

REVISTA ENERGIA NA AMAZÔNIA

VOL. 2, NÚMERO 2, JUL-DEZ 2025



NIELTE

Reitora

TANARA LAUSCHNER

Vice-reitor

GEONE MAIA CORRÊA

Coordenador Geral do NIELTE

RUBEM CESAR RODRIGUES SOUZA

Coordenadora de Captação de Recursos do NIELTE

MÁRCIA DRUMOND SARDINHA

Coordenadora de Projetos do NIELTE

CRISTIANE LUCIA DE FREITAS

Coordenador de Formação de Recursos Humanos do NIELTE

JEAN MACHADO MACIEL DA SILVA

Coordenadora de Eventos e Marketing do NIELTE

JOEMES DE LIMA SIMAS

Conselho Editorial da Revista Energia na Amazônia

Profa. Dra. Ângela Mari dos S. Costella

Prof. Dr. Antonio do Nascimento S. Alves

Profa. Dra. Caren Michels

Profa. Dra. Cristiane Daliassi R. de Souza

Prof. Dr. Danilo de Santana Chui

Prof. Dr. Helder Cruz da Silva

Prof. Dr. Jaime Casanova Soeiro Junior

Prof. Dr. Jean Machado Maciel da Silva

Prof. Dr. João Caldas do Lago Neto

Profa. Dra. Joemes de Lima Simas

Prof. Dr. Leandro Aparecido Pocrifka

Prof. Dr. Nilton Pereira da Silva

Prof. Dr. Rubem Cesar Rodrigues Souza

Profa. Dra. Virginia Mansanares Giacon

Editora-chefe

Profa. Dra. Cristiane Daliassi Ramos de Souza

Capa

Jean Machado Maciel da Silva

Editoração Eletrônica

Jean Machado Maciel da Silva

Greice Vaz

Prezados(as) leitores(as),

Apresentamos o segundo número do segundo volume do ano 2025 da **Revista Energia na Amazônia** (ISSN 3085-6744). Com gratidão aos colaboradores(as) e leitores(as) este número é composto por cinco artigos.

O primeiro artigo relata sobre o processo de migração do Estado de Roraima do sistema isolado para o sistema interligado. O segundo apresenta uma análise operacional de caminhões a diesel e a viabilidade de implementação de caminhões a gás natural no transporte de combustíveis em Manaus. O terceiro traz informações sobre segurança de processos em dutos e processamento de petróleo para mitigação de riscos. O quarto faz uma análise crítica dos impactos socioambientais da exploração de gás natural em Itapiranga e Silves. Para finalizar, o quinto artigo apresenta o potencial de reuso e reciclagem de baterias e painéis fotovoltaicos para uma economia circular energética.

Boa leitura!

Profa. Dra. Cristiane Daliassi Ramos de Souza
Editora-chefe da revista Energia na Amazônia

REVISTA ENERGIA NA AMAZÔNIA

VOLUME 2 | NÚMERO 2 | JULHO/DEZEMBRO 2025

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Revista Energia na Amazônia [recurso eletrônico] / Universidade Federal do Amazonas, Núcleo de Inovação, Empreendedorismo e Liderança para a Transição Energética – NIELTE, v. 2, n. 2, jul/dez. Manaus, AM: NIELTE, 2025.

Semestral

Online

Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/energianaamazonia>

Títulos e resumos bilíngues (português/inglês)

Título abreviado: REA: Rev. Energ. Amazon.

1. Recursos energéticos - Pesquisa - Amazônia - Periódicos. 2. Energia - Fontes alternativas - Amazônia - Periódicos. 3. Desenvolvimento energético - Pesquisa - Amazônia - Periódicos. I. Universidade Federal do Amazonas. Núcleo de Inovação, Empreendedorismo e Liderança para a Transição Energética. II. Título

CDU (1976): 620.9(811)

(Catalogação realizada pela bibliotecária Maria Siméia Ale Girão – CRB11-284)

Biblioteca Central da UFAM

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Boa Vista-RR: a última capital interligada ao SIN Maria Conceição de Sant'ana Barros Escobar, Rubem Cesar Rodrigues Souza | 9 |
| Análise operacional de caminhões a diesel e a viabilidade de implementação de caminhões a gás natural no transporte de combustíveis em Manaus – AM Alexander Doroteu Chagas, Renan Coelho Redig, Joemes de Lima Simas | 21 |
| Aplicação de segurança de processos em dutos e processamento de petróleo para mitigação de riscos Juliana Motta Sales, Joemes de Lima Simas, Gabriela Ennes Silva de Castro | 34 |
| Sustentabilidade e desenvolvimento regional: análise crítica dos impactos socioambientais da exploração de gás natural em Itapiranga e Silves Wendel Ricardo do Nascimento, Suelen Nonata de Souza Marques | 47 |
| Reaproveitamento de tecnologias energéticas na amazônia brasileira: potencial de reuso e reciclagem de baterias e painéis fotovoltaicos para uma economia circular energética Fernando Vladimir Cerna, Rubem Cesar Rodrigues Souza | 60 |

BOA VISTA-RR: A ÚLTIMA CAPITAL INTERLIGADA AO SIN***BOA VISTA-RR: THE LAST CAPITAL INTERCONNECTED TO THE NIS***

Maria Conceição de Sant'Ana Barros Escobar^{1*}, Rubem Cesar Rodrigues Souza²

¹ Universidade Federal de Roraima/Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais-PRONAT, Boa Vista/RR, Brasil. E-mail: desantanabarro@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Amazonas, Núcleo de Inovação, Empreendedorismo e Liderança para a Transição Energética – NIELTE/FT, Manaus/AM, Brasil. E-mail: rubem@ufam.edu.br

Resumo

O Estado de Roraima era o maior Sistema Isolado em nível nacional demandando um significativo volume de subsídio para redução da tarifa de energia elétrica, além de ser mantido prioritariamente por fonte não renovável de energia. Durante décadas o Estado viveu a expectativa de ser conectado ao Sistema Interligado Nacional e assim, gozar de suprimento elétrico com qualidade e na quantidade adequada para estimular o seu desenvolvimento socioeconômico. O presente artigo, que se valeu de pesquisa documental, levantou um breve histórico do processo de migração do Estado Boa Vista-RR do Sistema Isolado para o Sistema Interligado e, principalmente, identificou os resultados imediatos, tais como a redução dos subsídios da Conta de Consumo de Combustível, a redução das emissões de gases de efeito estufa e a incidência das bandeiras tarifárias. Também foram levantadas as expectativas, tais como a possibilidade do *curtailment* e também de exportação de energia elétrica. Por fim, porém não menos relevante, foram levantadas as inquietações geradas pela interligação, cabendo destacar a limitação do fluxo de energia na linha de transmissão. Entende-se que cabe ao governo estadual e outros agentes locais tomarem postura ativa para que as expectativas positivas possam ser materializadas.

Palavras-Chave: Roraima. Interligação ao SIN. Histórico. Efeitos da interligação.

Abstract

The state of Roraima was the largest isolated system in the country, requiring a significant subsidy to reduce electricity tariffs, in addition to being primarily supported by non-renewable energy sources. For decades, the state lived with the expectation of being connected to the National Interconnected System and thus enjoying a quality electricity supply in adequate quantities to stimulate its socioeconomic development. This article, which drew on documentary research, provides a brief history of the transition of the state of Boa Vista, Rio Grande do Norte, from the isolated system to the interconnected system. It primarily identifies the immediate results, such as the reduction of fuel consumption account subsidies, the reduction of greenhouse gas emissions, and the incidence of tariff flags. Expectations were also raised, such as the possibility of curtailment and electricity exports. Last but not least, concerns generated by the interconnection were raised, particularly the limitation of energy flow in the transmission line. It is understood that it is up to the state government and other local agents to take an active stance so that positive expectations can be materialized.

Keywords: Roraima. Interconnection to the NIS. History. Effects of interconnection.

1. Introdução

O Estado de Roraima, com área de 223.505 km², densidade demográfica de 2,85 hab/km² está constituído por 15 municípios e possui estimativa populacional de 738.772 habitantes para 2025, representando mais do que o dobro da população existente no ano de 2000, de 412.783 habitantes (BRASIL. IBGE, 2025). Para suprimento dessa população, o crescimento da geração de energia em Roraima foi de 11,2% em relação à 2022, sendo que a elevação do consumo residencial foi de 15,81% (BRASIL. EPE, 2024).

O planejamento energético de Roraima se insere no planejamento eletroenergético nacional, fundamental para que se possa desenvolver uma visão integrada, que aumente a segurança eletroenergética, otimize o uso dos recursos energéticos e a competitividade do país e minimize os impactos sociais e ambientais (BRASIL. EPE, 2025). Nessa direção apontam os planos nacionais, como o Plano Decenal de Expansão de Energia, olhando 10 anos à frente, e o Plano Nacional de Energia, este com visão de longuíssimo prazo.

Tanto o Plano Decenal de Expansão de Energia quanto o Plano Nacional de Energia, previram a interligação do Sistema Isolado de Roraima ao Sistema Integrado Nacional – SIN, concretizado em setembro de 2025.

Ao longo do tempo, dada a importância do empreendimento, vários estudos foram realizados no meio acadêmico com diversos enfoques. A título de exemplo tem-se o estudo de Menezes (2018) que preconiza a importância da interligação para a segurança nacional; Berni e Manduca (2020), por sua vez, apontam o uso de resíduos sólidos urbanos para diversificar a matriz energética do estado, enquanto Dutra (2025) enfoca as questões judiciais associadas ao empreendimento.

Esse artigo traz um breve histórico do processo de interligação de Boa Vista e outros municípios conectados ao SIN, bem como, alguns benefícios, expectativas e inquietações decorrentes da mesma.

2. Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido pelo método da pesquisa documental, ou seja, foi baseado em fontes como documentos oficiais, arquivos, relatórios e publicações, que não passaram por análise científica, para investigar um problema específico.

A primeira fase do trabalho consistiu em selecionar as fontes secundárias de informações relevantes para a pesquisa. Em seguida fez-se a análise documental objetivando extrair informações relevantes para o problema da pesquisa.

Os documentos foram analisados buscando identificar os seguintes elementos decorrentes da interligação do estado de Roraima ao SIN: histórico do processo de interligação e seus resultados imediatos, bem como, as expectativas e inquietações geradas pelo mesmo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Breve histórico da interligação de RR ao SIN

Até o ano de 2001 o suprimento elétrico de Boa Vista e demais municípios era assegurado por termelétricas à óleo diesel e uma pequena central hidrelétrica quando então o estado passou a importar energia da Usina de Guri na Venezuela, porém sendo mantido o parque termelétrico e os diversos sistemas isolados a óleo diesel.

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE realizou estudos para suporte à tomada de decisão quanto às estratégias para assegurar o suprimento energético ao Estado de Roraima, e em 2010, por meio da Nota Técnica da EPE-DEE-RE-047/2010-r0 (BRASIL. EPE, 2017) foi recomendada a interligação de Boa Vista ao SIN, através da implantação da LT 500 kV Lechuga – Equador – Boa Vista, atravessando a Terra Indígena Waimiri Atroari e nove municípios dos estados de Amazonas e Roraima, conhecida como Linha de Transmissão Manaus – Boa Vista.

Em setembro de 2011 ocorreu o Leilão ANEEL n° 04/2011, objetivando contratar serviços públicos para a construção, operação e manutenção de instalações de transmissão para Roraima se integrar a Rede Básica do SIN, tendo como vencedor do Lote A do certame licitatório, o Consórcio Boa Vista, constituído pelas empresas Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – Eletronorte (49%) e Alupar Investimento S.A. (51%), que posteriormente constituiu a Sociedade de Propósito Específico – SPE, denominada Transnorte Energia S.A. (BRASIL. EPE, 2019).

Em 25 de janeiro de 2012 foi assinado o Contrato de Concessão nº003/2012, que previa a conclusão do empreendimento em 36 meses e no mesmo ano foi aberto o processo de licenciamento ambiental junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), solicitado pela Transnorte. No entanto, somente em 2015 foi emitida a Licença Prévia – LP, a qual foi suspensa em no ano de 2016 em função das dificuldades associadas à travessia da Terra Indígena Waimiri Atroari, demandando atraso no licenciamento e consequentemente na obra.

As áreas do sistema elétrico de Roraima, à época, podem ser vistas na Figura 1.

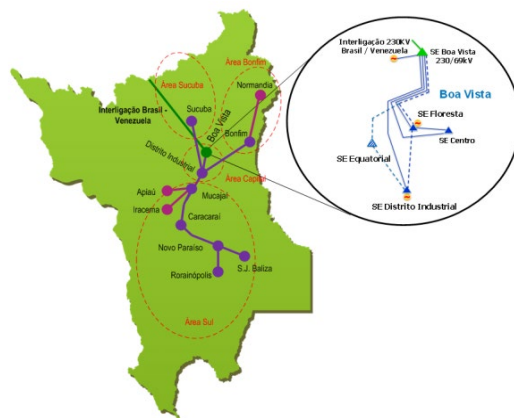


Figura 1. Áreas do sistema elétrico de Roraima.
Fonte: ONS (2019).

A Resolução nº 1, de 27 de fevereiro de 2019 (BRASIL. DOU, 2019) do Conselho de Defesa Nacional – CDN reconheceu como de interesse da Política de Defesa Nacional a Linha de Transmissão Manaus – Boa Vista, considerando-a alternativa energética de cunho estratégico para atendimento ao país.

Devido à instabilidade e elevado número de desligamentos da interconexão com a Venezuela pela Linha de 230 kV, Santa Elena de Uaiarén-Boa Vista, no ano de 2019 o estado de Roraima deixou de importar energia do país vizinho e passou a consumir basicamente diesel e a operar a recém revitalizada UHE Jatapú (10 MW) localizada no sul do estado. Nesse mesmo ano a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL realizou o Leilão de Geração 001/2019, objeto da Portaria MME nº 512/2018, para suprimento de Boa Vista e cidades conectadas (BRASIL. EPE, 2020).

De acordo com a CCEE (2025) esse leilão resultou na contratação de 9 empreendimentos dos 124 considerados aptos a participar do certame, sendo contemplado uma usina a gás natural (126,29 MW), uma usina a diesel (42,25 MW), um sistema híbrido de biocombustível, solar e armazenamento (56,21 MW); um sistema híbrido composto de biocombustível e biomassa de dendê (17,62 MW); uma usina a biocombustível dendê (11,49 MW) e quatro empreendimentos utilizando cavaco florestal (*Acacia Mangium*), todas de igual potência (10 MW), totalizando o equivalente a 293,86 MW de potência nominal. Os contratos são de 15 anos, exceto o da térmica à diesel, cujo horizonte foi de 7 anos.

Até 2023, oito empreendimentos entraram em operação, menos o sistema híbrido denominado Forte São Joaquim, de 56,21 MW, permanecendo em operação parte das térmicas à diesel do antigo sistema.

No ano de 2020, o Tribunal de Contas da União, por meio do Acórdão 1552/2020 TCU – Plenário (BRASIL.TCU, 2019), buscou garantir o abastecimento de energia em Roraima e tratou de riscos relacionados à implantação da Linha de Transmissão Manaus-Boa Vista, determinando a apresentação de um plano de ação ao Ministério de Minas e Energia – MME no prazo de 120 dias, bem como, determinou que fossem adotadas medidas no sentido de mitigar os riscos de atraso nos estudos preparatórios para licitação e implantação da UHE Bem Querer (650 MW), em processo de estudos para licenciamento ambiental (BRASIL. EPE, 2025).

Vale lembrar que no mesmo ano de 2020, a Organização Mundial da Saúde decretou estado de pandemia em relação ao coronavírus, o que dificultou os trabalhos a serem realizados junto às comunidades indígenas e influenciaram num processo de reequilíbrio econômico financeiro do contrato (Junior e Monteath, 2025).

Somente em 28 de setembro de 2021 foi emitida a Licença de Instalação - LI, contestada por representantes indígenas, levando a ações judiciais que exigiram o cumprimento de medidas socioambientais antes do início efetivo das obras (BRASIL. IBAMA, 2021).

Paralelamente à construção da Linha de Transmissão Manaus-Boa Vista e visando reduzir os custos da Conta de Consumo de Combustível (CCC), relacionada ao suprimento do sistema de Roraima, retoma-se à possibilidade novamente de importação de energia da Venezuela. Desta vez, via sub-rogação, desde que autorizada pela ANEEL, para redução de dispêndios dos consumidores de energia elétrica relacionados ao suprimento de sistemas isolados, considerando a diferença da oferta de preço da comercializadora e o Custo Variável Unitário (CVU) das usinas no parque elétrico de Boa Vista.

Neste sentido, o Ministério de Minas e Energia (MME), autorizou a retomada da importação de energia do sistema venezuelano, habilitando por meio da Secretaria de Transição Energética, ao menos dez empresas (Âmbar Energia, Bolt Energy Comercializadora de Energia, Tradener, Eneva, Matrix Comercializadora, Bid Comercializadora, Infinity Comercializadora de Energia, BTG Pactual Energia, RZK Comercializadora de Energia e Engelhart CTP (MEGHAWHAT, 2025).

A importação seria autorizada desde que observadas as regulamentações da ANEEL, deliberações do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) e diretrizes do ONS, considerando preço, volume e eventuais diretrizes adicionais.

Por fim, a Portaria nº 2.746/SNTEP/MME, de 22 de março de 2024, habilitou a Bolt Energy Comercializadora de Energia Ltda a importar energia elétrica interruptível da República

Bolivariana da Venezuela, podendo ser revogada após a interligação do sistema Roraima ao SIN (BRASIL. MME, 2024) e a ANEEL aprovou a importação pela referida comercializadora, considerando o fluxo máximo de 15 MW, no período de janeiro a abril de 2025, por meio da Resolução 15.858 de 18 de fevereiro de 2025, alterada pela Resolução Autorizativa nº 16.069, de 15 de abril de 2025 (BRASIL. ANEEL, 2024).

Nesse interim, resolvidas as questões do licenciamento da LT 500 kV Lechuga – Equador-Boa Vista, a obra foi iniciada, com previsão de entrada em operação em janeiro de 2025. No entanto, devido a entraves administrativos e litígios judiciais, o prazo não foi cumprido. Em 3 de setembro de 2025 é emitida a Licença de Operação – LO e no dia 10 de setembro, o Presidente da República inaugura a obra da sala de operação do Operador Nacional, em Brasília (AGÊNCIA GOV, 2025).

Na Figura 2 consta o traçado da linha de transmissão que interliga Roraima ao SIN.

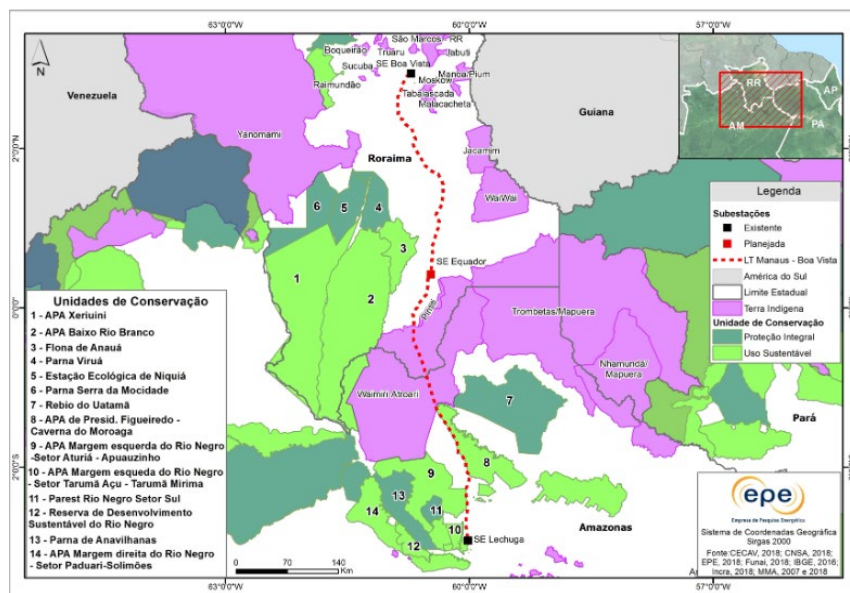


Figura 2. Traçado planejado da linha de Transmissão Manaus-Boa Vista.

Fonte: BRASIL. EPE (2025).

A linha de transmissão tem extensão de aproximadamente 715 km entre a subestação Engenheiro Lechuga no Estado do Amazonas e a subestação Boa Vista em Roraima, passando pela subestação Equador no município de Rorainópolis-RR, sendo suportada por 1.300 torres. A linha foi construída em circuito duplo (duas linhas paralelas) de 500 kV com capacidade de escoamento de 700 MW (ALUPAR, 2025).

3.2 Resultados imediatos da interligação

Como resultados imediatos da interligação ao SIN, destacam-se os seguintes:

- **Possibilidade de migração para o mercado livre de energia:** Consumidores de alta e média tensão do Grupo A podem migrar para o mercado livre de energia.
- **Redução das emissões de gases de efeito estufa:** O desligamento de termelétricas a óleo diesel em decorrência da interligação se refletirá diretamente e de forma significativa na redução das emissões de gases de efeito estufa, na ordem de 1 milhão de toneladas de CO₂ anuais.
- **Redução de encargo setorial:** O encargo da CCC que subsidia a geração de eletricidade nos Sistemas Isolados deve sofrer uma significativa redução, estimada em R\$ 600 milhões por ano.
- **Bandeiras tarifárias:** As tarifas praticadas em Boa Vista e demais municípios interligados ficarão sujeitas a incidência das bandeiras tarifárias o que não ocorria na condição de Sistema Isolado.
- **Internet de qualidade:** O cabo de fibra ótica que acompanha o linha possibilitará um ganho de velocidade da ordem de trezes vezes o atual serviço disponível no estado.
- **Entendimento com as populações indígenas:** Foi firmado com as populações indígenas, particularmente a Waimiri-Atroari, o Plano Básico Ambiental - PBA, traduzido na língua nativa, com investimentos de R\$ 133 milhões, para proteção ambiental, implantação de internet nas aldeias, dentre outras ações.
- **Fim da importação de energia da Venezuela:** Houve interrupção da importação de energia elétrica da Venezuela, pois nesse contexto da interligação de Roraima ao SIN a conexão com o sistema 230 kV, que interliga Santa Elena de Uaiare (Venezuela) com Boa Vista (Brasil) não faz parte da operação com o sistema brasileiro, carecendo de estudos mais complexos do planejamento da expansão por parte da EPE, que indiquem alternativas técnicas que permitam estabilizar ou isolar o desempenho elétrico de ambos os sistemas em operação conjunta, conforme descrito no Plano da Operação Elétrica do Médio Prazo do SIN, PAR/PEL 2023, Ciclo 2024-2028 (ONS, 2023).

3.3 Expectativas com a interligação

A interligação de Roraima ao SIN despertou várias expectativas dentre as quais merece destaque as seguintes:

- **Maior segurança e estabilidade energética:** O sistema Boa Vista sofria com a alta incidência de desligamentos, espera-se que estes sejam bastantes reduzidos no cenário de

interligado. Vale salientar que os consumidores de Roraima foram impactados pelo desligamento do dia 13 de outubro de 2025, quando houve um corte de carga no sistema local, devido a falha no SIN, em decorrência de um incêndio na subestação de Bateias, no município de Campo Largo, área metropolitana de Curitiba, Paraná (G1 - RORAIMA, 2025).

- **Exportação de energia elétrica:** De acordo com o MME e com a Secretaria de Estado de Atrações de Investimento de Roraima, espera-se que haja o escoamento de energia elétrica Roraima para o SIN proveniente da implantação de futuras projetos, como hidrelétricas inventariadas em Roraima (BRASIL. MIDR, 2025). Além disso, há expectativa de uma eventual exportação de eletricidade via o Projeto Arco Norte que consiste na construção de uma linha de transmissão de 1.800 km se entendendo do Amapá à Roraima, passando pela Guiana, Suriname e Guiana Francesa (Almeida *et al*, 2019; RORAIMA. SEPLAN, 2023).

- **Redução tarifária:** Alguns acreditam que haverá redução tarifária em função da redução do consumo de diesel. É esperar para ver.

- **Desenvolvimento socioeconômico:** Há expectativa que o fornecimento de energia mais confiável e em maior quantidade crie condições favoráveis para o crescimento econômico do estado, atraindo investimentos e impulsionando o desenvolvimento sustentável da Amazônia.

- **Corte no despacho de fontes renováveis:** Há a possibilidade de redução forçada ou desligamento da geração de energia de fontes renováveis intermitentes, denominado de *curtailment* (ENGIE, 2025).

- **Compensações socioambientais:** Espera-se que seja cumprido na íntegra o que consta do Plano Básico Ambiental, principalmente envolvendo a Terra Indígena Waimiri Atroari.

3.4 Inquietações com a interligação

- **Limitação do fluxo de energia:** O fato de ser uma única linha de transmissão existente, pode ser considerado negativo, pois remete às vulnerabilidades sobre estabilidade e segurança, principalmente se for considerada a possibilidade, de blecaute do Sistema Elétrico de Roraima em situações de perda dupla em qualquer trecho do circuito duplo do tronco em 500 kV da Linha Lechuga-Ecuador-Boa Vista. Sobre tal inquietação, destaca-se que o ONS realizou estudos e simulações para elaboração do Plano de Operação, Ciclo 2024-2028, estabelecendo um limite de importação. Para estabelecer esse limite foram avaliados cenários distintos de importação de energia, em relação a carga máxima do Estado, variando o número de unidades geradoras sincronizadas na UTE Jaguatirica II, de modo avaliar a contribuição da maior inércia agregada pelas máquinas dessa usina. Para cada cenário foi estabelecido diferentes valores de

Reserva de Potência Operativa (RPO) no Sistema Roraima cujo resultado que se mostrou apropriado foi a limitação do intercâmbio de importação da linha em 55%, “demandando um montante de geração térmica local, equivalente a 149MW” (ONS, 2023. p.30; ONS, 2024), atendendo os critérios estabelecidos nos Procedimentos de Rede, inclusive o critério de operação “N-1”.

- **Usinas hidrelétricas:** Sabe-se da dificuldade para construção de hidrelétricas na Amazônia, portanto, não é tão certo que estas serão construídas e assim, tornar o estado de Roraima exportador de eletricidade dessa fonte. Mas observa-se que a EPE (2025), já iniciou o processo de licenciamento da UHE Bem Querer, nas corredeiras do mesmo nome no rio Branco.

- **Exportação de energia:** Caso haja geração de eletricidade excedente para exportar, é preciso observar que a tributação na venda de energia se dá no destino e não na origem, portanto, que ganhos o estado pode ter em ser exportador para o SIN?

- **Novos empreendimentos de fontes renováveis:** Como mencionado, no Leilão de Geração realizado no ano de 2019 vários empreendimentos, embora tenham participado, não foram contemplados, portanto, com a interligação fica a inquietação quanto ao horizonte de um novo leilão em que esses possam concorrer, incluindo leilões para reserva de capacidade.

- **Impacto cultural:** Há possibilidade de impacto cultural indesejável com a disponibilidade de internet nas comunidades Waimiri-Atroari, muito embora não se possa avaliar sua magnitude ou forma de mitigá-los de maneira efetiva.

4. Conclusões

Décadas se passaram até que uma medida estruturante para o abastecimento elétrico de uma capital e municípios conectados à mesma pudesse ser levada a efeito. Os diversos percalços relatados e as medidas de solução de continuidade adotadas evidenciam falhas gritantes no processo de planejamento e tomada de decisão do setor elétrico nacional. Falhas essas que necessitam ser corrigidas, pois o setor elétrico é dinâmico e a demanda por energia é crescente.

É incontestável os benefícios da interligação de Roraima ao SIN, no entanto, também são pertinentes as razões para as inquietações levantadas. É preciso que os diversos agentes da sociedade se mantenham vigilantes e atuantes para que as expectativas positivas possam ser materializadas e assim, os benefícios para a sociedade maximizados. Dentre as medidas que poderiam ser adotadas é estruturação de uma governança em nível estadual, seria muito bem vinda, por meio de uma secretaria executiva ou secretaria de Estado focada na elaboração e implementação de políticas energéticas.

Referências

AGÊNCIA GOV. **Integrada ao Sistema Elétrico Nacional, Roraima abre espaço para novos investimentos.** Disponível em: <<https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202509/roraima-entra-no-sistema-eletrico-nacional-se-torna-polo-estrategico-de-energia-e-abre-espaco-para-novos-investimentos#:~:text=Integrada%20ao%20Sistema%20El%C3%A9trico%20Nacional%2C%20Roraima%20abre%20espa%C3%A7o%20para%20novos%20investimentos%20%E2%80%94%20Ag%C3%Aancia%20Gov>>. Acesso em: 25 out. 2025.

ALMEIDA, Diego Pinheiro de *et al.* **Plano Nacional de Energia 2050 - Integração Energética da América Latina.** Grupo de Estudo de Planejamento de Sistemas Elétricos-GPL. XXV SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Belo Horizonte/MG, 2019.

ALUPAR. Empresas Transmissoras: **TNE.** Disponível em: <<https://www.alupar.com.br/empresas/#:~:text=A%20TNE%20conectar%C3%A1%20Boa%20Vista%20ao%20Sistema,3%20subesta%C3%A7%C3%B5es%2C%20sendo%20a%20SE%20Equador%20pr%C3%B3pria>>. Acesso em: 26 out. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Resolução Autorizativa nº 16.069**, de 15 de abril de 2025. Aprova o período de importação de energia da Venezuela pela empresa Bolt. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/rea202516069ti.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2025.

BRASIL. Diário Oficial da União – DOU. Presidência da República. **Despachos do Presidente da República: Mensagem.** Conselho de Defesa Nacional: Resolução Nº1, de 27 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/despachos-do-presidente-da-republica-65442414>. Acesso em: 23 out. 2025.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Roraima – Planejamento Energético.** [Rio de Janeiro]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roraima-planejamento-energetico>>. Acesso em: 19 out. 2025.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco Energético Nacional: Ano Base 2023.** Rio de Janeiro, EPE, 2024.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.** Brasília: MME/EPE, 2020.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Publicações de dados abertos**, 2019. [Rio de Janeiro]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-344/Resultado%20Leil%C3%A3o%20Roraima.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2025.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Sistemas Isolados:** GT Roraima. Estudo para Contratação de Energia Elétrica e Potência Associada no Sistema de Boa Vista. Nota Técnica Nº. EPE-DEE-NT-064/2017-r0. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Licenciamento Ambiental UHE Bem Querer.** Disponível em: <<https://uhebemquerer.com.br/licenciamento-ambiental-da-uhe-bem-querer/>>. Acesso em 26 out. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Roraima.** [Brasília]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/panorama>>. Acesso em: 19 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional – MDIR. **Roraima entra no Sistema Elétrico Nacional, se torna polo estratégico de energia e abre espaço para**

novos investimentos. 2025. Disponível em: <[https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/roraima-entra-no-sistema-eletrico-nacional-se-torna-polo-estrategico-de-energia-e-abre-espaco-para-novos-investimentos#:~:text=Bras%C3%ADlia%20\(DF\)%20%E2%80%94%20Com%20a,%20C%20sa%C3%BAde%20%20hotelaria%20e%20turismo](https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/roraima-entra-no-sistema-eletrico-nacional-se-torna-polo-estrategico-de-energia-e-abre-espaco-para-novos-investimentos#:~:text=Bras%C3%ADlia%20(DF)%20%E2%80%94%20Com%20a,%20C%20sa%C3%BAde%20%20hotelaria%20e%20turismo)>. Acesso em 25 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. **Ibama emite Licença de Instalação para a Linha de Transmissão Manaus – Boa Vista.** 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2021/ibama-emite-licenca-de-instalacao-para-a-linha-de-transmissao-manaus-2013-boa-vista>>. Acesso em 25 out. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento. **Portaria nº 2746/SNTEP/MME**, de 22 de março de 2024. Habilitou a Bolt Energy Comercializadora de Energia Ltda a importar energia elétrica interruptível da República Bolivariana da Venezuela. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/autorizacao-para-importar-e-ou-exportar-energia-eletrica/portarias-publicadas/2024/03-marco/portaria-2746-2024-sntep>>. Acesso em: 24 set. 2025.

BRASIL. Tribunal de Contas da União – TCU. ACORDÃO TCU 2020. GRUPO I – CLASSE V – Plenário TC 012.176/2019-2 Natureza: Relatório de Auditoria. **Relatório de auditoria operacional: Avaliação da adequação das políticas e ações dos agentes do setor elétrico para garantir o abastecimento do mercado de energia em Roraima, com segurança, eficiência e sustentabilidade.** Determinação. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/documento/acordao-completo/*/NUMACORDAO%253A1552%2520ANOACORDAO%253A2020%2520COLEGIADO%253A%2522Plen%25C3%25A1rio%2522/DTRELEVANCIA%2520desc%252C%2520NUMACORDAOINT%2520desc/0>. Acesso em: 23 out. 2025.

Berni, Mauro D., Manduca, Paulo C. **Transição e diversificação da matriz elétrica do estado de Roraima através de resíduos sólidos urbanos.** Brazilian Journal of Development, vol. 6, n. 1, p. 4786-4794, 2020.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Leilões.** Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/mercado/leilao-mercado>>. Acesso em: 10 out. 2025.

Dutra, Cayo C. **Processos estruturais, diálogos institucionais e diálogos interculturais: o caso da interligação do Estado de Roraima ao Linhão de Tucuruí.** 2025. 200 f. Tese (Doutorado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

ENGIE. **Saiba o que é curtailment e como ele afeta a geração de energia renovável.** ALÉM DA ENERGIA. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/saiba-o-que-e-curtailment-e-como-ele-afeta-a-geracao-de-energia/?gad_source=1&gad_campaignid=20425590899&gbraid=0AAAApsmVNpdTsbiiAPxL3d35JQExq56m&gclid=CjwKCAjw6vHHBhBwEiwAq4zvA06YrQZbbpw8HYFLH_0ptD8e_T-mCX2kDksHe4-DISOfyiD_qNI3xoC6zwQAvD_BwE>. Acesso em 25 out.2025.

Júnior, Walas; Monteath, Lillian. **O processo da Linha de Transmissão Manaus - Boa Vista.** UFRL/GESEL. Disponível em: <https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/17_walas1.pdf>. Acesso em: 23 out. 2025.

G1 - RORAIMA. **Apagão deixa Roraima sem Energia após falha no sistema elétrico nacional.** Disponível em :<<https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2025/10/14/apagao-deixa-roraima-sem-energia-apos-falha-no-sistema-eletrico-nacional.ghtml>>. Acesso em: 26 out. 2025.

MEGAWHAT. **MME autoriza 11 empresas a importar energia da Venezuela e Paraguai.** Disponível em: <https://megawhat.uol.com.br/destaques-do-diario/mme-autoriza-11-empresas-a-importar-energia-da-venezuela-e-paraguai/>. Acesso em: 25 out. 2025.

Menezes, João R. B. **Benefícios da integração elétrica de Roraima para a Segurança, Defesa e Desenvolvimento Nacional.** Monografia. Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia (CAEPE). Escola Superior de Guerra (ESG). Rio de Janeiro, 2018.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. **Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN - PAR/PEL 2024 - Ciclo 2025-2029.** Volume III – Análise de desempenho e condições de atendimento a cada área geoeletrica do SIN. Tomo 16 - Roraima. Rio de Janeiro, 2024.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. RT-ONS DPL 0682/2023. **Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN – PAR/PEL 2023. CICLO 2024-2028.** Tomo 12-Roraima. Volume III – Análise de desempenho e condições de atendimento a cada área geoeletrica do SIN. Rio de Janeiro, 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. **Definição das Características Elétricas para o Leilão de Suprimento a Roraima.** Rio de Janeiro-RJ, 2019.

RORAIMA. Secretaria de Planejamento e Orçamento. **Diagnóstico da Energia de Roraima.** Caderno Temático N°1. Boa Vista/RR, 2023.

ANÁLISE OPERACIONAL DE CAMINHÕES A DIESEL E A VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE CAMINHÕES A GÁS NATURAL NO TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS EM MANAUS – AM***OPERATIONAL ANALYSIS OF DIESEL TRUCKS AND THE FEASIBILITY OF IMPLEMENTING NATURAL GAS TRUCKS FOR FUEL TRANSPORTATION IN MANAUS – AM***

Alexander Doroteu Chagas^{1*}, Renan Coelho Redig², Joemes de Lima Simas³

¹Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia/Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás, Manaus/AM, Brasil. E-mail: alexanderdoroteu59@gmail.com

² Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia/Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás, Manaus/AM, Brasil.

³ Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia/Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás, Manaus/AM, Brasil.

Resumo

Com o mercado cada vez mais exigente, principalmente quando trata-se de reduzir custos, como no caso do transporte rodoviário, buscar alternativas que mitiguem esses custos é de fundamental importância. Com isso, este trabalho de conclusão de curso buscou entender a operação de caminhões movidos a diesel no transporte de combustíveis na cidade de Manaus e avaliar a viabilidade técnica e econômica da substituição por caminhões movidos a gás natural comprimido. A pesquisa em questão, de natureza aplicada e abordagem quantitativa, baseou-se em uma revisão bibliográfica para entender o contexto operacional que envolve esses caminhões a diesel, além disso foi realizado uma coleta e análise de dados reais referentes a uma transportadora local. Com isso comparou-se dois modelos equivalentes de caminhões Scania P-280, sendo um a diesel e outro a GNC, considerando custos fixos (como depreciação, IPVA, seguro e remuneração do capital) e variáveis (como combustível, pneus e manutenção). Os resultados apontaram que o caminhão a GNC, apresentou um menor custo variável, porém, um maior custo fixo resultando em um custo operacional total 2,23% superior ao modelo a diesel. Conclui-se que para adotar-se essa tecnologia exige incentivos e infraestrutura adequada para ser viável no contexto analisado.

Palavras-Chave: Caminhões; GNC; Viabilidade econômica; Custos Operacionais.

Abstract

With an increasingly demanding market, especially when it comes to reducing costs—as in the case of road transportation—seeking alternatives that mitigate these costs is of fundamental importance. Accordingly, this course completion work aimed to understand the operation of diesel-powered trucks in the transportation of fuels in the city of Manaus and to assess the technical and economic feasibility of replacing them with trucks powered by compressed natural gas. The research in question, of an applied nature and quantitative approach, was based

on a bibliographic review to understand the operational context involving these diesel trucks. Furthermore, real data were collected and analyzed from a local transportation company. Two equivalent models of Scania P-280 trucks were compared—one diesel and one CNG—considering fixed costs (such as depreciation, vehicle tax, insurance, and capital remuneration) and variable costs (such as fuel, tires, and maintenance). The results indicated that the CNG truck presented a lower variable cost, but a higher fixed cost, resulting in a total operating cost 2.23% higher than the diesel model. It is concluded that adopting this technology requires incentives and adequate infrastructure to be viable in the analyzed context.

Keywords: Trucks; CNG; Economic feasibility; Operating costs.

1. Introdução

O transporte rodoviário de cargas tem uma grande importância para a economia brasileira, sendo responsável pela distribuição de diversos produtos essenciais, como alimentos, mercadorias e combustíveis. Neste caso, o combustível, é o próprio insumo que mantém os veículos desse setor em pleno funcionamento, sendo estes de forma geral veículos movidos a diesel. No entanto ao longo dos últimos anos, o aumento do preço dos combustíveis e em especialmente o diesel, tem impactado diretamente no preço final dos produtos transportados.

Com base nisso ao longo dos anos diversas alternativas têm sido desenvolvidas para buscar reduzir custos no transporte e uma delas que surgiu é o uso de caminhões movidos a gás natural comprimido. De forma geral esses veículos oferecem desempenho semelhante, conforto e menor custo de abastecimento, quando comparado aos veículos convencionais e alguns países já apresentaram sucesso na implementação de veículos que utilizam esse tipo de veículos em sua frota. No entanto em diversos países, enfrenta-se alguns desafios, como a falta de estações de abastecimento, ausência de incentivos fiscais, alto custo relacionado a obtenção dos veículos a gás natural e de desenvolvimento dos motores para esse tipo de combustível. (MEHDI et al, p. 731-750, 2018)

No Brasil, a primeira movimentação para a introdução do gás natural como matriz energética, foi através do Ministério de Minas e Energia (MME), que lançou o primeiro Plano Nacional do Gás (Plangás), no ano de 1987. (Abegás, 2020). Além disso na década de 1980 São Paulo realizou os primeiros testes com ônibus movidos a gás natural, em parceria com IPT, Sabesp, CMTC e Mercedes-Benz. Em 1991, foi criado o primeiro serviço exclusivo de ônibus a GNV, acompanhado por uma legislação municipal para substituir a frota a diesel em até dez anos. Porém, o projeto não avançou devido à baixa performance em terrenos irregulares, falta de incentivos e escala produtiva limitada. Ainda assim, o Brasil teve papel relevante na América Latina e inspirou iniciativas globais. (GásNet, 2010)

Após diversos casos de sucesso ao redor do mundo do uso do gás natural comprimido no transporte público, a Scania, de forma pioneira através de um projeto brasileiro, lançou no ano de 2019 o primeiro caminhão movido a gás natural e/ou biometano, onde de acordo com a fabricante, estes possuem um motor de ciclo *otto* (o mesmo conceito utilizado em veículos movidos a diesel e/ou gasolina), garantindo assim que este tenha um desempenho e força semelhante aos modelos movidos a diesel. (Scania, 2025)

Sabendo do alto potencial para uso do Gás natural em veículos na cidade de Manaus, a possível implementação de caminhões movidos a gás natural para o transporte de combustíveis seria de fundamental importância, visto que esse tipo de caminhão ainda não está presente no sistema logístico da Cidade de Manaus, onde sua implementação poderá trazer uma mudança significativa, do ponto de vista econômico, considerando outros benefícios associados como a redução de emissões e também um menor custo quando comparado ao diesel.

Neste contexto, mostrar através de uma análise operacional dos caminhões movidos a diesel atualmente utilizados no transporte de combustíveis na cidade Manaus e avaliar a possível implementação de caminhões movidos a Gás Natural na cidade de Manaus, mostrando através de dados embasados a viabilidade técnica e econômica, poderá contribuir para um setor logístico mais eficiente e comprometido com o meio ambiente.

2. Metodologia

Este estudo adota a pesquisa aplicada para investigar a viabilidade técnico-econômica da substituição de caminhões a diesel por modelos movidos a gás natural na distribuição de combustíveis em Manaus. A análise baseia-se na comparação de parâmetros operacionais, técnicos e econômicos entre as duas tecnologias.

Para atingir o objetivo proposto e para uma melhor compreensão realizou-se um levantamento bibliográfico de forma a entender tanto os aspectos técnicos dos veículos quanto o ambiente no qual estão inseridos. Utilizou-se diferentes fontes técnicas a partir de informações bibliográficas como livros, artigos e trabalhos científicos, além de informações documentais fornecidas em anuários ou relatórios técnicos por órgãos governamentais como a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A coleta dos dados operacionais foi realizada junto a uma transportadora da região, cuja identidade foi preservada para manter a confidencialidade de informações sensíveis. A partir dos dados obtidos referentes a um mês de operação regular da frota, foi realizada uma projeção para um período de 12 meses, mantendo as mesmas condições operacionais, tais como

quilometragem mensal, consumo médio por km/l, custos de manutenção e despesas com mão de obra. Essa abordagem permitiu estimar o custo anual de operação dos caminhões movidos a diesel.

Com base nesses dados, foram definidos os parâmetros de comparação para a análise econômica, adotando-se como referência um caminhão movido a gás natural com modelo equivalente em termos de potência, capacidade de carga e configuração operacional. Essa escolha assegura uma análise justa e proporcional entre os dois tipos de veículos.

A abordagem metodológica fundamenta-se na análise quantitativa, por meio do tratamento dos dados operacionais coletados e dos cálculos realizados. Com esses dados, foram elaborados gráficos e tabelas comparativas que ilustram, de forma clara e objetiva, os custos operacionais totais, o consumo médio e a relação custo-benefício entre caminhões movidos a diesel e a gás natural.

Para entender os custos operacionais que envolvem a utilização de um caminhão a diesel, utilizou-se como base a Norma Manual de Custo Operacional Rodoviário de Carga, fornecido pela CONAB, conforme Figura 1. Para isso tomou-se como base a escolha do veículo semipesado em questão de estudo e utilizou-se a tabela abaixo para obtenção dos principais custos.

| Custos/Modelo | Volkswagen/VW 24.280 |
|-------------------------------------------|----------------------|
| Preço do caminhão (R\$) | 0,00 |
| Vida útil | 0 |
| Valor da carroceria baú (R\$) | 0,00 |
| Valor do caminhão (R\$) | 0,00 |
| Valor de revenda do caminhão (R\$) | 0,00 |
| Valor de revenda da carroceria baú (R\$) | 0,00 |
| Juros bancários ao ano (%) | 0,00 |
| Salário médio do motorista (R\$) | 0,00 |
| Custo médio do IPVA (R\$) | 0,00 |
| Seguro obrigatório – DPVAT (R\$) | 0,00 |
| Custo de manutenção mensal | 0,00 |
| Modelo de pneu | 0 |
| Preço de pneus (R\$) | 0,00 |
| Preço de recapagem (R\$) | 0,00 |
| Preço do combustível – diesel S10 (R\$) | 0,000 |
| Consumo de combustível (km/l) | 0,0 |
| Preço do óleo de carter – em litros (R\$) | 0,00 |
| Capacidade do reservatório – em litros | 0,0 |
| Quilometragem entre trocas | 0 |
| Preço do óleo de câmbio – em litros (R\$) | 0,00 |
| Capacidade do reservatório – em litros | 0,0 |
| Quilometragem entre trocas | 0 |
| Preço da lavagem de carroceria (R\$) | 0,00 |

Figura 1 - Principais custos de um caminhão

Fonte: CONAB, 2018

Além disso tomou-se como necessário obter os custos fixos e variáveis que envolvem a utilização do caminhão semipesado no transporte de combustíveis.

Dentre os custos variáveis o combustível é um dos elementos que mais impactam de forma direta na análise econômica operacional e para isso tomou-se como base a seguinte tabela na Figura 2.

| Item | Coefficiente | Valor R\$ 1,00 | R\$/Km | Custo Mensal |
|-------------------------------|--------------|--------------------|---------------------|--------------|
| Custo Fixo | | | | |
| 1. Depreciação | 0,000000 | 0,00 | - | 0,00 |
| 2. Remuneração do capital | 0,000000 | 0,00 | - | 0,00 |
| 3. Salário do motorista | 0,000000 | 0,00 | - | 0,00 |
| 4. Licenciamento – IPVA | 0,000000 | 0,00 | - | 0,00 |
| 5. Seguro obrigatório – DPVAT | 0,000000 | 0,00 | - | 0,00 |
| 6. Seguro do caminhão | 0,00 | $\sum_{i=1}^6 V_i$ | - | 0,00 |
| Total – Custo Fixo | - | - | - | 0,00 |
| Custo Variável | | | | |
| 7. Custo de manutenção | 0,0000000000 | 0,00 | 0,0000000000 | - |
| 8. Pneus e câmaras | 0,0000000000 | 0,00 | 0,0000000000 | - |
| 9. Óleo de câmbio | 0,0000000000 | 0,00 | 0,0000000000 | - |
| 10. Óleo de carter | 0,0000000000 | 0,00 | 0,0000000000 | - |
| 11. Lavagem e graxas | 0,0000000000 | 0,00 | 0,0000000000 | - |
| 12. Combustível | 0,0000000000 | 0,00 | 0,0000000000 | - |
| Total – Custo Variável | - | - | 0,0000000000 | - |

Figura 2 - Composição do cálculo do custo operacional

Fonte: CONAB, 2018

Para os itens apresentados na tabela acima são consideradas equações onde obtém-se os coeficientes necessários para os devidos cálculos de custos operacionais.

A depreciação refere-se a perda de valor do caminhão ao longo do tempo, devido ao seu uso e desgaste. Para calcular a depreciação, utilizou-se o modelo linear, levando em conta o valor total de aquisição do veículo e seu valor residual após 5 anos de uso. (CONAB, 2025). A equação na qual utilizou-se foi a seguinte:

$$\text{Depreciação mensal} = \frac{(1 - k)}{60} (1)$$

60

Sendo:

$$k = \frac{L}{P}$$

Onde:

L = Valor de revenda total após 5 anos de uso

P = Preço total de aquisição do caminhão

Para remuneração de capital considerou-se a meta de taxa de juros de 13,5%, estabelecida no Departamento de Estudos Econômicos e Custos Operacionais da NTC & Logística (Decope). Essa remuneração representa o custo do dinheiro investido na aquisição do caminhão e para isso utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Remuneração mensal} = \left(\frac{2 + (N+1) \cdot (k+1)}{2N} \right) \cdot \frac{i}{12} \text{ Onde:}$$

$$k = \frac{L}{P}$$

$N = \text{Vida útil do veículo}$

$i = \text{taxa de juros anual}$

Considerando o salário do motorista este é composto pelo:

- Salário base;
- Horas extras (quando aplicável);
- Encargos sociais, calculado em 99,18% sobre o salário base.

O percentual referente inclui os encargos trabalhistas, previdenciários e demais obrigações legais.

Calcula-se o custo de licenciamento mensal com base na alíquota de 2% (referente ao estado do Amazonas) e considerando um prazo de vida útil do caminhão de 60 meses. Dessa forma, utiliza-se a seguinte equação:

$$\text{Licenciamento} = \frac{2\% \cdot \sum_{i=1}^5 Vi}{60} \quad (3)$$

Onde:

$Vi = \text{valor do caminhão no respectivo ano } i \text{ de uso.}$

Referente ao antigo seguro DPVAT (Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Vias Terrestres) este foi suspenso no ano de 2020, deixando de ser cobrado no período de 2021 a 2024, onde seu principal princípio era amparar as vítimas de acidentes de trânsito em todo o território nacional, não importando de quem seja a culpa dos acidentes (SUSEP). A partir de janeiro de 2025, este seguro voltaria a ser cobrado com uma nova nomenclatura de SPVAT (Seguro Obrigatório para Proteção de Vítimas de Acidentes de Trânsito), onde está cobrança foi revogada pelo Presidente da República, Luiz Inacio Lula da Silva, através da lei complementar 211/24. Com isso o valor referente a este seguro não entrou como parâmetro para o cálculo do custo operacional. (Agência Câmara de Notícias, 2025).

Calculou-se o seguro do caminhão, sendo que, segundo a SUSEP, sua principal função é “atender às necessidades dos segurados diante da possibilidade de eles terem prejuízo em razão

de danos causados acidentalmente pelo uso de seus veículos ou resultante de ação de terceiros. São seguráveis todos os veículos terrestres de propulsão a motor e seus reboques, desde que não andem sobre trilhos”. Para base de cálculo utilizou-se o valor do veículo e um coeficiente de 3,82% fornecido pela seguradora, onde vale lembrar que o valor do seguro sofre depreciação proporcional ao valor do caminhão em cada ano de uso. A equação referente é a seguinte:

$$\text{Seguro do caminhão} = \frac{3,82\% \cdot \sum_{i=1}^5 \cdot Vi}{60} \quad (4)$$

Para os custos variáveis, como manutenção, óleo de câmbio, pneus, óleo do cárter, lavagem, graxa e combustível, utilizaram-se os valores praticados no mercado em 2025, os quais são suscetíveis a variações. Para este caso, foram aplicadas as seguintes equações para a obtenção dos coeficientes.

$$\text{Custo de Manutenção} = \frac{\text{Custo mensal}}{\text{km por mês}} \quad (5)$$

$$\text{Pneus} = \frac{\text{Preço} \cdot \text{Quantidade}}{\text{km por mês}} \quad (6)$$

$$\text{Óleo de cambio} = \frac{\text{Preço}}{\text{km entre trocas}} \quad (7)$$

$$\text{Óleo de carter} = \frac{\text{Preço}}{\text{km entre trocas}} \quad (8)$$

$$\text{Lavagem e graxas} = \frac{\text{Preço}}{\text{km por mês}} \quad (9)$$

$$\text{Combustível} = \frac{\text{Preço do litro}}{\text{Consumo}} \quad (10)$$

Por fim, realizou-se o somatório dos custos operacionais fixos e variáveis, resultando no custo operacional total de um caminhão movido a diesel.

$$\text{Custo operacional total} = \Sigma \text{Custos Fixos} + \Sigma \text{Custos variaveis} \quad (11)$$

3. Resultados e Discussão

A partir da revisão bibliográfica e dos dados operacionais fornecidos por uma transportadora local, foi realizada uma análise comparativa entre dois modelos de caminhões

Scania P-280 – um movido a diesel e outro a gás natural comprimido (GNC), considerando custos fixos e variáveis em condições operacionais equivalentes na cidade de Manaus.

Com base nos dados operacionais fornecidos pela transportadora, a operação caracteriza-se pelo atendimento a uma rede de aproximadamente 10 postos bandeirados, distribuídos nas zonas centro-oeste, norte, leste e sul de Manaus, complementada por serviços terceirizados para outros postos na capital e interior. A operação, que tem como base um posto de combustível para abastecimento das distribuidoras Equador e Sabbá, realiza em média 3 viagens diárias (segunda a sábado), totalizando 200 km/dia, com velocidade média de 60 km/h e consumo de diesel de 2,5 km/l.

Estes veículos são abastecidos duas vezes por semana com aproximadamente 400 litros de diesel, volume que corresponde à capacidade total dos tanques.

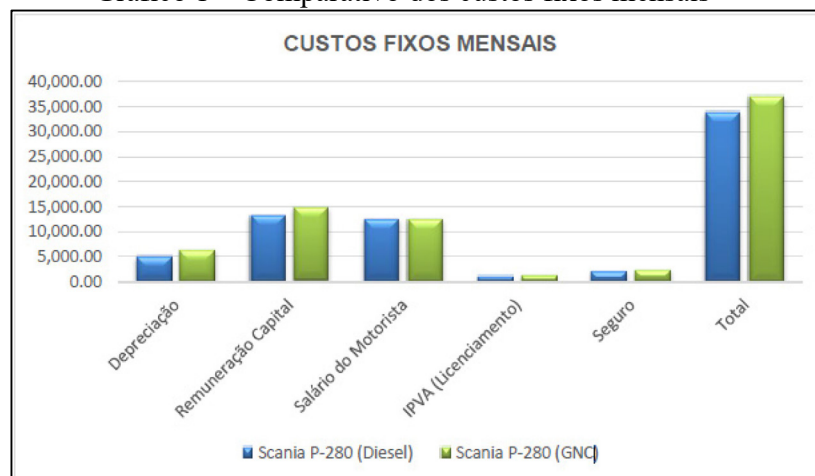
Tratando-se das manutenções realizadas, são feitas manutenções semanais em uma rede autorizada onde a transportadora do veículo possui vínculo, sendo realizados os devidos ajustes no caminhão conforme demanda, totalizando um gasto aproximado de R\$400 reais, a cada manutenção semanal feita. As trocas de óleo do motor são realizadas a cada 15.000 km, onde são utilizados cerca de 40 litros para troca.

A aquisição deste veículo de modelo Scania P-280, realizou-se no ano de 2023, por um valor aproximado de R\$820.000,00 e mais a carroceria onde é transportado os combustíveis, por cerca de R\$150.000,00, totalizando cerca de R\$ 970.000,00, obtenção está realizada de forma a vista. O tempo de frota dessa transportadora é de 5 anos ao todo por caminhão, onde ao totalizar os 5 anos, este caminhão é revendido e um novo é adquirido, ou seja, este caminhão prestará serviços a transportadora até o ano de 2028.

Tomando-se como base a Figura 2, alguns dados não foram utilizados por não serem relevantes, devido a forma como a transportadora adquire e utiliza o caminhão. Neste caso desconsiderou-se itens como recapagem de pneus e juros bancários de financiamento, obtendo-se os seguintes dados:

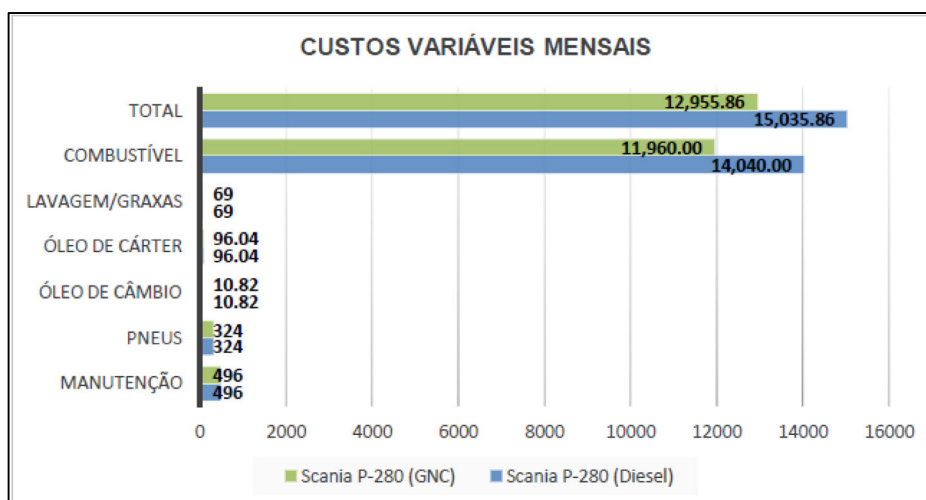
Os custos fixos mensais do modelo a GNC totalizaram R\$ 37.048,06, enquanto os do modelo a diesel foram de R\$ 33.879,68. Essa diferença de R\$ 3.168,38 deve-se principalmente ao maior valor de aquisição do caminhão a GNC (R\$ 1.100.000,00 contra R\$ 970.000,00), o que impactou diretamente itens como depreciação, IPVA, seguro e remuneração do capital (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Comparativo dos custos fixos mensais



Os custos variáveis do modelo a GNC foram inferiores (R\$ 12.955,86 contra R\$ 15.035,36 do diesel), com destaque para o custo do combustível: R\$ 11.960,00/mês (GNC) frente a R\$ 14.040,00/mês (diesel), uma economia mensal de R\$ 2.080,00 (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Comparativo dos custos variáveis



Fonte: Autoria Própria, 2025.

O custo operacional total mensal do caminhão a GNC foi de R\$ 50.003,92, enquanto o do modelo a diesel foi de R\$ 48.915,04 – uma diferença de R\$ 1.088,88 (2,23%) a favor do diesel (Gráfico 5). A proporção entre custos fixos e variáveis foi de 69%/31% para o diesel e 74%/26% para o GNC (Gráficos 3 e 4).

Gráfico 3 - Custos Scania P-280 (Diesel)

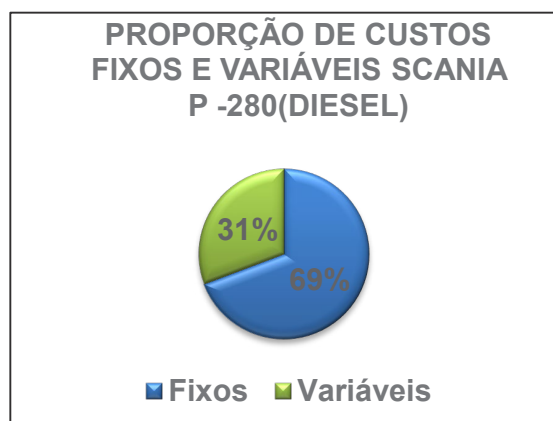
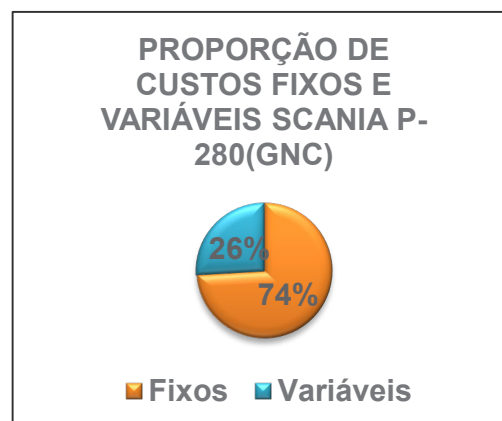


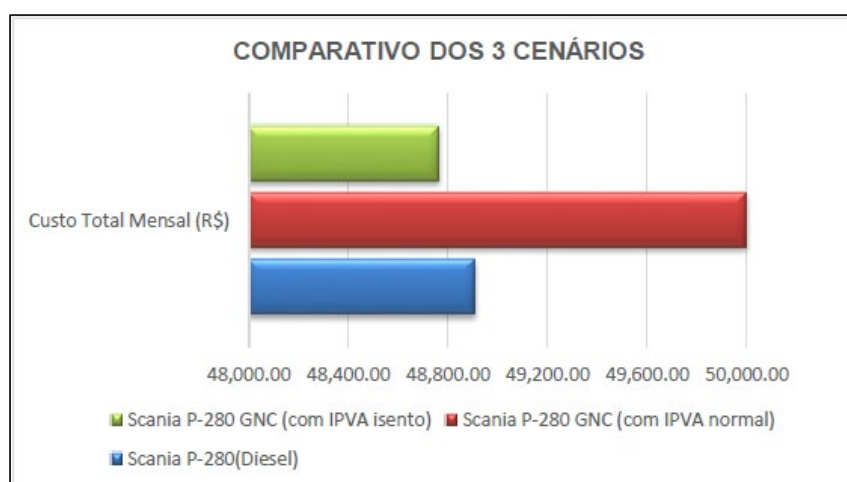
Gráfico 4 - Custos Scania P-280 (GNC)



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Em um cenário hipotético com isenção do IPVA para o modelo a GNC, o custo total reduziria para R\$ 48.766,23, tornando-o 0,30% mais barato que o diesel (Gráfico 5). Esse resultado indica que incentivos fiscais podem reverter a inviabilidade econômica atual.

Gráfico 5 - Comparativo do custo total dos 3 cenários



Fonte: Autoria Própria, 2025.

4. Conclusões

Com a realização deste trabalho, concluiu-se que, no cenário atual a implementação de caminhões movidos a gás natural comprimido (GNC) na frota utilizado para o transporte de combustíveis na cidade de Manaus ainda é economicamente inviável, quando comparado ao modelo movido a diesel.

Mesmo que o modelo movido a gás natural comprimido apresentou um custo variável significativamente mais baixo, influenciado principalmente pelo custo do combustível que é significativamente mais baixo quando comparado ao diesel, os custos fixos associados ao modelo movido a gás natural são mais altos, afetado principalmente pelo preço do caminhão, IPVA, seguro e depreciação, fazendo com que o custo operacional total mensal seja superior ao modelo movido a diesel.

Observando-se de forma isolada, apesar de a diferença ser de R\$ 1.088,88 o que parecer ser uma pequena diferença, torna-se relevante para a transportadora visto que ao considerar uma frota composta por 5 caminhões, isto impactaria diretamente na viabilidade econômica da operação, aumentando os custos de forma significativa.

Entretanto, em um cenário com incentivos fiscais adequados, como a isenção do IPVA, essa diferença poderia ser revertida, tornando o modelo movido a gás natural comprimido mais competitivo. Como mostrado nos resultados, apenas com a isenção do IPVA, apresentou-se uma pequena margem de vantagem, o que com certeza com outros incentivos ou isenções aplicadas, essa margem de vantagem seria bem maior.

Portanto, para isso uma política pública e aplicável poderia ser adotada pelo Governo Estadual do Amazonas, através da criação de um programa estadual de incentivo a transição energética no setor de transportes em geral, visto que os caminhões utilizados no transporte de combustíveis são os mesmos utilizados no transporte de outras mercadorias diferenciando-se apenas pela carroceria. Esses incentivos podem ser realizados da seguinte forma:

1. Isenção total ou parcial do IPVA, como já abordado aqui neste trabalho e baseado também em iniciativas similares já aplicadas em outros estados, como São Paulo, que aprovou isenção do IPVA para veículos híbridos e movidos a hidrogênio. Esse tipo de política, quando adaptada à realidade local, pode acelerar a modernização da frota e reduzir os impactos ambientais.
2. Concessão de créditos fiscais mediante abatimento de tributos incidentes sobre o valor do veículo, como o IPI e o ICMS.
3. Criação de linhas de financiamento específicas para a aquisição de caminhões movidos a gás natural comprimido com taxas reduzidas, por instituições como AFEAM (Agência de Fomento do Estado do Amazonas).

Recomenda-se para estudos futuros realizar um estudo comparativo entre o caminhão movido a gás natural comprimido e caminhões que utilizam outras tecnologias, como os elétricos ou movidos a hidrogênio, considerando, os aspectos econômicos, operacionais e ambientais.

Por fim recomenda-se também fazer um estudo que avalie de forma técnica a infraestrutura de abastecimento de gás natural comprimido não somente para a cidade de Manaus, mas sim para o estado do Amazonas como um todo, levando em conta as cidades que são contempladas com o gasoduto. Esse estudo ajudará a avaliar a cobertura atual da rede de postos de abastecimento e os investimentos necessários para garantir suporte logístico e que atenda as demandas das frotas de caminhões movidos a gás natural comprimido.

Referências

- (ANP). CDP – Consulta de dados públicos. Disponível em: https://cdp.anp.gov.br/ords/r/cdp_apex/consultadadospublicos%20cdp/home?session=13907641203112. Acesso em: 14 jun. 2025.
- ABEGÁS. Gás natural: quando o potencial vai virar realidade. Rio de Janeiro: ABEGÁS, 2020. Disponível em: <https://www.abegas.org.br/arquivos/76388>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Informações gerais. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/informacoesgerais>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Oleodutos de transporte e transferência. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/armazenamento-e-movimentacao-deprodutos-liquidos/oleodutos-de-transporte-e-transferencia>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Anuário Estatístico Brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2023. Rio de Janeiro: ANP, 2023.
- CHEN, H.; HE, J.; ZHONG, X. Engine combustion and emission fuelled with natural gas: A review. *Journal of the Energy Institute*, v. 92, n. 4, p. 1123–1136, 2019.
- CIGÁS – Companhia de Gás do Amazonas. Gás natural. Manaus: CIGÁS, [s.d.]. Disponível em: <https://www.cigas-am.com.br/gas-natural>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO AMAZONAS (CIAMA). Portos. Disponível em: <https://www.ciama.am.gov.br/portos/>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). 30.202 – Norma Manual de Cálculo de Custo Operacional Rodoviário de Carga. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/atosnormativos/>
- DAVID, Robert Carvalho de Azevedo. ESSE RIO É MINHA RUA: perspectivas para o transporte fluvial de passageiros no Amazonas. Manaus: 2019.
- FALCÃO, V. A. Demanda aeroportuária de Manaus e sua influência para o setor de turismo da região. *Journal of Transport Literature*, v. 7, n. 1, p. 127–146, 2013.
- FERREIRA, Márcio Antônio Couto. Transporte fluvial por embarcações mistas no Amazonas: uma análise do trecho Manaus-Coari e Manaus- Parintins. 2016.
- GASNET – O Site do Gás Natural. Gás natural para ônibus: mundo prova que combustível não é defasado. São Paulo: GasNet, 2010. Disponível em: <https://www.gasnet.com.br/Conteudo/Detalhe/8911>. Acesso em: 10 jul. 2025.

HOSSEINI, Mehdi; DINCER, Ibrahim; OZBILEN, Ahmet. Expert opinions on natural gas vehicles: research needs for energy policy development. In: DINCER, Ibrahim et al. (org.). Exergetic, energetic and environmental dimensions. Amsterdam: Academic Press, 2018. cap. 3.1, p. 731–750.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Frota de veículos – Manaus (AM). Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/pesquisa/22/28120>. Acesso em: 14 jun. 2025.

KAYSER, M. J; MCALLISTER, E. W. Pipeline rules of thumb handbook: A manual of quick, accurate solutions to everyday pipeline engineering problems. 7. ed. Gulf Professional Publishing, 2009.

KLIMSTRA, J. Fuel flexible energy generation: Solid, liquid and gaseous fuels. Cambridge, Inglaterra: Woodhead Publishing, 2015.

LARIZZATTI ZACHARIAS, L. G. et al. Natural gas as a vehicular fuel in Brazil: Barriers and lessons to learn. Energy policy, v. 167, n. 113056, p. 113056, 2022.

MEDEIROS, Juliana Terezinha da Silva. O transporte fluvial e o direito à dignidade da pessoa humana Amazônia. Manaus: 2011.

MORIARTY, Kristi. High octane fuel: Terminal backgrounder. Estados Unidos: NREL, fev. 2016

normas-

daorganizacao/operacoes/30202_norma_manual_calculo_custo_operacional_rodoviario_carga.pdf/view. Acesso em: 14 jun. 2025.

PORTO DE MANAUS. Porto de Manaus – o coração da Amazônia. Disponível em: <https://portodemanaus.com.br/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

ROGERS, K. The first gas station . Disponível em: <https://saferack.com/posts/the-first-gas-station/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

SCANIA. Caminhões Scania a gás. Disponível em: <https://www.scania.com/br/pt/home/products/trucks/gas-truck.html>. Acesso em: 14 jun. 2025.

SPEIGHT, J. Handbook of industrial hydrocarbon processes. 2. ed. Oxford, England: Gulf Professional Publishing, 2019.

TAN, Y. H.; ABDULLAH, M. O.; NOLASCO-HIPOLITO, C. The potential of waste cooking oil-based biodiesel using heterogeneous catalyst derived from various calcined eggshells coupled with an emulsification technique: A review on the emission reduction and engine performance. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 47, p. 589–603, 2015.

THIRUVENGADAM, A. et al. Natural gas vehicles in heavy-duty transportation-A review. Energy policy, v. 122, p. 253–259, 2018.

TRANSPORTADORA ASSOCIADA DE GÁS (TAG). Urucu-Coari-Manaus. Disponível em: https://ntag.com.br/arquivos_transp/urucu-coari-manaus/. Acesso em: 14 jun. 2025.

VISHNYAKOV, V. et al. Primer on enhanced oil recovery. Oxford, Inglaterra: Gulf Professional Publishing, 2019.

VISWANATHAN, B. Energy sources: Fundamentals of chemical conversion processes and applications. Londres, Inglaterra: Elsevier Science, 2017.

XIN, Q. Diesel Engine System Design. [s.l.] Woodhead Publishing, 2011.

APLICAÇÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS EM DUTOS E PROCESSAMENTO DE PETRÓLEO PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS

APPLICATION OF PROCESS SAFETY IN PIPELINES AND OIL PROCESSING FOR RISK MITIGATION

Juliana Motta Sales^{1*}, Joemes de Lima Simas², Gabriela Ennes Silva de Castro³

¹Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia – FT/Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás - DEPEG, Manaus/AM, Brasil. E-mail: sallesjuliana649@gmail.com

² Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia – FT/Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás - DEPEG, Manaus/AM, Brasil. Email: joemes@ufam.edu.br

³ Professora Voluntária na Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia – FT/Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás - DEPEG, Manaus/AM, Brasil. Email: ennesgabriela@ufam.edu.br

Resumo

As atividades da indústria do petróleo são essenciais para a economia do Brasil. Entretanto, o risco de acidentes de grandes proporções pode ameaçar o desenvolvimento do setor, impactando a sociedade. Nesse contexto, vê-se a importância do estabelecimento de um sistema de gestão de segurança de processo eficiente para a continuidade das operações, proteção da vida humana e do meio ambiente. O presente projeto visa avaliar a aplicação da Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco nas instalações (dutos e processamento de petróleo), com o estabelecimento de um processo de gerenciamento de riscos métricas e indicadores de segurança. Com a implementação de um sistema de gestão e o gerenciamento de riscos, auxiliados à medição do desempenho, é possível avaliar a eficácia com que os riscos estão sendo controlados e aferir o desempenho das ações e projetos do sistema de gestão. E a partir disso, desenvolve-se uma análise e seleção das técnicas de gestão de riscos para garantir que as melhores práticas sejam aplicadas minimizando impactos negativos.

Palavras-Chave: Segurança de Processos. Gestão de Riscos. Indústria do Petróleo.

Abstract

The oil industry's activities are essential to Brazil's economy. However, the risk of major accidents can threaten the sector's development, impacting society. In this context, establishing an efficient process safety management system is crucial for the continuity of operations and the protection of human life and the environment. This project aims to evaluate the application of Risk-Based Process Safety Management in facilities (pipelines and oil processing), establishing a risk management process, metrics, and safety indicators. By implementing a risk management system and supporting performance measurement, it is possible to assess the

effectiveness of risk control and assess the performance of management system initiatives and projects. Based on this, an analysis and selection of risk management techniques are developed to ensure that best practices are applied, minimizing negative impacts.

Keywords: Process Safety. Risk Management. Oil Industry.

1. Introdução

A Segurança de Processos desempenha um papel crucial em empresas garantindo a integridade das operações e prevenindo incidentes. Para isso, essas empresas adotam técnicas que identificam os riscos presentes, com o objetivo de reduzir tais impactos caso ocorra algum tipo de ocorrência. (LEITE,2018)

As "Diretrizes para Segurança de Processos Baseada em Riscos (RBPS)" são uma publicação fundamental do Centro de Segurança de Processos Químicos (CCPS), parte do Instituto Americano de Engenheiros Químicos (AIChE). Sendo assim, a Segurança de Processos é um componente fundamental da Gestão de Segurança. Ela é amplamente reconhecida como responsável pela redução do risco de acidentes de grande escala e na melhoria do desempenho da indústria. (AIChE/CCPS, 2007).

Além disso, é importante salientar que incidentes podem ter consequências, resultando em inúmeras mortes e feridos, além de danos à economia, à propriedade e ao meio ambiente (LEITE,2018). Por esse motivo, a segurança deve ser o ponto focal de toda operação industrial, isto é, a segurança dos equipamentos, das pessoas e dos sistemas, sendo esse conceito estabelecido dentro da cultura da empresa. (FERNANDES, 2021).

Com relação a definição da gestão de Segurança de Processos, a primeira noção que se pode ter é que ela existe para prevenir possíveis acidentes relacionados à operação do processo de uma determinada empresa. (FERNANDES, 2021).

Contudo, essa primeira abordagem sobre gestão de Segurança de Processos avança para uma nova ideia, centrada em projeto e engenharia de instalações, nas análises de perigos e riscos, na análise e investigação de incidentes e acidentes, na gestão de mudança, na inspeção, em testes e manutenção de equipamentos, em alarmes e controles de processos efetivos, nos procedimentos de operação e manutenção, em treinamento de pessoal e fatores humanos. (AIChE/CCPS, 2008).

Por isso, o transporte de dutos de petróleo e seus derivados é considerado uma atividade perigosa. Sendo assim, a ANP (2011) estabeleceu um regulamento técnico a fim de realizar uma avaliação de risco identificando os trechos críticos de dutos, os possíveis modos de falha

e os cenários acidentais a serem contemplados nas fases do ciclo de vida do duto e no Plano de Emergência.

Entretanto, dentro da indústria petrolífera, é necessário entender que mesmo diante de todas as análises realizadas, o setor de petróleo ainda pode apresentar alguma ocorrência inesperada por conta da complexibilidade dos processos que ocorrem dentro do setor. (FREITAS, 2021).

Dessa forma, como menciona JERÔNIMO e TOMASONI (2024), estudos como o de Grabowski e Roberts (2021) destacam a importância de incorporar ferramentas de monitoramento em tempo real e análises de previsão para potencializar a segurança de processos.

De acordo com FERNANDES (2021), a Agência Nacional de Petróleo, em 2012, incluiu um Sistema de Práticas de Gestão que assegura a integridade das instalações de exploração e produção de petróleo e gás natural na Gestão de Segurança de Processos Baseada em Risco da CCPS.

Dentro da abordagem de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS), aplicam-se às lições aprendidas através da experiência na empresa com a utilização dos indicadores de desempenho na condução da Segurança de Processos.

Sendo assim, a ferramenta utilizada é o programa de gerenciamento de riscos e os indicadores de tendência (indicadores proativos), que ajudam a medir e observar, de modo confiável, o desempenho dos diversos aspectos do sistema de segurança, independentemente de quaisquer eventos de perda (AIChE/CCPS, 2007).

2. Metodologia

Quando trabalhamos com a elaboração de projetos de engenharia, nesse caso em dutos e processamento de petróleo, é necessário levar em consideração os aspectos de segurança de processos que envolvem as pessoas, o meio ambiente e as operações.

Dessa forma, para desenvolver este projeto, foram utilizadas duas fases. A primeira é a fase relacionada aos levantamentos de referências bibliográficas inerentes ao tema em desenvolvimento, e a segunda é a fase de estudos, isto é, a identificação dos procedimentos e análises de riscos a fim de reduzir os possíveis acidentes.

Sendo assim, o projeto desenvolvido baseou-se primeiramente na busca de referências bibliográficas seguindo a ideia da gestão de segurança de processos na indústria de petróleo

com o objetivo de analisar as técnicas de gestão de riscos que poderão ser aplicados, e a partir disso selecionar essas técnicas para a execução da análise de riscos.

Nesse sentido, para compreender os principais aspectos da gestão de segurança de processos na indústria do petróleo, foram realizados levantamentos bibliográficos utilizando dissertações, Trabalhos de Conclusão de Curso, publicações em periódicos e revistas para a obtenção de informações mais precisas no presente estudo.

Em seguida, foi desenvolvido tabelas com informações sobre as principais técnicas de análises de riscos e suas aplicações, com ênfase em dutos e no processamento de petróleo.

Por fim, foram avaliados os resultados com a aplicação das técnicas adotadas e a eficiência da implementação de um sistema de gestão e o gerenciamento de riscos, auxiliados à medição do desempenho que avaliam a eficácia com que os riscos estão sendo controlados permitindo aferir o desempenho das ações e projetos do sistema de gestão.

3. Resultados e Discussão

O planejamento da segurança de processos em dutos e processamento de petróleo inclui uma definição da trajetória, cronograma, orçamento e escolha dos equipamentos adequados. Além disso, é fundamental a realização de análise de riscos para a identificação de falhas e assim desenvolver um plano de segurança eficiente. A conformidade com as regulamentações legais e a gestão dos impactos ambientais também são elementos essenciais para o sucesso do projeto.

Avaliação da gestão de segurança de processos na indústria do petróleo

Para realizar uma avaliação da gestão de segurança de processos, é necessário levar em consideração as práticas e políticas, gestão de riscos, normas e regulamentações, tecnologias em uso, a preservação do meio ambiente e o bem-estar dos trabalhadores.

De acordo com a resolução da ANP nº 6/2011, foi instituído o Regulamento Técnico de Dutos Terrestres (RTDT), onde foram estabelecidos os critérios essenciais e os padrões mínimos de segurança operacional para dutos terrestres. Estes critérios abrangem todo o ciclo de vida dos dutos desde a construção até a desativação com o objetivo de preservar a vida humana e o meio ambiente.

Desse modo, a Agência de Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA), estabeleceu a *Process Safety Management* (PSM) com a intenção de realizar uma análise de perigos do processo evitando possíveis erros e a adoção de procedimentos operacionais, como

por exemplo: treinamento de funcionários; revisões de segurança; avaliação da integridade dos equipamentos; e procedimentos para a gestão da mudança.

Além disso, a PSM determinou a investigação de incidentes incluindo as emissões e quase acidentes, planos de ação e auditorias de conformidade. Além do mais, foi criada a *Environmental Protection Agency* (EPA), Agência de Proteção Ambiental, que deu origem ao *Risk Management Program* (RMP), Programa de Gerenciamento de Riscos, ambos os programas foram criados nos EUA.

Dando ênfase ao *Risk Management Program* (RMP), o objetivo deste programa é reduzir riscos, proteger as comunidades e garantir planos de emergência eficientes. Dessa forma, o RMP baseia-se em três pilares: análise de riscos do processo (PHA), que visa identificar e avaliar os perigos industriais; prevenção de acidentes, que tem como principal foco implementar as boas práticas operacionais, isto é, treinamentos e gestão de mudanças; e o plano de resposta a emergências, que busca procedimentos para conter acidentes e manter a comunicação com a comunidade em geral.

Com relação ao Programa de Gerenciamento de Risco voltado para a segurança de processos em dutos e processamento de petróleo, o intuito deste programa é prevenir incidentes e garantir a confiabilidade do suprimento de petróleo e gás por meio da identificação, análise e controle de possíveis falhas.

As técnicas utilizadas são: análise preliminar de risco (APR), que busca desenvolver uma avaliação qualitativa dos riscos potenciais; série de riscos (SR), para identificar eventos indesejáveis e suas causas; árvore de falhas (AF), que visa desenvolver um diagrama para identificar falhas potenciais de sistemas; e a metodologia de análise de risco conhecida como *BowTie* para representar de maneira gráfica as relações entre causas e consequências de um evento indesejado.

Outro aspecto a considerar é o programa de Segurança do Processo Baseada em Risco (RBPS) criado pela CCPS. Este programa se encontra definido em quatro pilares da estrutura do sistema e dentro deles são incluídos vinte elementos de segurança. E os quatro pilares são: o compromisso com a segurança de processo; entendimento de perigos e riscos; gestão de riscos; e o aprendizado com a experiência.

Com relação às técnicas utilizadas para avaliar a gestão de segurança de processos no setor de óleo e gás são os indicadores de desempenho, que têm a principal função de transmitir informações sobre processos passados para a implementação ou manutenção de medidas para a busca de um objetivo. Com isso, se o foco é o gerenciamento da segurança de processo, então

indicadores precisos relacionados ao gerenciamento de riscos de processos devem ser utilizados.

Em suma, os indicadores de desempenho de segurança são: os indicadores do tipo reativo, que indicam o comportamento da segurança até o momento da medida e geralmente estão relacionados com eventos de incidentes; e os indicadores preventivos ou proativos que estão relacionados com ações e medidas para evitar incidentes podendo indicar como a organização pode se comportar no futuro no que diz respeito aos resultados do gerenciamento de riscos, ou seja, a presença ou ausência de danos acidentais.

Análise as técnicas de gestão de riscos que poderão ser aplicados

Com base nos levantamentos bibliográficos realizados, foi possível elaborar a Tabela 1 abaixo com as principais técnicas das análises de riscos que podem ser utilizadas no segmento de óleo e gás.

Tabela 1. Principais técnicas das análises de riscos

| Técnicas de análise de riscos | Descrição | Função |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HAZOP | Estudo de Perigos e Operabilidade <i>(Hazard and Operability Studies)</i> | É uma técnica de avaliação qualitativa desenvolvida para analisar as linhas de processo, realizando a identificação dos perigos e implementando medidas preventivas. |
| FMEA | Análise de Modos de Falha e Efeitos <i>(Failure Mode and Effect Analysis)</i> | É uma técnica de análise de falhas e sugestões para o sistema em questão, com o objetivo de prevenir falhas no projeto da instalação. Essa técnica é realizada através de análise qualitativa e quantitativa do sistema é capaz de estabelecer a estimativa da |

| | | |
|---------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | taxa de falhas para futuros efeitos. |
| APR/APP | Análise Preliminar de Riscos | É uma técnica para identificar e avaliar, de forma preliminar, os riscos presentes na instalação. Essa técnica é feita através de análise qualitativa e permite seu uso em instalações já em operação, possibilitando uma revisão das questões de segurança já existentes. |
| FTA/AAF | Análise de Árvore de Falhas | É uma técnica que procura aumentar a confiabilidade do sistema através da análise das causas e consequências das falhas do evento topo, promovendo ações preventivas e corretivas para reduzir novas ocorrências de falhas. |
| QRA | Análise Quantitativa de Risco (<i>Quantitative Risk Analysis</i>) | É uma técnica de análise quantitativa utilizada como parte de outras metodologias para identificar os cenários possíveis que poderiam provocar acidentes, |

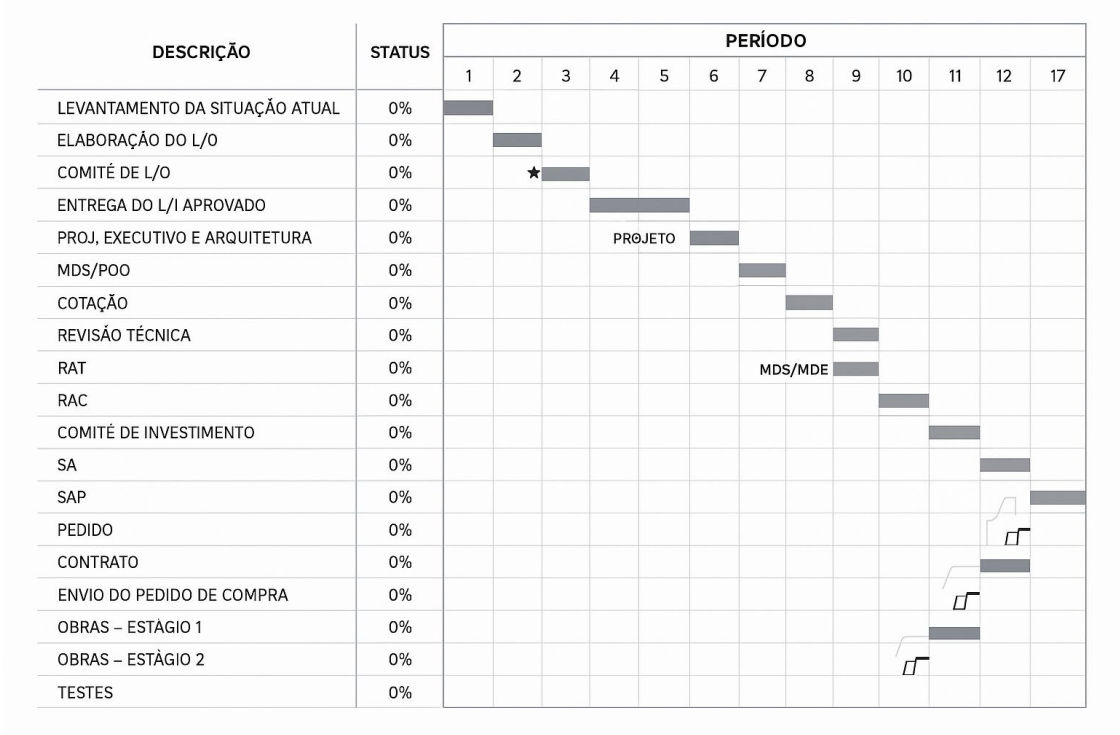
| | | |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------|
| | | consequências negativas ou para estimar as probabilidades de ocorrência. |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------|

Fonte: Autor (2025).

É importante destacar que todos esses estudos teóricos iniciais são fundamentais para garantir a segurança de processos em dutos e processamento de petróleo, reduzindo riscos e garantindo a integridade das operações.

Estudo das fases operacionais de um projeto

Para o entendimento das fases operacionais de um projeto é importante pontuar as técnicas utilizadas no Cronograma 1:



Cronograma 1. Projeto básico de perfuração de um poço de petróleo

Fonte: Autor (2025).

O cronograma 1 apresenta uma sequência estruturada de tarefas a serem concluídas, começando pelo levantamento da situação atual, tendo que essa etapa consiste em coletar informações para determinar a tomada de decisões. Além disso, temos a elaboração do L/O (Layout Operacional), que é a etapa que define a organização e o fluxo do projeto, garantindo a eficiência, otimização de espaço, dinâmica de trabalho, materiais e informações.

O comitê de L/O, é a etapa que consiste na realização de reuniões para revisar e aprovar o Layout Operacional, essa etapa é fundamental para garantir que o layout esteja alinhado com os objetivos do projeto antes da execução.

Dando ênfase à entrega do L/O aprovado, é a etapa que formaliza o *Layout Operacional*, formalizando em formato de documentação e após isso fazer a distribuição para as equipes responsáveis pela execução. Outra fase importante deste cronograma é o projeto executivo e arquitetura, nessa etapa os projetos são desenvolvidos de forma detalhada, incluindo a arquitetura e engenharia.

O MDS/PQO são termos referentes a processos técnicos ou documentais importantes para a execução da obra, a MDS (Memorial Descritivo de Serviços) é um documento que detalha os serviços, materiais e métodos que serão utilizados no projeto, e o PQO (Plano de Qualidade da Obra), é um plano que consiste na definição de critérios de controle de qualidade, inspeção e certificação do projeto.

Além disso, temos a etapa de cotação onde será feita a solicitação e a análise de orçamentos de fornecedores e prestadores de serviço. E estando ligada diretamente à cotação, temos a revisão técnica, onde será o momento de realizar uma avaliação técnica dos projetos garantindo a conformidade com os requisitos. Para formalizar esse processo, o RAT (Relatório de Análise Técnica), é um documento que formaliza a revisão técnica, registrando as informações avaliadas e assegurando que as decisões tomadas na fase de cotação estejam em conformidade com os padrões técnicos exigidos, garantindo a execução do projeto com qualidade e eficiência.

Quando se trata de segurança de processos, é fundamental citar sobre o RAC (Regulamento de Avaliação da Conformidade), que é um documento que consiste em avaliar a conformidade de um produto, processos, serviços, pessoas ou sistema de gestão. Essas regras são baseadas em ferramentas de gestão da qualidade, voltadas para assegurar confiança na conformidade com uma norma ou regulamento técnico.

Já o Comitê de Investimento, é um grupo formado por especialistas e gestores que irão avaliar a viabilidade econômica, técnica e estratégica do projeto. É nesta etapa que são avaliados os riscos, os custos estimados, o retorno esperado e o alinhamento com os objetivos da empresa. Logo após temos o SA (Solicitação de Aprovação), uma etapa burocrática que exige documentos técnicos, justificativas econômicas, orçamentos e informações necessárias para autorizar o início das próximas etapas do projeto.

Sobre o sistema SAP (Sistemas, Aplicações e Produtos em Processamento de Dados), é um software de gestão empresarial que compõe todos os processos de uma organização em uma única plataforma, ou seja, está voltado para o controle e automação das operações empresariais, como recursos humanos, logística, produção, vendas, finanças, entre outras. E dentro desse sistema, podemos citar sobre o pedido de compras, contratos e o EMMO (Entrada de Material e Mão de Obra).

No sistema SAP, os pedidos de compra são denominados como EMMP (Empenho do Pedido de Compra), ou seja, são documentos formais de aquisição de materiais ou serviços que são enviados aos fornecedores. Com relação aos contratos, são documentos que devem constar os acordos feitos a longo prazo juntamente com os fornecedores.

Além disso, temos o EMMO que se divide em duas etapas: Entrada de Material e Mão de Obra. A Entrada de Material tem como objetivo atualizar o estoque da empresa gerando duas movimentações no módulo MM (Gerenciamento de Materiais - apoia as funções de suprimento e de manutenção de estoques necessárias para os processos empresariais diários) e no módulo FI (Contabilidade Financeira – que envolve a parte financeira incluindo registros automáticos, relatórios, contas a pagar e a receber, com planos de contas personalizados). Já a Entrada de Mão de Obra, refere-se a serviços como manutenção, limpeza ou consultoria.

Por fim, temos as etapas de Obras e Testes que representam a fase final da execução. As Obras estão divididas em cinco etapas, algumas dessas etapas ocorrem de forma simultânea, o que indica a possibilidade de execução paralela de atividades, buscando otimizar o tempo total do projeto. Após a conclusão das obras, inicia-se a fase de Testes, essa etapa tem como principal objetivo validar o funcionamento dos sistemas garantindo que tudo esteja em conformidade com os requisitos técnicos e operacionais antes da entrada em operação definitiva do poço. A realização adequada dos testes é essencial para assegurar a segurança e a eficiência da instalação.

Análise de seleção das técnicas de análises de riscos

A seleção das técnicas de análises de riscos é uma etapa fundamental para a segurança de processos, pois consiste em identificar, avaliar e mitigar os possíveis riscos que podem afetar projetos, operações e estratégias. Sendo assim, será descrito quais técnicas de análises de riscos foram utilizadas no cronograma que foi desenvolvido no tópico três deste projeto.

Com relação a etapa do levantamento da situação atual e a etapa de execução das obras, a técnica identificada em ambas foi a APR (Análise Preliminar de Riscos). Esta técnica de análises de riscos é muito importante pois fornece uma base sólida para todas as demais etapas

do cronograma garantindo que o planejamento do projeto leve em consideração os riscos reais do ambiente, aumentando a eficiência e diminuindo a possibilidade de imprevistos durante a execução.

Quanto à etapa do projeto executivo e arquitetura, a técnica que se enquadra é o AAF (Análise de Árvore de Falhas), ou seja, por ser uma técnica voltada a mapear possíveis falhas ela se torna essencial para garantir que o projeto esteja dentro das conformidades evitando eventos indesejados. Sendo assim, a técnica AAF possui um papel crucial dentro da segurança de processos, pois permite implementar medidas preventivas e melhorar a confiabilidade do sistema.

Outra etapa que contém um tipo de técnica de análise de riscos é o MDS (Memorial Descritivo de Serviços) e o PQO (Plano de Qualidade da Obra), neles foi identificado duas técnicas, são elas: a FMEA (Análise de Modos de Falha e Efeitos) e a HAZOP (Estudo de Perigos e Operabilidade). A aplicação dessas técnicas fortalece a gestão de riscos, contribuindo para uma execução mais segura, eficiente e alinhada com os padrões exigidos evitando problemas que comprometam a qualidade e segurança da obra.

Dando ênfase a etapa do Comitê de Investimento e a SA (Solicitação de Aprovação), a técnica que se encaixa é a QRA (Análise Quantitativa de Risco), pois fornece uma visão quantitativa dos riscos, ou seja, as probabilidades e consequências auxiliando na tomada de decisões estratégicas sobre a viabilidade técnica, econômica e de segurança do projeto.

Por fim, essas foram as técnicas identificadas em algumas das etapas do cronograma, visto que, no restante das etapas, não houve a presença dessas técnicas de análise de riscos por serem etapas consideradas de baixo impacto ou comuns para o desenvolvimento de um projeto, não sendo vistas como críticas a ponto de demandar um levantamento formal de riscos.

Com isso, a aplicação contínua dessas ferramentas contribui para reduzir incertezas, melhorar a tomada de decisões e aumentar a eficiência operacional para uma entrega de qualidade, segura e alinhada às responsabilidades técnicas e normativas.

4. Conclusões

Dessa forma, pode-se afirmar que os resultados obtidos demonstram a importância da segurança de processos em dutos e no processamento de petróleo. E por meio da análise bibliográfica e da avaliação das principais técnicas de gestão de riscos, foi possível identificar métodos capazes de prevenir acidentes de grande porte e reduzir impactos ao meio ambiente e à sociedade.

O uso das ferramentas como APR, AAF, FMEA, HAZOP e QRA demonstrou ser fundamental para identificar, avaliar e controlar riscos em diferentes fases do projeto, isto é, desde o planejamento até a execução. Essas técnicas colaboram para o processo da tomada de decisões, permitindo que as operações estejam alinhadas às normas e regulamentações vigentes.

Além disso, a adoção de sistemas de gestão como o RBPS e programas de conformidade reforça a cultura de segurança e promove a melhoria contínua. Com relação ao uso de ferramentas de gestão integradas, como o sistema SAP e acompanhamento sistemático, são ferramentas que fortalecem a execução e a rastreabilidade dos processos.

Portanto, a implementação de uma gestão de segurança de processos baseada em risco é fundamental para a indústria do petróleo. Essa abordagem previne acidentes, protege a vida humana e ambiental, além de promover eficiência, confiabilidade e sustentabilidade nas operações.

5. Agradecimentos

Expresso minha profunda gratidão à minha professora e orientadora, Prof. Dra. Joemes de Lima Simas, pelas valiosas contribuições e pela orientação constante, que foram essenciais para o desenvolvimento e o aprimoramento deste trabalho.

Estendo meus agradecimentos ao Laboratório de Petrofísica do Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás, pela oportunidade de participação neste projeto, e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI), cujo apoio foi fundamental para que eu pudesse atuar como voluntária nesta pesquisa.

Agradeço, ainda, aos amigos da universidade pelo apoio ao longo deste percurso acadêmico. Por fim, registro meu reconhecimento e gratidão à minha família, em especial à minha mãe e à minha avó, cujo incentivo, confiança e suporte emocional foram indispensáveis para a realização desta jornada.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural (RTDT). Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 31000:2018 – Gestão de riscos – Diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6492:1994 – Representação de projetos de arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13532:1995 – Elaboração de projetos de edificações – Arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

AICHe/CCPS. Guidelines for Risk Based Process Safety. Editora Wiley, 2007.

AICHe/CCPS. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. Wiley, 3 ed., 2008.

Almeida, Alex Garcia de. Identificação de indicadores globais para o monitoramento da segurança de processos de plataformas de produção de petróleo e gás natural: estudo de caso da indústria brasileira. Rio de Janeiro/RJ: UERJ, 2013.

Azevedo, Alexsander Wellington Nunes de. Gestão de segurança operacional na indústria de petróleo e gás: estudo de caso de uma unidade flutuante de produção, armazenamento e transferência de petróleo. Coimbra: ESTeSC, 2019.

Fernandes, Rayan Lima. Gestão de segurança de processos baseado em risco: implementação de um modelo de gestão de mudança em uma empresa operadora de campo de petróleo. Natal/RN: UFRN, 2021.

Freitas, Ketson Patrick de Medeiros. Gerenciamento de riscos ambientais na indústria de petróleo. Volta Redonda/RJ. Revista Valore, 2021.

Jerônimo, Carlos Enrique de Medeiros; Tomasoni, Emerson. Método de pesquisa para avaliação da cultura de segurança de processos (SEPRO) na cadeia do petróleo e gás. Curitiba/PR. Revista Delos, 2024.

Leite, Felipe Silva Lobo. Sistema de gestão de segurança de processo baseado em risco na indústria do petróleo. Rio de Janeiro/RJ: UFRJ, 2018.

Maltez, Juliana Soares. Estudo da análise de risco ambiental na operação de duto terrestre, considerando alterações geológico-geotécnicas na faixa de duto e áreas adjacentes. Rio de Janeiro/RJ: UFRJ, 2013.

Monteiro, Ana Luiza Torres Oliveira. Estudo da extensão da vida útil de topsides em plataformas de produção offshore de petróleo no Brasil com ênfase na segurança operacional. Niterói/RJ: UFF, 2016.

Project Management Institute. Padrão de gerenciamento de projetos e Guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK). 7. ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021.

INMETRO. Regulamento de Avaliação da Conformidade para o Serviço de Ensaio de Estanqueidade em Instalações Subterrâneas. Portaria nº 259, de 18 de julho de 2008. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001786.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2025.

**SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL: ANÁLISE CRÍTICA
DOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EXPLORAÇÃO DE GÁS NATURAL EM
ITAPIRANGA E SILVES**

***SUSTAINABILITY AND REGIONAL DEVELOPMENT: A CRITICAL ANALYSIS OF
THE SOCIO-ENVIRONMENTAL IMPACTS OF NATURAL GAS EXPLORATION IN
ITAPIRANGA AND SILVES***

Wendel Ricardo do Nascimento^{1*}, Suelen Nonata de Souza Marques²

¹Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia/Departamento de Engenharia
de Petróleo e Gás, Manaus/AM, Brasil. E-mail: wendel.nascimento@ufam.edu.br

² Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia/Departamento de Engenharia
de Petróleo e Gás, Manaus/AM, Brasil. E-mail: nonata@ufam.edu.br

Resumo

Os municípios de Silves e Itapiranga, anteriormente dependentes da agropecuária, passaram a integrar o cenário da exploração onshore de gás natural no Amazonas, região inserida no bioma amazônico e marcada pela presença de comunidades tradicionais. Diante do avanço dessas atividades, torna-se essencial compreender os impactos socioambientais provocados, considerando a ausência de estudos específicos sobre essas localidades. Este trabalho, por meio de levantamento bibliográfico e documental, teve como objetivo identificar, classificar e analisar os impactos sociais e ambientais decorrentes da atuação da indústria de gás natural na região, com foco em possíveis ações mitigadoras e no fortalecimento do desenvolvimento regional sustentável. A análise revelou efeitos como degradação ambiental, sobrecarga de infraestrutura pública, exclusão de comunidades tradicionais, além de sinais de racismo ambiental e poluição socioambiental. Foram também avaliadas as iniciativas sociais da empresa operadora e os limites da governança ambiental, especialmente no que diz respeito ao cumprimento da Convenção 169 da OIT. Os resultados destacam a necessidade de políticas públicas integradas, consultas comunitárias efetivas e modelos de desenvolvimento que conciliem crescimento econômico, justiça territorial e conservação socioambiental.

Palavras-Chave: Impactos Socioambientais; Itapiranga; Silves; Gás Natural; Sustentabilidade.

Abstract

The municipalities of Silves and Itapiranga, previously reliant on agriculture and livestock, have become part of the onshore natural gas exploration landscape in Amazonas, a region within the Amazon biome and home to traditional communities. Given the expansion of these activities, it is essential to understand the resulting socio-environmental impacts, especially considering the lack of specific studies on these localities. This study, through bibliographic and documentary research, aimed to identify, classify, and analyze the social and environmental impacts caused by the natural gas industry in the region, focusing on potential mitigation actions

and the strengthening of sustainable regional development. The analysis revealed effects such as environmental degradation, strain on public infrastructure, exclusion of traditional communities, as well as signs of environmental racism and socio-environmental pollution. The company's social initiatives and the limits of environmental governance were also assessed, particularly regarding compliance with ILO Convention 169. The results highlight the need for integrated public policies, effective community consultations, and development models that reconcile economic growth, territorial justice, and socio-environmental conservation.

Keywords: Socio-environmental Impacts; Itapiranga; Silves; Natural Gas; Sustainability.

1. Introdução

A exploração de petróleo e gás natural é uma das atividades mais relevantes para a economia global, mas também uma das mais impactantes do ponto de vista socioambiental. Desde a perfuração do primeiro poço em 1859, o petróleo tornou-se uma das matérias-primas mais fundamentais para a sociedade (Thomas, 2001). Além de sua utilização como fonte de energia, os hidrocarbonetos são constituintes de diversos bens de consumo, como cosméticos e medicamentos (Lucchesi, 1998).

Contudo, a exploração e o processamento desses recursos podem ocasionar impactos socioambientais significativos, que vão desde benefícios econômicos, como geração de empregos e crescimento regional, até efeitos negativos, como degradação ambiental, geração de resíduos e contaminação do solo (Gonçalves, 2022). Esses impactos são ainda mais críticos em regiões sensíveis, como a Amazônia, cuja biodiversidade é única e cuja população depende diretamente dos recursos naturais para sua subsistência.

Segundo Ribeiro e Morelli (2009), os avanços tecnológicos e o aumento do consumo incentivaram a produção industrial, resultando em um ciclo que intensifica a degradação ambiental. Grippi (2005) destaca que, por décadas, a busca pelo crescimento econômico omitiu a análise dos impactos socioambientais da indústria de petróleo e gás, o que levou ao aumento exponencial de estudos sobre essas consequências (Silva, 2008; Philippi, 2004).

Entre os principais impactos, destacam-se a poluição socioambiental, que não se limita à contaminação física, mas inclui consequências sociais (Harmon, 2004), e o racismo ambiental, que denuncia a desigualdade na distribuição dos impactos, atingindo mais fortemente comunidades vulneráveis (Pacheco, 2008; Martínez, 2018). Além disso, há efeitos sobre atividades econômicas locais, como o turismo de base comunitária, que busca conciliar preservação ambiental e desenvolvimento sustentável, mas enfrenta desafios diante da presença da indústria de petróleo e gás (Fabrino, 2013; Fletcher, 2020).

A legislação brasileira, por meio do Código Florestal (Lei 12.651/12), da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81) e da Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/98),

estabelece diretrizes para mitigar esses impactos. No entanto, Souza (2020) ressalta que mesmo as melhores práticas ainda causam impactos ambientais. No Amazonas, a legislação estadual reforça a necessidade de consulta prévia às comunidades tradicionais, conforme previsto na Constituição Federal e em tratados internacionais (CF, 1988; Silva, 2012), mas denúncias indicam que essa exigência nem sempre é cumprida (Ramos, 2023).

O presente estudo tem como objeto a análise dos impactos socioambientais decorrentes da exploração de gás natural nos municípios de Itapiranga e Silves (Figura 1), no estado do Amazonas. Essas localidades, historicamente voltadas para atividades agropecuárias e de turismo (Prefeitura de Itapiranga, 2024; Prefeitura de Silves, 2024), passaram a receber investimentos significativos após a instalação da Unidade de Tratamento de Gás Azulão, inaugurada pela empresa Eneva em 2021 (Eneva, 2021).

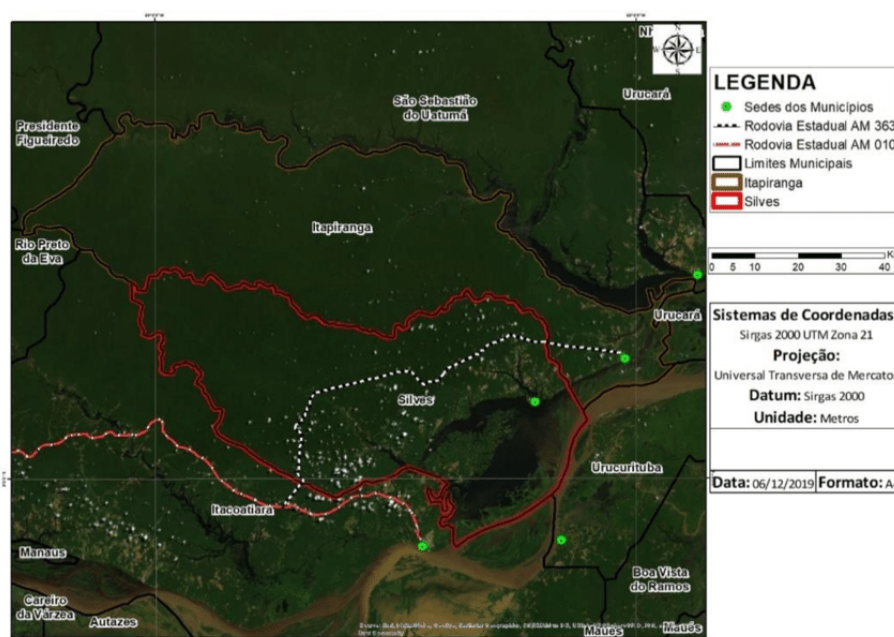


Figura 1: Municípios de Itapiranga e Silves

Fonte: Pereira (2020)

A pesquisa busca identificar e classificar os principais tipos de poluição socioambiental, mapear áreas de maior vulnerabilidade e avaliar os efeitos sobre as comunidades locais, incluindo povos tradicionais. Além disso, pretende-se analisar a conformidade das operações com a legislação vigente e discutir a sustentabilidade das atividades em um contexto de alta sensibilidade ambiental.

A escolha desses municípios se justifica por sua relevância estratégica no setor energético amazônico e pela presença de denúncias relacionadas à ausência de consulta prévia

e à sobreposição territorial em áreas de comunidades tradicionais (Ramos, 2023). Esses fatores tornam o caso emblemático para compreender os desafios e as possibilidades de conciliar desenvolvimento econômico e preservação ambiental na Amazônia.

A relevância deste estudo está diretamente ligada à necessidade de ampliar a discussão sobre os impactos socioambientais da indústria de petróleo e gás na Amazônia, uma região que concentra não apenas recursos naturais estratégicos, mas também uma das maiores biodiversidades do planeta. A exploração de gás natural, embora contribua para a segurança energética e para o desenvolvimento econômico, pode gerar danos irreversíveis ao meio ambiente e às comunidades locais se não for conduzida de forma sustentável (Mariano, 2007).

Além disso, as populações tradicionais, historicamente marginalizadas, enfrentam riscos adicionais, como deslocamento, perda de meios de subsistência e impactos culturais (Lopes, 2018). A ausência de mecanismos eficazes de consulta e participação agrava essas vulnerabilidades, configurando situações de injustiça socioambiental e, em alguns casos, de racismo ambiental (Cardoso, 2024).

Do ponto de vista científico, a pesquisa contribui para o acervo bibliográfico sobre o tema, reunindo referências teóricas e dados regionais que podem subsidiar futuras investigações. Do ponto de vista prático, oferece subsídios para a formulação de políticas públicas e para a adoção de práticas empresariais mais responsáveis, alinhadas aos princípios do desenvolvimento sustentável.

2. Metodologia

Este projeto compreende três etapas principais:

1. Etapa bibliográfica: estendeu-se por toda a execução do projeto e consistiu na pesquisa em periódicos científicos, livros didáticos e outras fontes confiáveis relacionadas aos impactos socioambientais, à exploração de gás natural e à sustentabilidade na engenharia de petróleo. Seguindo a técnica descrita por Severino (2007), essa etapa visou identificar, selecionar e analisar estudos que contribuam para a fundamentação teórica do trabalho, assegurando sua validação científica. A pesquisa nas bases de dados exigiu certa generalização no uso de palavras-chave, como sustentabilidade, gás natural, impactos socioambientais e georreferenciamento, uma vez que foram encontrados poucos estudos específicos sobre a região dos municípios de Itapiranga e Silves. Após a generalização por palavras-chave, os resultados foram os seguintes:

| BASE DE DADOS | PUBLICAÇÕES |
|---------------------------------------------|-------------|
| SciELO | 0 |
| Research Gate | 4 |
| Society of Petroleum Engineers Journal | 0 |
| Revista Técnica da Universidade Petrobras | 1 |
| Academia | 3 |
| Revista Digital Oil & Gas Brasil | 0 |
| Petróleo & Energia | 0 |
| Journal of Petroleum Science and Technology | 2 |
| IPB Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás | 0 |
| Brazilian Journal of Petroleum and Gas | 0 |
| Total: | 10 |

Figura 2: Levantamento e quantificação de publicações encontradas.

Fonte: Autor (2025)

2. Etapa de Pesquisa: consistiu na observação, seleção, tratamento e organização das publicações coletadas durante a etapa bibliográfica, com o objetivo de estruturar um acervo coerente sobre a temática e sistematizar as principais informações sociais e ambientais dos municípios estudados. Incluiu-se aqui dados extraídos de relatórios governamentais, documentos institucionais, legislações ambientais e fontes oficiais como IBGE, Fiocruz e portais das prefeituras locais. Houve necessidade de exclusão de visitas de campo nos Municípios de estudo, em razão do tempo de demanda para captação de entrevistas e visitas in loco, além das dificuldades de hospedagem na região, visto que majoritariamente os funcionários da Eneva são alocados como moradia nessas acomodações.

3. Etapa de Análise e Desenvolvimento: Com base no acervo reunido, esta etapa concentrou-se na análise crítica dos impactos socioambientais já registrados em literatura e documentos disponíveis, buscando categorizá-los em termos de vulnerabilidades, riscos e possíveis soluções sustentáveis. Foram elaboradas tabelas, quadros comparativos e gráficos interpretativos, a fim de sintetizar as informações e facilitar a compreensão dos dados analisados.

3. Resultados e Discussão

Diante da escassez de pesquisas aplicadas especificamente à exploração de gás natural nos municípios de Itapiranga e Silves, no estado do Amazonas, este estudo recorre, de forma recorrente, a um conjunto limitado de artigos, relatórios técnicos e decisões judiciais como base

empírica e analítica. A repetição de determinadas referências e autores ao longo dos tópicos decorre não apenas da carência de produções científicas voltadas à realidade amazônica interiorana, mas também da relevância analítica dos estudos selecionados, que abordam de forma robusta os impactos socioambientais de empreendimentos extrativos em contextos semelhantes. Como apontam Minayo (2012) e Gil (2010), em campos emergentes ou com lacunas empíricas, a repetição fundamentada de fontes confiáveis é um recurso metodológico válido, especialmente quando utilizado de forma crítica, comparativa e articulada com diferentes dimensões do objeto investigado. Assim, o uso reiterado de determinados referenciais não indica limitação interpretativa, mas, ao contrário, reforça a coerência da análise ao estabelecer conexões entre os casos estudados e evidências já sistematizadas na literatura e em documentos institucionais.

Então, a partir do levantamento bibliográfico e documental, foi possível identificar um conjunto articulado de impactos socioambientais recorrentes nas regiões onde se instala a indústria de petróleo e gás, especialmente em contextos amazônicos como os municípios de Itapiranga e Silves. Esses impactos não se apresentam de forma isolada, mas como categorias interconectadas que revelam a complexidade das transformações territoriais e sociais provocadas por tais empreendimentos. Entre eles, destacam-se os impactos ambientais e sociais às comunidades tradicionais, a poluição socioambiental e o racismo ambiental, cujas correlações evidenciam um processo de injustiça ambiental estrutural.

Os impactos ambientais são os primeiros e mais visíveis reflexos da instalação da cadeia de exploração de gás natural. A abertura de estradas e clareiras para acesso às áreas de perfuração implica desmatamento significativo, fragmentação de habitats e perturbação de ecossistemas locais. Além disso, a contaminação dos corpos d'água por efluentes industriais e a poluição sonora causada por explosões sísmicas e movimentação de maquinário comprometem a fauna, a flora e os serviços ambientais essenciais, como a regulação hídrica e a renovação do solo (Mariano, 2007; Martins, 2015).

A degradação ambiental se conecta diretamente aos impactos sociais, à medida que altera o cotidiano da população local. A chegada de trabalhadores externos, a intensificação do fluxo econômico e a reestruturação do mercado geram aumentos expressivos no custo de vida. Aluguéis são inflacionados, o preço de alimentos e serviços básicos sobe, e há uma migração significativa de mão de obra para atividades ligadas à indústria extrativa, em detrimento das práticas tradicionais (Santos, 2015). Essa transformação gera sobrecarga nos serviços públicos de saúde, educação e transporte, que não possuem estrutura proporcional ao novo ritmo de

crescimento populacional. Como consequência, atividades historicamente sustentáveis como a pesca artesanal, a agricultura familiar e o turismo de base comunitária vêm sendo desvalorizadas e substituídas por empregos temporários e instáveis da cadeia do gás (Almeida, 2020; Petrobras, 2023).

Essa realidade impacta com ainda mais intensidade as comunidades tradicionais da região, que dependem diretamente dos recursos naturais para sua reprodução física e cultural. Entre os efeitos mais graves estão o deslocamento de territórios, a restrição de acesso a rios e matas e a descaracterização de práticas ancestrais. O problema se agrava com a sistemática invisibilização desses povos nos processos de licenciamento e decisão. Segundo Figueiredo (2020), essas populações frequentemente não são consultadas, mesmo quando seus territórios estão diretamente ameaçados. Situações como essa não são inéditas: já em maio de 2023, a Justiça Federal do Amazonas havia suspenso, em caráter liminar, as licenças ambientais emitidas irregularmente pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) para a Eneva operar no Campo do Azulão. Embora a empresa tenha posteriormente revertido a decisão judicial, o caso ainda tramita na 7ª Vara Federal Ambiental e Agrária, reforçando as controvérsias jurídicas e sociais em torno da ausência de consulta prévia.

Diante das evidências levantadas, torna-se claro que os impactos socioambientais da exploração de gás natural em municípios amazônicos como Silves e Itapiranga não podem ser compreendidos de forma isolada ou superficial. O cruzamento das categorias analisadas — impactos ambientais, sociais, sobre comunidades tradicionais, poluição socioambiental e racismo ambiental — revela um processo articulado de transformação do território, que opera em diferentes dimensões e intensidades, afetando diretamente o modo de vida de populações historicamente vulnerabilizadas.

A análise demonstrou que, mesmo com o discurso institucional centrado no “desenvolvimento regional sustentável” promovido por grandes empreendimentos, as externalidades negativas — especialmente sobre os recursos naturais e as comunidades locais — tendem a ser desproporcionalmente distribuídas. Situações como o aumento do custo de vida, a sobrecarga dos serviços públicos, a desvalorização das atividades tradicionais e a deterioração dos ecossistemas locais, observadas em Silves e Itapiranga, reproduzem padrões já constatados em outros territórios brasileiros impactados por atividades extrativas, como a Bacia do Recôncavo (Santos, 2015), a Bacia de Campos (Silva, 2008) e o projeto de gás em Urucu, no interior do Amazonas (Rosa, 2009).

Um dos diferenciais mais relevantes é a operação de transporte de GNL (Gás Natural Liquefeito), produzido no Campo do Azulão, e transportado até a Usina Termelétrica Jaguatirica II, em Roraima. Esse trajeto, de cerca de 1.100 km, é realizado por meio de caminhões criogênicos rodoviários, atravessando a BR-174 até Boa Vista. Essa solução logística foi viabilizada pela joint venture GNL Brasil, criada pela Eneva em parceria com a Virtu GNL, dedicada à operação de ativos logísticos como carretas criogênicas e cavalos mecânicos especializados (Eneva, 2024; Megawhat, 2023). Graças a esse modelo, foi possível substituir o uso de óleo diesel — mais caro e poluente — por gás natural, uma fonte mais eficiente e com menor impacto ambiental. Atualmente, cerca de 60% da energia consumida em Roraima é gerada a partir desse sistema, representando um avanço expressivo em segurança energética, redução de emissões e integração regional (Eneva, 2024).

Contudo, os benefícios dessa operação coexistem com impactos ambientais locais. Dados da Fiocruz (2023) e documentos técnicos do MPF (2025) revelam áreas de desmatamento associadas à infraestrutura de suporte à produção e transporte de gás, além de relatos sobre alteração na qualidade das águas superficiais e aumento da poluição sonora, principalmente em comunidades próximas às rotas operacionais e às bases logísticas. Essas mudanças comprometem ecossistemas delicados, como igarapés e áreas de várzea, que sustentam parte da biodiversidade e do modo de vida local.

Do ponto de vista social, os efeitos mais imediatos envolvem o aumento do custo de vida — especialmente em Silves — e a pressão sobre serviços públicos de saúde e saneamento, conforme ofícios da Secretaria Municipal de Saúde e da Defensoria Pública Estadual enviados ao MPF em 2024. A circulação de trabalhadores externos, a instalação de estruturas logísticas e o crescimento da atividade comercial não foram acompanhados por um reforço proporcional da infraestrutura pública, o que gerou desigualdades no acesso a serviços básicos.

Por isso, reconhecer essas similitudes não significa desconsiderar os avanços tecnológicos e a relevância econômica da exploração de gás natural. Ao contrário, reafirma a necessidade de aprender com os erros passados, fortalecendo instrumentos de escuta social, consultas efetivas e integração entre políticas públicas e responsabilidade empresarial. Só assim será possível construir um modelo de desenvolvimento energético que respeite os limites ecológicos e sociais da Amazônia, evitando que Itapiranga e Silves se tornem mais um capítulo na longa história de injustiças ambientais nos territórios periféricos do país.

Em contextos amazônicos, em geral, a implantação de empreendimentos de grande porte frequentemente desestrutura ecossistemas frágeis e interfere diretamente na organização social

de populações tradicionais (Acselrad; Figueiredo; Sawaia, 2020). Foram identificados impactos ambientais como desmatamento, poluição sonora, e riscos à biodiversidade local — efeitos que comprometem os serviços ecossistêmicos essenciais ao equilíbrio da floresta e ao modo de vida das comunidades locais (Silva, 2018). Esses impactos são agravados pela fragilidade na fiscalização ambiental em áreas remotas, muitas vezes marcada por baixa presença institucional do Estado e permissividade nos processos de licenciamento pelo IPAAM (Veríssimo, 2020). Além disso, no campo social, foram observadas alterações no custo de vida, pressão sobre serviços públicos e substituição de atividades tradicionais por ocupações ligadas à cadeia do gás, como já evidenciado por Ferreira (2021) em estudos sobre outras regiões impactadas por projetos de energia fóssil.

A situação torna-se ainda mais crítica quando se considera a ausência de consulta prévia, livre e informada, conforme determina a Convenção nº 169 da OIT. A decisão da Justiça Federal, em maio de 2025, de suspender as atividades da Eneva no Complexo Azulão, evidencia a gravidade institucional do caso e a necessidade de mecanismos eficazes de escuta e respeito aos direitos territoriais (MPF, 2025). A recorrência desse padrão — já documentado em Urucu (AM), Recôncavo (BA) e Bacia de Campos (RJ) — aponta para uma governança extrativista que tende a negligenciar a justiça ambiental em nome do desenvolvimento (Mongabay, 2024; Petrobras, 2022).

4. Conclusões

A exploração de gás natural nos municípios de Itapiranga e Silves representa uma inflexão no processo de interiorização energética do Brasil, promovendo avanços em conectividade logística e abastecimento de regiões isoladas, como Roraima, por meio do transporte de GNL. No entanto, os dados analisados ao longo deste estudo indicam que os benefícios da atividade extrativa são acompanhados por efeitos socioambientais significativos, cuja gestão ainda é deficiente.

Apesar disso, o estudo identificou ações positivas da Eneva, como o programa Elas Empreendedoras e o apoio à implantação da Escola Técnica em Silves, que demonstram potencial de transformação local. O fortalecimento das práticas ESG, nesse sentido, passa por compromissos concretos com a transparência, a corresponsabilidade e a promoção de modelos de desenvolvimento baseados na equidade territorial e na valorização dos saberes locais.

O caso de Itapiranga e Silves resume, assim, os dilemas centrais da transição energética no Brasil: expandir a matriz energética sem repetir os padrões excludentes do extrativismo

convencional. Enfrentar esses dilemas com escuta, reparação e co-construção é o passo necessário para uma Amazônia sustentável, justa e socialmente inclusiva. Sugere-se nesta pesquisa, que ações sociais, educacionais e mesmo científicas, possam evidenciar in loco, a médio e longo prazo, os resultados da exploração analisados nessa e demais publicações. Faz-se necessário abordagem prática na observação de vivências e saberes da comunidade local, de modo a corroborar os estudos de impactos e auxiliar a consolidação de políticas públicas que atendam às necessidades sociais e demandas de sustentabilidade regional.

5. Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Amazonas, na representação da Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, pela oportunidade através dos Editais de Iniciação Científica, favorecendo o interesse dos alunos de graduação e o desenvolvimento da ciência.

Referências

- THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
- LUCCHESI, C. F. **Petróleo. Estudos Avançados**, v. 12, p. 17-40, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/RDLx4Hjt5zTdhhQSSj8w3xk/?lang=pt>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- GONÇALVES, E. A. A destruição silenciosa: impactos ambientais da exploração de gás na Amazônia. **Revista Brasileira de Estudos Ambientais**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 33-48, 2022.
- RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. Resíduos Sólidos: Problemas ou Oportunidades? Rio de Janeiro: **Interciência**, 2009.
- GRIPPI, S. Atuação responsável e desenvolvimento sustentável - Os grandes desafios do século XXI. Rio de Janeiro: **Interciência**, 1ª ed., 2005.
- SILVA, J. M. **Impactos Ambientais da Exploração e Produção de Petróleo na Bacia de Campos, RJ**. Rio de Janeiro, 2008.
- PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. 2. ed. Barueri: Manole, 2004.
- HARMON, D.; LINN, R. M.; DEKKER-FIALA, M. Intangible Values of Protected Areas. **The George Wright Forum**, v. 1, n. 2, jun. 2004.
- PACHECO, T. **Desigualdade, injustiça ambiental e racismo ambiental no Brasil. Development in Practice**, London, v. 18, n. 6, p. 779-783, 2008.
- MARTÍNEZ ALIER, J.O **Ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração**. 2ª ed. São Paulo: Contexto, 2018.

FABRINO, N. H.; NASCIMENTO, E. P. **Turismo de Base Comunitária: Dos conceitos às práticas e das práticas aos conceitos**. Dissertação (Mestrado), Brasília, maio 2013.

FLETCHER, R.; MAS, I. M.; ROMERO, A. B.; BLÁZQUEZ-SALOM, M. **Tourism and Degrowth Towards a Truly Sustainable Tourism**. Routledge Taylor & Francis Group, 2020.

SOUZA, E. J. C.; SOUZA, F. B. **Principais leis federais**. Amblegis, 2020.

BRASIL. **Constituição Federal. Art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII. 1988**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 5 abr. 2024.

SILVA, S. J. A. Consulta Prévia e A Convenção 169 sobre os povos indígenas e tribais da OIT. **Revista Fundação Alexandre Gusmão – FUNAG**, 2012.

RAMOS, J.; GARCIA, I. Azulão: Eneva ignora MPF e faz audiências para projeto de usina. **Revista Cenarium**, 11 set. 2023. Disponível em: <https://revistacenarium.com.br/azulao-eneva-ignora-mpf-e-faz-audiencias-para-projeto-de-usina/>. Acesso em: 5 abr. 2024.

PREFEITURA DE ITAPIRANGA. **Economia**. 2024. Disponível em: <https://itapiranga.am.gov.br/>. Acesso em: 30 mar. 2024.

PREFEITURA DE SILVES. **Economia**. 2024. Disponível em: <https://www.silves.am.gov.br/>. Acesso em: 30 mar. 2024.

ENEVA. **Eneva inaugura Unidade de Tratamento de Gás Azulão, no Amazonas**. 27 set. 2021. Disponível em: <https://eneva.com.br/noticias/eneva-inaugura-unidade-de-tratamento-de-gas-azulao-no-amazonas/>. Acesso em: 4 abr. 2024.

PEREIRA, H. D. S., ALVES, R. C., SILVA, N. M., ANDRADE, M. V. B. (in) viabilidade dos Consórcios Públicos Intermunicipais para Gestão de Resíduos Sólidos no Amazonas, Brasil. **Research Gate**, 2020.

MARIANO, J. **Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Exploração de petróleo e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018.

CARDOSO, O. C. F.; FELICIANO, P. H.; CARVALHO, V. S. F. O racismo ambiental e os seus impactos. **Revista Eletrônica Direito Fadenorte**, Montes Claros, v. 10, n. 1, p. 87-101, 2024.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2007.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 13. ed. São Paulo: Hucitec, 2012.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, S. S. S.; LOPES, M. J. G.; AMARAL, R. **Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações**. HOLOS, Natal, v. 5, p. 240-247, 2015.

BRASIL. **Constituição Federal**. Art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII. 1988.

PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. 2. ed. Barueri: Manole, 2004.

SANTOS, C. A. M. **Impactos socioeconômicos da exploração e produção de petróleo e gás em campos maduros com acumulação marginal nos municípios da Bacia do Recôncavo**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Territorial) – Universidade Salvador, Salvador, 2015.

ALMEIDA, F. S. **Impactos ambientais de grandes empreendimentos no Brasil**. Rio de Janeiro: Autografia, 2020.

PETROBRAS. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2023.

FIGUEIREDO, E. B. G.; SAWAIA, B. B. Comunidades tradicionais e conflitos socioambientais: e a psicologia com isso? **Psicologia Política**, São Paulo, v. 20, n. 49, p. 551-563, 2020.

SILVA, M. B. Impactos da indústria de petróleo na pesca artesanal: estudo de caso da Bacia de Campos. **Revista Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 67-86, 2008.

ROSA, L. P. Avaliação de impactos ambientais do polo de gás de Urucu: uma análise crítica. **Ciência & Ambiente**, v. 38, p. 71-84, 2009.

ENEVA. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. Rio de Janeiro: Eneva S.A., 2024. Disponível em: <https://www.eneva.com.br>. Acesso em: 30 maio 2025.

MEGAWHAT. **GNL Brasil concentra ativos de logística da Eneva entre Azulão e Jaguatirica II**. São Paulo: Megawhat Energy, 2023. Disponível em: <https://megawhat.energy>.

FIOCRUZ. **Mapa de Conflitos: Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2023. Disponível em: <https://www.conflitoambiental.iciet.fiocruz.br>. Acesso em: 30 maio 2025.

MPF – MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Justiça Federal determina suspensão imediata de extração de gás pela Eneva em território indígena no Amazonas**. Brasília: MPF, 2025.

ACSELRAD, H.; MELLO, C. L. S. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

FIGUEIREDO, E. B. G.; SAWAIA, B. B. **Comunidades tradicionais e conflitos socioambientais: e a psicologia com isso?** *Psicologia Política*, São Paulo, v. 20, n. 49, p. 551-563, 2020.

SILVA, C. H. O papel das comunidades tradicionais na conservação da floresta amazônica. **Revista Ciência e Sustentabilidade**, Manaus, v. 5, n. 1, p. 71-88, 2018.

VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D.; LIMA, A. **ZEE na Amazônia: desafios e oportunidades**. Belém: Imazon, 2020.

FERREIRA, M. I. P. **Uma contribuição para a justiça ambiental no Brasil: valorizando os impactos da água de produção da exploração offshore de petróleo e gás na Restinga de Jurubatiba**. Academia.edu, 2021.

MONGABAY. **O desafio dos investimentos em petróleo e gás na Pan-Amazônia.** 2024.

ARAÚJO, D. F.; DREBES, L. A. ESG e justiça ambiental: desafios para a responsabilidade social corporativa na Amazônia. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 149-168, 2022.

PETROBRAS. **Petrobras lança Atlas Social na região da Bacia de Campos.** Click Petróleo e Gás, 2022. Disponível em: <https://en.clickpetroleoegas.com.br/petrobras-lanca-atlas-social-na-regiao-da-bacia-de-campos/>. Acesso em: 2 jun. 2025.

**REAPROVEITAMENTO DE TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS NA AMAZÔNIA
BRASILEIRA: POTENCIAL DE REUSO E RECICLAGEM DE BATERIAS E
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA UMA ECONOMIA CIRCULAR ENERGÉTICA**

***REUSE AND RECYCLING OF ENERGY TECHNOLOGIES IN THE BRAZILIAN
AMAZON: POTENTIAL OF BATTERIES AND PHOTOVOLTAIC PANELS FOR AN
ENERGY CIRCULAR ECONOMY***

Fernando Vladimir Cerna^{1*}, Rubem Cesar Rodrigues Souza²

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Instituto de
Engenharia, Ciência e Tecnologia (IECT), Janaúba/MG, Brasil. E-mail:
fernando.cerna@ufvjm.edu.br

²Universidade Federal do Amazonas, Núcleo de Inovação, Empreendedorismo e Liderança
para a Transição Energética – NIELTE/FT, Manaus/AM, Brasil. E-mail: rubem@ufam.edu.br

Resumo

A transição energética na Amazônia brasileira demanda soluções sustentáveis que conciliem inclusão social, autonomia operacional e mitigação de impactos ambientais. Este artigo analisa, sob enfoque técnico e estratégico, o potencial de reuso e reciclagem de tecnologias energéticas – com destaque para baterias de íon-lítio e módulos fotovoltaicos – como vetores da economia circular energética na região. A partir de levantamento de dados secundários, estudos de mercado e experiências internacionais, discutem-se oportunidades para integração entre gestão de resíduos, inovação industrial e segurança do abastecimento. Os resultados apontam que o reaproveitamento de baterias em “segunda vida” e a reciclagem avançada de painéis solares representam caminhos viáveis para geração de valor local, redução de passivos ambientais e fortalecimento de cadeias logísticas regionais. Conclui-se que o estabelecimento de políticas públicas voltadas à logística reversa e reindustrialização verde é condição essencial para a sustentabilidade do sistema energético amazônico.

Palavras-Chave: Economia circular. Amazônia. Baterias. Painéis fotovoltaicos. Transição energética.

Abstract

The energy transition in the Brazilian Amazon requires sustainable solutions that combine social inclusion, operational autonomy, and environmental impact mitigation. This paper analyzes, from a technical and strategic perspective, the potential of reusing and recycling energy technologies – particularly lithium-ion batteries and photovoltaic modules – as key drivers of an energy circular economy in the region. Based on secondary data, market studies, and international experiences, the paper discusses opportunities for integrating waste management, industrial innovation, and supply security. Results indicate that secondary-life battery applications and advanced solar panel recycling are feasible pathways for local value

generation, environmental liability reduction, and regional logistics strengthening. It concludes that the implementation of public policies focused on reverse logistics and green reindustrialization is essential for achieving energy sustainability in the Amazon.

Keywords: Circular economy. Amazon. Batteries. Photovoltaic panels. Energy transition.

1. Introdução

A transição energética global impõe à Amazônia brasileira desafios singulares. A combinação de vasto potencial renovável, dispersão geográfica e limitações logísticas exige abordagens que vão além da expansão da geração limpa. É necessário considerar o ciclo completo das tecnologias energéticas, desde sua implantação até o fim da sua vida útil. O acúmulo de equipamentos fotovoltaicos e baterias em desuso projeta um novo tipo de passivo ambiental, cuja magnitude pode comprometer a sustentabilidade da própria matriz renovável (IRENA, 2016; IEA, 2023).

O avanço da geração fotovoltaica distribuída na região – impulsionado por programas como o *Mais Luz para a Amazônia* – resultará, nas próximas décadas, em um volume expressivo de resíduos de módulos e acumuladores (IEMA, 2023). Estima-se que apenas esse programa produza mais de 150 mil toneladas de resíduos sólidos até 2040. Ao mesmo tempo, o mercado global de baterias de segunda-vida deverá ultrapassar 330 GWh até 2030 (*Markets & Markets*, 2024), abrindo espaço para novas cadeias produtivas baseadas em reuso e requalificação.

Essas tendências evidenciam que a transição energética não se encerra na produção de energia limpa. O desafio central é assegurar que os próprios sistemas sustentáveis mantenham coerência ambiental, social e econômica. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o potencial de reuso e reciclagem de baterias e painéis solares na Amazônia brasileira, identificando oportunidades técnicas e estratégicas para uma economia circular energética regional.

2. Metodologia

A metodologia adotada é de natureza exploratória e analítica, fundamentada na revisão da literatura técnica, relatórios de mercado e documentos institucionais nacionais e internacionais, tais como: *International Renewable Energy Agency* - IRENA, *International Energy Agency* - IEA, *United Nations Environment Programme* – UNEP e Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. O estudo buscou elementos para discutir a aplicação do conceito de EC (Economia Circular) no setor energético da Amazônia brasileira sob os seguintes aspectos:

1. Disponibilidade tecnológica: identificação de processos industriais e logísticos aplicáveis à requalificação de baterias e à reciclagem de módulos fotovoltaicos;
2. Potencial de mercado: análise do potencial de material disponível para reuso e reciclagem e;
3. Aspectos regulatórios: avaliação de iniciativas regulatórias passíveis de promover a EC energética.

A abordagem foi orientada por critérios de sustentabilidade (eficiência de recursos, impacto ambiental e geração de valor local) e pelos princípios da *EC Energética* (UNEP, 2023). As informações quantitativas foram extraídas de fontes setoriais e relatórios técnicos recentes (2020-2024), complementadas por dados de programas públicos nacionais.

3. Economia Circular

Do ponto de vista geral a EC consiste em um modelo econômico que visa eliminar o desperdício, mantendo produtos e materiais em uso pelo maior tempo possível, em contraste com o modelo linear de "produzir, usar e descartar", que foi levado a efeito via a exploração excessiva de recursos não renováveis, um rápido aumento da quantidade de resíduos pós-produção e pós-consumo e a degradação progressiva do ambiente natural.

O conceito de EC foi popularizado na China na década de 1990 em resposta ao crescimento econômico e às limitações de recursos naturais. O ponto principal do conceito de EC, à época, era capitalizar a reciclagem do fluxo de materiais e equilibrar o crescimento econômico e o desenvolvimento com o uso ambiental e de recursos (Winans et al., 2017). Na atualidade o cerne da EC é maximizar a produtividade dos recursos e, ao mesmo tempo, minimizar o desperdício. Portanto, de acordo com Moralli *et al.* (2024), deve-se conceber a EC como um sistema de ciclo fechado baseado na sustentabilidade (renovação e preservação dos sistemas naturais, eliminando o desperdício e a poluição) e na reutilização (manutenção dos materiais em uso).

De acordo com a empresa *Introspective Market Research* (2025) o mercado de economia circular pode atingir US\$ 4,5 trilhões até 2030.

Além de aumentar a resiliência ambiental, a economia circular oferece uma estrutura de soluções sistêmicas com benefícios econômicos e sociais substanciais, como a criação de empregos e inovação, aumento da competitividade, maior resiliência das empresas, redução de custos, bem como maior equidade social e bem-estar, garantindo uma transição justa para todas as comunidades afetadas (UNEP, 2025).

No contexto do setor energético a EC pode ser entendida como um modelo que transforma a produção e o consumo de energia, abandonando a lógica linear para um ciclo contínuo de reutilização e regeneração de recursos. Isso envolve o uso de fontes de energia renovável, o prolongamento da vida útil de equipamentos, a reutilização e reciclagem de materiais e a reintegração de resíduos orgânicos em processos produtivos para gerar novos insumos, como o biogás e o biometano.

Diversas iniciativas em nível global têm sido desenvolvidas baseadas no conceito de EC. Um bom exemplo é o modelo de negócio denominado *Light-as-a-Service* – LaaS (luz para o serviço) que vem sendo adotado principalmente por consumidores comerciais, industriais e órgãos públicos. Nesse modelo, as empresas não compram equipamentos de iluminação, mas sim contratam um serviço completo por assinatura que inclui a instalação, manutenção e gestão do sistema de iluminação.

No coração da transição energética, onde tecnologias limpas assumem protagonismo, uma pergunta incômoda começa a ecoar nos bastidores da sustentabilidade: o que faremos com os resíduos da própria energia limpa? Painéis fotovoltaicos (FVs) e baterias de lítio – ícones da revolução energética – também têm prazo de validade. E o fim de sua vida útil pode representar um problema gigantesco... ou uma oportunidade econômica estratégica.

4. Resultados e Discussão

4.1 Potencial técnico de reuso de baterias

As baterias atualmente classificadas como obsoletas, degradadas ou inadequadas para aplicações veiculares carregam um potencial técnico e econômico amplamente subvalorizado. Os números ilustram com clareza o alcance dessa inflexão: estima-se que o mercado global de baterias de segunda-vida atinja entre 25 e 30 GWh em 2025, com projeções chegando a 330-350 GWh em 2030. Ainda falta, no entanto, uma compreensão mais profunda sobre a natureza dessa virada. O que hoje se apresenta como ponto final é, na verdade, o ponto de partida de uma nova fronteira para a inovação energética.

As baterias, sobretudo as de íon-lítio utilizadas em sistemas de armazenamento e veículos elétricos, representam um passivo ambiental significativo, com potenciais riscos associados ao vazamento de metais pesados, à instabilidade térmica e à contaminação de solos e águas.

As baterias de íon-lítio, após sua primeira vida útil em aplicações veiculares ou estacionárias, mantêm entre 70% e 80% de sua capacidade original, o que as torna adequadas

para sistemas de armazenamento distribuído e aplicações em micro-redes. Essa reutilização reduz custos de investimento em até 40% quando comparada a novas unidades (IEA, 2023).

Na Amazônia, onde a confiabilidade do fornecimento elétrico é comprometida por limitações de transmissão e distâncias geográficas, o emprego de baterias reconcondicionadas pode fortalecer sistemas isolados e permitir o uso eficiente da geração fotovoltaica local. Experiências como a da *Redwood Materials*, nos Estados Unidos, demonstram a viabilidade de micro-redes modulares compostas por baterias reaproveitadas com expansão rápida e baixo custo operacional (*The Verge*, 2024).

Implementações regionais poderiam seguir modelo semelhante, adaptadas a cooperativas, polos de produção e comunidades ribeirinhas, com suporte técnico de universidades e institutos federais.

Mais do que um avanço tecnológico, o aproveitamento de baterias em segunda-vida impõe uma transformação de mentalidade. É preciso enxergar na obsolescência não um fim, mas uma abertura concreta de possibilidades. Uma abertura onde convergem engenharia aplicada, econômica circular e visão empreendedora.

4.2 Reciclagem de módulos fotovoltaicos e segurança mineral

De acordo com IRENA (2025) haverá um crescimento exponencial dos resíduos oriundos de projetos fotovoltaicos podendo atingir no ano de 2050, 212 milhões de toneladas, como pode ser visto na figura 1.

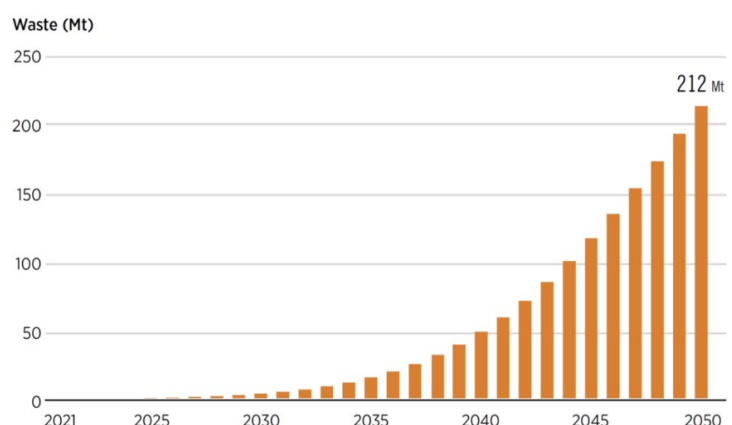


Figura 1. Resíduos cumulativos projetados de projetos de energia solar fotovoltaica de acordo com o Cenário de 1,5°C da IRENA até 2050.

Fonte: IRENA (2025).

Os módulos fotovoltaicos contêm materiais estratégicos de elevado valor agregado, como silício, prata, cobre e alumínio. Estes materiais possuem alto valor estratégico devido à sua relevância econômica, insubstituibilidade tecnológica e papel geopolítico nas cadeias industriais de energia, mobilidade e eletrônica. São insumos essenciais para a continuidade da própria transição energética, mas cuja produção primária está concentrada em poucos países, gerando riscos de dependência e instabilidade de suprimento. Portanto, é inconcebível imaginar que estes serão simplesmente descartados. A reciclagem desses componentes apresenta eficiência superior a 95% em processos automatizados já aplicados na Europa e Ásia (IEA-PVPS, 2020).

Na Amazônia, a inexistência de infraestrutura de desmontagem e triagem limita o avanço dessa cadeia. Contudo, o volume crescente de sistemas instalados sugere a necessidade de planejamento antecipado. A implementação de centros de reciclagem e logística reversa pode reduzir custos de transporte e criar empregos locais qualificados, alinhando-se aos princípios de reindustrialização verde e da economia circular.

Cada tonelada de painéis descartados pode conter até US\$ 500 em materiais recuperáveis, valor que pode ser reinserido em cadeias produtivas nacionais (*Research & Markets*, 2024).

Na Europa e na Ásia, empresas têm adotado sistemas robotizados capazes de separar camadas de módulos FVs com mais de 95% de eficiência na recuperação de materiais. Enquanto isso, *startups* americanas operam unidades especializadas na reciclagem de baterias, com foco na extração de lítio e no reprocessamento de células. No Brasil, embora a cadeia ainda seja incipiente, a combinação entre demanda reprimida e o crescimento da energia solar desenha um cenário promissor para investidores atentos às oportunidades da transição energética.

4.3 Aspectos regulatórios para promoção da EC

Em nível global diversas são as iniciativas para promoção da EC. Dentre estas destaca-se as seguintes:

- Aliança Global sobre Economia Circular e Eficiência de Recursos (GACERE). Iniciada no ano de 2021 pela Comissão Europeia e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), esta aliança reúne governos e organizações para identificar lacunas de conhecimento e governança e impulsionar a economia circular em escala global.
- Plano de Ação para a Economia Circular da União Europeia (UE). A União Europeia é pioneira na regulação da economia circular, com um plano que cobre todo o ciclo de

vida dos produtos, da produção ao gerenciamento de resíduos. O plano inclui a proposta de uma Lei de Economia Circular, prevista para 2026, com o objetivo de criar um mercado único para matérias-primas secundárias.

- Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC). Instituída no Brasil no ano de 2024 sob a Coordenação do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), objetivando promover a transição do modelo de produção linear para uma economia circular, de modo a incentivar o uso eficiente dos recursos naturais e das práticas sustentáveis ao longo da cadeia produtiva BRASIL (2025).

Apesar da ENEC, no Brasil a ausência de marcos regulatórios específicos para o reuso de baterias e reciclagem de módulos fotovoltaicos constitui barreira central. O Brasil ainda carece de diretrizes claras para certificação de baterias recondicionadas, licenciamento de plantas de reciclagem e rastreabilidade de resíduos energéticos.

Na Amazônia, políticas de incentivo fiscal e integração com programas de desenvolvimento regional poderiam catalisar investimentos. Modelos cooperativos envolvendo governos estaduais, universidades e setor privado podem fomentar ecossistemas industriais sustentáveis, com geração de valor agregado e mitigação de impactos ambientais.

Além disso, tecnologias digitais – como Internet das Coisas (IoT), *blockchain* e inteligência artificial – podem apoiar o rastreamento de componentes, otimização logística e monitoramento de desempenho em sistemas de segunda-vida, promovendo segurança e transparência operacional.

5. Conclusões

O cenário descrito abre espaço para modelos de negócios inovadores, sustentados pela articulação entre integradores, fabricantes, cooperativas e catadores, centros tecnológicos e investidores. Tecnologias digitais como sensores IoT, inteligência artificial, plataformas de rastreamento e *blockchain* podem ser incorporadas à logística reversa para monitorar equipamentos, prever falhas e otimizar processos logísticos. A engenharia elétrica nacional, portanto, depara-se com um desafio técnico-comercial de alto valor estratégico – e uma janela concreta de oportunidades para liderar um novo ciclo da economia circular energética.

O reuso e a reciclagem de tecnologias energéticas representam um eixo estratégico da sustentabilidade na Amazônia brasileira. As análises indicam que a aplicação de baterias em segunda-vida e a reciclagem avançada de módulos fotovoltaicos oferecem benefícios

complementares: redução de custos de energia, mitigação de passivos ambientais e fortalecimento da autonomia regional.

Para que esse potencial se concretize, é necessário o estabelecimento de políticas públicas consistentes de logística reversa, incentivos fiscais à inovação verde e integração entre instituições de pesquisa e o setor produtivo.

A economia circular energética na Amazônia não deve ser vista como uma tendência futura, mas como um caminho urgente para a consolidação de uma transição energética justa, resiliente e tecnicamente sustentável.

Empresas visionárias já perceberam que o verdadeiro valor não está apenas na geração de energia limpa, mas também no domínio inteligente do seu ciclo completo. Quem enxergar os resíduos como ativos – e não como passivos – será pioneiro na construção de um novo ecossistema energético, mais resiliente, soberano e economicamente vibrante. Porque na nova economia da energia, até o lixo carrega ouro – e quem souber refiná-lo, liderará o futuro.

Referências

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **ENEC – Estratégia Nacional de Economia Circular**. [Brasília]. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/enec>>. Acesso: 20 out. 2025.

IEA – International Energy Agency. **Global EV Outlook 2023: Catching up with Climate Ambitions**. Paris: IEA, 2023.

IEA-PVPS – International Energy Agency - Photovoltaic Power Systems Programme. **Status of PV Module Recycling in Selected IEA Countries**. Paris: IEA, 2020.

Introspective Market Research. **Circular Economy Market to Reach USD 4.5 Tr by Year 2030**. Disponível em:<<https://introspectivemarketresearch.com/press-release/circular-economy-market/>>. Acesso em: 21 out. 2025.

IRENA – International Renewable Energy Agency. *Circular Economy*. Disponível em:<<https://www.irena.org/Energy-Transition/Policy/Circular-economy>>. Acesso em: 21 out. 2025.

IRENA – International Renewable Energy Agency. *End-of-life Management: Solar Photovoltaic Panels*. Abu Dhabi: IRENA, 2016.

Markets & Markets. *Second-life EV Battery Market Worth 330–350 GWh by 2030*. Markets and Markets, 2024.

Morelli, Giovanna; Pozzi, Cesare; Gurrieri, Antonia R.; Mele, Marco; Costantiello, Alberto; Magazzino, Cosimo. The role of circular economy in EU entrepreneurship: A deep learning experimente. **The Journal of Economic Asymmetries**, vol. 30, p. 1-14, 2024.

Research & Markets. *Global Lithium-ion Battery Recycling Market Report 2024*. Dublin: Research and Markets, 2024.

The Verge. *Redwood Materials is Giving Old EV Batteries a Second Life as Microgrids*. The Verge, 2024.

UNEP – United Nations Environment Programme. *Circular Economy*. Disponível em: <<https://www.unepfi.org/pollution-and-circular-economy/circular-economy/>>. Acesso em: 22 out. 2025.

UNEP – United Nations Environment Programme. *The Circularity Gap Report: Latin America and the Caribbean*. UNEP, 2023.

Winas, K; Kendall, K.; Deng, H. The history and current applications of the circular economy concept. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 17, Part 1, p.825-833, 2017.



Av. Gen. Rodrigo Octávio, 6200, Coroado I. Faculdade de Tecnologia - Setor Norte Campus Universitário
69080-900 - Manaus - AM