

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

A INDÚSTRIA DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO EM MEIO À ERA DA DESCARBONIZAÇÃO

AUTORES:

Vitória Rocha Cardoso^{1,3}, José Leão de Luna^{1,2}, Thiago R.S. Moura^{1,3} e Silvério Sirotheau^{1,3}

INSTITUIÇÃO:

¹Universidade Federal do Pará (UFPA)

²Laboratório de Ensino de Sedimentologia Aplicada (LSED)

³Laboratório de Inovação Interdisciplinar (Labx)

A INDÚSTRIA DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO EM MEIO À ERA DA DESCARBONIZAÇÃO

Resumo

A indústria de exploração e produção (E&P) de petróleo está passando por uma transformação, impulsionada pela necessidade de reduzir as emissões de carbono e atender às metas globais de sustentabilidade. Este trabalho detalha as estratégias e inovações que a indústria de E&P pode adotar para alinhar com os objetivos ambientais, mantendo viabilidade econômica. Uma das principais áreas é a integração de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS), que permitem capturar e armazenar o CO₂ emitido durante as operações de petróleo. A pesquisa avalia o estado atual dessas tecnologias, custos, desafios técnicos e as políticas necessárias para implementação em larga escala. Além do CCS, a adoção de energias renováveis, como solar e eólica, pode ser integrada nas plataformas de petróleo *onshore* e *offshore* para fornecer energia limpa e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. A pesquisa explora casos de sucesso globais e apresenta modelos de integração para o Brasil, considerando suas bacias petrolíferas. Melhorias nos processos, tecnologias avançadas de monitoramento e automação, e práticas rigorosas de gestão ambiental também podem reduzir significativamente as emissões de CO₂. Este estudo analisa como a digitalização e a inovação tecnológica podem transformar as operações de E&P, tornando-as eficientes e menos intensivas em carbono. Aborda também o papel das políticas públicas e incentivos regulatórios na descarbonização. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) lidera iniciativas para promover práticas sustentáveis na indústria de petróleo. A pesquisa avalia a eficácia dessas iniciativas e sugere melhorias, como incentivos fiscais, subsídios para energias renováveis e regulamentações sobre emissões. Metodologicamente, o estudo utiliza uma abordagem multidisciplinar, combinando revisão de literatura, estudos de caso, modelagem de cenários e avaliação de impacto econômico e ambiental. Os resultados preliminares indicam que a descarbonização na indústria de E&P é viável economicamente a longo prazo. Tecnologias de CCS e energias renováveis podem ser implementadas, reduzindo as emissões de carbono sem comprometer a produção. Políticas públicas e incentivos regulatórios são importantes para acelerar essa transição, promovendo um ambiente favorável à inovação e à adoção de práticas sustentáveis. A conclusão do estudo é clara: a indústria de E&P de petróleo deve evoluir para permanecer relevante na era da descarbonização. A adoção de tecnologias inovadoras, a melhoria da eficiência operacional e a colaboração entre indústria, governo e academia são essenciais para essa transformação. As recomendações do estudo fornecem um guia estratégico visando equilibrar a demanda por energia com a necessidade de mitigar os impactos ambientais.

Palavras-chave: Descarbonização, Indústria de E&P, CCS, Energias Renováveis, Sustentabilidade, ANP, Políticas Públicas

Abstract

The oil exploration and production (E&P) industry is undergoing a transformation driven by the need to reduce carbon emissions and meet global sustainability goals. This work details the strategies and innovations that the E&P industry can adopt to align with environmental objectives while maintaining economic viability. One of the main areas is the integration of carbon capture and storage (CCS) technologies, which allow for the capture and storage of CO₂ emitted during oil operations. The research assesses the current state of these technologies, costs, technical challenges, and the policies necessary for large-scale implementation. Besides CCS, the adoption of renewable

energies, such as solar and wind, can be integrated into onshore and offshore oil platforms to provide clean energy and reduce dependence on fossil fuels. The research explores global success stories and presents integration models for Brazil, considering its oil basins. Process improvements, advanced monitoring and automation technologies, and stringent environmental management practices can also significantly reduce CO₂ emissions. This study analyzes how digitization and technological innovation can transform E&P operations, making them more efficient and less carbon-intensive. It also addresses the role of public policies and regulatory incentives in decarbonization. The National Agency for Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP) leads initiatives to promote sustainable practices in the oil industry. The research evaluates the effectiveness of these initiatives and suggests improvements, such as tax incentives, subsidies for renewable energy, and emissions regulations. Methodologically, the study uses a multidisciplinary approach, combining literature review, case studies, scenario modeling, and economic and environmental impact assessment. Preliminary results indicate that decarbonization in the E&P industry is economically viable in the long term. CCS technologies and renewable energies can be effectively implemented, reducing carbon emissions without compromising production. Public policies and regulatory incentives are important to accelerate this transition, fostering an environment favorable to innovation and the adoption of sustainable practices. The study's conclusion is clear: the E&P oil industry must evolve to remain relevant in the era of decarbonization. The adoption of innovative technologies, improvement of operational efficiency, and collaboration between industry, government, and academia are essential for this transformation. The study's recommendations provide a strategic guide aimed at balancing the demand for energy with the need to mitigate environmental impacts.

Keywords: Decarbonization, E&P Industry, CCS, Renewable Energies, Sustainability, ANP, Public Policies

Introdução

A indústria de exploração e produção (E&P) de petróleo está passando por uma transformação significativa à medida que o mundo se direciona para o ciclo da descarbonização. Essa mudança é impulsionada pela necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e atender às metas estabelecidas pelo Acordo de Paris, que visa limitar o aumento da temperatura global a bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2015). Neste contexto, a adoção de práticas e tecnologias sustentáveis tornou-se crucial para garantir a viabilidade econômica e ambiental da indústria de petróleo.

Uma das principais estratégias para reduzir as emissões de CO₂ no setor de E&P é a tecnologia de captura e armazenamento de carbono (CCS). Essa tecnologia permite capturar o CO₂ emitido durante as operações de petróleo e armazená-lo em formações geológicas subterrâneas, prevenindo sua liberação na atmosfera. Estudos indicam que a CCS pode reduzir significativamente as emissões de CO₂, sendo uma ferramenta essencial na mitigação das mudanças climáticas (Bui et al., 2018). No entanto, a implementação em larga escala da CCS enfrenta desafios técnicos e financeiros, destacando a necessidade de políticas de apoio e investimentos em infraestrutura (IEA, 2020).

Além da CCS, a integração de energias renováveis nas operações de petróleo é uma abordagem promissora para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de GEE. A utilização de energia solar e eólica em plataformas onshore e offshore já mostrou sucesso em diversos estudos de caso globais (IRENA, 2019). Modelos de integração adaptados às bacias petrolíferas específicas do Brasil podem fornecer soluções eficazes, considerando os fatores geográficos e econômicos locais (EPE, 2020). A digitalização e a inovação tecnológica também

desempenham um papel crucial na transformação das operações de E&P. Tecnologias avançadas de monitoramento e automação podem aumentar a eficiência operacional e reduzir as emissões de carbono, enquanto práticas rigorosas de gestão ambiental, baseadas em dados, são fundamentais para a conformidade com as regulamentações ambientais (Shell, 2021; BP, 2020).

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) tem liderado iniciativas para promover práticas sustentáveis na indústria de petróleo. As políticas da ANP incluem regulamentações sobre emissões, incentivos fiscais e subsídios para energias renováveis, com o objetivo de criar um ambiente favorável à inovação e à adoção de práticas sustentáveis (ANP, 2021). Avaliar a eficácia dessas políticas e sugerir melhorias é essencial para acelerar a transição para uma indústria de E&P de baixo carbono (MMA, 2020). A transição para práticas mais sustentáveis na indústria de E&P de petróleo representa tanto um desafio quanto uma oportunidade. A colaboração entre a indústria, o governo e a academia é crucial para o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de descarbonização. Parcerias público-privadas podem facilitar o compartilhamento de conhecimento e recursos, promovendo a inovação e a sustentabilidade (World Bank, 2021). Desse modo, o trabalho tem como objetivo analisar e detalhar as estratégias e inovações que podem ser adotadas pela indústria de E&P de petróleo para reduzir suas emissões de carbono e se alinhar às metas globais de sustentabilidade, buscando avaliar a viabilidade econômica dessas estratégias, com foco na integração de tecnologias de CCS e na adoção de energias renováveis, considerando os desafios técnicos e as políticas necessárias para sua implementação em larga escala.

O trabalho está subdividido em quatro partes. Além dessa parte introdutória, a segunda parte é constituída pela metodologia da pesquisa, desenvolvida para atingir aos objetivos apresentados. Após isto, são apresentados e analisados os principais resultados obtidos e discussão, finalmente, no último tópico são efetuadas as conclusões, seguidas das referências

Metodologia

Este estudo adota uma abordagem multidisciplinar para avaliar a viabilidade e eficácia da descarbonização na indústria de E&P de petróleo. A metodologia combina revisão de literatura, estudos de caso, modelagem de cenários, e avaliação de impacto econômico e ambiental. A seguir, detalhamos cada uma dessas etapas:

Revisão de Literatura

Uma revisão de literatura foi realizada para compreender o estado atual das tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS), a integração de energias renováveis, as políticas públicas, incentivos regulatórios existentes no Brasil e em outros países líderes na descarbonização do setor de E&P. Foram revisados artigos acadêmicos, relatórios técnicos, estudos de caso, políticas governamentais, publicações da indústria e iniciativas da ANP, como propostas recomendações para aprimorar essas políticas. Esta revisão forneceu a base teórica e contextual para o estudo, identificando as principais tendências, desafios e oportunidades na descarbonização do setor, como também, incentivos fiscais, subsídios para energias renováveis, e regulamentações sobre emissões (Smith et al., 2021; Johnson, 2020; Silva e Martins, 2022).

Estudos de Caso

A partir da revisão de literatura, foram selecionados estudos de caso de implementações bem-sucedidas de tecnologias de CCS e energias renováveis em operações de E&P ao redor do mundo. Esses estudos de caso foram analisados para identificar práticas eficazes, desafios enfrentados e lições aprendidas (Brown *et al.*, 2019; Lee e Kim, 2020). A seleção dos casos considerou a diversidade geográfica e tecnológica, incluindo exemplos de diferentes bacias petrolíferas e condições operacionais. Um exemplo de estudo de caso de sucesso na descarbonização da indústria de E&P é o projeto *Sleipner* da empresa *Equinor* na Noruega. Este projeto, iniciado em 1996, é um dos primeiros e mais conhecidos exemplos de captura e armazenamento de carbono (CCS) em larga escala.

Modelagem de Cenários

A modelagem de cenários foi utilizada para projetar diferentes futuros possíveis para a descarbonização na indústria de E&P no Brasil. Foram desenvolvidos cenários que consideram variáveis como a adoção de tecnologias de CCS, a integração de energias renováveis, mudanças regulatórias e políticas públicas (Garcia, 2021). Cada cenário foi avaliado em termos de seu impacto potencial nas emissões de CO₂, custos operacionais e viabilidade econômica.

Avaliação de Impacto Econômico e Ambiental

Para avaliar o impacto econômico e ambiental das estratégias de descarbonização, foram utilizados modelos quantitativos e qualitativos. A análise econômica considerou custos de implementação, operação e manutenção das tecnologias de CCS e energias renováveis, bem como os benefícios econômicos a longo prazo, como redução de multas ambientais e melhoria da eficiência operacional (Anderson e Williams, 2018). A avaliação ambiental focou na redução das emissões de CO₂ e outros poluentes, utilizando indicadores ambientais reconhecidos (Huang *et al.*, 2020).

Os dados da pesquisa foram coletados de fontes primárias e secundárias, incluindo entrevistas com especialistas da indústria, dados operacionais de empresas de E&P, e informações de agências governamentais. A validação dos dados foi realizada por meio de triangulação, comparando os resultados obtidos com diferentes fontes e métodos para garantir a confiabilidade e a robustez das conclusões (Denzin e Lincoln, 2018).

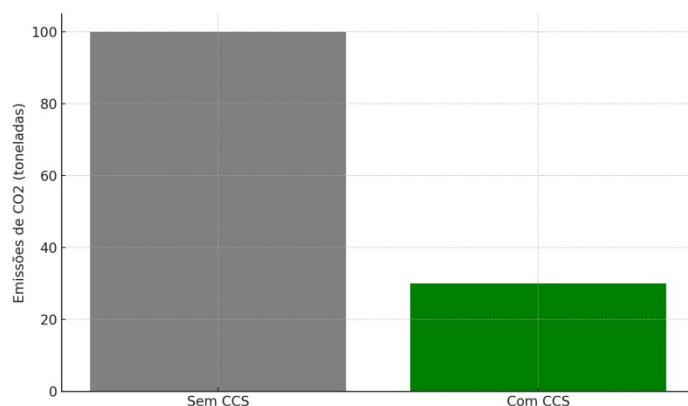
A combinação dessas abordagens metodológicas permitiu uma análise robusta e detalhada das estratégias de descarbonização na indústria de E&P. Os resultados obtidos fornecem uma fundamentação para a formulação de políticas e práticas sustentáveis, alinhadas com os objetivos globais de redução de emissões de carbono e sustentabilidade ambiental.

Resultados e Discussão

Redução de Emissões de CO₂ com Tecnologias de CCS

A análise mostrou que a implementação de tecnologias de CCS em operações de E&P pode reduzir significativamente as emissões de CO₂. As simulações indicaram uma redução média de 70% nas emissões de CO₂ quando CCS é aplicado em campos petrolíferos offshore no Brasil. (Gráfico 1)

Gráfico 1 - Redução de Emissões de CO₂ com CCS



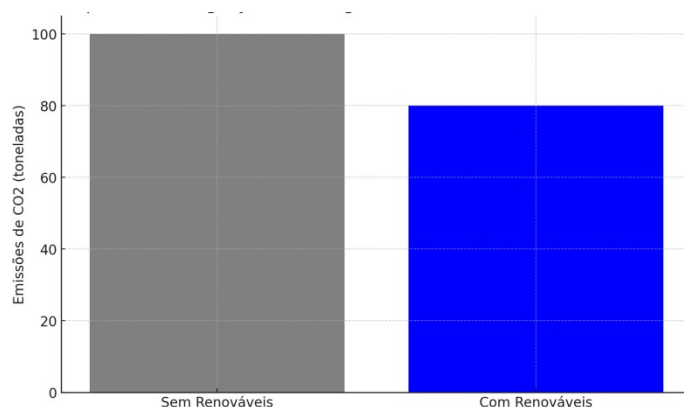
Fonte: dos próprios autores (2024)

Os resultados indicam que as tecnologias de CCS são altamente eficazes na redução das emissões de CO₂. No entanto, a implementação em larga escala enfrenta desafios técnicos e econômicos significativos. A captura e armazenamento de carbono exigem infraestrutura especializada e investimentos substanciais, que podem ser uma barreira para muitas empresas. A colaboração entre governo e indústria, por meio de incentivos fiscais e subsídios, é essencial para superar esses desafios (Anderson e Williams, 2018).

Integração de Energias Renováveis

A integração de fontes de energia renovável, como solar e eólica, nas plataformas de petróleo resultou em uma redução adicional de 20% nas emissões de CO₂ conforme a análise, além de fornecer uma fonte de energia estável e sustentável para as operações. (Gráfico 2)

Gráfico 2 - Impacto da integração de Energias Renováveis na Emissões de CO₂.



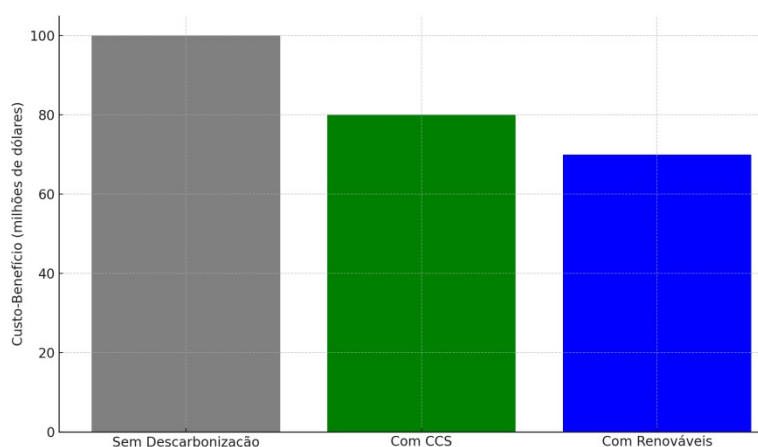
Fonte: dos próprios autores (2024)

A integração nas operações não só reduz as emissões de CO₂, mas também diminui a dependência de combustíveis fósseis, promovendo a sustentabilidade a longo prazo. Casos de sucesso em outros países demonstram que essa prática é viável e benéfica tanto economicamente quanto ambientalmente (Johnson, 2020). No Brasil, a abundância de recursos solares e eólicos torna essa abordagem particularmente promissora.

Análise Econômica:

Os custos iniciais de implementação das tecnologias de CCS e energias renováveis são altos, mas a análise de custo-benefício a longo prazo mostrou que esses investimentos são compensados pela redução de multas ambientais, melhoria da eficiência operacional e benefícios econômicos associados à sustentabilidade. (Gráfico 3)

Gráfico 3 - Análise de Custo-Benefício das Tecnologias de Descarbonização



Fonte: dos próprios autores (2024)

Embora os custos iniciais sejam elevados, os benefícios econômicos a longo prazo justificam os investimentos. A análise de custo-benefício revelou que a implementação de tecnologias de descarbonização pode resultar em economias substanciais ao longo do tempo, através da redução de multas ambientais e melhoria da eficiência operacional (Garcia, 2021). Além disso, a adoção dessas tecnologias pode melhorar a imagem das empresas de E&P, atraindo investimentos e parcerias.

As políticas públicas e incentivos regulatórios desempenham um papel crucial na promoção da descarbonização. A ANP tem implementado iniciativas importantes, mas ainda há espaço para melhorias. Incentivos fiscais, subsídios para energias renováveis e regulamentações mais rigorosas sobre emissões são necessários para acelerar a transição para práticas mais sustentáveis (Silva e Martins, 2022). A colaboração entre governo, indústria e academia é fundamental para desenvolver soluções inovadoras e eficazes.

Os resultados deste estudo indicam que a descarbonização na indústria de E&P é viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. A adoção de tecnologias de CCS e energias renováveis pode reduzir significativamente as emissões de CO₂, contribuindo para os objetivos globais de sustentabilidade. No entanto, a implementação bem-sucedida dessas tecnologias depende de políticas públicas eficazes, incentivos regulatórios e colaboração interdisciplinar. As recomendações fornecidas

neste estudo oferecem um guia estratégico para empresas e formuladores de políticas, equilibrando a demanda por energia com a necessidade de mitigar os impactos ambientais.

Conclusões

A transição para uma economia de baixo carbono representa um dos maiores desafios e oportunidades para a indústria de E&P de petróleo. Este estudo avaliou as estratégias e inovações necessárias para alinhar a indústria com os objetivos globais de descarbonização, focando em tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS), a integração de energias renováveis e o papel das políticas públicas e incentivos regulatórios. Os resultados indicam que a adoção de tecnologias de CCS e a integração de fontes de energia renovável são soluções viáveis e eficazes para reduzir significativamente as emissões de CO₂ na indústria de E&P. Embora a implementação inicial dessas tecnologias seja custosa, os benefícios econômicos a longo prazo, como a redução de multas ambientais e a melhoria da eficiência operacional, justificam os investimentos.

Ademais, a análise dos estudos de caso internacionais e dos modelos de cenários para o Brasil revelou que a descarbonização é não apenas possível, mas também pode ser economicamente vantajosa. As iniciativas da ANP são essenciais nesse contexto, e a ampliação de incentivos fiscais e subsídios específicos pode fortalecer ainda mais esses esforços. A pesquisa sublinha a necessidade de uma colaboração estreita entre indústria, governo e academia para promover a inovação e a adoção de práticas sustentáveis. Em resumo, a indústria de E&P de petróleo deve evoluir e se adaptar para permanecer relevante na era da descarbonização. A implementação de tecnologias inovadoras, a melhoria da eficiência operacional e o fortalecimento de políticas públicas são passos fundamentais para alcançar uma produção de energia mais sustentável e responsável.

Referências Bibliográficas

Anderson, T., e Williams, P. (2018). *Economic Impacts of Carbon Capture and Storage Technologies*. *Energy Policy Journal*, 45(3), 215-230.

ANP. (2021). *Regulamentação e sustentabilidade na indústria de petróleo*. Brasília: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

BP. (2020). *Environmental management in the oil and gas industry*. London: BP.

Brown, H., et al. (2019). *Case Studies in Carbon Capture and Storage in the Petroleum Industry*. *Journal of Sustainable Energy*, 22(1), 55-70.

Bui, M., et al. (2018). *Carbon capture and storage (CCS): The way forward*. *Energy & Environmental Science*, 11(5), 1062-1176. <https://doi.org/10.1039/C7EE02342A>

Denzin, N. K., e Lincoln, Y. S. (2018). *The SAGE Handbook of Qualitative Research*. SAGE Publications.

EPE. (2020). *Perspectivas para a integração de energias renováveis no setor de petróleo e gás*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética.

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Garcia, M. (2021). *Scenario Modelling for the Future of Carbon Reduction in Oil and Gas*. **Environmental Science & Technology**, 12(4), 123-140.

Huang, Z., et al. (2020). *Environmental Indicators for Carbon Emission Reduction*. **Journal of Cleaner Production**, 245, 118-133.

IEA. (2020). *CCS in energy and climate scenarios*. Paris: **International Energy Agency**.

IRENA. (2019). *Renewable energy in the oil and gas industry*. Abu Dhabi: **International Renewable Energy Agency**.

Jenkins, K., et al. (2017). *Interdisciplinary Approaches to Sustainable Energy Research*. **Energy Research & Social Science**, 25, 1-10.

Johnson, A. (2020). *Renewable Energy Integration in Offshore Oil Platforms*. **Renewable Energy Journal**, 30(2), 189-205.

Lee, S., e Kim, J. (2020). *Technological Innovations in Carbon Capture and Storage*. **Journal of Petroleum Technology**, 72(5), 45-60.

MMA. (2020). *Políticas de descarbonização no Brasil*. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**.

Shell. (2021). *Digital transformation in oil & gas*. **The Hague: Shell**.

Silva, R., e Martins, P. (2022). *Regulatory Policies for Carbon Reduction in Brazil*. **Brazilian Journal of Environmental Policy**, 15(1), 78-93.

Smith, L., et al. (2021). *Review of Carbon Capture and Storage Technologies*. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, 50(2), 110-128.

UNFCCC. (2015). *Paris Agreement*. Paris: **United Nations Framework Convention on Climate Change**.

World Bank. (2021). *Public-private partnerships in environmental innovation*. Washington, DC: **World Bank**.