproveitamento de materiais, como o aço, que consome apenas um terço da energia necessária para ser produzido a partir de matérias-primas. Contudo, a eficiência é limitada por fatores como especificação do produto e tecnologias de reciclagem, tornando o processo mais complexo (Reck, 2012). Dependendo das características do equipamento e da demanda de mercado, o reuso e a remanufatura podem ser alternativas viáveis.

Esta pesquisa tem como objetivo estimar o potencial de reutilização de materiais durante a reciclagem da FPSO P-32. Com base no Programa de Descomissionamento de Instalações Marítimas (PDI), os materiais foram classificados em famílias para identificar as melhores alternativas de destinação.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Descrição das Instalações em um Projeto de Descomissionamento**

O descomissionamento pode ocorrer em três situações: quando o ativo atinge a maturidade e perde viabilidade econômica, ao fim dos contratos ou quando as unidades de produção atingem o fim de sua vida útil (Steenhagen, 2020). O processo de descomissionamento é dividido em três fases principais (Hamzah, 2003): a) Lavagem e limpeza: consiste em tornar a estrutura livre de hidrocarbonetos, com a limpeza dos sistemas de processamento e remoção de gás e óleo, preparando os componentes para remoção. b) Desmontagem: remoção de todos os componentes associados à unidade. c) Destinação final dos componentes: inclui a inspeção, monitoramento e, quando necessário, restauração do local após o descomissionamento.

O principal desafio do descomissionamento de uma unidade FPSO é a complexidade e variedade dos equipamentos, que exigem soluções operacionais diferenciadas. Assim, a separação das atividades de descomissionamento reduz custos e possibilita modelos de serviços segmentados (Delgado, 2021). A segmentação do processo ocorre da seguinte forma: a) Poços: desativação e tamponamento permanente, bloqueio de fluidos dos reservatórios, garantindo a segurança dos poços (ANP, 2020). b) Sistema submarino: inclui componentes submersos como dutos, *risers* e umbilicais, com desafios operacionais como a desconexão de amarras e dutos (Da Silva, 2008). c) *Topside*: inclui os equipamentos de produção, processamento, acomodação e sustentação da subestrutura da plataforma (DE Albuquerque *apud* Ruivo, 2001).

### **2.2 Destinação final dos materiais no contexto do descomissionamento**

Estudos sobre a disposição final dos materiais são, em grande parte, voltados para embarcações mercantes. Por isso se faz necessário o direcionamento do assunto para uma unidade FPSO por exemplo, pois possui um conjunto de módulos e equipamentos específicos de processos, além de equipamentos *subsea*, para serem levados em consideração.

Normalmente a primeira escolha é reutilização do *topside* e subestrutura em projetos posteriores. Caso a primeira não seja viável, a reciclagem destes materiais deverá ser a opção mais apropriada (Delgado, 2021).

O processo de descomissionamento demandará procedimentos técnicos como, por exemplo, limpeza e remoção de *risers* e dutos; remover toda a estrutura da plataforma; descartar os materiais para um depósito de sucata ou pátio de fabricação (Bull, 2019).

Na Tabela 1 a seguir, são mostradas algumas opções e conceitos para a destinação final oriundas do processo de descomissionamento de unidades de E&P.

**Tabela 1.** Opções de destinação

<b>Plataformas E&amp;P</b>	<b>Conceitos</b>
Reciclagem	<p><u>Conceito:</u> desmonte, trituração e separação dos resíduos. A matéria-prima retorna por meio de processamento físico / químico.</p> <p><u>Processo:</u> separação e refinamento</p> <p><u>Características:</u> não leva em consideração o desgaste das peças durante a separação;</p>
Reuso	<p><u>Conceito:</u> materiais no estado em que se encontram, ou correção para reutilização.</p> <p><u>Processo:</u> remontagem após reparo, ajuste após separação.</p> <p><u>Características:</u> considera-se o desgaste das peças ao separar</p>
Remanufatura	<p><u>Conceito:</u> recuperação de Produto / Peça após o uso. Mantém seu desempenho original por meio de uma série de processos.</p> <p><u>Processo:</u> separação completa, inspeção e classificação, limpeza completa, reparos e ajustes, remontagem, teste de desempenho.</p> <p><u>Características:</u> considerando o desgaste das peças durante a separação, deve-se ter 90% do mesmo desempenho do produto original.</p>

Fonte: Adaptado de Jeon (2020).

A reciclagem das unidades tipo FPSO é de grande importância para o reaproveitamento dos produtos gerados no processo de descomissionamento, uma vez que apresentam elevado valor agregado, não devendo ser descartadas como sucatas (Sudaia, 2018).

### **2.3 Reuso, Remanufatura e Economia Circular**

Devido às crescentes preocupações globais com o meio ambiente e os recursos naturais, a remanufatura tem sido vista como uma solução importante para conservar recursos e reduzir o consumo de energia (Ziqiang, 2015). De acordo com os princípios da Economia Circular (EC), a reciclagem não é a melhor opção para produtos em fim de vida. Operações como reutilização e remanufatura podem prolongar a vida útil dos equipamentos marítimos (Milios, 2019), além de reduzir o desperdício durante o descomissionamento, minimizando o impacto ambiental e aumentando o valor econômico dos materiais (Iddrizu, 2022).

Atualmente, muitos materiais das plataformas descomissionadas ainda são reciclados, o que consome mais energia e diminui o valor dos equipamentos. Isso implica na necessidade de fabricar novos equipamentos para cada plataforma, gerando emissões de CO<sub>2</sub> (Iddrizu, 2022). A reutilização, por outro lado, é uma alternativa mais lucrativa e ambientalmente correta, levando à questão de como aprimorar o descomissionamento com a Economia Circular (Iddrizu, 2022).

No entanto, a aplicação da Economia Circular enfrenta desafios, como a falta de clareza nos valores comerciais dos materiais. O design dos equipamentos é frequentemente exclusivo, e o descomissionamento não é considerado no desenvolvimento, dificultando a adoção de soluções circulares (Velenturf, 2020). Assim, segundo Jansson (2016), a remanufatura no mercado marítimo apresenta tanto desafios quanto oportunidades, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Desafios e oportunidades da remanufatura no setor naval

<b>Desafios</b>	<b>Oportunidades</b>
Existem poucos produtos padrão	Série de navios, navios “irmãos”
Incerteza sobre quantidade e o tempo para devolução dos materiais	Navios grandes, componentes mais semelhantes
Logística reversa: de diversas localidades. Pequena quantidade de produtos coletados de cada fonte.	Parceria com fabricantes para peças e componentes originais
Dificuldade em alcançar uma economia de escala	Atualização da tecnologia para o padrão mais recente
Conhecimento dos funcionários em remanufatura	Atendimento à legislação ambiental
Encontrar um cliente adequado (navio) para as peças recondiçionadas	Melhor reputação, atrair força de trabalho

Fonte: Adaptado de Jansson (2016)

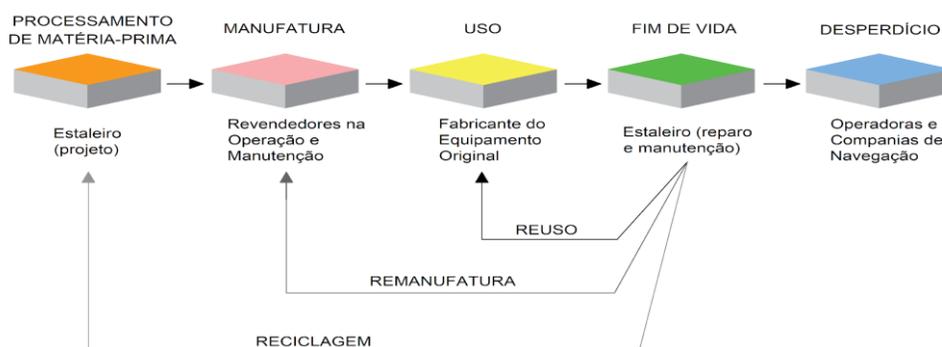
### 2.3.1 Remanufaturabilidade através do ciclo de vida do Produto

Para analisar a capacidade de remanufatura de produtos em fim de vida, é preciso ser realizado também uma análise abrangente de processos técnicos levando em conta as especificidades de cada equipamento. O processo de ciclo de um produto inclui: análise de requisitos; projeto; fabricação, serviço; manutenção e eventual reciclagem.

### 2.3.2 Remanufaturabilidade sob a perspectiva de mercado

Também é importante analisar a remanufatura sob a perspectiva do mercado, através das análises das partes interessadas. As empresas marítimas são particularmente conscientes do tempo e dos custos em torno de seus ativos, destacando que qualquer decisão a ser tomada para o destino do equipamento depende de tempo e custos (Milios, 2019).

Na Figura 1, é apresentada partes interessadas na cadeia de suprimentos e sua influência na economia circular. Os *stakeholders* evitam ao máximo paradas nas embarcações, pois mesmo pequenas paradas podem custar milhões de dólares. O preço e o prazo de entrega são os parâmetros que controlam se um componente será adequado para reutilização/remanufatura (Milios, 2019).



**Figura 1.** Partes interessadas para a remanufatura

Fonte: Adaptado de Jansson (2016)

## 3 METODOLOGIA

O projeto de pesquisa adota uma abordagem qualitativa para aprofundar o conhecimento sobre o melhor destino para os equipamentos descomissionados. A coleta de dados baseia-se no Programa de Descomissionamento de Instalações Marítimas (PDI) da plataforma P-32, que inclui o inventário de materiais a serem descomissionados. A P-32 foi escolhida por ser a primeira FPSO com um PDI Executivo divulgado publicamente pela Petrobras.

Os equipamentos do *topside* não estão no inventário de materiais da P-32. Por isso, foi necessário estimar o peso desses equipamentos por meio de pesquisa em datasheets de equipamentos similares e comparações com um projeto atual de FPSO em construção. A

empresa “A” disponibilizou uma planilha com informações dos equipamentos *topside* usados nessa nova unidade.

O objetivo é avaliar o potencial de reutilização dos equipamentos listados no PDI da P-32, propondo alternativas de destinação sustentável para os materiais incluídos no descomissionamento da unidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise Do Sistema *Subsea* da P-32

O sistema submarino da P-32, incluído no inventário de materiais para descomissionamento, abrange o Sistema de Ancoragem, Sistema de *Risers* e Sucatas *Subsea*, localizadas no leito marinho. O Sistema de Ancoragem possui um peso estimado de 1544 toneladas, sendo 78% referentes às amarras de fundo.

O Sistema de *Risers* é composto principalmente por dutos flexíveis, feitos de aço, projetados para suportar esforços dinâmicos e permitir a curvatura do duto. Segundo o PDI, a P-32 possui cinco *risers* flexíveis de 11,25 polegadas e um de oito polegadas de diâmetro. Os pesos e comprimentos desses *risers*, assim como outros componentes do sistema, estão detalhados na Tabela 3.

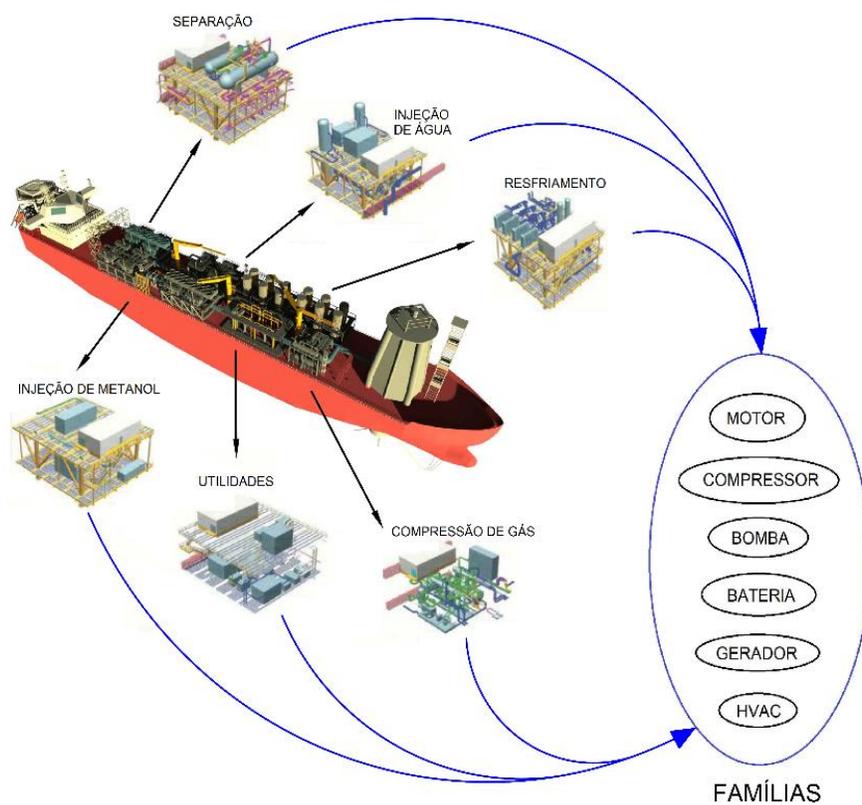
**Tabela 3.** Descrição dos *risers* da P-32

EQUIPAMENTO	QTE.	ESPECIFICAÇÕES	PESO TOTAL ESTIMADO (t)
RISER FLEXÍVEL P18 N	1	11,25" x 511	72,1
RISER FLEXÍVEL P18 S	1	11,25" x 511	72,1
RISER FLEXÍVEL P19 N	1	11,25" x 483	68,2
RISER FLEXÍVEL P19 S	1	11,25" x 481	67,9
RISER FLEXÍVEL P20	1	11,25" x 480	67,8
RISER FLEXÍVEL P27	1	8,00" x 501	47,2
Peso morto	6	-	123
Torpedo	6	2112mm; Diâmetro 960mm	50,4
Flutuadores	180	Diâmetro 1.470mm; Comprimento 700mm; Camada Externa (Polietileno); Material Interno (Espuma Sintática)	10,8
<i>Skid</i> de anodos	1	Massa Individual [t]: Aço $\approx$ 20,5 / Concreto $\approx$ 7,8	0,736

Analisando a remanufaturabilidade destes materiais submersos, sob a perspectiva de ciclo de vida e de mercado, é possível notar a falta de interesse dos armadores em reutilizar esses materiais em novos projetos. Pois para viabilizar esta reutilização, seria necessário primeiramente estudos e testes de integridade dessas linhas, a fim de se garantir a eficácia do sistema. E esta força de trabalho demandaria um custo x benefício menor, em detrimento de materiais novos, e com maior confiabilidade para suportar mais 25 anos de vida útil.

#### 4.2 Análise dos Sistemas *Topside*

É importante mencionar que um FPSO é provido de diversos tipos de sistemas e subsistemas, onde os equipamentos, além do *topside*, podem estar instalados, ao longo do convés, nas acomodações e dentro da praça de máquinas. Mas, para fins de pesquisa, serão todos considerados como “equipamentos topside”. Com isso, os equipamentos foram separados por famílias, conforme mostrado na Figura 2.



**Figura 2.** Arranjo simplificado de um FPSO

Fonte: o autor

#### 4.2.1 Família de Compressores

Os compressores inventariados na P-32 fazem parte exclusivamente do sistema de utilidades da P-32, descritos na Tabela 4.

**Tabela 4.** Compressores inventariados da P-32

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>QTDE.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Compressor de Ar de controle	2	3,7 kW; 650 Nm <sup>3</sup> /h	1,34
Compressor de Ar de Emergência	1	3,5 kW; 4,5 m <sup>3</sup> /h	1,34
Compressor de Ar de Partida	1	3,7 kW; 12 m <sup>3</sup> /h	1,34
Compressor de ar locado de A Geradora	1	1529 m <sup>3</sup> /h	1,34
<b>PESO TOTAL</b>			<b>5,36</b>

#### 4.2.2 Família de Bombas

As bombas exercem papel importante dentro da plataforma, pois são demandadas na maioria dos módulos *topside*, como por exemplo, o sistema de combate a incêndio e de dilúvio, fornecimento de água doce e salgada, tratamento de água produzida, fornecimento de água salgada, sistema de aquecimento, refrigeração, lastro, fornecimento de óleo diesel. Cada bomba possui suas funções e especificações, conforme mostrado na Tabela 5.

Nota-se que as bombas compreendidas na Tabela 5 atendem basicamente os sistemas de combate a incêndio e o sistema de utilidades da P-32, compostos por bombas de circulação de água, amplamente utilizadas em outros setores da indústria. Também compõem nesta lista, bombas de *slop* (resíduos) e as turbo-bombas de *offloading*.

**Tabela 5.** Bombas da P-32

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>QTDE.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Bomba <i>Booster</i>	2	600 kW	31,8
Bomba de água doce	2	4,5 kgf/cm <sup>2</sup> ; 10m <sup>3</sup> /h	9,74
Bomba de água doce	2	4,5 kgf/cm <sup>2</sup> ; 5m <sup>3</sup> /h	9,74
Bomba de Água dos Hidrociclones	3	85 kW	6,94
Bomba de Captação auxiliar	2	25 kW	9,74
Bomba de circulação	4	Press.: 15,3 kgf/cm <sup>2</sup> ; vaz.: 190 m <sup>3</sup> /h	19,7
Bomba de circulação para área não classificada	2	capac: 160 kW; pressão 5 kgf/cm <sup>2</sup> ; vazão: 190 m <sup>3</sup> /h	0,8
Bomba de Drenagem do Convés	2	5 kW; 20 m <sup>3</sup> /h	9,74
Bomba de Drenagem do <i>Slop Vessel</i>	2	7,5 kW	5,1
Bomba de Lastro do Tanque Central	1	275 kW	5,9
Bomba de reposição da água	1	Suc.: 4 kgf/cm <sup>2</sup> ; Desc.: 14 kgf/cm <sup>2</sup>	2,65
Bomba de Serviços Gerais	2	75 kW	2,65
Bomba de transferência aux.	1	3,7 kW	5,9
Bomba de transferência principal	1	30 kW	16,7
Bomba Jockey	2	11 kW	1,6
Bomba <i>Lift</i>	2	600 kW	9,7
Bombas de Concentrado	2	14,4 m <sup>3</sup> /h	0,3
Turbo-bombas de <i>Offloading</i>	2	2600 (kW)	30
Bomba Centrífuga	1	5,5 kW	0,13
<b>PESO TOTAL</b>			<b>178,83</b>

#### 4.2.3 Família de Geradores

A função dos geradores na P-32 é o fornecimento de água doce, a geração de gás inerte, bem como a geração de energia da unidade. O inventário de materiais descomissionados da P-32 conta com três geradores de água doce, para o fornecimento de *freshwater*, além de três motogeradores para o fornecimento de energia da unidade, Na Tabela 6 abaixo consta a lista dos geradores descomissionados na P-32.

**Tabela 6.** Geradores da P-32

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>QTDE.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Gerador de água doce	1	1 kgf/cm <sup>2</sup> ; 70 m <sup>3</sup> /h	4,2
Gerador de água doce	2	1 kgf/cm <sup>2</sup> ; 45 m <sup>3</sup> /h	4,2
Gerador de gás inerte	2	11.250 Nm <sup>3</sup> /h	-
Moto Gerador a diesel (sem TAG)	1	920 kW	4,6
Moto Gerador Auxiliar (GE-1004)	1	1500 kW	20
Moto Gerador Emergência (GE-1005)	1	370 kW	5
<b>PESO TOTAL</b>			<b>38,0</b>

#### 4.2.4 Família dos Motores

O motor a diesel faz parte do sistema de combate a incêndio da unidade, neste caso são dois motores que são responsáveis pela alimentação do anel de incêndio, sistema de hidrantes, sistema de dilúvio, canhões de água de espuma. Eles são equivalentes, e são posicionados um na região de proa e outra na região de popa, respectivamente, conforme mostrado na Tabela 7, possuem potência de 600 kW, respectivamente.

**Tabela 7.** Motores da P-32

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Qtde.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Motor Diesel	2	600 kW	4,1
<b>PESO TOTAL</b>			<b>4,1</b>

#### 4.2.5 Família de Baterias

Na P-32, as baterias são utilizadas exclusivamente no sistema de geração de energia, como *nobreaks* estáticos, garantindo a autonomia de sistemas críticos para a segurança da unidade. Exemplos incluem combate a incêndio por água e CO<sub>2</sub>, sistemas para parada de emergência, luzes de emergência, navegação e obstáculo aéreo, sistemas de telecomunicação, alarmes e controles de bombas de incêndio (PETROBRAS, 2020).

As baterias podem ser reutilizadas no mercado naval ou vendidas para empresas especializadas, sendo incineradas ou destinadas a outras indústrias. Na Tabela 8, é apresentada a lista de baterias da P-32. Devido à falta de dados quantitativos sobre o peso das baterias, utilizou-se a folha de dados de uma bateria industrial de 100Ah, modelo CR-

MVC-512050SC, da Zhejiang Xinghai Energy Technology Co. Ltd, cujo peso é de aproximadamente 900 kg.

**Tabela 8.** Baterias da P-32

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Qtde.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Bateria CB-514002	1	85Ah	0,9
Bateria CB-514501A	1	610Ah	0,9
Bateria CB-514501B	1	610Ah	0,9
Bateria CB-810001A	1	990Ah	0,9
Bateria CB-810001B	1	990Ah	0,9
Bateria CB-810002A	1	85Ah	0,9
Bateria CB-810002B	1	85Ah	0,9
<b>PESO TOTAL</b>			<b>6,3</b>

#### 4.2.6 Sistema de HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*)

No caso da disciplina de ventilação e ar-condicionado, os equipamentos são de mais fácil potencial de reutilização em outros projetos, pois os cálculos requeridos são baseados em suma na capacidade de vazão do equipamento. Na Tabela 9, encontra-se a lista de equipamentos de HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) da P-32 a serem descomissionados.

**Tabela 9.** Equipamentos HVAC da P-32 [continua]

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Qtde.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Ar-Condicionado	2	v: 24.640 m <sup>3</sup> /h; press: 0,25 kPa; pot: 55 kW	0,3
Ar-Condicionado	2	v: 24.640 m <sup>3</sup> /h; press: 0,25 kPa; pot: 22 kW	0,3
Ar-Condicionado	3	v: 6.420 m <sup>3</sup> /h; press: 0,40 kPa; pot: 36 kW	0,45
Ar-Condicionado	2	v: 6.420 m <sup>3</sup> /h; press: 0,40 kPa; pot: 22 kW	0,3
Ar-Condicionado	1	v: 6.420 m <sup>3</sup> /h; press: 0,40 kPa; pot: 55 kW	0,15
Aquecedor	2	10,57x106w	31,9
Aquecedor de óleo	2	2 X 350 m <sup>3</sup> /h	19,2
Ventilador	4	12.000 m <sup>3</sup> /h; 0,40 kPa; 37 kW	1,6
Ventilador	2	12.000 m <sup>3</sup> /h; 0,15 kPa; 22 kW	0,8
Ventilador	1	3.900 m <sup>3</sup> /h 0,47 kPa; 2,2 kW	0,4
Ventilador	2	6.000 m <sup>3</sup> /h 0,80 kPa; 22 kW	0,8

**Tabela 9.** Equipamentos HVAC da P-32 [continuação]

Ventilador	2	8.400 m <sup>3</sup> /h 0,40 kPa; 2,5 kW	0,8
Ventilador	1	2.072 m <sup>3</sup> /h 0,47 kPa; 1,5 kW	0,4
Ventilador	1	2.000 m <sup>3</sup> /h 0,50 kPa; 1,15 kW	0,4
Ventilador	1	3.000 m <sup>3</sup> /h 0,45 kPa; 1,50 kW	0,4
Ventilador	1	1.171 m <sup>3</sup> /h 0,42 kPa; 0,75 kW	0,4
Ventilador	1	1.000 m <sup>3</sup> /h 0,30 kPa; 0,42 kW	0,4
Ventilador	1	3.800 m <sup>3</sup> /h 0,50 kPa; 1,25 kW	0,4
Ventilador	2	300 m <sup>3</sup> /h 0,40 kPa; 0,18 kW	0,8
Ventilador	2	1.500 m <sup>3</sup> /h 0,45 kPa; 0,55 kW	0,8
Ventilador	2	1.600 m <sup>3</sup> /h 0,60 kPa; 0,62 kW	0,8
Ventilador	1	2.000 m <sup>3</sup> /h 0,50 kPa; 0,84 kW	0,4
Ventilador	2	300 m <sup>3</sup> /h 0,40 kPa; 0,18 kW	0,8
Ventilador	1	1.100 m <sup>3</sup> /h 0,38 kPa; 0,42 kW	0,4
Ventilador	2	1.600 m <sup>3</sup> /h 0,60 kPa; 0,62 kW	0,8
Ventilador	2	1.100 m <sup>3</sup> /h 0,20 kPa; 0,42 kW	0,8
Ventilador	2	1.500 m <sup>3</sup> /h 0,38 kPa; 0,42 kW	0,8
Ventilador	2	20.000 m <sup>3</sup> /h; 0,25 kPa; 4,7 kW	0,8
Ventilador	2	1400 m <sup>3</sup> /h 0,40 kPa 0,33 kW	0,8
Ventilador	2	1400 m <sup>3</sup> /h 0,40 kPa 0,33 kW	0,8
<b>PESO TOTAL</b>			<b>85,9</b>

#### 4.2.7 Equipamentos de Salvatagem

Na P-32, constam quatro baleeiras com capacidade para 80 pessoas cada; balsas, botes, boia e coletes salva vidas. Estes equipamentos, apesar de não se localizarem na planta de processo (*topside*), foram inseridos neste tópico para o desenvolvimento deste estudo. Segue na Tabela 10 a lista dos equipamentos de salvatagem.

**Tabela 10.** Equipamentos de Salvatagem da P-32

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Qtde.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Embarcação salva-vidas (Baleeira)	4	Capacidade para 80 p cada.	16
Balsa salva-vidas inflável	11	Capacidade para 25 p cada.	2,2
Bote de resgate	1		1,7
Colete salva-vidas	615	Tipo Classe I conforme NORMAM-05, Cap. 3, Seção III.	N/A
Boia salva-vidas	16		N/A
<b>PESO TOTAL</b>			<b>19,9</b>

#### 4.2.8 Sistema de Combate a Incêndio

Nesta “família”, consta todo o material que compõe o sistema de combate a incêndio, como por exemplo hidrantes, sensores/detectores (de chama, fumaça, CO<sup>2</sup>, dentre outros), extintores e cilindros. Ficam excluídos, neste sistema, os motores de incêndio, que foram atribuídos à “família dos motores”. Na Tabela 11, é apresentada a lista do Sistema de Combate a Incêndio a serem descomissionados.

Para esta família do sistema de combate a incêndio, alguns equipamentos, como por exemplo os detectores, não tiveram seu peso estimado no PDI da P-32. Contudo, o peso desses equipamentos foi considerado “não aplicável”, por se tratar de produtos pequenos e de peso desprezível.

**Tabela 11.** Equipamentos de Combate a Incêndio da P-32

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Qtde.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Cilindro de CO <sub>2</sub>	329		15
Detectores de Calor de Temperatura fixa	-		N/A
Detectores de CH <sub>4</sub>	-		N/A
Detectores de chama (F):	-		N/A
Detectores de CO	-		N/A
Detectores de fumaça (S):	-		N/A
Detectores de Gás	-		N/A
Detectores de H <sub>2</sub> S	-		N/A
Extintor de incêndio de pó químico seco	95	12 kg	1,1
Extintor de incêndio portátil de água	14	10 kg	0,14
Extintor de incêndio portátil de CO <sub>2</sub>	54	06 kg	0,32
Hidrantes	66		N/A
Plug Fusível (ADV):	-		N/A
<b>PESO TOTAL</b>			<b>16,56</b>

#### 4.2.9 Miscelânea

Neste grupo, conforme as Tabelas 12, 13 e 14, foram incluídos equipamentos diversos presentes na unidade, das quais não se integram a nenhuma das famílias descritas anteriormente. São tanques, vasos de pressão, tratadores, guindaste, dentre outros.

**Tabela 12.** Lista de Tanques

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Qtde.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Tanque de água lateral	2	376 m <sup>3</sup>	1,9
Tanque de Selo do Gás Inerte	1	11.250 Nm <sup>3</sup> /h	3,17
Tanque Hidróforo	1	2 m <sup>3</sup>	0,9
Tanque Hidróforo	1	1 m <sup>3</sup>	0,9
<b>PESO TOTAL</b>			<b>6,87</b>

**Tabela 13.** Lista de Vasos de pressão

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Qtde.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Vaso de ar de controle	2	5 m <sup>3</sup>	2,68
Vaso de ar para gerador a diesel	1	0,3 m <sup>3</sup>	1,34
Vaso de expansão de água quente	1	pressão: 10 kgf/cm <sup>2</sup> ; 180 °C	1,34
Vasos de ar	2	30,3 m <sup>3</sup>	2,68
<b>PESO TOTAL</b>			<b>8,04</b>

**Tabela 14.** Lista de Equipamentos “unitários”

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>Qtde</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>PESO ESTIMADO (t)</b>
Caldeira 100A	2	Superaquecedor: 75 kgf/cm <sup>2</sup> ; Saída: 515 °C	2,4
Edutor de Lastro	-		-
Forno	3	cap.: 9,88 MW; press entrada: 14 kgf/cm <sup>2</sup> /press saída: 13 kgf/cm <sup>2</sup> ; vazão 190 m <sup>3</sup> /h	11,4
Guindaste	1	7,5 t na bola e 15 t no moitão; Eletro-hidráulico com lança treliçada	158
Hidrociclone	2	3.120 m <sup>3</sup> /dia	4,1
Permutador	1	cap: 390 kW;	7,8
Torre de GI (Resfriador e Depurador)	2	11.250 Nm <sup>3</sup> /h	13,6
Tratador de Óleo (TO-122301A/B)	2	9204 m <sup>3</sup> /dia	194
Trocador de Calor para área não classificada	6	pressão 6 kgf/cm <sup>2</sup> ; vazão: 70 kg/h	3,4
Vacuum Breaker	1	11.250 Nm <sup>3</sup> /h	17,9
<b>PESO TOTAL</b>			<b>809,5</b>

### 4.3 Análise Dos Resíduos e Rejeitos

De acordo com Magalhães (2006), cada litro de óleo lubrificante é o suficiente para contaminar 1 milhão de litros de água, além de criar uma película em mil metros quadrados de superfície, impedindo a entrada de luz solar e oxigenação da água, trazendo sérios danos para a vida subaquática.

Por isso os resíduos e rejeitos da P-32 também fazem parte do inventário de materiais a serem descomissionados, tais como: água de caldeira, anti-incrustantes, graxa industrial, inibidores de corrosão, óleo lubrificante, sequestrante H<sub>2</sub>S. desta forma, todos estes materiais foram classificados conforme seu potencial de reuso.

### 4.4 Potencial de Reuso

Dentro das famílias de equipamentos da P-32, foi realizada uma classificação entre alto, médio ou baixo potencial de reuso, de acordo com as características e especificidades de cada equipamento.

Alto potencial de reuso, os equipamentos de HVAC e de combate a incêndio foram classificados com alto potencial de reuso. No caso dos equipamentos de HVAC (exaustores, ar-condicionado e ventiladores), sob perspectiva de mercado, foi analisado que esses equipamentos não se restringem ao setor de *Oil & Gas*, podendo ser facilmente utilizados em projetos de outros setores da indústria, justamente por serem amplamente aplicados na mesma. Sob a ótica de ciclo de vida, verifica-se que são, em grande parte, da mesma geração que os produtos atuais. No sistema de combate a incêndio, detectores e extintores foram classificados como de alto potencial de reuso. Ambos são equipamentos de baixa complexidade, se comparados a outros equipamentos do *topside*. Para os detectores, sob a perspectiva de mercado, existe um alto potencial de reposição para manutenção de outras unidades, ou até mesmo utilização em novas. No caso dos extintores, também é válida a análise do ciclo de vida, já que esses equipamentos estão protegidos em compartimentos fechados, o que lhes confere uma durabilidade que pode ultrapassar a vida útil da própria unidade, permitindo seu uso em novas instalações.

Já na classificação de médio potencial de reuso, pode-se elencar os equipamentos de Salvatagem, motores, bombas e guindaste. Motores e bombas, sob a ótica de mercado, são amplamente utilizados em praticamente todos os setores da indústria, o que lhes confere um

bom potencial de absorção. Contudo, há barreiras, como a necessidade de remanufatura dependendo das condições do equipamento, o que exigiria um estudo de viabilidade econômica, podendo impactar o interesse do mercado. Os equipamentos de Salvatagem, por sua vez, geralmente só são utilizados em caso de sinistro na unidade, passando sua vida útil sem uso real, exceto por testes e inspeções periódicas. Além disso, a falta de padronização entre projetos pode dificultar a reutilização de uma baleeira, por exemplo. O guindaste também foi classificado como de médio potencial, considerando seu alto valor agregado e uma possível demanda de reutilização em navios de apoio. No entanto, devido ao seu grande porte, o custo para promover sua reutilização o coloca nesta categoria.

Por fim, na classificação de baixo potencial de reuso, encontram-se os equipamentos de maior complexidade, como geradores, hidrociclones e permutadores. São maquinários pesados, de alta singularidade e baixa demanda de mercado, com aplicabilidade extremamente restrita às suas funções originais, o que dificulta o interesse das partes interessadas. Para esses equipamentos, a destinação mais provável é o descarte como sucata de aço.

Portanto, as famílias de equipamentos presentes no *topside* da P-32 foram classificadas conforme apresentado na Tabela 15.

**Tabela 15.** Classificação do potencial de reutilização dos equipamentos *topside* [continua]

FAMÍLIAS	POTENCIAL DE REUSO			MOTIVO
	ALTO	MÉDIO	BAIXO	
Compressores		X		Complexidade do equipamento
Bombas		X		Caso tenha a integridade mantida
Geradores			X	Complexidade do equipamento
Motores		X		Caso tenha a integridade mantida
Baterias			X	Alta probabilidade de reciclagem
HVAC:				
Aquecedores	X			Podem ser reutilizados em outras indústrias
Ar-condicionados	X			Podem ser reutilizados em outras indústrias
Ventiladores	X			Podem ser reutilizados em outras indústrias
Salvatagem		X		Caso tenha a integridade mantida

**Tabela 15.** Classificação do potencial de reutilização dos equipamentos *topside* [continuação]

Salvatagem	X	Caso tenha a integridade mantida
Combate a Incêndio:		
Detectores	X	Caso tenha a integridade mantida
Extintores	X	Caso tenha a integridade mantida
Hidrantes		X Baixo valor agregado
Miscelânea:		
Guindaste	X	Boa demanda de utilização; grandes dimensões
Caldeira		X
Eduador de Lastro		X
Fornos		X
Hidrociclone		X Complexidade / singularidade do equipamento
Permutador		X
Torre de GI		X
Trocador de Calor		X
Tanques		X
Tratadores		X
<i>Vacuum Breaker</i>		X
Vasos		X

## 5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa apresenta uma estimativa do quantitativo de materiais potencialmente reutilizáveis no descomissionamento da P-32, utilizando um método de análise da remanufacturabilidade de equipamentos, baseado nos conceitos de ciclo de vida do produto e conceitos de mercado.

Esta análise oferece uma classificação em cada um dos três sistemas principais a serem descomissionados, obtendo os seguintes resultados:

O Sistema *Subsea*, composto pelos *risers* e pela ancoragem, apresenta peso estimado de 2.124 toneladas de materiais reutilizáveis. Este material foi classificado com baixo potencial de reuso, e sua possível destinação é a venda como sucata para a reciclagem em fornos siderúrgicos.

Sistema *Topside*, definido a partir de nove famílias de equipamentos, foi estimado em cerca de 1.174 toneladas de materiais potencialmente reutilizáveis. Onde as famílias de HVAC e Combate a Incêndio foram classificadas com alto potencial de reuso, sendo consideradas de fácil aceitação, alta demanda e tecnologicamente viável para a reutilização em vários setores da indústria. Já as famílias dos Compressores, Motores, Bombas, Salvatagem (além do guindaste), foram classificados com médio potencial de reuso, pois, apesar de aceitos na indústria, possuem maior complexidade de elementos e funções mais específicas, necessitando também de um estudo de logística e viabilidade econômica, podendo ser destinadas para reutilização no mesmo setor. Por fim, foram classificados com baixo potencial de reuso as famílias dos Geradores, Miscelânea e Baterias, por terem baixa demanda de mercado, alta complexidade e de funções bastante restritas, inviabilizando sua reutilização. Neste caso a destinação destes materiais será o descarte como sucata ferrosa.

Os Resíduos e Rejeitos também foram classificados com alto potencial de reuso, dado que podem passar por processo de re-refino, retornando com suas propriedades iniciais. Com exceção dos efluentes, como água de limpeza de dutos e água de caldeira, considerados com baixo potencial de reuso, serão tratados e devidamente descartados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Resolução ANP nº 817, de 24 de abril de 2020. Diário Oficial: República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília, DF, p. 37, 27 abr. 2020d. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-817-de-24-de-abril-de-2020-254001378>>.

BORGES, Priscilla Rangel. Análise quantitativa e qualitativa do descomissionamento do sistema submarino de um campo petrolífero. Dissertação Mestrado em Engenharia Oceânica, UFRJ/COPPE, 2018

BULL, Ann Scarborough; LOVE, Milton S. Worldwide oil and gas platform decommissioning: A review of practices and reefing options. **Ocean & Coastal Management**, v. 168, p. 274-306, 2019.

DA SILVA, Renato Saraiva Lima; MAINIER, Fernando B. O descomissionamento aplicado às instalações offshore de produção de petróleo sob a visão crítica ambiental.

DE ALBUQUERQUE, RODRIGO SARTORI. **Descomissionamento de plataformas de petróleo offshore: revisão sistemática**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DELGADO, Fernanda; MOURA, Raphael; FRANÇA, Mariana. Descomissionamento offshore no Brasil. 2021. Disponível em: [https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/30197/caderno\\_de\\_descomissionamento\\_rev4\\_3\\_ok.pdf?sequence=1](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/30197/caderno_de_descomissionamento_rev4_3_ok.pdf?sequence=1).

DU, Zunfeng *et al.* Hazardous materials analysis and disposal procedures during ship recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 131, p. 158-171, 2018.

HAMZAH, B. A. International rules on decommissioning of offshore installations: some observations. **Marine Policy**, v. 27, n. 4, p. 339-348, 2003.

HASSANPOUR, Malek. Evaluation of Iranian recycling industries. **Journal of waste recycling**, v. 2, n. 2, p. 1-7, 2017.

IDDRISU, Halim Tabsoba. **Circular Economy (CE) applied to Asset Management/Tech safety: study case on Oil & Gas Asset Decommissioning**. 2022. Dissertação de Mestrado. uis.

JEON, Chang Su. A Study on the Decommissioning of Oil and Gas Platform. **Journal of the Korean Society of Industry Convergence**, v. 23, n. 6\_2, p. 1081-1091, 2020.

MILIOS, Leonidas et al. Sailing towards a circular economy: Conditions for increased reuse and remanufacturing in the Scandinavian maritime sector. **Journal of cleaner production**, v. 225, p. 227-235, 2019.

PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S.A. Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI) FPSO P-32. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/arq/ppdi/pdi-fpso-p-32.pdf>.

STEENHAGEN, Michelle Maximiano. A regulação do descomissionamento de instalações marítimas de produção de petróleo e gás e sua relação com a viabilidade dos campos maduros no Brasil. 2020.

SUDAIA, David Pascoal et al. Sustainable recycling of mooring ropes from decommissioned offshore platforms. **Marine pollution bulletin**, v. 135, p. 357-360, 2018.

VELENTURF, Anne PM. Circular Oil & Gas Decommissioning. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Anne-Velenturf/publication/347530402\\_Circular\\_Oil\\_Gas\\_Decommissioning\\_The\\_social\\_economic\\_technical\\_and\\_environmental\\_values\\_of\\_North\\_Sea\\_oil\\_gas\\_decommissioning\\_for\\_1](https://www.researchgate.net/profile/Anne-Velenturf/publication/347530402_Circular_Oil_Gas_Decommissioning_The_social_economic_technical_and_environmental_values_of_North_Sea_oil_gas_decommissioning_for_1)

ocal\_communities\_and\_companies/links/60c391a4a6fdcc2e61362897/Circular-Oil-Gas-Decommissioning-The-social-economic-technical-and-environmental-values-of-North-Sea-oil-gas-decommissioning-for-local-communities-and-companies.pdf>.

WAHAB, DA et al. A review on the applicability of remanufacturing in extending the life cycle of marine or offshore components and structures. **Ocean Engineering**, v. 169, p. 125-133, 2018.

ZIQIANG, Zhou et al. Remanufacturing strategies based on value analysis of product life cycle. **The Open Cybernetics & Systemics Journal**, v. 9, n. 1, 2015.

**Contribuição dos autores:** Guilherme Ciríaco Ribeiro: conceituação, desenvolvimento da pesquisa, coleta de dados, análise dos resultados, redação do manuscrito; Newton Narciso Pereira: orientação, verificação dos dados, revisão crítica do conteúdo, supervisão da metodologia e redação.

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