

BLOCO: ARMAZENAMENTO

CÁLCULO DO POTENCIAL TEÓRICO DE ARMAZENAMENTO DE GÁS NATURAL EM CAVERNAS SALINAS NA ILHA DE MATARANDIBA, BAHIA, BRASIL

Data de aceite: 02/06/2023

Lucimara D. Carvalho

Universidade Federal do Recôncavo da
Bahia

Roberto J. B. Câmara

Universidade Federal do Recôncavo da
Bahia

George A. B. Câmara

Senai Cimatec

ABSTRACT: Elected as the fuel responsible for the transition from a high-carbon energy economy to a green energy economy, Natural Gas (NG) has been gaining more space every year on the global energy scene. In particular, storing NG in large quantities is vital for managing supply and demand, and is a crucial concern in regions such as central/northern Europe, where energy security is a priority. In this context, storage in saline caves has become an efficient and reliable practice on that continent, allowing the storage of large gas volumes. Alternatives for storing this energy in saline masses can lead to better use of this commodity produced in Brazilian territory. The main objective of this paper is to propose the calculation of the theoretical potential for NG storage in the salt structure

of Matarandiba, Ba. To achieve this objective, exploratory bibliographical research was carried out. Based on this research, steps were created such as calculating the critical compressibility factor of the NG under study, reduced temperature and pressure, maximum, minimum and useful volume of gas to be stored in the cave and finally the energy potential associated with this useful volume stored. The calculated energy volume was 3 TWh, showing the great storage potential of the studied structure. The results obtained in this work, even though it is a preliminary study, can be applied to projects in the public or private sphere. The research sought to not only quantify storage potential, but also provide valuable insights into the sustainable and efficient development of energy resources.

PALAVRAS-CHAVE: Gás natural, armazenamento, cavernas salinas.

1 . INTRODUÇÃO

Eleito como o combustível responsável pela transição da economia energética de alto carbono para economia energética verde, o Gás Natural (GN) vem ganhando a cada ano mais espaço no

cenário energético mundial. Apesar do declínio na utilização dos energéticos fósseis, como óleo e o carvão mineral, a sua utilização vem crescendo nas últimas décadas e a sua estabilização só está prevista a partir de 2035 (British Petroleum, 2021). Ao longo do tempo, o uso do GN adaptou-se às mudanças e aprimoramentos tecnológicos e econômicos. Em particular, o armazenamento de GN em grandes quantidades é vital para gerenciar a oferta e a demanda, sendo uma preocupação crucial em regiões como no centro/norte europeu, onde a segurança energética é prioritária. Nesse contexto, o armazenamento em cavernas salinas tornou-se uma prática eficiente e confiável naquele continente, permitindo a estocagem de grandes volumes gasosos. Segundo o último Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural, publicado pela ANP em novembro de 2023 (ANP, 2023), a produção total de GN no Brasil foi de 162.123.000 m³/d e a quantidade de GN queimado foi de 3,6 milhões m³/d. Neste cenário, alternativas para armazenamento deste energético em maciços salinos podem levar a um melhor aproveitamento da commodity produzida em território brasileiro. O objetivo principal deste trabalho é, utilizando as características da estrutura salina da Ilha de Matarandiba, Bahia, propor um cálculo do potencial teórico de armazenamento energético de GN neste maciço. Esta localidade abriga um domo salino com 51 cavernas já construídas pela empresa Dow Química do Brasil e oferece, preliminarmente, um considerável potencial de armazenamento energético. Para alcançar esses objetivos foram realizadas pesquisas bibliográficas exploratórias com intuito de verificar a existência de uma metodologia para desenvolvimento desses cálculos. Foram cumpridas etapas como cálculo do fator de compressibilidade crítico do GN em estudo, temperatura e pressão reduzidas do GN, volume máximo, mínimo e útil de gás a ser armazenado na caverna e por fim o potencial da energia associado a esse volume útil armazenado. Os resultados obtidos neste trabalho, mesmo sendo um estudo preliminar, poderão ser aplicados em projetos na esfera pública ou privada. A pesquisa buscou não apenas quantificar o potencial de armazenamento, mas também fornecer insights valiosos para o desenvolvimento sustentável e eficiente de recursos energéticos. A aplicação prática desses resultados pode contribuir para a formulação de políticas públicas energéticas mais robustas e estratégias de gestão que impulsionam a transição para fontes mais sustentáveis. Em última análise, esta investigação não apenas beneficia energeticamente o estado da Bahia, mas também oferece uma contribuição significativa para o entendimento global do papel do GN na matriz energética e nas práticas inovadoras de armazenamento geológico em larga escala.

2 . OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é calcular o potencial teórico de armazenamento de GN na estrutura salina de Matarandiba no estado da Bahia. Além desse objetivo principal, elenca-se como objetivos secundários: estruturar um método para o cálculo do

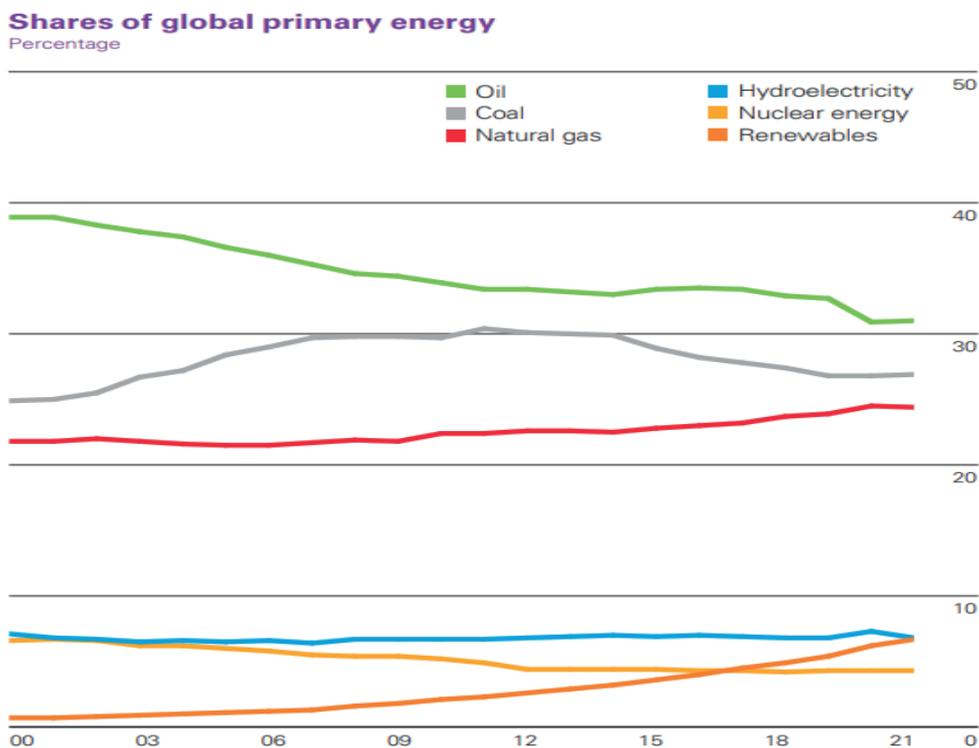
armazenamento energético em cavernas salinas para o GN e demonstrar a instituições públicas e privadas o potencial e a possibilidade do armazenamento de GN numa estrutura salina no estado da Bahia.

3 . CONTEXTUALIZAÇÃO/JUSTIFICATIVA

O GN tem sido considerado como fundamental no processo da transição energética mundial. Esse protagonismo é assumido principalmente em função de algumas características como elevado rendimento na queima, baixo impacto ambiental quando comparado a outros combustíveis fósseis e estabilidade térmica, gerando produtos com melhor qualidade como dito por Cordeiro & Aragão (2017). Essas características o fazem assumir um papel protagonizante no processo de inclusão das energias renováveis na matriz energética mundial.

Esse papel pode ser constatado através da Figura 01, a seguir.

Figura 1 – Consumo de energia por fonte primária



Fonte: British Petroleum, 2023.

O gráfico acima, extraído do relatório estatístico energético anual da British Petroleum (2021) apresenta um decréscimo da utilização das energias fósseis como fontes de energia primária no mundo, em detrimento ao crescimento das renováveis. Dentre as energias fósseis somente o GN cresce e se estabiliza nos últimos anos, mostrando assim a sua função como energético fundamental na transição energética

Segundo Kaiser (2015) existe um descompasso entre a oferta e demanda, na substituição da energia fóssil pela energia renovável. Esse descompasso é em função da necessidade da transposição dos três grandes desafios para a inserção definitiva das renováveis na matriz energética mundial: intermitência, despachabilidade e armazenamento. Sendo que dos três, o armazenamento em larga escala de energia é o elo perdido entre a geração renovável e o fornecimento de energia de uma forma sustentável que pode ser despachada em momentos de alta demanda da rede, como relatado por Pinto et al., (2013).

Nessa mesma perspectiva das renováveis, o armazenamento em larga escala do GN já é uma atividade amplamente utilizada no mundo para garantir o processo de segurança energética das nações. Países como o México, cujo 60% da geração de energia elétrica é oriunda do GN, só possui estoque armazenado de apenas 2,4 dias enquanto a Áustria possui 318,3 dias, a França possui 98,8 dias, a Itália 93,8 dias e a Espanha 34,2 dias, segundo Carrillo, Díaz & Ocampo (2022). Esses números demonstram uma fragilidade na segurança energética mexicana. Segundo esses mesmos autores, globalmente falando, existem quatro tecnologias principais para o armazenamento de GN: reservatórios de hidrocarbonetos explorados ou economicamente inviáveis, cavernas salinas, aquíferos confinados e tanques de GN liquefeito (GNL). Países como México e Brasil utilizam apenas a última forma de armazenamento, não aproveitando o potencial existente para o armazenamento geológico do gás.

Nesse artigo será verificado o potencial de armazenamento de GN em cavernas salinas da estrutura de Matarandiba, estado da Bahia. O armazenamento em cavernas de sal consiste em aproveitar os domos de sal para desenvolver infraestruturas (cavernas) subterrâneas. Apesar de ter custos de capital mais elevados do que os reservatórios de hidrocarbonetos explorados, esta tecnologia apresenta níveis de extração e injeção mais elevados. Nos Estados Unidos, esta tecnologia é utilizada principalmente nos estados do Golfo do México. Seus altos níveis de produtividade também popularizaram essa tecnologia nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudoeste daquele país, conforme relatado por Belcher (2004). Ainda nesse sentido, segundo a Agência de Coordenação dos Reguladores de Energia da União Europeia, os elevados níveis de retirada e injeção do GN nas cavernas salinas as tornam alternativas adequadas para a comercialização do GN a curto prazo, mas não necessariamente como reservas estratégicas, como informado por Kotek et al. (2023).

4 . METODOLOGIA

Segundo Gil (2002) o tipo de pesquisa para o desenvolvimento deste artigo pode ser classificado como exploratória pois tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Pode-se dizer que este tipo de pesquisa tem como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições, podendo envolver no seu planejamento o levantamento bibliográfico. Já quanto a sua natureza, esta pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada pois seu principal objetivo é inspirar a geração de conhecimento para aplicação prática, resolvendo problemas específicos (GERHARDT & SILVEIRA, 2009). Em relação aos procedimentos técnicos adotados, o presente trabalho é definido como uma pesquisa documental, pois a coleta de dados necessária foi de fontes mais alternativas, como: normas, pareceres, relatórios técnicos, relatórios de empresas e projetos de lei, em conformidade com o que conceitua Mazucato (2018).

Dessa forma, a primeira parte da pesquisa exploratória foi sobre a estrutura salina a ser estudada. O maciço salino escolhido para o cálculo do potencial de armazenamento de GN foi uma ocorrência situada na Ilha de Matarandiba, localizada no município de Vera Cruz -BA. A empresa Dow Química do Brasil possui 97% da sua área sob concessão, portanto é detentora dos direitos minerários do subsolo da Ilha à 47 anos para extração de salmoura. A salmoura é uma solução de água saturada de sal, usada na fabricação de cloro-soda e outros produtos industriais. Durante os últimos anos foram explorados espaços subterrâneos que originaram 51 poços, sendo que 10 estão em produção atualmente. O depósito de sal-gema está situado entre 1200 e 1300 metros de profundidade, com espessura variando entre 20 e 60 metros e diâmetro por volta de 150 metros por poço, conforme descrito por Guimarães et al. (2018). Cada poço perfurado no processo de extração da salgema resulta em uma caverna construída, com potencial de aproveitamento para armazenagem energética em larga escala. Para realizar o cálculo do volume total de gás a ser armazenados nas cavernas a primeira informação a ser levantada é o volume total da caverna com potencial de armazenagem.

Se este trabalho fosse realizado para a armazenagem de um gás ideal, o cálculo volumétrico da quantidade de gás existente na caverna, deveria ser desenvolvido utilizando a lei do gás ideal. Porém, como o GN é uma mistura de gases faz-se necessário o cálculo de Z que é o fator de compressibilidade ou expansão do gás. Para o cálculo volumétrico do GN, necessita-se do fator de compressibilidade crítico (Z_c), conforme descrito por Andrade (2023), que é encontrado utilizando os parâmetros de volume, pressão e temperaturas críticos do gás em estudo além da constante dos gases reais (R). O Z_c do gás é dado pela Equação 01 a seguir:

$$Z_c = \frac{P_c V_c}{R T_c} \quad (1)$$

Onde:

Z_c = fator de compressibilidade crítico do GN

P_c = pressão crítica do GN;

V_c = volume crítico do GN;

T_c = temperatura crítica do GN; e,

R = constante dos gases reais

O segundo passo é o cálculo da temperatura reduzida (T_R) e Pressões reduzidas (P_R) para o GN em estudo. Esses parâmetros são encontrados dividindo as pressões máxima e mínima de trabalho do gás na caverna pela pressão crítica do gás e a temperatura reduzida é a temperatura da caverna dividida pela temperatura crítica. Com os valores da temperatura e pressão reduzidas encontra-se os valores de z , D_a e D_b , conforme Andrade (2023). Hougen e Watson propuseram que o valor final de Z para qualquer fluido é em função do Z_c gerando uma correlação com esses três parâmetros conforme descrito por Andrade (2023) e explicitado na Equação 02:

$$Z_{corr} = z + D(Z_c - 0,27) \quad (2)$$

Onde:

Z_{corr} – coeficiente de compressibilidade corrigido do GN;

z – valor retirado das tabelas;

D – fator que corrige as discrepâncias de Z_c (se $Z_c > 0,27$ usar D_a ; Se $Z_c < 0,27$ usa D_b); e,

Z_c – fator de compressibilidade real.

Faz-se necessário o cálculo de dois valores de Z_{corr} devido a existência de uma pressão máxima e uma pressão mínima de trabalho na caverna. Com os dois valores de Z_{corr} multiplica-se pelo volume da caverna para encontrar os volumes máximo ($V_{máx}$) e mínimo ($V_{mín}$) de GN. A diferença entre os dois volumes fornece o volume de gás útil ($V_{útil}$) armazenado que significa o real a ser utilizado caso haja a implementação do projeto conforme sugerido por Costa (2013). Para calcular o potencial energético da caverna deve-se multiplicar o volume de gás útil pelo poder calorífico do gás (9.000 kcal/m³), descrito por Izidoro (2017), encontrando assim o Potencial teórico de armazenamento energético da caverna (P_t) utilizando GN.

5 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo o sugerido no tópico anterior, as primeiras características do GN a serem utilizadas são a temperatura, pressão e volumes críticos. Sabe-se que o GN é uma mistura de gases como metano, etano, propano, portanto essas características variam de acordo com a composição de cada GN existente. Para o desenvolvimento deste trabalho serão

considerados exemplos fornecidos pela literatura pesquisada. Segundo Borges (2009) as características de criticidade de um GN podem ser aproximadas para: $T_c = 355,75$ K, $P_c = 47$ Mpa e $V_c = 0,0995$ m³/mol. Já a constante dos gases reais é dada por 8,314 j/mol. Utilizando a Equação 01 calcula-se o fator de compressibilidade real do gás.

$$Z_c = \frac{47.000.000 \times 0,0995}{8,314 \times 355,75} \therefore Z_c = 1.581$$

Segundo Câmara et al. (2024) os valores de pressão máxima e pressão mínima das cavernas do maciço de Matarandiba para utilização como armazenadoras de gás são $P_{\text{máx}} = 26,18$ Mpa e $P_{\text{mín}} = 6,28$ Mpa e a temperatura da caverna $T_{\text{cav}} = 318,81$ K. Encontrados os valores de pressão máxima e pressão mínima de trabalho da caverna, o próximo passo é calcular a Temperatura Reduzida e as Pressões Reduzidas.

$$T_R = \frac{T_{\text{cav}}}{T_c} \therefore T_R = \frac{318,81}{355,75} \therefore T_R = 0,896$$

$$P_{R \text{ máx}} = \frac{P_{\text{máx}}}{P_c} \therefore P_{R \text{ máx}} = \frac{26,18}{47} \therefore P_{R \text{ máx}} = 0,557$$

$$P_{R \text{ mín}} = \frac{P_{\text{mín}}}{P_c} \therefore P_{R \text{ mín}} = \frac{6,28}{47} \therefore P_{R \text{ mín}} = 0,134$$

Com os valores da temperatura reduzida e pressões reduzidas, utiliza-se uma correlação generalizada para gases conforme descrito em Andrade (2023) e se encontra os valores para a pressão máxima ($Z = 0,825$; $D_a = 0,50$; $D_b = 0,44$) e para a pressão mínima ($Z = 0,947$; $D_a = 0,20$; $D_b = 0,14$). Como o fator de compressibilidade Z_c é maior que 0,27 então foi utilizado o valor da constante D_a .

Utilizando-se a Equação 02 calcula-se agora o valor de Z_{corr} tanto para a pressão máxima quanto para a pressão mínima:

$$Z_{\text{corr máx}} = 0,825 + 0,5 \cdot (1581 - 0,27) \therefore Z_{\text{corr máx}} = 791,19$$

$$Z_{\text{corr mín}} = 0,947 + 0,2 \cdot (1581 - 0,27) \therefore Z_{\text{corr mín}} = 317,90$$

Para calcular o volume de GN nas pressões máxima e mínima de trabalho deve-se multiplicar o valor acima pelo volume da caverna.

$$V_{m\acute{a}x} = V_{cav} \cdot Z_{corr\ m\acute{a}x} \cdot V_{m\acute{a}x} = 618.501 \times 791,25 \cdot V_{m\acute{a}x} = 489.388.916\ m^3$$

$$V_{m\acute{i}n} = V_{cav} \cdot Z_{corr\ m\acute{i}n} \cdot V_{m\acute{i}n} = 618.501 \times 316,90 \cdot V_{m\acute{i}n} = 196.002.967\ m^3$$

Numa operação de armazenamento gasoso em larga escala, uma parte do gás não  retirada da caverna. Esse gás é conhecido como gás almofada e o objetivo dele é manter o local armazenado minimamente pressurizado. Para o desenvolvimento deste trabalho essa quantidade de gás almofada foi denominada de volume mínimo. Já o volume máximo é a quantidade total de gás que a caverna suporta. Para encontrar-se o volume de gás útil, ou seja, aquele que realmente será utilizado na operação, basta subtrair o volume mínimo pelo volume máximo de gás.

$$V_{\acute{u}til} = V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n} \cdot V_{\acute{u}til} = 489.388.916 - 196.002.967 \cdot V_{\acute{u}til} = 293.385.949\ m^3$$

Admitindo-se o poder calorífico do GN de 9.000 kcal/m³ como sugerido por Izidoro (2017) calcula-se o potencial energético possível (P_t) de armazenamento da caverna em estudo.

$$P_t = V_{\acute{u}til} \cdot 9.000 \cdot P_t = 293.385.949 \times 9.000 \cdot P_t = 2,64 \times 10^{12}\ kcal \approx P_t = 3\ TWh$$

Dessa forma, o potencial total de armazenamento de uma caverna em Matarandiba  3 TWh. Considerando o relatado por Guimarães et al. (2018) que a estrutura salina de Matarandiba possui 51 cavernas o volume total possível de armazenamento em todo o maciço é de 153 TWh.

6 . CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme visto no decorrer deste trabalho, o GN está inserido no processo de transição energética e segurança energética mundial. Despachabilidade, intermitência e armazenamento são os 3 maiores desafios para esse processo de transição e o armazenamento em larga escala de energia por ser utilizado como mecanismo para transpor esses desafios. Os processos de armazenamento em larga escala de energia utilizam formações geológicas (cavernas de sal, reservatórios explotados de óleo e gás, minas abandonadas e cavernas naturais) e no Brasil nenhum desses sítios é utilizado com a intenção de armazenar energia.

Nesse contexto o maciço salino de Matarandiba, no estado da Bahia, foi selecionado para se realizar um cálculo do potencial teórico de armazenamento de GN. No final do processo chegou-se a um valor de armazenamento unitário por caverna de aproximadamente 3 TWh o que reflete um bom potencial.

Apesar de fornecer um número de energia armazenada inicialmente algumas considerações sobre esse cálculo precisam ser feitas. A primeira é que o cada GN possui uma composição própria, ou seja, os percentuais dos componentes de cada GN são únicos. Para efeito didático e realização desse cálculo, foi admitido valores de pressão, temperatura e volume críticos encontrados na literatura e relativos a um GN qualquer. Esses valores iniciais impactam diretamente no valor encontrado do fator de compressibilidade crítico e todas as variáveis calculadas posteriormente são em função deste parâmetro.

Outra variável que foi considerada em função de valores encontrados na literatura foi a pressão máxima e a pressão mínima de trabalho. Essas pressões foram calculadas por Câmara et al. (2024) num trabalho para o cálculo do potencial teórico de armazenamento de hidrogênio nessas mesmas cavernas. Esses valores precisariam ser checados para verificar a compatibilidade com as pressões na utilização do GN. Além dessa confirmação das pressões, assumiu-se como valor de referência o volume de uma caverna como valor padrão para todas 51 cavernas existentes. O ideal é que os valores volumétricos fossem individualizados para que se obtivesse o potencial energético de cada caverna existente. Além disso, os critérios físicos das cavernas e distâncias entre elas não foram considerados para o cálculo do potencial total do maciço (51 cavernas). Para a implantação de um projeto esses critérios precisam ser avaliados para que as cavernas possam ser candidatas a armazenagem de GN.

Vale ressaltar que, apesar de algumas aproximações e considerações assumidas durante o processo metodológico, o resultado encontrado é significativo. Pode-se fazer uma analogia com os conceitos de potencial de hidrogênio descritos por Calglayan (2020) que inclui diferentes tipos de potenciais técnicos e não técnicos. Para esses autores, o “Potencial Teórico” inclui o armazenamento total de hidrogênio em todas as cavernas de sal existentes, enquanto o “Potencial Técnico” leva em consideração as limitações como o percentual de gás almofada ou de amortecimento. Potenciais “Econômicos” e “Ecológicos” consideram critérios que podem ser derivados de determinados cenários econômicos e ecológicos como custo para o armazenamento do gás, proximidade de áreas de proteção ambiental, dentre outros. Finalmente, o “Potencial Realizável” é a combinação de aspectos técnicos, critérios ecológicos e econômicos com considerações adicionais (ou seja, aceitação social). Ou seja, o cálculo realizado fornece um valor que pode ser tomado como valor inicial do potencial energético para desenvolvimento de um projeto futuro de armazenamento.

Apesar dessas inconsistências identificadas, o cálculo fornece a instituições públicas e privadas um potencial de armazenamento numa estrutura salina no Estado da

Bahia. Considerando que o estado possui a bacia petrolífera produtora mais longeva do Brasil e que se ventila ou queima gás oriundo desses poços produtores, a possibilidade de armazenamento na estrutura existente se torna uma realidade. Além disso, ainda existe a possibilidade da utilização do gás excedente produzidos tanto na região sudeste quanto nordeste que poderia ser enviado pelo gasoduto GASENE para ser armazenado na localidade de estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R. **Notas de Aulas – GCETENS166 – Termodinâmica**. Cetens, 2023, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

ANP – **Boletim mensal da produção de petróleo e gás natural. Novembro de 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivos-bmppgn/2024/janeiro.pdf>. Acesso em: mar. 2024.

BELCHER, S. **The Basics of Underground Natural Gas Storage**. Eia—US Energy Information Administration: Washington, DC, USA, 2004.

BORGES, E., M., L. **Avaliação de correlações e equações de estado para determinação de fatores de compressibilidade de gás natural**. 2009. Dissertação de Mestrado, UERJ, Rio de Janeiro.

BP - BRITISH PETROLEUM. 2018. **BP Statistical Review of World Energy June 2023**. Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2023/bp-statistical-review-of-world-energy-2022-full-report.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.

CAGLAYAN, D. G. et al. **Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe**. International Journal of Hydrogen Energy, 2020.

CÂMARA, R., J., B. et al. **Calculation of the Theoretical Hydrogen Storage Potential in Salinas Caves on Matarandiba Island, Bahia, Brazil**. 4th Latin American Conference Vina del Mar Sdewes 2024. Vina del Mar, Chile.

CARRILLO, J., DÍAZ, D., OCAMPO, O. - **Almacenamiento de gas natural para la seguridad energética**. 2022. Disponível em: https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2022/11/Infraestructura-de-almacenamiento-de-gas-natural_Documento-2022.pdf Acesso em 23 fev. 2024.

CORDEIRO, M. G. S. & ARAGÃO, T. C. **Gás e energia: utilização do gás natural diante à demanda energética e manutenção do meio ambiente**. Diversitas Journal, v. 2, n. 1, p. 39-44, 2017.

COSTA, A., M. **Uma Aplicação de Métodos Computacionais e Princípios de Mecânicas Rochas no Projeto e Análise de Escavações Subterrâneas Destinadas à Mineração Subterrânea**. Rio de Janeiro, 1984. Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ.

COSTA, A. M.; AMARAL, C. S.; CERQUEIRA, R. M. **Aproveitamento Estratégico de Espaço Subterrâneo - Armazenamento de Gás Natural na Bacia Evaporítica de Sergipe**. Março 2011.

GERHARDT, T., E., & SILVEIRA, D., T. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GIL, A., C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**: 4.ed. Editora Atlas, São Paulo, 2002.

GUIMARÃES, J. T. et al. **Relatório preliminar: Ilha de Matarandiba, Bahia**. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2018.

HAMACHER, S. **Uso estratégico de espaço subterrâneo para estocagem de gás em cavernas abertas por dissolução de rocha salina**. 2013. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

IZIDORO, L., M., C. **Caracterização de diapiros salinos para armazenamento de gás natural**. 2017. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico do Porto (Portugal).

KAISER, F. **Steady State Analyse of existing Compressed Air Energy Storage Plants. Power and Energy Student Summit (PESS)**. Dortmund, Alemanha, 2015.

KOTEK, P. et al. - **What can the EU do to address the high natural gas prices?** Energy Policy, v. 173, p. 113312, 2023.

MAZUCATO, T. **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. 1a. ed. Penápolis: UNEPE, 2018.

PINTO, M., de O., et al. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2013.

8 . AGRADECIMENTOS

À FAPESB pela oportunidade de realizar esta pesquisa de iniciação científica na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como bolsista. O apoio financeiro fornecido pela instituição estadual fomentadora de pesquisa foi fundamental para o sucesso do projeto, possibilitando o desenvolvimento acadêmico e profissional da estudante. É reconhecido o compromisso da Fundação com a promoção da ciência e da educação na Bahia, contribuindo também com a formação de futuros pesquisadores e no avanço da comunidade científica como um todo.