

**O DESCOMISSIONAMENTO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO OFFSHORE SOB A  
PERSPECTIVA DO MÉTODO ELECTRE III – SRF**

**THE DECOMMISSIONING OF OFFSHORE PRODUCTION SYSTEMS FROM THE  
PERSPECTIVE OF THE ELECTRE III - SRF METHOD**

**EL DESMANTELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN ALTA  
MAR DESDE LA PERSPECTIVA DEL MÉTODO ELECTRE III - SRF**

Yarly Queiroz de Lima  
Mestre em Administração de Empresas  
<https://orcid.org/0000-0002-2094-2359>

Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes  
Professor titular do Centro Universitário IBMEC  
<http://orcid.org/0000-0002-9413-7811>

Maria Augusta Soares Machado  
Professora titular do Centro Universitário IBMEC.  
<https://orcid.org/0000-0002-3678-1246>

Editor Científico: José Edson Lara  
Organização Comitê Científico  
Double Blind Review pelo SEER/OJS  
Recebido em 31/01/2022  
Aprovado em 03/02/2023

This work is licensed under a Creative Commons Attribution – Non-Commercial 3.0 Brazil

## Resumo

**Objetivo do estudo:** O objetivo central do presente estudo é explorar a aplicação do Apoio Multicritério à Decisão no ordenamento e seleção de alternativas de descomissionamento dos sistemas submarinos dos campos offshore de petróleo Marlim e Voador.

**Metodologia/abordagem:** Desenvolve-se um estudo analítico orientado à tomada de decisão, de natureza exploratória e aplicada, por meio do método *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* III, formula-se um algoritmo em linguagem R e realiza-se análises de sensibilidade por meio da técnica Simos-Roy-Figueira, com variações nos pesos de importância dos critérios.

**Originalidade/Relevância:** A aplicação do método de Apoio Multicritério à Decisão é inédita na indústria de descomissionamento de sistemas de produção de petróleo e gás natural offshore. É essencialmente inovadora a análise de sensibilidade proposta, abrange o posicionamento dos diversos decisores institucionais envolvidos no problema de decisão.

**Principais resultados:** Verifica-se ampla viabilidade no uso de método de sobreclassificação no ordenamento e escolha de alternativas ao descomissionamento na indústria de óleo e gás. Por outro lado, é possível revelar robustez e aderência na proposição feita à agência reguladora.

**Contribuições teóricas/metodológicas:** A adoção de limiares de preferência permite capturar incertezas e zonas de ignorância dos decisores, o que possibilita representar pontos de vista divergentes de decisores com objetivos intrinsecamente conflitantes. O uso de algoritmo em linguagem R fomenta o uso de ferramenta de colaboração e código aberto à comunidade técnica e científica.

**Palavras-Chave:** Descomissionamento; ELECTRE; Óleo e Gás; Apoio Multicritério à Decisão

## Abstract

**Objective:** The main objective of the present study is to explore the application of Multiple Criteria Decision Aiding in the ordering and selection of decommissioning alternatives of the subsea systems in the Marlim and Voador offshore oil fields.

**Methodology/approach:** An analytical study oriented towards decision making, of an exploratory and applied nature, is developed using the *ELimination Et Choix Traduisant la REality* III method, an algorithm is formulated in R language and sensitivity analyzes are performed using the Simos -Roy-Figueira technique, by variations in the criteria importance weights.

**Originality / Relevance:** The application of the Multiple Criteria Decision Aiding method is unprecedented in the decommissioning industry of offshore oil and natural gas production systems. The proposed sensitivity analysis is essentially innovative, covering the positioning of the various institutional decision-makers involved in the decision problem.

**Main Results:** There is wide feasibility in the use of the overclassification method in the planning and choice of alternatives to decommissioning in the oil and gas industry. On the other hand, it is possible to reveal robustness and adherence in the proposition made to the regulatory agency.

**Theoretical / methodological contributions:** The adoption of preference thresholds makes it possible to capture uncertainties and zones of ignorance of decision-makers, which makes it possible to represent divergent points of view of decision-makers with intrinsically conflicting objectives. The use of algorithm in R language encourages the use of collaboration tool and open source to the technical and scientific community.

**Keywords:** Decommissioning; ELECTRE; Oil and Gas; Multiple Criteria Decision Aiding.

## Resumen

**Objetivo del estudio:** El objetivo principal del presente estudio es explorar la aplicación de Análisis de las Decisiones Multicriterio en la planificación y selección de alternativas de desmantelamiento de los sistemas submarinos de los campos petroleros marinos Marlim y Voador.

**Metodología/enfoque:** Se desarrolla un estudio analítico orientado a la toma de decisiones, de carácter exploratorio y aplicado, mediante el método *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* III, se formula un algoritmo en lenguaje R y se realizan análisis de sensibilidad mediante la técnica Simos-Roy-Figueira, con variaciones en los pesos de importancia de los criterios.

**Originalidad / Relevancia:** La aplicación del método Análisis de las Decisiones Multicriterio no tiene precedentes en la industria del desmantelamiento de sistemas de producción de petróleo y gas natural en alta mar. El análisis de sensibilidad propuesto es esencialmente innovador, pues abarca el posicionamiento de los diversos decisores institucionales involucrados en el problema de decisión.

**Principales resultados:** Existe una amplia viabilidad en el uso del método de sobreclasificación en la planificación y elección de alternativas al desmantelamiento en la industria del petróleo y el gas. Por otro lado, es posible revelar robustez y adherencia en la proposición hecha al ente regulador.

**Aportes teórico-metodológicos:** La adopción de umbrales de preferencia permite capturar incertidumbres y zonas de ignorancia de los decisores, lo que posibilita representar puntos de vista divergentes de decisores con objetivos intrínsecamente contradictorios. El uso del algoritmo en lenguaje R fomenta el uso de la herramienta de colaboración y código abierto para la comunidad técnica y científica.

**Palabras-clave:** Desmantelamiento; ELECTRE; Petróleo y gas; Análisis de las Decisiones Multicriterio.

## 1. INTRODUÇÃO

Entende-se por descomissionamento o conjunto de atividades associadas à interrupção definitiva da operação das instalações, ao abandono permanente e arrasamento de poços, à remoção de instalações, à destinação adequada de materiais, resíduos e rejeitos e à recuperação ambiental da área (ANP, 2020).

Última etapa no ciclo de vida de um projeto de exploração e produção de petróleo e gás (O&G), o descomissionamento de ativos de produção offshore tem sido objeto de estudo de

diversos autores (Bull & Love, 2019; Eke et al., 2020; Ekins et al., 2006; Martins, Bahiense, et al., 2020), assim como importantes players deste mercado (Repsol, 2017; Shell, 2017, 2020).

Alterações na atratividade econômica da exploração e produção de O&G offshore podem surgir por impactos de diversos fatores. Seja pelo recente impacto na demanda causados pela pandemia COVID-19 (OGUK, 2020), seja pela obsolescência de equipamentos, tecnologia ou devido declínio no fator de produção do reservatório após anos de extração. Para Kaiser (2019) ativos offshore entram em declínio econômico quando há queda nas receitas ou os custos de produção aumentam e, para muitos empreendimentos maduros, ambos estão acontecendo.

A Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) propõe através do Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI) conceitual integrado dos campos de Marlim e Voador (Petrobras, 2021b) alternativas de descomissionamento para revitalização da produção dos campos supracitados. Localizados na bacia sedimentar de Campos, com lâmina d'água de 160 a 993 metros, distantes até 111 km da costa do Estado do Rio de Janeiro, os campos de Marlim e Voador terão seus limites econômicos adiados através do descomissionamento de 10 plataformas de produção, incluindo seus sistemas submarinos e poços, e posterior instalação de duas unidades de produção tipo FPSOs (*Floating, Production, Storage and Offloading*).

No PDI Conceitual de Marlim e Voador apresentado à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a Petrobras trata 5 alternativas à destinação dos sistemas submarinos (linhas flexíveis, dutos rígidos e equipamentos). O relatório em epígrafe adota um método de análise comparativa para avaliação das alternativas, conceitualmente baseado em derivações do *Guidelines for Comparative Assessment in Decommissioning Programm* (OGUK, 2015). Para maiores detalhes sobre o modelo de avaliação, as alternativas e critérios adotados, deve-se consultar o PDI conceitual integrado dos campos de Marlim e Voador (Petrobras, 2021b).

O processo de descomissionamento é controverso pois envolve, em cada alternativa, diferentes níveis de custos, benefícios e riscos para grupos distintos de partes interessadas e para o meio ambiente (Schroeder & Love, 2004) e uma abordagem de descomissionamento flexível e holística será limitada pelo ambiente regulatório em que o projeto está inserido (Fowler et al., 2014). Os tomadores de decisão institucionais do problema proposto, Petrobras, ANP, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e

Marinha do Brasil, possuem instrumentos de incentivos diferentes e objetivos muitas vezes conflitantes. Neste sentido, é relevante desenvolver estudos de forma a desnudar as estruturas de preferências e julgamentos de valor do processo de tomada de decisão.

Tomadores de decisão buscam ajuda em um método de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) exatamente porque têm dificuldade em entender o que realmente querem fazer e quais opções melhor atenderão às suas aspirações no longo prazo (Belton & Stewart, 2002). No presente estudo efetuou-se a aplicação do método ELECTRE III (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) na avaliação das alternativas ao descomissionamento das linhas flexíveis (dutos flexíveis e umbilicais). A aplicação de outros métodos AMD pode ser vista em uma quantidade significativa de estudos (Fowler et al., 2014; Henrion et al., 2015; Marfatia, 2019; Martins, Bahiense, et al., 2020). No entanto, conforme extenso estudo bibliométrico realizado por Martins, Moraes, et al. (2020), reforçado por pesquisa feita no portais de busca *Google Scholar*, *Scopus* e *Scielo* pelos termos “ELECTRE”, “decommissioning” e “oil and gas”, não identificou-se, até a submissão deste estudo, publicação que retrate a adoção de métodos de AMD de sobreclassificação em seleção de alternativas de descomissionamento de ativos de produção offshore. Dimitrijevic et al. (2014) e Soltanmohammadi et al. (2009) apresentam trabalhos em que foi foram adotados os métodos ELECTRE e PROMETHEE (*preference ranking organization method for enrichment evaluation*) no descomissionamento de minas terrestres. Além do ineditismo da aplicação do método ELECTRE III na solução da problemática proposta, o estudo contribui com o enriquecimento metodológico de seleção de alternativas do setor de O&G, avalia a eficácia e robustez da escolha original e, por fim, desenvolve a aplicação no RStudio®, disponibilizando o código em linguagem R® para implementações futuras do método proposto.

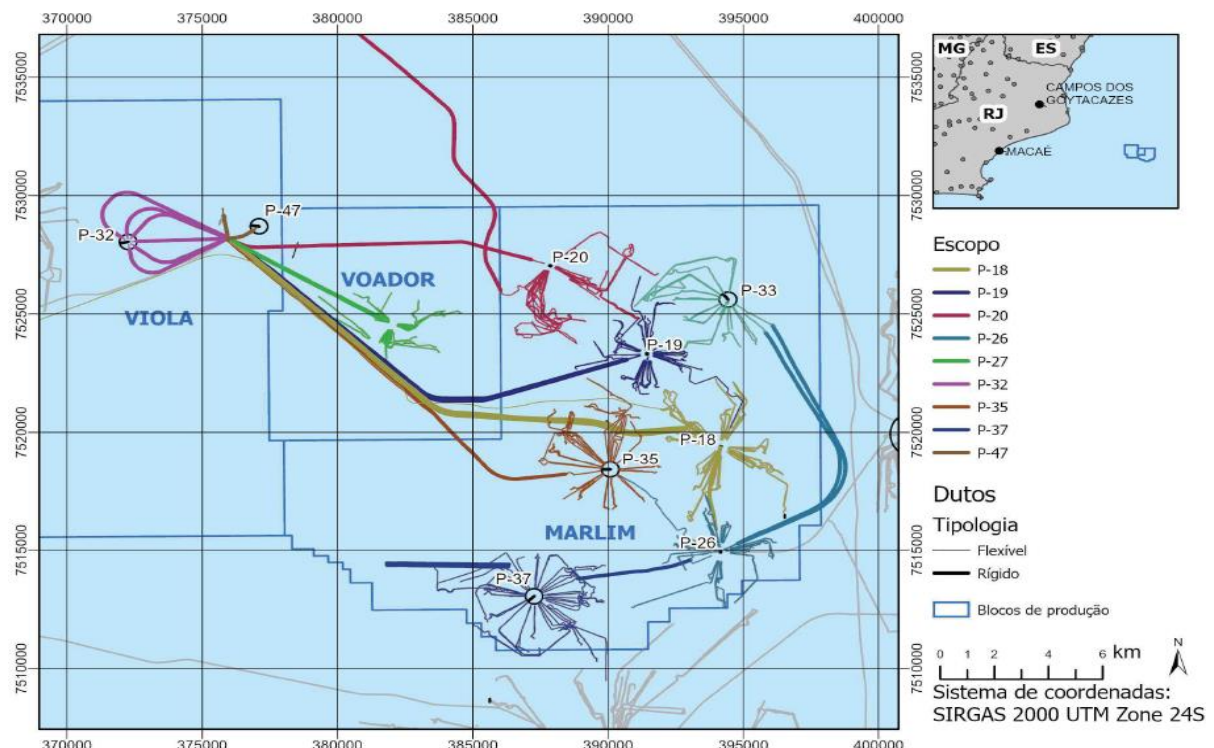
## 2. O descomissionamento dos campos de Marlim e Voador

A Bacia de Campos é a principal área sedimentar já explorada na costa brasileira. Ela se estende das imediações da cidade de Vitória (ES) até Arraial do Cabo, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, em uma área de aproximadamente 100 mil quilômetros quadrados (Petrobras, 2021a). A bacia é explorada comercialmente desde 1977, através da descoberta e exploração

do campo de Anchova, e possui 53 plataformas em 50 campos de produção, totalizando mais de 12 bilhões de barris de petróleo já extraídos (Dutra et al., 2018).

Apesar de ser considerada tecnicamente uma bacia madura, a Bacia de Campos tem fôlego para continuar mantendo sua produção sustentável pelos próximos anos pois há um imenso potencial de geração de valor em seus ativos. À medida que crescem os desafios, com o declínio natural de produção dos campos maduros, mais investimentos são feitos, seja para aumentar o fator de recuperação dos campos, seja para explorar óleo novo (Petrobras, 2020).

A Petrobras, através do PDI Conceitual Integrado dos Campos de Marlim e Voador, propõe às instituições reguladoras ANP, IBAMA e Marinha do Brasil o descomissionamento de dez plataformas de produção, incluindo os poços e sistemas submarinos a elas associados. Os campos estão localizados a aproximadamente 100 quilômetros da costa do estado do Rio de Janeiro. Na Figura 1 apresenta a localização das plataformas, suas linhas flexíveis e rígidas, bem como as dimensões dos campos de Marlim e Voador.



**Figura 1.** Escopo geral de descomissionamento e localização dos campos Marlim e Voador. Fonte: Adaptado de Petrobras (2021b).



O projeto de descomissionamento das instalações dos campos de Marlim e Voador permitirá o prosseguimento da revitalização dos mesmos campos, ação que contará com a instalação de duas unidades do tipo FPSO em substituição às plataformas e seus sistemas de produção (poços e linhas/equipamentos submarinos) que estão sendo descomissionados: P-18, P-19, P-20, P-26, P-27 (apenas sistema submarino e poços), P-32, P-33, P-35, P-37 e P-47. A Tabela 1 apresenta quadro resumo das instalações a serem descomissionadas.

**Tabela 1**

Instalações a serem descomissionadas nos campos de Marlim e Voador.

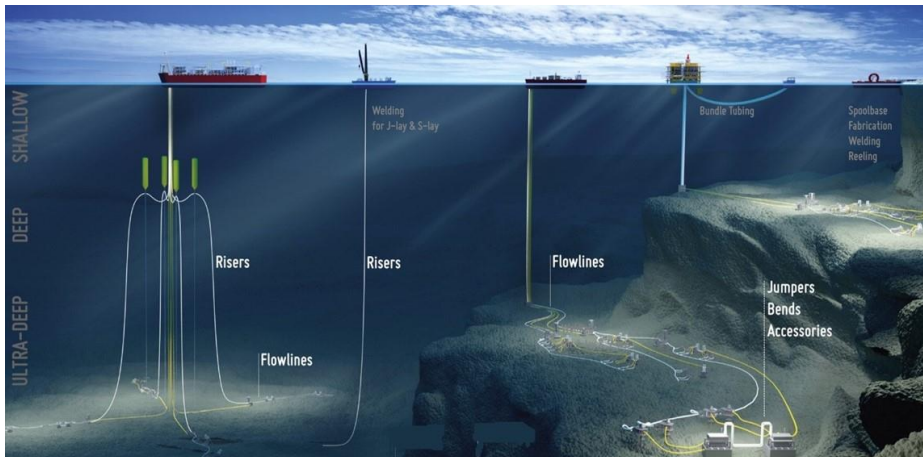
Plataforma	Localização	LDA <sup>3</sup> (metros)	Tipo de Instalação
P-18	Campo de Marlim	910	Plataforma semissubmersível, sistema submarino e poços
P-19	Campo de Marlim	770	Plataforma semissubmersível, sistema submarino e poços
P-20	Campo de Marlim	612	Plataforma semissubmersível, sistema submarino e poços
P-26	Campo de Marlim	993	Plataforma semissubmersível, sistema submarino e poços
P-27	Campo de Voador <sup>1</sup>	553	Sistema submarino e poços
P-32	Campo de Viola <sup>2</sup>	160	FPSO e sistema submarino
P-33	Campo de Marlim	842	FPSO, sistema submarino e poços
P-35	Campo de Marlim	780	FPSO, sistema submarino e poços
P-37	Campo de Marlim	895	FPSO, sistema submarino e poços
P-47	Campo de Viola <sup>2</sup>	190	FPSO e sistema submarino

**Nota.** 1 Plataforma já descomissionada, restando o sistema submarino e poços. 2 Faz parte do sistema de produção de Marlim, mas está localizada no campo de Viola. 3 Lâmina d'água. Fonte: Adaptado de Petrobras (2021b).

A Petrobras apresenta no PDI Conceitual as alternativas de descomissionamento para os principais componentes dos sistemas de produção de Marlim e Voador: dutos rígidos, linhas flexíveis (dutos flexíveis, umbilicais, cabos elétricos e fibra óptica), equipamentos submarinos apoiados no leito marinho (manifolds e sistemas de processamento/bombeamento), materiais/resíduos no leito marinho (“sucatas”), sistemas de ancoragem e plataformas (semissubmersíveis e FPSOs).

Neste artigo, opta-se por utilizar os dados de avaliação de 5 alternativas de descomissionamento das linhas flexíveis (dutos flexíveis e umbilicais). A escolha deve-se a maior complexidade do assunto, sobretudo devido à grande quantidade e variedade de linhas flexíveis instaladas, bem como à extensão dos campos de Marlim e Voador e à diversidade de cenários ambientais existentes, com presença recorrente de ambientes sensíveis (Petrobras,

2021b). A Figura 2 ilustra os sistemas de dutos e umbilicais presentes nas plataformas a serem descomissionadas nos campos de Marlim e Voador.



**Figura 2.** Representação dos dutos e umbilicais em seus trechos dinâmicos (risers) e estáticos (flowlines).

Fonte: Adaptado de (ArcelorMittal, 2021).

As linhas flexíveis, dutos flexíveis e umbilicais são os dutos empregados em todo sistema submarino de coleta e escoamento, que conduzem os fluidos produzidos pelo poço para as unidades de produção. Eles podem ser utilizados para a interligação de uma unidade a outra, para a injeção ou o descarte de fluidos em reservatórios ou para a exportação da produção para terra. Seu formato é tubular, ver Figura 3, com camadas de materiais metálicos e não metálicos, cada qual com uma função específica (Petrobras, 2015).



**Figura 1.** Composição de uma linha flexível.

Fonte: Adaptado de Petrobras (2015).



A partir do PDI Conceitual de Marlim e Voador é possível resumir o escopo das alternativas:

- Alternativa 1: Recolhimento integral das linhas flexíveis após deposição temporária dos *risers* no leito marinho;
- Alternativa 2: Recolhimento de todos os *risers* no momento do *pull out*<sup>1</sup> e posteriormente, recolhimento integral dos trechos *flowline*;
- Alternativa 3: Plataformas em “áreas ambientalmente mais sensíveis<sup>2</sup>”: recolhimento dos risers no momento do pull out e permanência definitiva *in situ* das *flowlines*. Para as plataformas em “áreas ambientalmente menos sensíveis”: recolhimento integral das linhas flexíveis após deposição temporária dos *risers* no leito marinho;
- Alternativa 4: Recolhimento de todos os *risers* no momento do *pull out* e permanência definitiva *in situ* de todas as *flowlines*, independentemente da região.
- Alternativa 5: Deposição dos *risers* no leito marinho e permanência definitiva *in situ* de todas as linhas flexíveis.

A remoção parcial ou a permanência definitiva *in situ* de instalações poderão ser admitidas em caráter de exceção, desde que atendidos os requisitos normativos aplicáveis e devidamente justificada (ANP, 2020). Em linhas gerais a Petrobras propõe no PDI Conceitual integrado dos Campos de Marlim e Voador:

- uma visão geral do inventário das instalações nos Campos de Marlim e Voador que serão descomissionadas, evidenciando a grande complexidade e porte do projeto;
- apresenta as propostas de descomissionamento das instalações: poços, plataformas e sistemas submarinos;
- descreve como se dará o tratamento e destinação de resíduos e rejeitos gerados na execução das operações de descomissionamento.

Por fim, a Petrobras destaca ainda os compromissos de adotar, nas bases de avaliação das alternativas do projeto de descomissionamento, princípios de preservação da vida e prevenção de riscos operacionais, de riscos e impactos sobre o meio ambiente, no reaproveitamento ou

<sup>1</sup> Operação de remoção e retirada de dutos e linhas flexíveis do meio submarino.

<sup>2</sup> São “áreas ambientalmente mais sensíveis” as regiões do Campo de Marlim nas quais estão localizados os sistemas submarinos das plataformas P-18, P-19, P-33, P-20 e P-35, onde a densidade de bancos de coral é maior.

reciclagem das instalações e equipamentos e na destinação final adequada dos materiais inservíveis e dos resíduos/rejeitos, respeitando os requisitos legais. É recomendada a leitura do PDI Conceitual (Petrobras, 2021b) para maiores detalhes e aprofundamento das ações de descomissionamento dos campos de Marlim e Voador.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O Método ELECTRE III

A família de métodos ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) teve sua origem no final dos anos sessenta através de Bernard Roy, dando origem ao que se conhece hoje como Escola Europeia. Optou-se pelo uso do método ELECTRE III pois nessa família de métodos, conforme Figueira et al. (2019), (1) das escalas de critérios pode-se lidar com a natureza quantitativa e qualitativa; (2) as escalas podem ser heterogêneas (metros, ruidosos, atrasos, custos, retorno, etc); (3) efeitos compensatórios não são relevantes devido uso do índice de concordância e limites de veto; (4) são capazes de levar em conta o conhecimento imperfeito dos dados (incerteza, imprecisão e má determinação) e a arbitrariedade na construção dos critérios.

Os métodos de sobreclassificação são particularmente aplicáveis ao contexto de pluralidade decisória do problema em questão. A atuação dos agentes PETROBRAS, ANP, IBAMA e Marinha do Brasil cria, segundo impossibilidade ou dificuldade de se estabelecer uma função de utilidade, caso em que Gomes e Gomes (2019) reforçam os métodos de agregação da escola francesa pois facilitam a comparação a priori e a posteriori.

Para Figueira et al. (2010), nos métodos da família ELECTRE admite-se que:

- $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\}$  é o vetor de alternativas;
- $F = \{g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_n\}$  é o vetor de critérios de avaliação das alternativas, com  $n \geq 3$ ;
- $M$  a matriz de performance  $m \times n$ , formada por  $g_j(a_i)$ , a performance da alternativa  $a_i$  no critério  $g_j$ , para todo  $a_i \in A$  e  $g_j \in F$ .

Os métodos ELECTRE avaliam a sobreclassificação entre alternativas através de quatro situações de preferência: indiferença (I), preferência estrita (P), preferência fraca (Q) e

incomparabilidade ( $R$ ) (Figueira et al., 2010). Nele utiliza-se de matrizes de concordância e discordância. A primeira é utilizada para avaliar a pertinência da afirmação de que uma “alternativa  $a_1$  é pelo menos tão boa quanto uma alternativa  $a_2$ ”, representa-se essa afirmação por  $a_1Sa_2$ , ou  $a_1$  sobreclassifica  $a_2$ . Já a segunda matriz é utilizada para avaliar o grau de discordância da afirmação  $aSb$ .

Foi através da introdução dos limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e veto ( $v$ ) que Roy (1978) criou o método ELECTRE III, elevando o patamar do método para a solução da problemática de ordenação de alternativas. O ELECTRE III é capaz de identificar se no contexto de um problema de decisão existe ou não uma relação de dominância entre duas alternativas, em outras palavras, se o risco em se considerar a afirmativa “a alternativa  $a_1$  é pelo menos tão boa quanto a alternativa  $a_2$  como verdade é aceitável (Gomes & Gomes, 2019). Desta forma, o método permite uma modelagem mais sofisticada das preferências em critérios individuais (Belton & Stewart, 2002). Assim, considere o par de alternativas  $a_1$  e  $a_2$ , diz-se que:

- $a_1Pa_2$  se, e somente se,  $g_j(a_1) > g_j(a_2) + p_j(g_j(a_2))$ ;
  - $a_1Qa_2$  se, e somente se,  $g_j(a_2) + q_j(g_j(a_2)) < g_j(a_1) < g_j(a_2) + p_j(g_j(a_2))$ ;
  - $a_1Ia_2$  se, e somente se,  $g_j(a_2) < g_j(a_1) < g_j(a_2) + q_j(g_j(a_2))$ ;
  - Entendido esses conceitos, Tzeng e Huang (2011) generaliza:
- $$p_j(g_j(a_i)) = \alpha_p + \beta_p g_j(a_i) \quad (1)$$
- $$q_j(g_j(a_i)) = \alpha_q + \beta_q g_j(a_i) \quad (2)$$

Onde a solução dos limites de preferência ( $p$ ) e indiferença ( $q$ ) podem ser constantes, se  $\beta$  é zero, proporcional, se  $\alpha$  é zero, ou combinado, se  $\alpha$  e  $\beta$  são diferentes de zero.

Belton e Stewart (2002) sugerem que se atribua o índice de concordância  $C(a_1, a_2)$  dado por:

$$C(a_1, a_2) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j C_j(a_1, a_2)}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (3)$$

Onde  $C_j(a_1, a_2)$  é o grau de concordância com a afirmação de que  $a_1Sa_2$  ( $a_1$  é pelo menos tão boa quanto  $a_2$ ) que é dado por:

$$C_j(a_1, a_2) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a_1) - g_j(a_2) > q_j(g_j(a_1)) \\ 0 & \text{se } g_j(a_1) - g_j(a_2) < p_j(g_j(a_1)) \end{cases} \quad (4)$$

Com uma interpolação linear entre 0 e 1 quando  $q_j(g_j(a_1)) < g_j(a_2) - g_j(a_1) < p_j(g_j(a_1))$

Em seguida deve-se computar o índice de discordância  $d(a_1, a_2)$ , que é dado por:

$$d_j(a_1, a_2) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a_2) - g_j(a_1) > v_j(g_j(a_1)) \\ 0 & \text{se } g_j(a_1) - g_j(a_2) < p_j(g_j(a_1)) \end{cases} \quad (5)$$

Com uma interpolação linear entre 0 e 1 quando  $p_j(g_j(a_1)) < g_j(a_2) - g_j(a_1) < v_j(g_j(a_1))$ , onde o limiar de veto ( $v_j$ ) corresponde o valor ao qual a sobreclassificação de  $a_2$  por  $a_1$  é vetada se a performance de  $a_2$  supera a alternativa  $a_1$  por um valor superior ao limiar de veto (Belton & Stewart, 2002). Assim como em (1) e (2), o limiar de veto pode ser matematicamente representado por:

$$v_j(g_j(a_i)) = \alpha_v + \beta_v g_j(a_i) \quad (6)$$

Finalmente os índices gerais de concordância e de discordância são combinados para fornecer uma relação global de sobreclassificação. A alternativa  $a_1$  sobreclassifica  $a_2$  com credibilidade  $S(a_1, a_2)$ , que é matematicamente definida por:

$$S(a_1, a_2) = \begin{cases} C(a_1, a_2) & \text{se } d_j(a_1, a_2) < C(a_1, a_2) \forall j \in J \\ C(a_1, a_2) \times \prod_{j \in J(a_1, a_2)} \frac{1 - d_j(a_1, a_2)}{1 - C_j(a_1, a_2)} & \end{cases} \quad (7)$$

Onde  $J(a_1, a_2)$  é o conjunto de critérios que satisfazem à condição  $d_j(a_1, a_2) > C(a_1, a_2)$ . Para Belton e Stewart (2002), o índice de credibilidade  $S(a_1, a_2)$  é melhor interpretado como um indicador da "ordem de magnitude" de apoio para a afirmação de que  $a_1$  supera  $a_2$ . Belton e Stewart (2002) descrevem ainda o procedimento a seguir para que sejam realizadas as destilações ascendente e descendente, permitindo em seguida alcançar o *ranking* de sobreclassificação e preferência entre as alternativas avaliadas. As matrizes de concordância, discordância, índices de credibilidade, destilações ascendentes e descendente, e ranking serão

calculados pelo algoritmo no *software* RStudio® em linguagem R, disponível em Lima e Machado (2021).

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Cooper e Schindler (2014) o presente artigo trata-se um estudo analítico orientado à tomada de decisão. Pode-se ainda complementar a metodologia de pesquisa adotada com as classificações de Vergara (2004) classificando o estudo quanto aos fins, a pesquisa é de natureza exploratória e aplicada.

O caráter exploratório advém da ausência de publicações que tratem da adoção do método ELECTRE III em avaliações de alternativas ao descomissionamento de ativos de exploração e produção *offshore*. Na aplicação do método ELECTRE III efetuou-se os cálculos através do *software* RStudio®, as linhas do código de programação em linguagem R está disponível em Lima e Machado (2021). Em termos experimentais, realiza-se, a posteriori, análise de sensibilidade com manipulações dos pesos de importância dos critérios aplicando o procedimento SRF (Simos-Roy-Figueira) descrito em Figueira e Roy (2002), com medidas e comparações das mudanças no ordenamento das alternativas preferenciais.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

### 4.1 ELECTRE III no problema de decisão

Do PDI Conceitual dos Sistemas de Marlim e Voador (Petrobras, 2021b) selecionou-se para aplicação do método ELECTRE III a tabela de quantidades de operações e materiais que serão aplicados no descomissionamento dos sistemas submarinos, linhas flexíveis e dutos rígidos, Tabela 2.

**Tabela 1**

Quantidades estimadas de operações e materiais recolhidos em cada alternativa de descomissionamento dos campos de Marlim e Voador

Medidas	A1	A2	A3	A4	A5
Quantidade de linhas recolhidas (km)	1.231	1.231	725	435	0
Quantidade de linhas que permanecerá in situ (km)	0	0	506	796	1.231
Percentual de recolhimento	100%	100%	59%	35%	0%
Quantidade de materiais metálicos recolhidos (t)	48.080	48.080	28.233	16.923	0
Quantidade de materiais metálicos in situ (t)	0	0	19.848	31.158	48.080
Quantidade de materiais poliméricos recolhidos (t)	10.489	10.489	6.217	3.918	0
Quantidade de materiais poliméricos in situ (t)	0	0	4.272	6.571	10.489
Quantidade de materiais recolhidos (t)	58.569	58.569	34.450	20.840	0
Quantidade de materiais in situ (t)	0	0	24.120	37.729	58.569
Quantidade de içamentos na base terrestre (trechos cortados)	252.509	252.509	148.029	90.071	0
Quantidade de içamentos pesados	820	820	523	322	322
Quantidade de <i>inboardings</i>	498	498	422	322	0
Movimentações de linhas sobre bancos	1.947	1.947	463	353	0
Tempo de barco (dias)	3.390	4.521	3.511	3.475	1.775
Custo relativo	2,1	2,2	1,7	1,1	1
Tempo total de operação (ano x barco* à PLSV +RSV)	8,3	11,4	8,6	8,5	3,8
Quantidade de viagens de embarcações	85	185	133	153	38
Quantidade de viagens de caminhão	2.525	2.525	1.480	901	0
Quantidade de viagens de helicóptero	200	180	143	110	89
Quantidade de operações de mergulho	322	109	180	109	322

Fonte: PDI Conceitual de Marlim Voador (Petrobras, 2021b).

Para Figueira et al. (2009) uma família de critérios coerentes deve ser definida de forma a reduzir as dependência entre critérios tanto quanto possível. Assim, identificou-se que as quantidades de linhas recolhidas e quantidades de linhas que permanecerá in situ avaliam as de alternativas de forma redundante, sendo uma um critério do tipo maximização e a outra minimização para um mesmo parâmetro. Identificou-se características semelhantes nas quantidades de materiais metálicos e polímeros. Eliminadas as redundâncias, identificou-se que o critérios restantes podem ser adotados no ELECTRE III pois, segundo Figueira et al. (2009), suas formulações são utilizadas para lidar com uma dependência estrutural relacionada a vários pontos relativos a stakeholders distintos, no caso em análise considera-se Petrobras, Marinha



do Brasil, ANP e IBAMA . Por fim, a Tabela 3 consolida os critérios quantitativos de avaliação das alternativas considerados nos cálculos do ELECTRE III.

**Tabela 2**

Critério de avaliação das alternativas ao descomissionamento das linhas flexíveis de Marlim e Voador

Critério de Avaliação	A1	A2	A3	A4	A5
$g_1$ máx.- Quantidade de linhas que permanecerá in situ (km)	0	0	506	796	1.231
$g_2$ máx.- Quantidade de materiais in situ (t)	0	0	24.120	37.729	58.569
$g_3$ min- Quantidade de içamentos na base terrestre	252.509	252.509	148.029	90.071	0
$g_4$ min- Quantidade de içamentos pesados	820	820	523	322	322
$g_5$ min- Quantidade de <i>inboardings</i>	498	498	422	322	0
$g_6$ min- Movimentações de linhas sobre bancos	1.947	1.947	463	353	0
$g_7$ min- Tempo de barco (dias)	3.390	4.521	3.511	3.475	1.775
$g_8$ min- Custo relativo	2,1	2,2	1,7	1,1	1
$g_9$ min- Tempo total de operação	8,3	11,4	8,6	8,5	3,8
$g_{10}$ min- Quantidade de viagens de embarcações	85	185	133	153	38
$g_{11}$ min- Quantidade de viagens de caminhão	2.525	2.525	1.480	901	0
$g_{12}$ min- Quantidade de viagens de helicóptero	200	180	143	110	89
$g_{13}$ min- Quantidade de operações de mergulho	322	109	180	109	322

Fonte: Adaptado de PDI Conceitual de Marlim Voador (Petrobras, 2021b).

Os critérios  $g_1$  e  $g_2$  foram modelados como critérios de maximização. Entende-se que haverá uma menor interferência ambiental, na vida submarina ali desenvolvida, bem como uma menor emissão de gases do efeito estufa bem como um menor consumo global de energia. Os demais critérios,  $g_3$  a  $g_{13}$ , foram assumidos como critérios de minimização, uma vez que a leitura do PDI evidencia o reconhecimento do valor à menor exposição da vida humana a riscos operacionais e preservação de recursos naturais e financeiros. É importante destacar que Figueira et al. (2010) defende que os procedimentos de agregação utilizados nos métodos ELECTRE são adaptados a situações em que os modelos de decisão incluem mais de cinco critérios, até treze, reforçando a opção feita pelo método AMD escolhido.

Diferentemente dos métodos da escola americana, *Multi-Attribute Utility Theory* (Edwards & Newman, 1986) ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1987), por exemplo, os métodos da família ELECTRE consideram os pesos como uma medida da importância que cada critério tem para o decisor, e não como uma taxa marginal de substituição, visto que as avaliações de cada alternativa nos diferentes critérios não se reúnem em uma avaliação global

(Gomes et al., 2004). Os coeficientes de importância relativa anexados aos critérios referem-se a pesos intrínsecos. Para um dado critério  $g_i$ , o peso  $k_i$ ,  $k_i > 0$  para todo  $g_i \in F$ , pode ser interpretado como seu poder de voto quando contribui para a majorar a favor de uma sobreclassificação (Figueira et al., 2009).

Adotou-se como cenário base de decisão a avaliação neutra das medidas de importância, ou seja, para o critério  $g_i$ , o peso  $k_i = 7,7$ , para todo  $g_i \in F$ . Cenários de sensibilidade com alternância de importância entre os critérios foi adotado atribuindo-se proposição de Figueira e Roy (2002).

Na composição dos limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e veto ( $v$ ), por tratar-se de uma aplicação a posteriori e pioneira, adotou-se o desvio padrão como medida de referência. Opções semelhantes podem ser identificadas em Gomes et al. (2009) e Hokkanen e Salminen (1997). Desta forma, interpreta-se as relações de sobreclassificação de duas alternativas: (a) Indiferente: quando a diferença em um determinado critério não ultrapassar o limite de um desvio padrão; (b) Preferência Fraca: quando a diferença for maior que um desvio padrão e menor que dois; (c) Preferência Forte: quando a diferença de avaliação ultrapassa o limite de dois desvios padrão mas permanece menor que três; (d) Veto: quando a diferença de avaliação entre duas alternativas ultrapassar três desvios padrão.

As matrizes de concordância e discordância, os cálculos dos índices de concordância (Tabela 4), equações (3), (4), (5) e (7), bem como os *rankings* de sobreclassificação, Tabela 5, foram calculados através do RStudio®. O algoritmo de programação em linguagem R é inspirado na função desenvolvida por Prombo (2014) e está disponível em Lima e Machado (2021).

**Tabela 3**

Matriz de Credibilidade  $S$ , das alternativas ao descomissionamento das linhas flexíveis de Marlim e Voador

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Alternativa 1	1,00	0,89	0,89	0,36	0,03
Alternativa 2	0,89	1,00	0,9354	0,51	0,00
Alternativa 3	0,95	0,95	1,00	0,98	0,58
Alternativa 4	0,92	0,94	0,9607	1,00	0,76
Alternativa 5	0,92	0,85	0,9149	0,88	1,00

Fonte: elaboração própria.

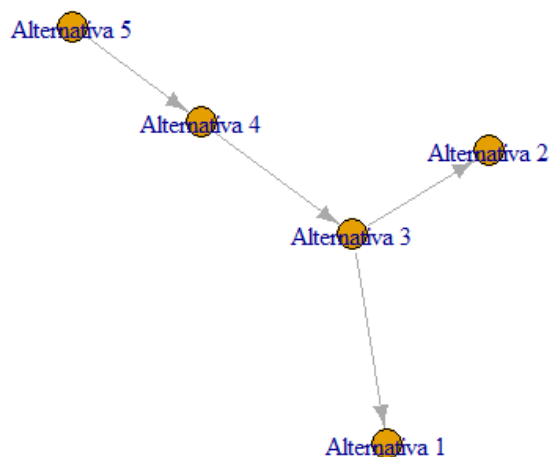
**Tabela 4**

Ranking de sobreclassificação final das alternativas ao descomissionamento das linhas flexíveis de Marlim e Voador

	Destilação Ascendente	Destilação Descendente	Ranking Final
Alternativa 1	3	3	4
Alternativa 2	3	3	4
Alternativa 3	2	3	3
Alternativa 4	1	2	2
Alternativa 5	1	1	1

Fonte: elaboração própria.

Na figura 4 apresenta-se o *kernel* de sobreclassificação das alternativas, saída do RStudio®. No *kernel* revela-se o ordenamento das alternativas em termos de dominâncias: Alternativa 5 > Alternativa 4 > Alternativa 3 > Alternativas 1 e 2, lê-se: “A alternativa 5 ssobreclassifica a alternativa 4, que por sua vez sobreclassifica a alternativa 3 e esta sobreclassifica as alternativas 1 e 2 simultaneamente.

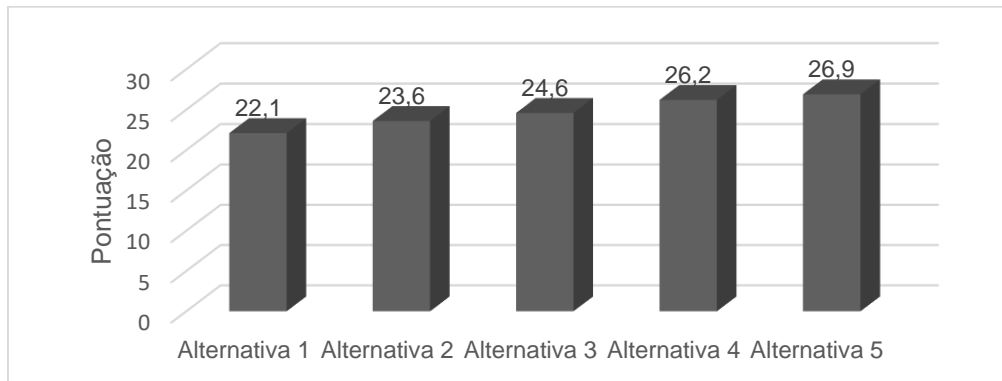


**Figura 2.** *Kernel* de sobreclassificação das alternativas.

Fonte: elaboração própria no Rstudio®.

## 4.2 Discussão dos resultados

No PDI Conceitual dos Sistemas de Marlim e Voador, a Petrobras adota análise comparativa de alternativas, um método de agregação de pontos em que a melhor alternativa é que obtém maior pontuação. Não há diferenciação de importância e peso entre os critérios. O resultado da avaliação das alternativas do PDI é resumido na figura 5.



**Figura 3.** Pontuação das alternativas ao descomissionamento das linhas flexíveis dos campos de Marlim e Voador.

Fonte: Adaptado de Petrobras (2021).

O ranking de sobreclassificação obtido através da aplicação do ELECTRE III assemelha-se ao obtido no PDI de Marlim e Voador. Há divergências apenas na última posição, onde o método de sobreclassificação revela que as alternativas 1 e 2 são superadas por todas as demais.

Realizou-se análises de sensibilidade com variações nos pesos de importância dos critérios. Para tanto, a técnica e *software* SRF (acrônimo de Simos-Roy-Figueira), proposta por Figueira e Roy (2002), foram adotados. No SRF o tomador de decisão ordena os critérios do menos desejável ao mais importante. É possível que alguns critérios tenham a mesma importância, deve-se, portanto, agrupá-los na mesma posição do *ranking*. Por outro lado, critérios em posições sequenciais podem ser distanciados com o uso de “cartões brancos”, a fim criar intervalos capazes de melhorar, ou piorar, seu posicionamento em relação ao seu vizinho. A Figura 6 mostra exemplo de resultado de ponderação normalizada (*poids normés*) através do *software* SRF.

SRF Tableau des résultats : "poids non normés" et "poids normés"

Tableau des Résultats						Fermer
Acteur = ANP		Itération = 1	Variante = 2	Format = 1	Valeur Z = ?	
Numéro - (Code)	Intitulé	Rang	Intervalle	Poids non Normés	Poids Normés	
1 - (G1)	G1.....	1		1	5,1	
2 - (G2)	G2.....	2	1	1,5	7,7	
3 - (G3)	G3.....	2		1,5	7,7	
4 - (G4)	G4.....	2		1,5	7,7	
5 - (G5)	G5.....	2		1,5	7,7	
6 - (G6)	G6.....	2		1,5	7,7	
7 - (G7)	G7.....	2		1,5	7,7	
8 - (G8)	G8.....	2		1,5	7,7	
9 - (G9)	G9.....	2		1,5	7,7	
10 - (G10)	G10.....	2		1,5	7,7	
11 - (G11)	G11.....	2		1,5	7,7	
12 - (G12)	G12.....	2		1,5	7,7	
13 - (G13)	G13.....	3	1	2	10,2	
					100	

**Figura 4.** Peso de importância dos critérios no ELECTRE III adotados na análise de sensibilidade.

Fonte: Elaboração própria através do *software* SRF.

Lima e Gomes (2021) submeteram avaliações de preferência entre critérios e subcritérios a equipes que trabalham em projetos de descomissionamento no segmento de O&G, gerando pesos através da técnica ROC (*rank order centroid*). Através do relatório técnico de Shell (2017), Lima e Gomes (2021) identificaram a preferência dos critérios de avaliação das alternativas em uma equipe de implantação de projetos de descomissionamento. Diferentemente do levantamento realizado pelos autores, nesta aplicação do ELECTRE III não se pretende explorar as preferências do tomador de decisão proponente da alternativa de descomissionamento aos campos de produção Marlim e Voador, no caso a Petrobras, mas sim explorar o desenvolvimento do método multicritério e avaliar a robustez da seleção apresentada para os decisores institucionais reguladores, ANP, IBAMA e Marinha do Brasil. Desta forma, optou-se por: (1) impor a pior importância ao critério  $g_8$  - Custo Relativo, piorando sua posição com um “cartão branco”; (2) adotar aos demais critérios intermediários igual importância e; (3) destacar o critério de maior importância com um “cartão branco”, intensificando sua relevância frente aos demais critérios. A posição de maior importância foi experimentada por todos os critérios, exceto o critério  $g_8$  - Custo Relativo, que foi mantido em todas as análises de sensibilidade na pior posição. Esta opção de posicionar o critério A Tabela 6 agrega as ordens de sobreclassificação das alternativas para os cenários de sensibilidades simulados.

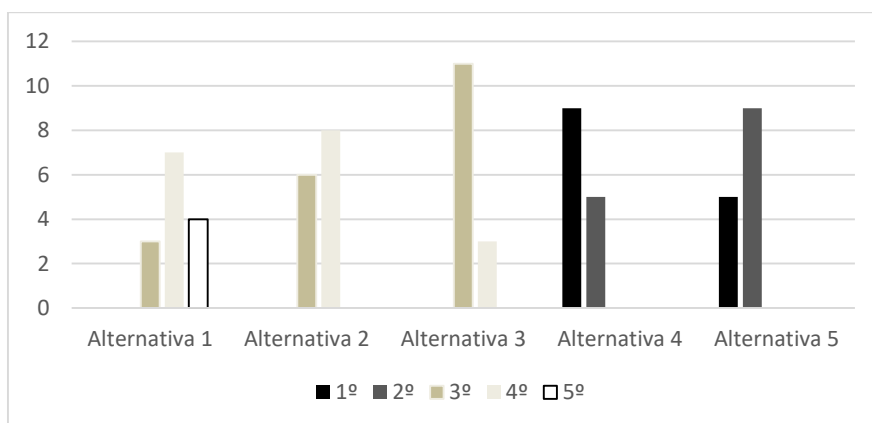
**Tabela 5**

Ranking da análise de sensibilidade de diferentes ponderações de importância dos critérios

	Unif.	PDI	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$g_5$	$g_6$	$g_7$	$g_9$	$g_{10}$	$g_{11}$	$g_{12}$	$g_{13}$
Alternativa 1	4	5	4	4	3	5	4	4	3	5	4	4	3	5
Alternativa 2	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4
Alternativa 3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3
Alternativa 4	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2
Alternativa 5	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1

Fonte: Elaboração própria.

É possível observar a pertinência das alternativas 4 e 5 na primeira e segunda posição dos rankings em todos os cenários de sensibilidade, ver Figura 7, inclusive no PDI Conceitual de Marlim e Voador que adota um método comparativo de alternativas. Por outro lado, as alternativas 1 e 2 são as mais fortemente dominadas por ocuparem as últimas posições em 3 dos 4 cenários apresentados.



**Figura 5.** Análise de sensibilidade de frequência no ranking das alternativas

Fonte: elaboração própria.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No Brasil, os projetos de descomissionamento de O&G devem atender aos requisitos da resolução ANP N° 817 de 24 de abril de 2020. O PDI conceitual de Marlim e Voador visa obter as autorizações necessárias para prosseguir com o projeto de revitalização dos campos de produção, mantendo sua operação segura e rentável por um maior período.

A adoção do método ELECTRE III na formulação apresentada para descomissionamento dos campos Marlim e Voador (1) reforçou a proposição da Petrobras pelas Alternativas 5 e 4; (2) revelou a viabilidade de uso do método de sobreclassificação no ordenamento de escolha de



alternativas ao descomissionamento de ativos de produção de O&G; além de desenvolver e disponibilizar algoritmo em linguagem R para futuras aplicações.

O propósito da modelagem AMD é construir uma visão ou percepção das preferências do tomador de decisão consistente com um certo conjunto de suposições, de modo a dar uma orientação coerente ao tomador de decisão na busca pela solução mais preferida (Belton & Stewart, 2002).

Aplicações na vida real mostram que quando alguém pergunta ao tomador de decisão que importância ele deseja atribuir a cada critério, ele expressa suas preferências espontaneamente, sem conhecer o alcance da escala nem o procedimento usado para codificar esta escala (Figueira & Roy, 2002). A aplicação, a posteriori, do método ELECTRE III em projetos de descomissionamento de O&G revelou potencial de, em estudos futuros, variações de incerteza da avaliação de critérios para construção de aplicações de AMD robustas a priori (Aissi & Roy, 2010). Estudos futuros podem ainda buscar a interação a priori dos diversos atores institucionais envolvidos no processo de tomada de decisão de um projeto de descomissionamento, de maneira a aprimorar a modelagem de critérios e importância de critérios para explicitar as particularidades e preferências de cada um.

Em última análise, no PDI nenhum dos critérios, isoladamente, deverá ser considerado decisivo para a definição da alternativa (ANP, 2020). Seguramente, a preferência entre critérios de um agente regulador posiciona o fator econômico na última posição, enquanto fatores sociais e ambientais que valorem a segurança operacional e o meio ambiente estarão entre os critérios preferenciais de avaliação, corroborando a estrutura da análise sensibilidade proposta.

## REFERÊNCIAS

- Aissi, H., & Roy, B. (2010). Robustness in Multi-criteria Decision Aiding. In M. Ehrgott, J. R. Figueira, & S. Greco (Eds.), *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis* (Vol. 142, pp. 87–121). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5904-1>
- ANP. (2020). *Resolução Nº 817, de 24 de abril de 2020*. Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-817-de-24-de-abril-de-2020-254001378>
- ArcelorMittal. (2021). *Subsea umbilicals, risers and flowlines*. [https://projects.arcelormittal.com/energy/segments\\_and\\_applications/22728/SURF/language/EN](https://projects.arcelormittal.com/energy/segments_and_applications/22728/SURF/language/EN)
- Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). Multiple Criteria Decision Analysis. In K. A. Publishers

- (Ed.), *Multiple Criteria Decision Analysis* (1st ed.). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>
- Bull, A. S., & Love, M. S. (2019). Worldwide oil and gas platform decommissioning: A review of practices and reeving options. *Ocean and Coastal Management*, 168(September 2018), 274–306. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.10.024>
- Cooper, D. R., & Schindler, P. S. (2014). *Business research methods* (McGraw-Hill (ed.); 12th ed.). McGraw-Hill/Irwin.
- Dimitrijevic, B., Vujic, S., Matic, I., Majjanac, S., Praštalo, J., Radosavljevic, M., & Čolakovic, V. (2014). Multi-criterion analysis of land reclamation methods at Klenovnik open pit mine, Kostolac coal basin. *Journal of Mining Science*, 50(2), 319–325. <https://doi.org/10.1134/S106273911402015X>
- Dutra, E. S. S., Campello, G. C., Muniz, T. J. da C., & Capella, M. (2018). Field Life Extension and Integrity Management in Campos Basin. *Offshore Technology Conference, OTC-28750*(1), 1–16. <https://watermark.silverchair.com/otc-28750-ms.pdf>
- Edwards, W., & Newman, J. R. (1986). Multiattribute evaluation. In *Judgment and decision making: An interdisciplinary reader*. Cambridge University Press.
- Eke, E., Iyalla, I., Andrawus, J., & Prabhu, R. (2020). Optimising offshore structures decommissioning - A multicriteria decision approach. *Society of Petroleum Engineers - SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition 2020, NAIC 2020, 2018*, 1–19. <https://doi.org/10.2118/203760-ms>
- Ekins, P., Vanner, R., & Firebrace, J. (2006). Decommissioning of offshore oil and gas facilities: A comparative assessment of different scenarios. *Journal of Environmental Management*, 79(4), 420–438. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.023>
- Figueira, J., & Roy, B. (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*, 139(2), 317–326. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00370-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00370-8)
- Figueira, José Rui, Greco, S., & Roy, B. (2009). ELECTRE methods with interaction between criteria: An extension of the concordance index. *European Journal of Operational Research*, 199(2), 478–495. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.11.025>
- Figueira, José Rui, Greco, S., & Roy, B. (2021). Electre-Score: A first outranking based method for scoring actions. *European Journal of Operational Research*, 1(35), 1–20. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ejor.2021.05.017>
- Figueira, Jose Rui, Greco, S., Roy, B., & Słowiński, R. (2010). ELECTRE Methods: Main Features and Recent Developments. In P. M. Pardalos (Ed.), *Handbook of Multicriteria Analysis* (1st ed., pp. 51–89). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-92828-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-92828-7_3)
- Fowler, A. M., Macreadie, P. I., Jones, D. O. B., & Booth, D. J. (2014). A multi-criteria decision approach to decommissioning of offshore oil and gas infrastructure. *Ocean and Coastal Management*, 87, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.10.019>
- Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G., & Carignano, C. (2004). *Tomada de decisões em cenários complexos* (Pioneira (ed.); 1st ed.). Thomson Learning.
- Gomes, L. F. A. M., & Gomes, C. F. S. (2019). *Princípios e Métodos para Tomada de Decisão - Enfoque Multicritério* (6th ed.). Atlas.
- Gomes, L. F. A. M., Rangel, L. A. D., & Moreira, R. A. (2009). Using ELECTRE IV in the promotions of social and economic development: a case study in Rio de Janeiro. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 34(3), 156–172.

- Henrion, M., Bernstein, B., & Swamy, S. (2015). A multi-attribute decision analysis for decommissioning offshore oil and gas platforms. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 11(4), 594–609. <https://doi.org/10.1002/ieam.1693>
- Hokkanen, J., & Salminen, P. (1997). ELECTRE III and IV decision aids in an environmental problem. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(4), 215–226. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1360\(199707\)6:4<215::AID-MCDA139>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199707)6:4<215::AID-MCDA139>3.0.CO;2-P)
- Kaiser, M. J. (2019). *Decommissioning Forecasting and Operating Cost Estimation*. Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02728-0>
- Lima, Y. Q. De, & Gomes, L. F. A. M. (2021). Identificação e valoração de critérios de decisão em projetos de descomissionamento offshore. *Revista de Gestão e Projetos*, 12(2), 9–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.5585/gep.v12i2.19781>
- Lima, Y. Q. de, & Machado, M. A. S. (2021). *Algoritmo ELECTRE III Marlim e voador em RStudio*. Github. [https://github.com/engyarly/ELECTREIII-Marlim\\_Voador/blob/main/ELECTREIII](https://github.com/engyarly/ELECTREIII-Marlim_Voador/blob/main/ELECTREIII)
- Marfatia, F. (2019). Digitally Transforming Front End Decommissioning Planning. *SPE Symposium: Decommissioning and Abandonment*, December, 3–4. <https://doi.org/10.2118/199218-MS>
- Martins, I., Bahiense, L., Infante, C. E. D., & Arruda, E. F. (2020). Dimensionality reduction for multi-criteria problems: An application to the decommissioning of oil and gas installations. *Expert Systems with Applications*, 148(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113236>
- Martins, I., Moraes, F. F., Távora, G., Soares, H. L. F., Infante, C. E., Arruda, E. F., Bahiense, L., Caprace, J., & Lourenço, M. I. (2020). A review of the multicriteria decision analysis applied to oil and gas decommissioning problems. *Ocean and Coastal Management*, 184(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105000>
- Oguk. (2015). *Guidelines for Comparative Assessment in Decommissioning Programmes* (UK Oil and Gas Industry Association (ed.)). UK Oil and Gas Industry Association. <https://oguk.org.uk/product/guidelines-for-comparative-assessment-in-decommissioning-programmes-issue-1/>
- OguK. (2020). *Decommissioning insight 2020*. UK Oil and Gas Industry Association. <https://oilandgasuk.co.uk/product/decommissioning-insight-report/>
- Petrobras. (2015). *Conheça curiosidades sobre equipamentos de nossos sistemas submarinos*. <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/conheca-curiosidades-sobre-equipamentos-de-nossos-sistemas-submarinos.htm>
- Petrobras. (2020). *5 Coisas que você precisa saber sobre a renovação da Bacia de Campos*. <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/5-coisas-que-voce-precisa-saber-sobre-a-renovacao-da-bacia-de-campos.htm>
- Petrobras. (2021a). *Bacia de Campos*. <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm>
- Petrobras. (2021b). *PDI's Conceituais dos Sistemas de Marlim e Voador*. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/arq/ppdi/pdis-conceituais-marlim-voador.pdf>
- Prombo, M. (2014). *Functions for Solving Multiple-criteria Decision-making Problems* (1.0). CRAN. <https://cran.r-project.org/web/packages/OutrankingTools/index.html>
- Repsol. (2017). *UKCS Decommissioning Programme*.

- [https://www.repsol.no/imagenes/repsolpornr/no/decommissioning\\_programme\\_tcm89-119886.pdf](https://www.repsol.no/imagenes/repsolpornr/no/decommissioning_programme_tcm89-119886.pdf)
- Roy, B. (1978). ELECTRE III: Un algorithme de methode de classements fonde sur une representation floue des préférences en presence de critères multiples. *Cahiers de CERO*, 20(1), 3–24.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Schroeder, D. M., & Love, M. S. (2004). Ecological and political issues surrounding decommissioning of offshore oil facilities in the Southern California Bight. *Ocean and Coastal Management*, 47(1–2). <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.03.002>
- Shell. (2017). *Brent Alpha Jacket Decommissioning Technical Document*.
- Shell. (2020). *PDI Conceitual Plataforma Fluminense*. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/arq/ppdi/pdi-conceitual-plataforma-fluminense.pdf>  
[https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/arq/shell\\_brasil\\_pdi\\_conceitual\\_bjsa-publicacao.pdf](https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/arq/shell_brasil_pdi_conceitual_bjsa-publicacao.pdf)
- Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., & Bazzazi, A. A. (2009). Deriving preference order of post-mining land-uses through MLSA framework: Application of an outranking technique. *Environmental Geology*, 58(4), 877–888. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1563-y>
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making* (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/b11032>
- Vergara, S. C. (2016). *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração* (Atlas (ed.); 16th ed.). Atlas.