



A REENGENHARIA DA DESENGENHARIA DE POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS

ARTIGO ORIGINAL

LIMA, Leandro Jose Barbosa¹, HAMZAGIC, Miroslava²

LIMA, Leandro Jose Barbosa. HAMZAGIC, Miroslava. **A reengenharia da desengenharia de poços de petróleo e gás**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 07, Vol. 03, pp. 23-68. Julho de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>, DOI:

10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia

RESUMO

A Reengenharia é um termo criado na década de 80, que tem o foco em repensar a forma com que as empresas realizam as suas atividades, a fim de reduzir custos, melhorar o atendimento ao cliente e tornar-se mais competitiva. Já a Desengenharia considera o que fazer com as instalações industriais uma vez que o empreendimento já não está mais em atividade. Desta feita, este artigo tem como objetivo responder a seguinte questão norteadora: Quais as possibilidades de uso de estruturas e materiais de poços já depletados utilizando as concepções da Reengenharia da Desengenharia? Após a análise documental, foi possível

¹ Graduado em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estácio de Sá (UNESA), e Graduado em Tecnologia Mecânica com ênfase em Automação Industrial pelo CEFET/RJ. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (UNITAU), MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), MBA em Gestão de Projetos pela Fundação de apoio ao CEFET/RJ, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Candido Mendes (UCAM), Especialista em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estácio de Sá (UNESA) e certificado Supervisor de Radioproteção pela CNEN. ORCID: 0000-0002-6647-3914.

² Orientadora. Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Taubaté, UNITAU, com pós-graduação em Administração de Marketing e Engenharia de Segurança do Trabalho pela Escola Politécnica de Pernambuco. Mestre em Gestão de Desenvolvimento Regional pela UNITAU e doutora em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica da USP. ORCID: 0000-0001-8082-5763.

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



estabelecer uma proposta alternativa para aumentar a vida útil de poços de Petróleo e Gás através dos conceitos aplicados.

Palavras-chave: Desengenharia, Reengenharia, Petróleo, Poços, Reservatório.

1. INTRODUÇÃO

Um poço de petróleo e gás é um grande obra da engenharia, sua construção pode levar dias ou até meses, e são essenciais para geração de energia por combustível.

Thomas (2001) esclarece que o combustível que as sociedades consomem como forma de energia mecânica nos veículos, na forma de energia calorífica em residências ou indústrias, ou, na forma de energia elétrica nos diversos aparelhos que fazem a economia girar, é apenas o final da cadeia existente para se produzir energia (Thomas, 2001).

Em uma cadeia de produção complexa, cada etapa do processo é importante, e a economicidade e efetividade de desempenho deve ser executada em cada uma das etapas. Assim, os poços são considerados uma das etapas passíveis de busca por maior efetividade em sua vida e desempenho. Neste contexto, ocorre a importância da Reengenharia e da Desengenharia.

A Reengenharia é um termo criado por Michael Hammer e James Champy, que tem o foco em repensar a forma com que as empresas realizam as suas atividades, a fim de reduzir custos, melhorar atendimento ao cliente e tornar-se mais competitiva (HAMMER; CHAMPY, 1993), já a Desengenharia considera o que fazer com as instalações industriais uma vez que o empreendimento já não está mais em atividade e foi descrita por Luis Enrique Sanchez em 2001.

Dentro deste contexto, como em outras aplicações da indústria, a reengenharia pode dar outros destinos para esses materiais metálicos, especialmente no caso de reservatórios já depletados, não economicamente viáveis, ou ainda poços que venham a não ser de interesse para a indústria de petróleo. Poços que têm a

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



configuração geológica conhecida, que muitas vezes já possuem capacidade como reservatório, e que já possuem em muitas vezes alguma estrutura criada, mas de que forma a reengenharia pode ser empregada nesses casos? De que forma essas estruturas podem ainda retornar o seu valor para a sociedade?

São essas respostas que atuam como objetivo desta investigação, realizada através da demonstração da perfuração de poços e suas variáveis, do reconhecimento sobre os poços de petróleo, da depleção, e por fim, das alternativas através dos conceitos da Reengenharia e da Desengenharia.

2. ESCLARECIMENTOS GERAIS SOBRE OS POÇOS

Segundo a classificação da Agência Nacional do Petróleo – ANP (2017), existem diversos tipos de poços que podem ser perfurados. A Tabela 1, promove a classificação de 10 tipos de categorias:

Tabela 1 – Classificação de Poços no Brasil

Categoria	Finalidade
1	Poço Exploratório Pioneiro
2	Poço Exploratório Estratigráfico
3	Poço Exploratório de Extensão
4	Poço Exploratório Pioneiro Adjacente
5	Poço Exploratório para Prospecto Mais Raso
6	Poço Exploratório para Prospecto Mais Profundo
7	Poço Exploratório de Produção
8	Poço Exploratório de Injeção
9	Poço Especial
10	Poço de Estocagem

Fonte: Agência Nacional de Petróleo (2017)

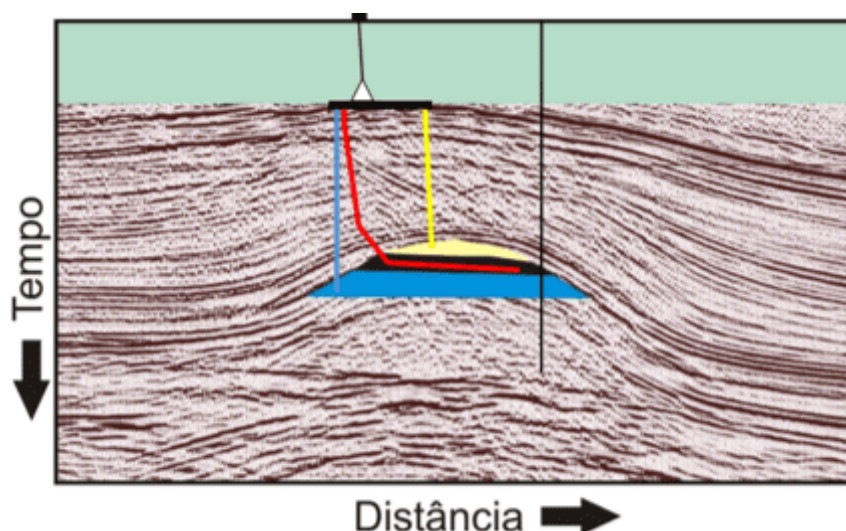
Cada um dos tipos de poços possuem especificidades, durabilidade e efetividade diferenciada, sendo uma desafio para as organizações trabalharem em seu máximo potencial.

Existem características muito únicas que definem onde um poço será perfurado e o potencial de uma região ser ou não produtora de petróleo e gás natural, o que também inclui os casos onde pode haver controvérsias.

Assim, para que o reservatório de petróleo e gás esteja presente, é preciso uma configuração muito única, especialmente com relação às rochas sedimentares, e outros tipos de rochas, que devem implicar em uma categorização e estruturação de uma rocha geradora, uma rocha armazenadora e uma rocha selante ou trapa estrutural que garanta a estanqueidade do reservatório, sem a qual o petróleo ou gás poderia ser liberado até a superfície, portanto técnicas como a magnetometria, gravimetria e a sísmica de reflexão são utilizadas.

A figura 1, mostra uma condição de um reservatório em perspectiva sísmica de reflexão, mostrando 3 poços perfurados em amarelo (vertical), azul (vertical) e vermelho (horizontal) (THOMAS, 2001).

Figura 1 – Poços em perspectiva da sísmica de reflexão



Fonte: Lopes e Assunção (2010)

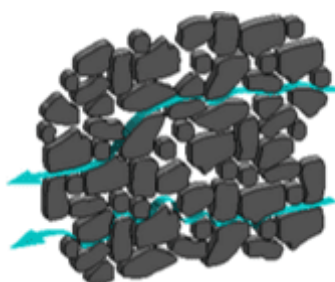
RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>

Quando as condições ideais são encontradas os poços exploratórios são perfurados para que se confirmem as condições observadas em superfície, bem como, as profundidades das rochas sejam confirmadas pelas técnicas de testemunhagem, para isso, se usa de análise petrofísica e da geopaleontologia, por métodos indiretos como os usados pela geofísica na perfilagem de poços (THOMAS, 2001). Além das características mais conhecidas é importante compreender quais os coeficientes de fratura das rochas, porosidade e permeabilidade, descrita pela lei de Darcy, que permitem estimar o potencial da reserva, e o fator de recuperação.

A figura 2 demonstra a forma do fluído que flui entre os espaços vazios da rocha (SANSONE, 2015).

Figura 2 – Ilustração da permeabilidade das rochas

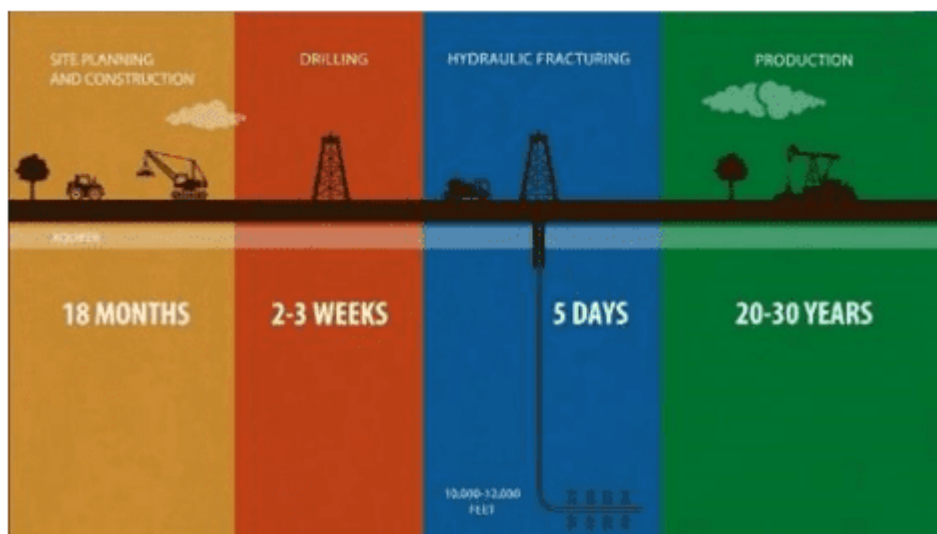


Fonte: (Sansone, 2015)

É importante ressaltar que apesar de muitas vezes existir a confirmação das condições geológicas ideais e de estanqueidade, muitos desses poços perfurados acabam sendo abandonados, pois as expectativas de reserva podem não ser consideradas boas por serem poços secos, de gás carbônico, de água, dura ou mole, assim tampões permanentes de cimento são utilizados para selar esses reservatórios (THOMAS, 2001).

A Figura 3, apresenta uma perspectiva do tempo necessário em cada estágio no processo de construção de um poço de petróleo até a fase de produção (CONOCO PHILLIPS, 2015).

Figura 3 – Ilustração do tempo de ciclo de vida dos poços

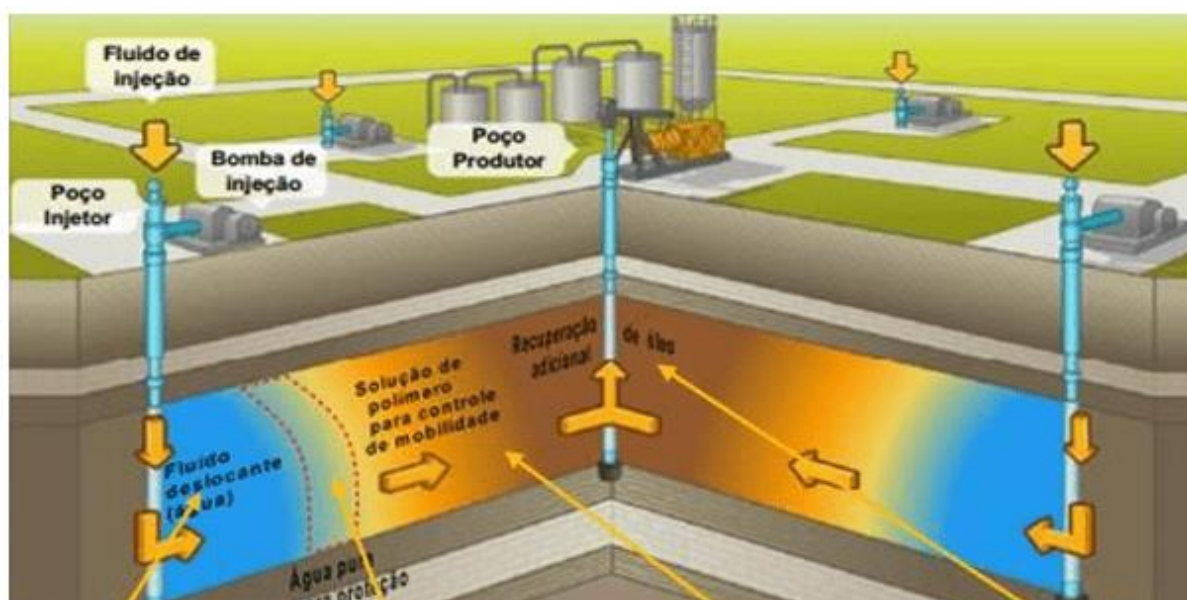


Fonte: (ConocoPhillips, 2015)

Os poços que são considerados como produtivos, possuem seu processo de construção finalizado, e, em alguns casos são perfurados poços auxiliares de bombeio de água nas extremidades para permitir um maior aproveitamento da reserva presente no reservatório, aumentando assim, o seu fator de recuperação.

A Figura 4 demonstra de que forma são formadas frentes de avanço para a produção não predatória de reservatórios de petróleo e gás natural (ROSA, 2006).

Figura 4 – Ilustração do processo de injeção para a produção de poços, com frente de avanço.



Fonte: SILVA et al., (2014)

Além das manutenções periódicas dos poços, os reservatórios também passam por processos de intervenção com objetivo de maximizar sua produção. Como exemplos desses processos se pode citar: os processos de estimulação química, o fraturamento hidráulico e os processos de re-entrada usando técnicas como o *coiled tubing*. Essas ações têm como objetivo proporcionar a retirada do máximo de óleo em menor tempo para obtenção do retorno do investimento.

O Gráfico 1 mostra a produção de petróleo e gás natural de um campo ao longo de anos. Observa-se que no início da curva há um aumento na produção dada a perfuração de mais poços nesse campo para maximizar a sua produção, assim como outras intervenções que podem ser a adição de poços injetores de água ou CO₂ (EOR – *Enhanced Oil Recovery*), além das técnicas já mencionadas anteriormente, até um momento onde se inicia o período de declínio da produção (ROSA, 2006).

Gráfico 1 – Produção de um campo ao longo do tempo



Fonte: PETROBRAS (2015)

É possível observar que em um momento os custos de produção de um poço acabam não sendo viáveis para a detentora do campo, que pode definir pelo abandono do poço, pela transferência para comunidades, ou, para outras empresas de menor porte, seja pela baixa produção ou por mudanças significativas nas razões óleo-água, gás-óleo, ou ainda a produção de areia; em momentos que já não compensa uma intervenção (ROSA, 2006; THOMAS, 2001).

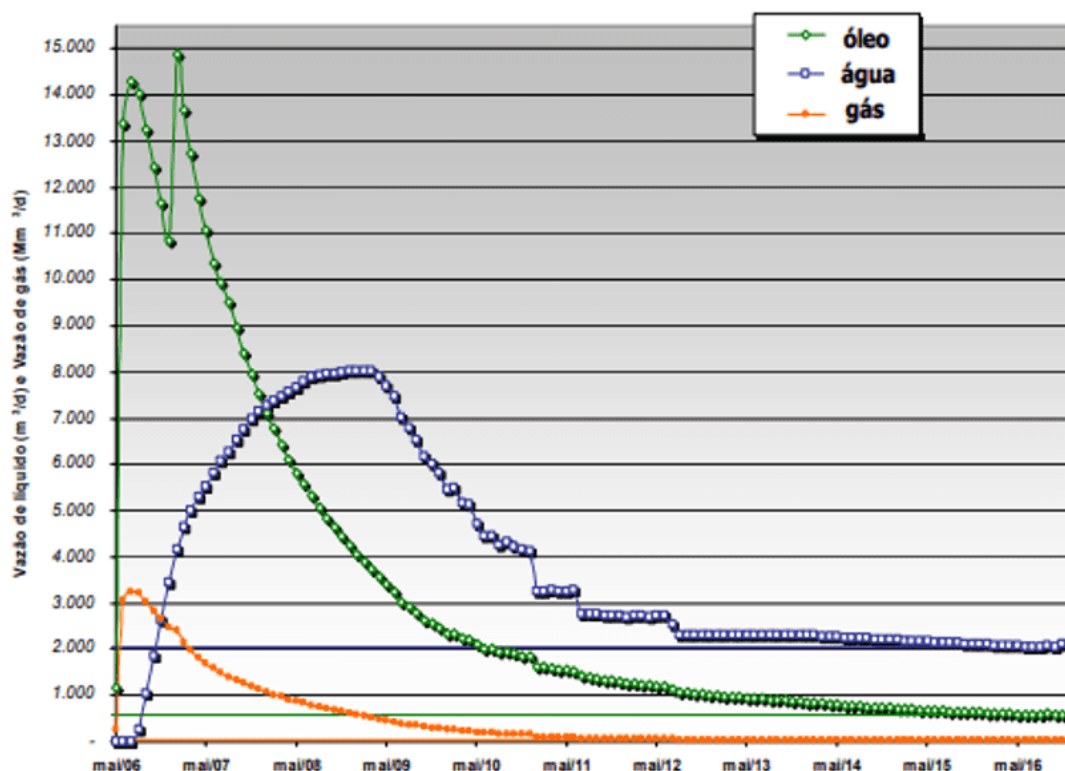
Existem casos de sucesso onde através de investimento e uso de técnicas mais avançadas é possível automatizar o processo de separação dos subprodutos indesejados e aumentar a produção de poços como já observado recentemente no Brasil onde uma empresa privada conseguiu aumentar a produção de campos maduros em 30% (JÁCOME, 2021).

O Gráfico 2 demonstra um exemplo de como a produção de óleo, água e gás pode se comportar ao longo dos anos em um reservatório.

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>

Gráfico 2 – Produção de água, óleo e gás ao longo do tempo



Fonte: CEPEMAR (2005)

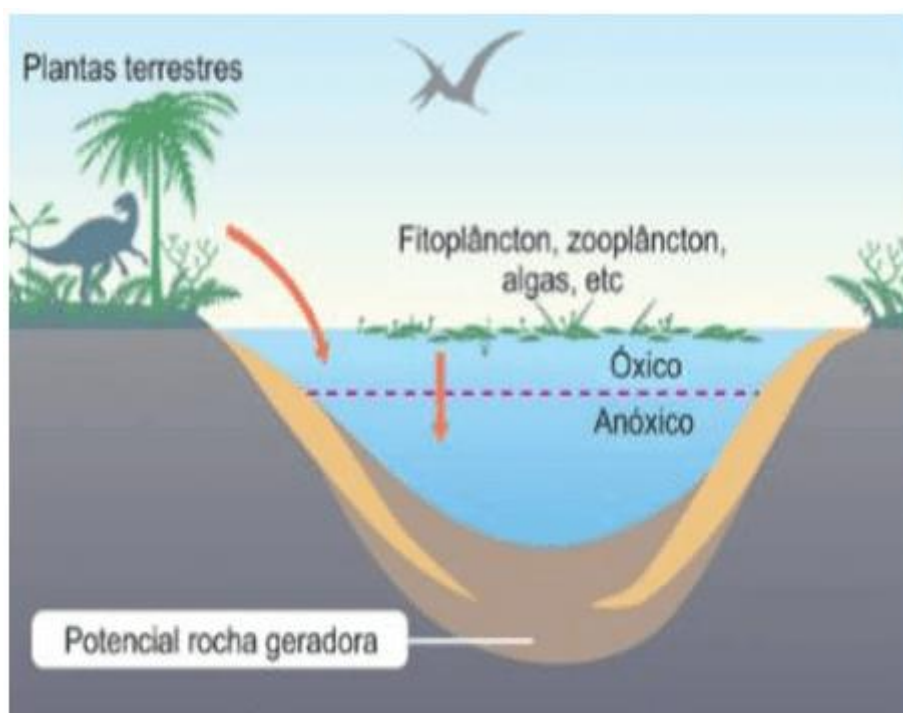
Ao final do ciclo de vida de um poço, de um reservatório ou quando se faz necessária a manutenção do poço, os equipamentos são removidos dos poços são então retornados a superfície (THOMAS, 2001) e precisam ser tratados para posterior processo de reciclagem. Porém, em alguns casos acontece a presença da produção de materiais como o *norm* e o *tenorm*[3] que precisam de destinação muito específica para o reaproveitamento do material metálico (LINCERADIO, 2021).

3. O RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO

As principais rochas reservatórias são calcárias e arenitos, sua formação acontece há milhares de anos, principalmente em condições relacionadas à presença de bacias sedimentares. Como observado na figura 5a o acúmulo de matéria orgânica

em milhares de anos se formará em rocha geradora (MATLAK AL-HAJERI, *et al.*, 2009; ROSA, 2006; THOMAS, 2001).

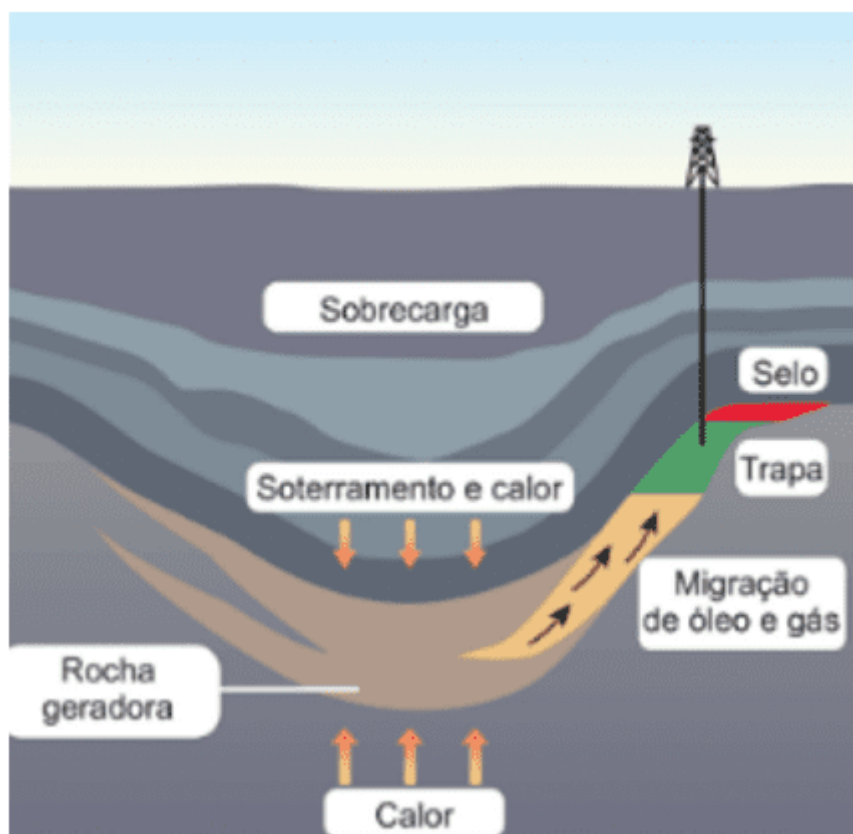
Figura 5a – Formação de bacia sedimentar



Fonte: MATLAK AL-HAJERI, *et al.*, (2009)

Na figura 5b, o folhelho, que com a ação de pressão e temperatura produzirá os hidrocarbonetos, que em certas condições podem migrar para rochas sedimentares porosas que os armazenarão, na existência de algum tipo de mecanismo de aprisionamento, rocha selante ou trapa estrutural (MATLAK AL-HAJERI, *et al.*, 2009; ROSA, 2006; THOMAS, 2001).

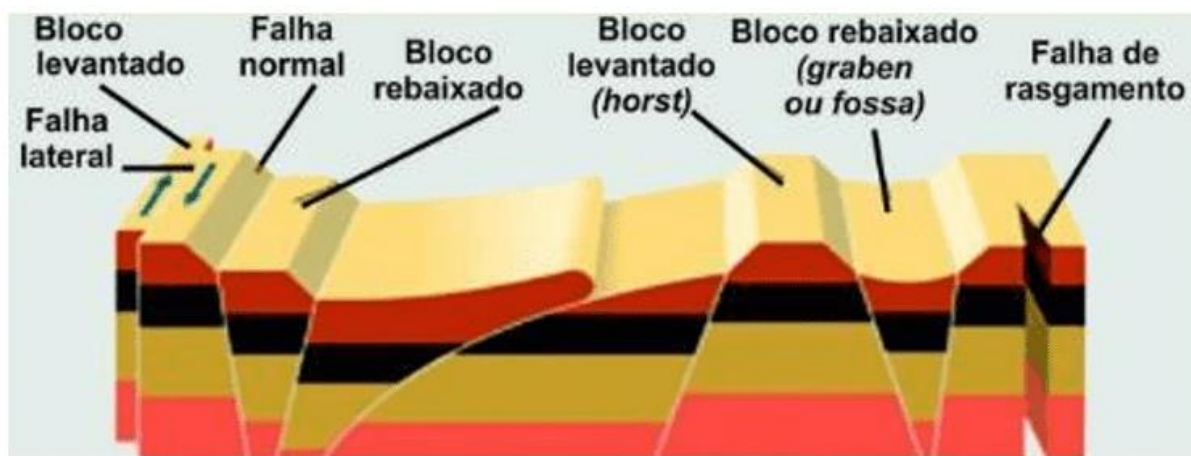
Figura 5b – Processo de geração do petróleo a partir da bacia sedimentar ilustrada na Figura 5ª



Fonte: MATLAK AL-HAJERI, et al., (2009)

De acordo com Castro Faria (2013) e Rosa (2006), a trapa estrutural pode acontecer de diversas formas, sendo uma delas os domos salinos, ou alterações que ocorreram nos depósitos rochosos em rios de bacias sedimentares ou ainda alterações que ocorreram durante o processo de geoformação.

Figura 6 – Ilustração com os diferentes tipos de falhas geológicas

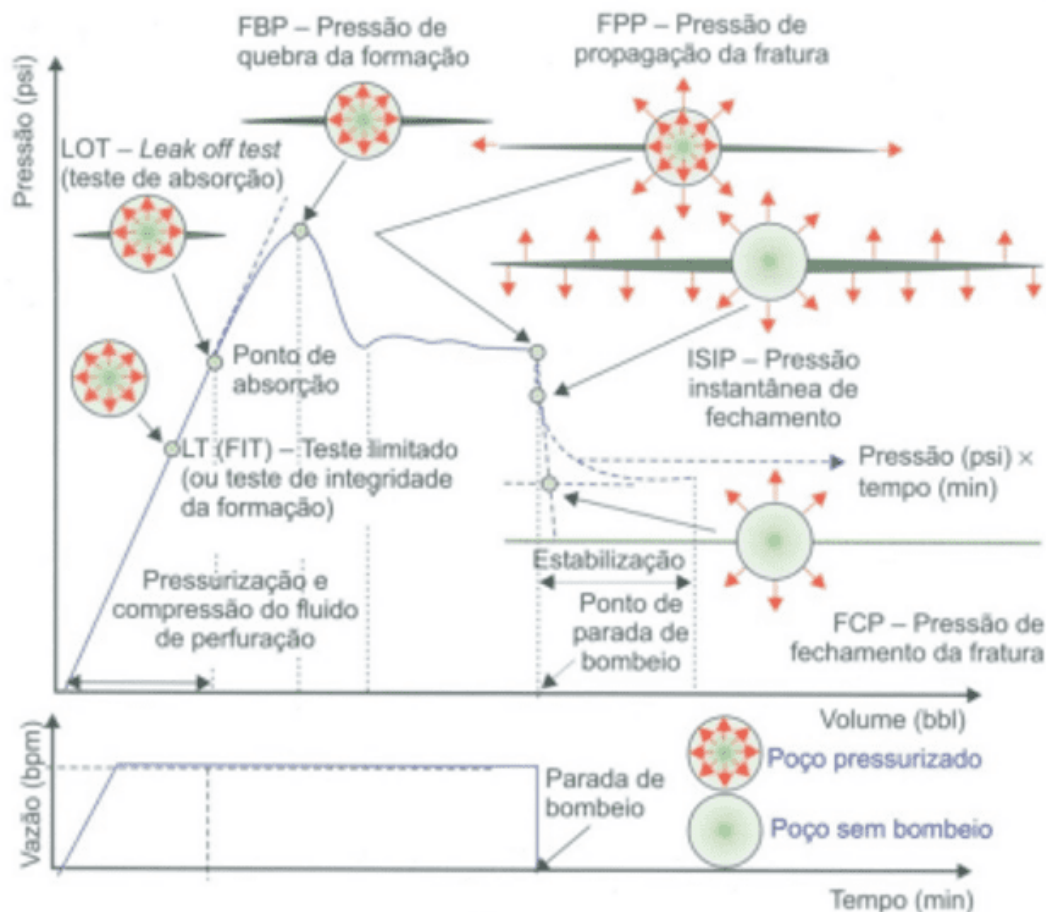


Fonte: Castro Faria (2013)

É importante observar que o reservatório de petróleo tem esse nome justamente por garantir, até certos limites de pressão, a capacidade de manter a sua estanqueidade. A pressão de formação, a porosidade e a permeabilidade são características que determinam os limites de pressão que pode ser contida nesse reservatório sem causar dano ou fratura a formação, as porosidades e permeabilidade determinam a capacidade de como um fluído pode fluir por essa rocha, sendo essas características importantes para determinar a capacidade ou volume do reservatório e da reserva, bem como, determinar o fator de recuperação e a curva estimada de produção, o que pode ser auxiliado pelo teste de formação.

O gráfico 3 demonstra um dos tipos de testes de pressão realizados em reservatórios. Conhecer os limites de pressão ajudam a entender capacidades de usos futuros desses reservatórios (PUC/RJ, 2011; ROSA, 2006; THOMAS, 2001).

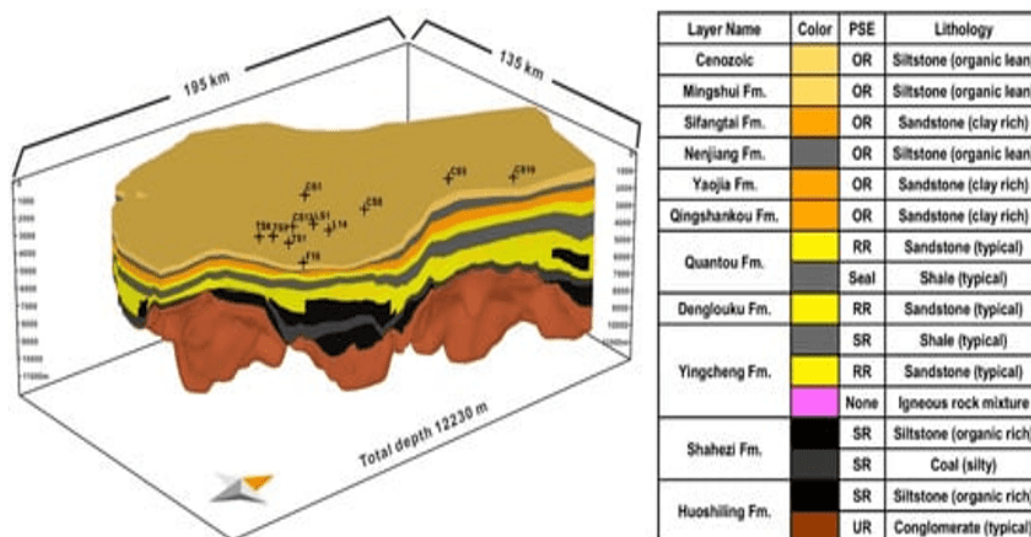
Gráfico 3 – Teste de Pressão de Formação



Fonte: (PUC/RJ-2011)

Com base em informações sísmicas, dos perfis geofísicos, e dos testes de formação, incluindo permeabilidade e porosidade, é possível determinar o valor estimado do volume e de espaços vazios de um reservatório, e assim, estimar a sua reserva ou capacidade (ROSA, 2006). A figura 7 demonstra a sobreposição de diferentes rochas sedimentares que formam uma região de interesse para a indústria petrolífera. Quando uma jazida está depletada, pode servir para acumular outros tipos de materiais além do poço com quilômetros de profundidade (ZHANG *et al.*, 2019).

Figura 7 – Ilustração de subsuperfície

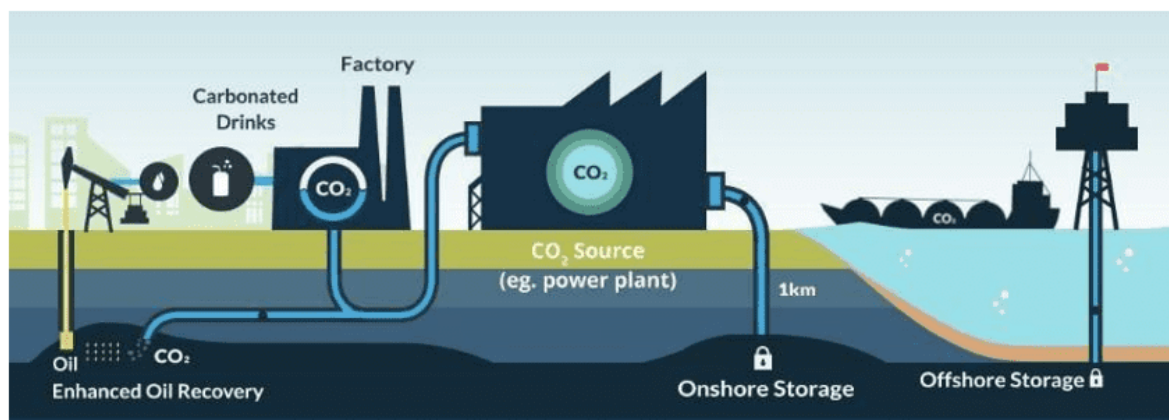


Fonte: Zhang et al., (2019)

Esses poderiam estar em diferentes geolocalizações e, podem ser transportados em diferentes modais dentro das condições especiais de transporte requeridos, a depender do produto, e, conforme exemplificado em alguns modais .

A figura 8 (tubulação e navios/barcas) (GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF TRINIDAD AND TOBAGO, 2021).

Figura 8 – Modelo do Processo de Captura e Sequestro de Carbono



Fonte: Government of the Republic of Trinidad and Tobago (2021)

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



3.1 QUANTIDADE DE POÇOS PERFURADOS E O POTENCIAL

As tabelas 2 e 3, foram realizadas através dos dados publicados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis e demonstram a dimensão da quantidade de poços perfurados no Brasil ano a ano, tanto *onshore* quanto *offshore*.

Tabela 2 – Condição, quantidade e profundidade de poços perfurados no Brasil

Classificação	Número de Poços	Profundidade Medida Média (metros)
Abandonado	11870	-2898
Arrasado	2624	-1387
Avaliação	7743	-3186
Em uso	7903	-2193
Total Geral	30140	-1070

Autores – Adaptado da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2021)

Segundo os números da tabela 2 podemos considerar a possibilidade de uso para fins de estocagem quase metade dos 30 mil poços perfurados no Brasil representando uma grande oportunidade para aplicações de intervenção e reengenharia.

Tabela 3 – Condição, quantidade e profundidade de poços de terra perfurados no Brasil

Classificação	Número de Poços	Profundidade Medida Média (metros)
Abandonado	6973	1300
Arrasado	2218	1351
Avaliação	5675	1186
Em uso	8418	1102
Total Geral	23284	1179

Autores – Adaptado da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2021)

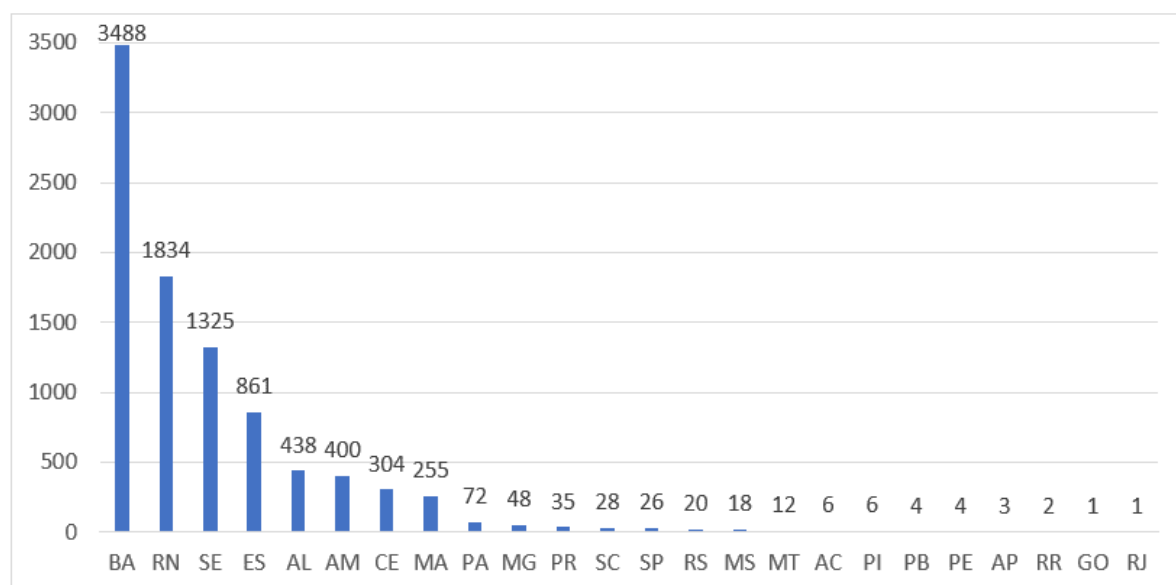
RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



Como ilustração do potencial de volume disponível, os poços são geralmente perfurados em diâmetros que variam de 5 polegadas a mais de 28 polegadas, e como observado no gráfico 4, os poços em aproximadamente 1300 metros de profundidade, e apesar de se assumir que todo o poço tenha 5 polegadas ou 0,127 metros (THOMAS, 2001).

Gráfico 4 – Número de Poços de terra em condição de abandono ou arrasado



Fonte: Autores – Adaptado da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2021)

Assim, um mínimo de 16m^3 de volume, além do volume do reservatório, que como podemos observar na figura 9, em pior caso produz 34 barris de petróleo por dia ou $5.4\text{ metros cúbicos por dia}$, quase 2000m^3 por ano, produção que se estende por anos, que com respeito aos 9000 poços em condições de abandono ou arraso, em terra, seriam um volume mínimo de $17.739.000\text{ metros}^3$ de armazenamento por ano, desconsiderando aspectos de pressurização (grifo do autor).

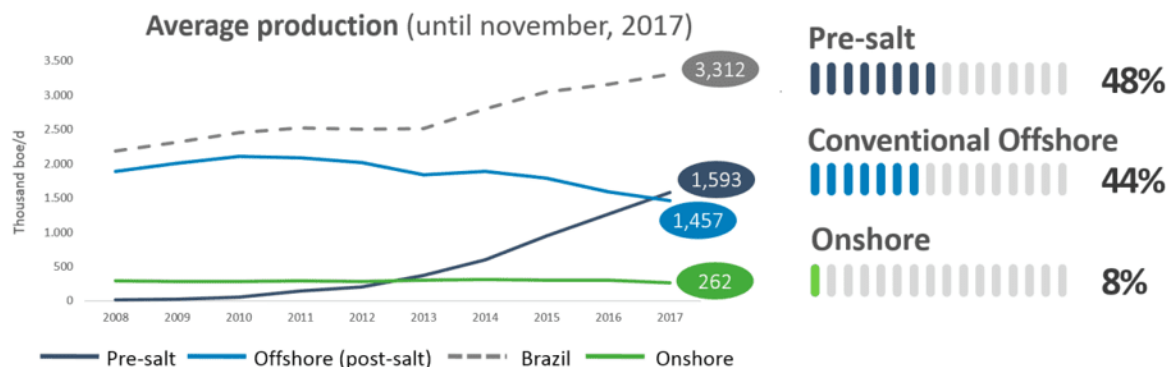
Figura 9 – Número de poços e produção em diferentes ambientes



Fonte: CBIE (2019)

O gráfico 5 demonstra como esse desenvolvimento de produção em milhares de barris de petróleo por dia nos diferentes tipos de campos vem se desenvolvendo no Brasil.

Gráfico 5 – Produção média nos diferentes ambientes



Fonte: Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2021)

3.2 REENGENHARIA DA DESENGENHARIA

Como já aludido, a Desengenharia é um processo comum já no final do ciclo de vida de um empreendimento, quando já não se torna economicamente viável reformar uma planta industrial, ou seguir adiante com a produção de um poço de petróleo. Algumas dessas estruturas acabam sendo abandonadas e não tendo um uso futuro

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



ou valor, uma vez que o investimento foi completamente depreciado, e em alguns casos gerando até custos de tratamento antes de descomissionamento. Estruturas abandonadas de forma incorreta podem gerar contaminações de solo ou de lençóis freáticos a longo prazo pela decomposição de recipientes ou barreiras (SÁNCHEZ, 2001).

A reengenharia que conceitualmente como algo para reprojeter ou reformar de forma drástica, vem justamente para dar um maior valor para estruturas que já estão depreciadas ou que não são economicamente viáveis para operar e, podem inclusive, ser um passivo ou gerar custos e riscos, sendo dessa forma uma oportunidade de recuperação de capital para os investidores e, não um mero custo, mas, compor o custo esperado com o projeto em todo o seu ciclo, especialmente em reservatórios que podem ter muito uso (GOMES *et al*, 2005; SÁNCHEZ, 2001).

3.3 RECICLAGEM E DESCONTAMINAÇÃO DE MATERIAL METÁLICO

Um dos motivos mais óbvios para a reciclagem de material metálico é a redução no consumo de energia, além da preservação de reservas de recursos finitos e menor impacto ambiental na exploração. Também é importante ressaltar que existem materiais que são raros na natureza e que a reciclagem pode ser uma fonte mais volumosa ou mais simples de recurso que a própria natureza. Na Alemanha, por exemplo, existem sensores que detectam a presença de metais não ferrosos no processo de reciclagem. Esses processos de reciclagem podem levar a uma redução no consumo de energia de até 88%, de eletricidade até 35% , e de água até 87%, a depender da técnica utilizada (VISSER, 2014). A figura 10 demonstra um exemplo de uma instalação real em superfície de um poço de terra em produção.



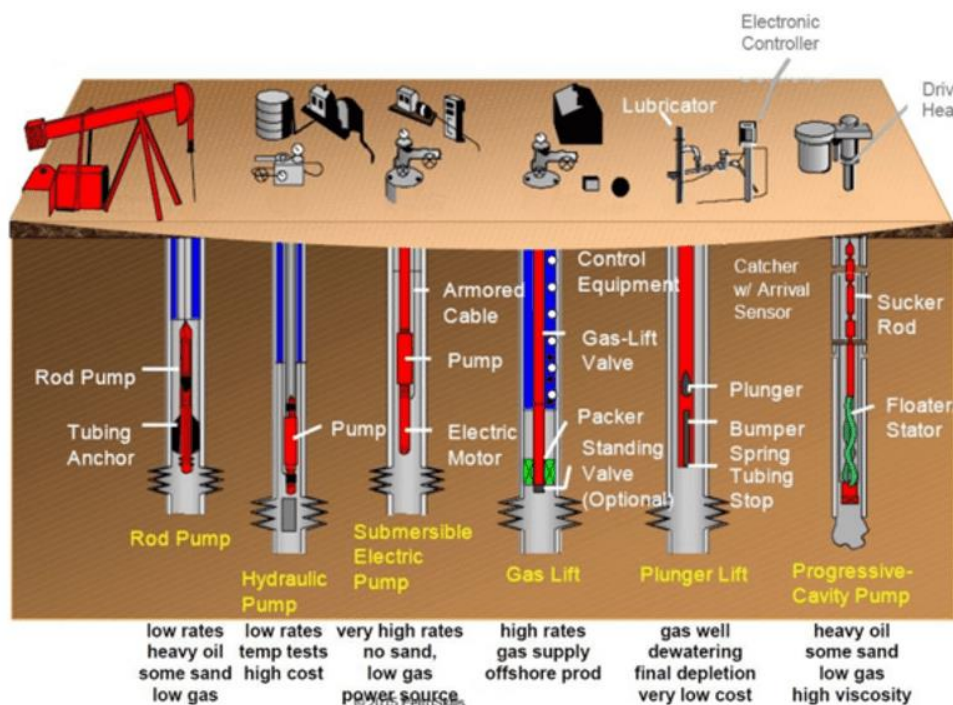
Figura 10 – Aparência de um poço em produção



Fonte: Actis (2012).

Na figura 11 é possível observar os diferentes tipos de sistemas possíveis aparentes em superfície e subsuperfície que posteriormente poderão ser retirados para descontaminação e reciclagem (PETROSKILLS, 2017).

Figura 11 – Diferentes tipos de poços completados



Fonte: Petroskills (2017)

Muitos desses materiais podem necessitar de limpeza especializada devido a possibilidade de conterem resíduos oleosos, NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials* ou Material Radioativo de Ocorrência Natural) ou TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*) (LINCERADIO, 2021).

Os resíduos oleosos poderão ser limpos e posteriormente tratados, seguindo processos de aterro, incineração, *landfarming*, lavagem de areia contaminada (caso de solos ou contaminações), solidificação e co-processamento (GOVERNO DE SÃO PAULO, 2021). A devolução destes resíduos para poços ou reservatórios de petróleo em condição controlada, também pode ser considerada como escopo desse trabalho.

O NORM está presente na natureza em diferentes rochas ou minerais, geralmente têm valores de taxa de emissão radiativa muito baixa e também, baixo impacto nas



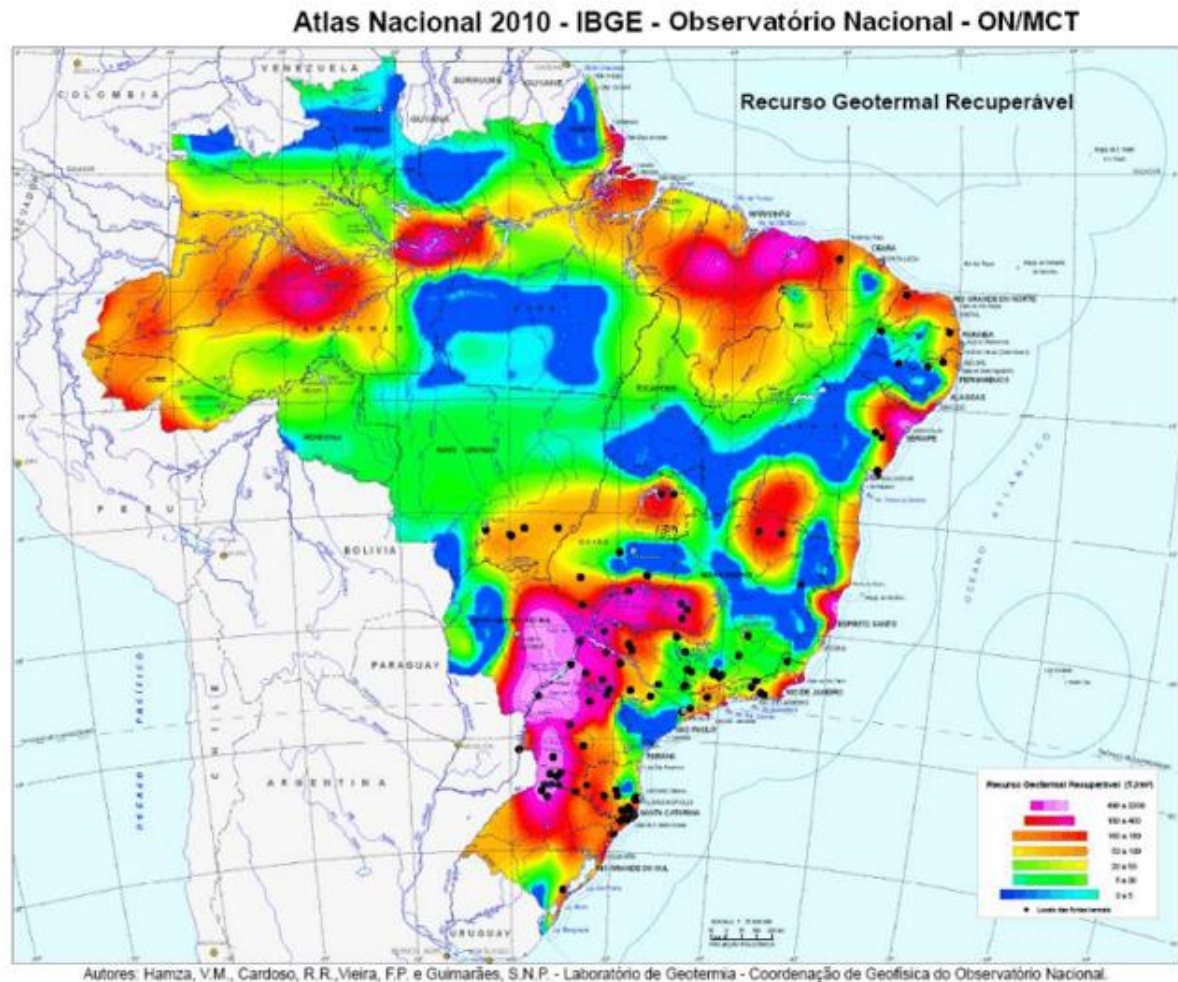
peças, porém alguns processos como a produção de petróleo, além de outras atividades antropogênicas, podem levar ao acúmulo de materiais contendo o NORM, elevando a sua concentração, e dessa forma, aumentando o potencial de afetação a indivíduos que venham a ser expostos, dessa forma, é importante que materiais que tenham acumulado NORM sejam descontaminados antes da sua devolução à natureza. Dentro do processo de descontaminação podemos incluir a diluição ou extração química, a extração mecânica (com o uso de escovas, por exemplo) ou ainda por jato d'água, e posteriormente esse material contaminado pode ser enviado para destinação final de acordo com o plano de rejeitos radioativos da instalação (LINCERADIO, 2021).

3.4 USO DO POÇO COMO FONTE DE ENERGIA GEOTÉRMICA

Assim como seu próprio nome indica, o reservatório de petróleo e gás é um reservatório que pode no final da sua vida útil ser facilmente adaptado para o armazenamento de outros materiais, ou ainda, aproveitar o seu potencial geotérmico, a depender da região onde foi perfurado, para gerar eletricidade ou água quente, seja por meio de vapor, usando turbinas ou outras tecnologias que podem se aproveitar do calor já proveniente da formação e com uma menor pegada de carbono complementar o poder calorífico do fluido para gerar vapor e consequentemente mais eletricidade, ou ainda, fazendo o uso de geradores termoelétricos, efeito *seebeck*.

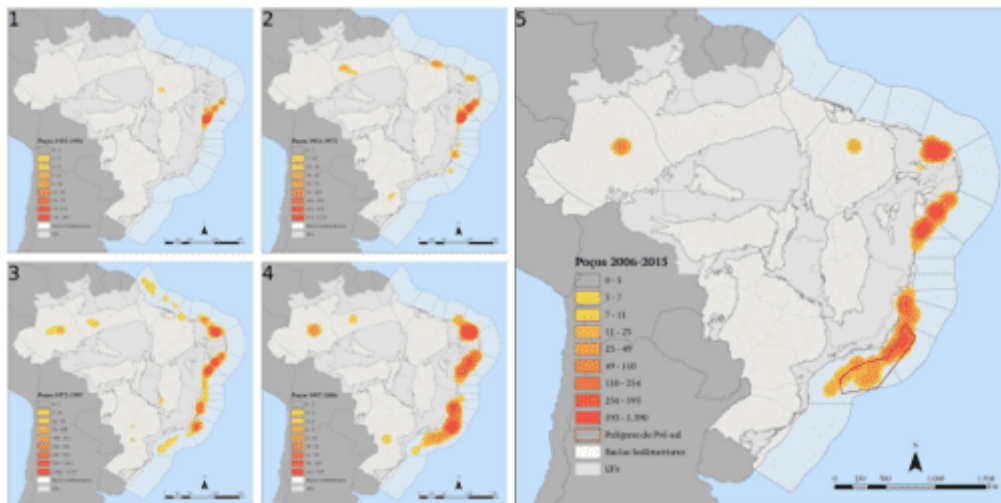
A Figura 12 pode ser usada para comparar as regiões onde foram perfurados poços (12b) com o potencial geotérmico de cada área (12a), assim, determinar melhores regiões para aproveitamento de estruturas existentes (DUARTE e CATAIA, 2019; SWAROWSKI ARBOIT, *et al.*, 2013).

Figura 12a – Zonas de maiores temperaturas no Brasil



Fonte: Duarte e Cataia (2019)

Figura 12b – Áreas onde existem poços perfurados



Fontes: Swarowski Arboit, et al., (2013)

Na Figura 13 há uma aplicação geotérmica onde a temperatura do poço ou reservatório não é suficiente para gerar vapor, porém, é suficiente para trocar calor com o ambiente e ajudar no aquecimento residencial.

Figura 13 – Modelo de poço geotérmico para aquecimento doméstico ou industrial

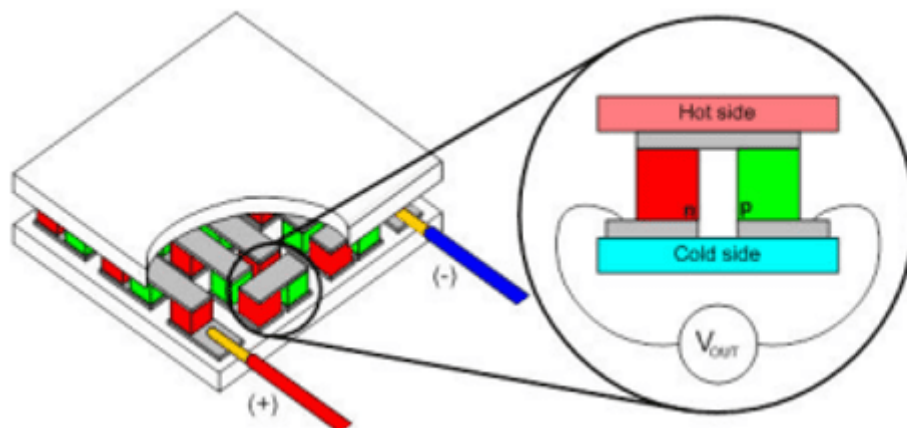


Fonte: *Electro Enersol* (2011)

O efeito seebeck acontece quando um gradiente de temperatura é aplicado em um circuito com diferentes condutores, o que gera eletricidade (ZHOU, *et al.*, 2021).

A figura 14 demonstra como funciona uma placa do sistema Seebeck-Peltier (SILVA, *et al.*, 2013).

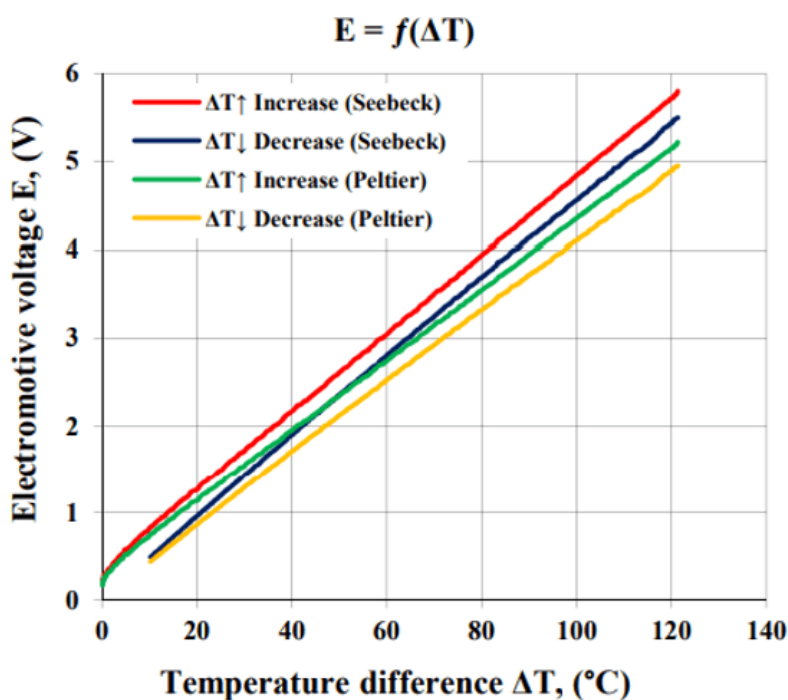
Figura 14 – Placa utilizada para geração de energia segundo efeito Seebeck-Peltier



Fonte: Silva et al., (2013)

Os Gráficos 6, 7 e 8 demonstram o potencial que se pode alcançar de tensão e corrente com um módulo Seebeck-Peltier de 1cm² (IVANOV et al., 2021).

Gráficos 6- Curvas de tensão e corrente com um módulo Seebeck-Peltier de 1cm²

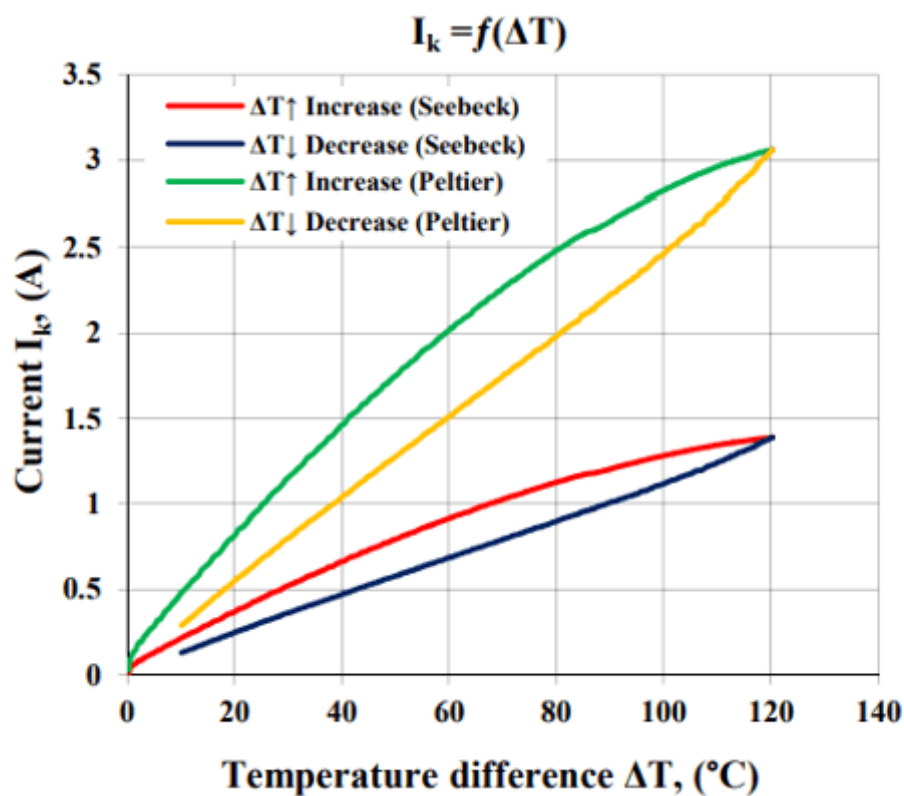


Fonte: Ivanov et al., (2021)

RC: 120912

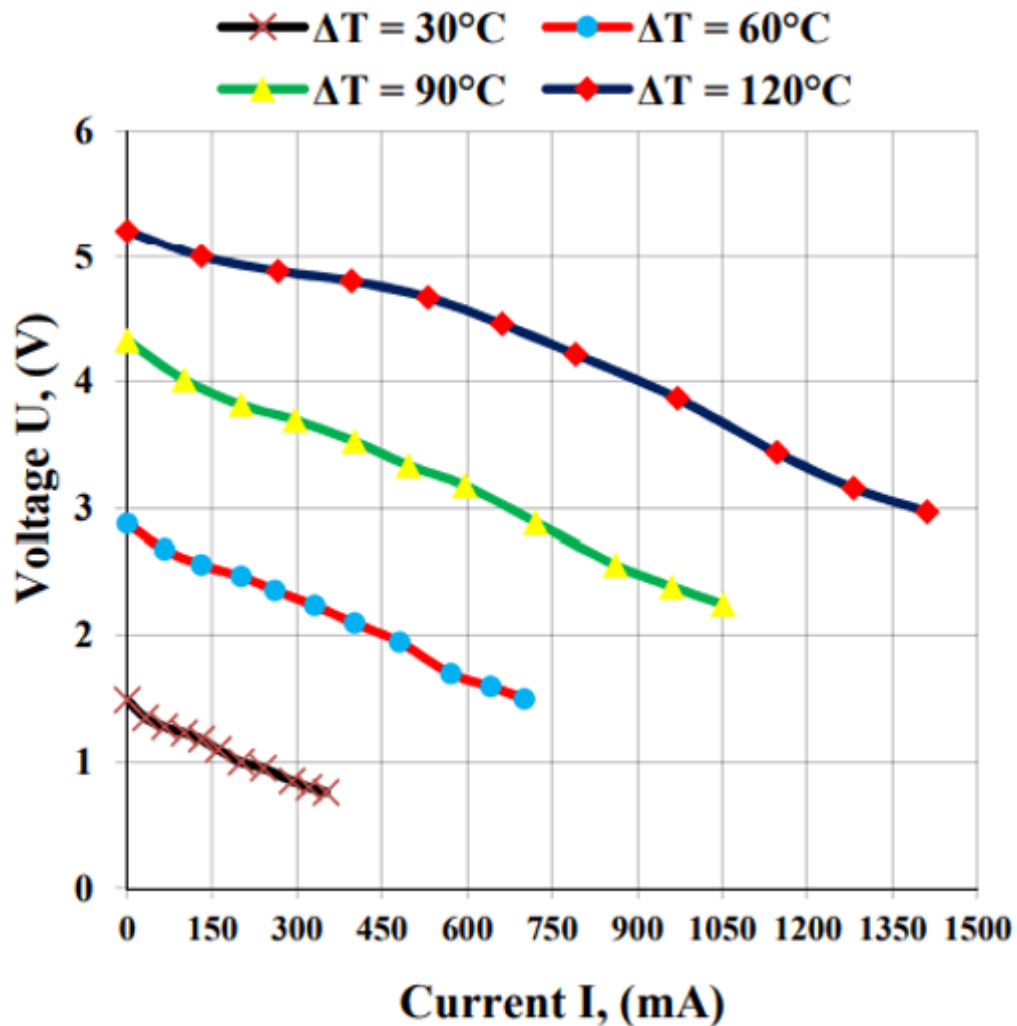
Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>

Gráficos 7- Curvas de tensão e corrente com um módulo Seebeck-Peltier de 1cm2



Fonte: Ivanov et al., (2021)

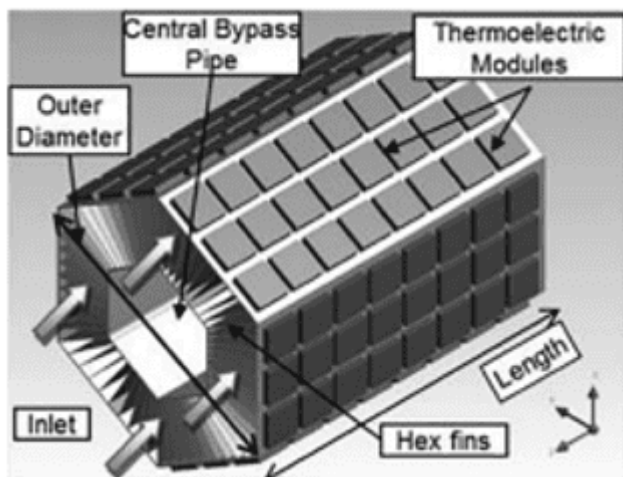
Gráficos 7- Curvas de tensão e corrente com um módulo Seebeck-Peltier de 1cm2



Fonte: Ivanov et al., (2021)

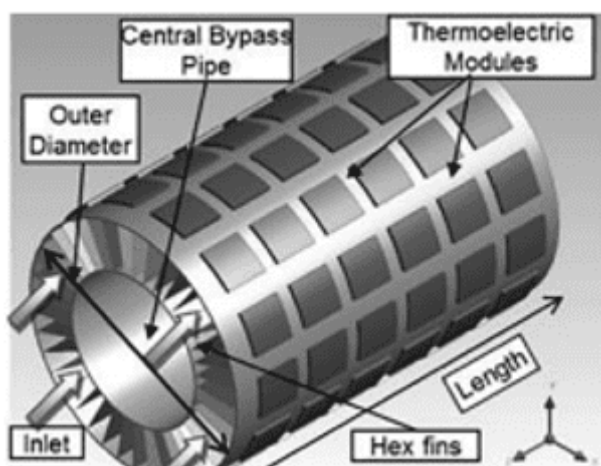
Uma configuração para aumentar a recuperação de energia usando o efeito Seebeck é por série de módulos, conforme proposto nas figuras 15 a e b, o que multiplicaria o efeito de potência que se observa nos gráficos 6, 7 e 8 (SHEN; TIAN; LIU, 2019).

Figura 15a – Configuração para obtenção ótima de potência para módulos Seebeck-Peltier



Fonte: Shen; Tian e Liu (2019)

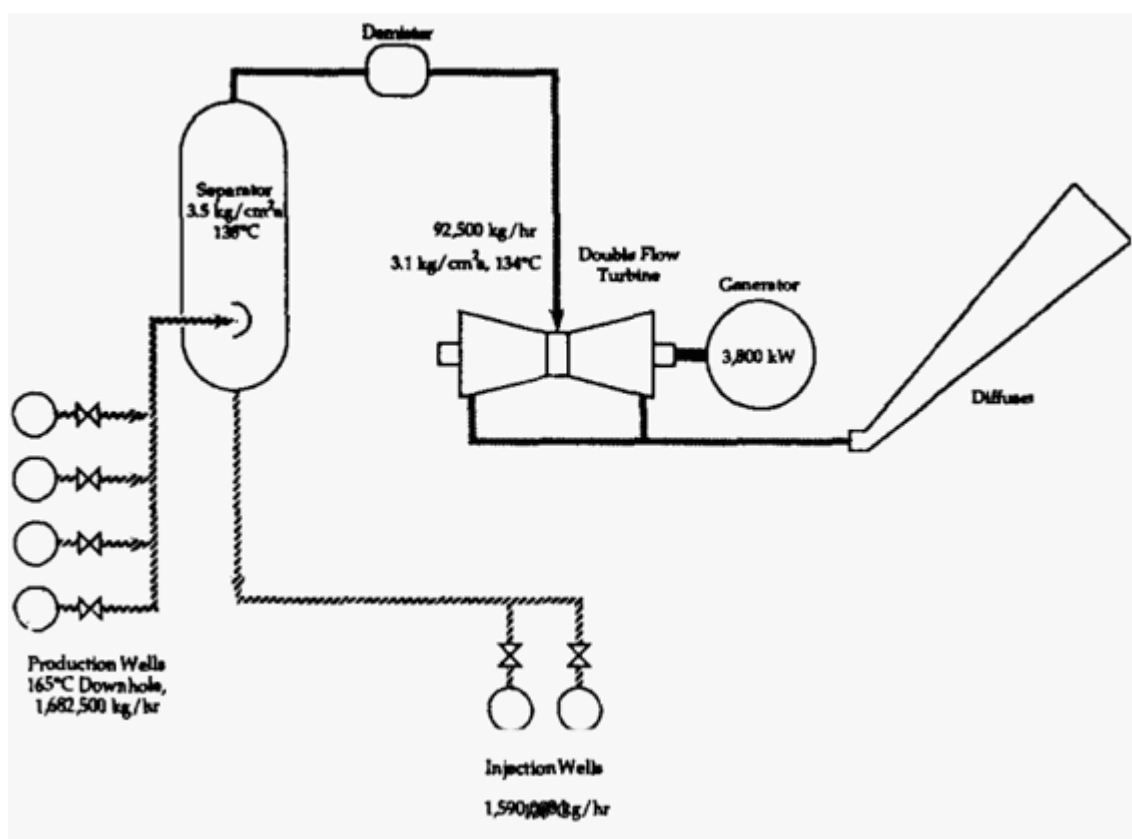
Figura 15b – Configuração para obtenção ótima de potência para módulos Seebeck-Peltier



Fonte: Shen; Tian e Liu (2019)

A figura 16, demonstra o funcionamento de turbinas com o vapor de poços que tenham temperatura acima de 177°C (SHULMAN, 1995).

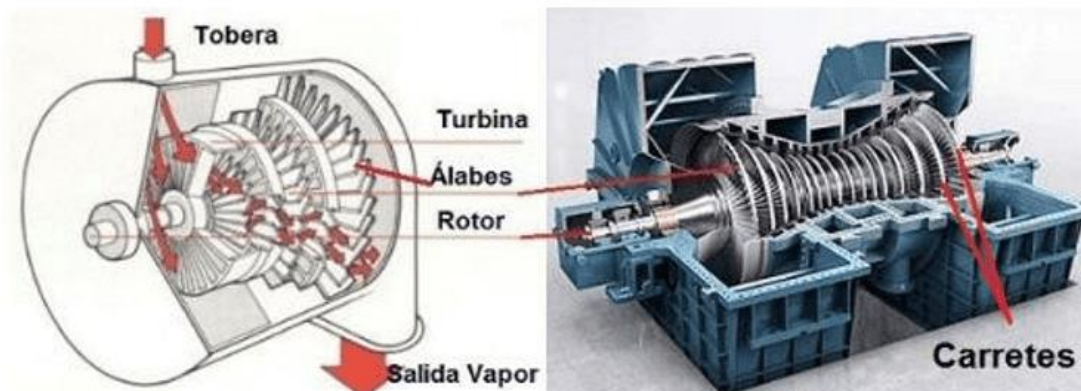
Figura 16 – Circuito de geração de vapor e alimentação de uma turbina através de poços geotérmicos



Fonte: Shulman (1995)

A figura 17 demonstra como é o funcionamento de uma turbina a vapor, onde a entrada do vapor acontece pela tuberia, passando por diferentes estágios com as paletas, se aproveitando da expansão térmica do gás, para maximizar a rotação da turbina e consequentemente mais geração de energia (AREATECNOLOGIA, 2021).

Figura 17 – Ilustração de uma turbina a vapor



Fonte: Areatecnologia (2021).

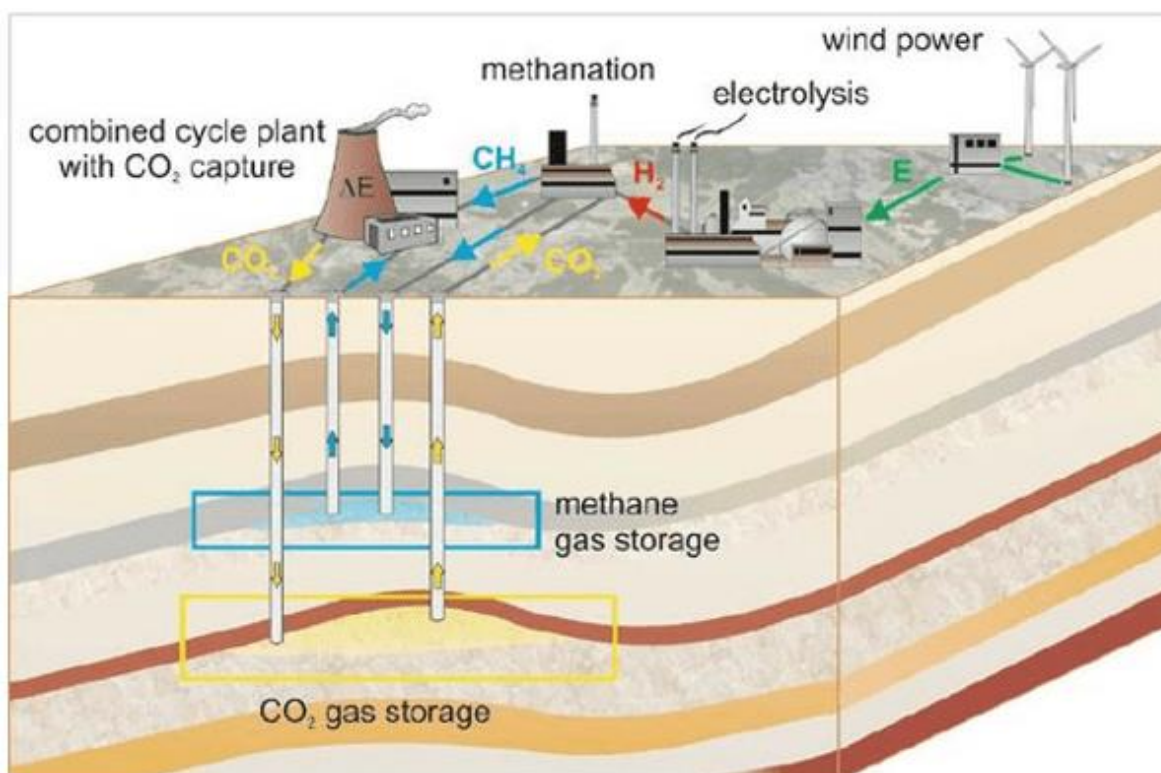
Em alguns casos pode-se utilizar o potencial geotérmico de um reservatório ou poço para elevar a temperatura até um certo valor, usando de forma mais eficiente a biomassa ou biogás como combustível, completando reduzindo a pegada de carbono.

3.5 USO DO RESERVATÓRIO PARA O ARMAZENAMENTO DE METANO E CO₂

Explorando o uso como reservatório, levando em consideração a estanqueidade, a estrutura e o volume disponível, algumas opções de seu uso poderiam ser o armazenamento permanente de materiais como o dióxido de carbono (CO₂) (DW PLANET A, 2021), água de produção (água que é produzida durante a produção de petróleo que é muito dura, e que nem sempre tem um descarte fácil) (ROSA, 2006). Outra opção seriam para local de destinação de outros produtos que representem riscos à saúde, como por exemplo o final do ciclo do combustível nuclear (SORENSEN, 2019).

Na figura 18, é possível ver um sistema adaptado para armazenamento.

Figura 18 – Ilustração de subsuperfície para a injeção de CO₂ para armazenamento permanente



Fonte: Kuhn et al, 2014.

Os reservatórios de petróleo também poderiam servir para o armazenamento de biogás comprimido. Compressores centrífugos de vários estágios (MODEKURTI, et al., 2017), já que esses são considerados imprescindíveis para o processo de armazenamento de gases nos reservatórios (ROSA, 2006) ou, transporte por tubulação, de forma a permitir a sua permeabilidade dentro da formação rochosa no estágio supercrítico (MODEKURTI, et al., 2017).

3.6 USO DO POÇO PARA O ARMAZENAMENTO DE REJEITOS

O armazenamento de materiais perigosos, como destinação final, depende muito de análises mais detalhadas sobre a estabilidade geológica da região para evitar fugas e riscos de contaminação de lençóis freáticos ou de outras formações. Como descrito anteriormente, pode ocorrer que materiais vão para aterros ou regiões

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>

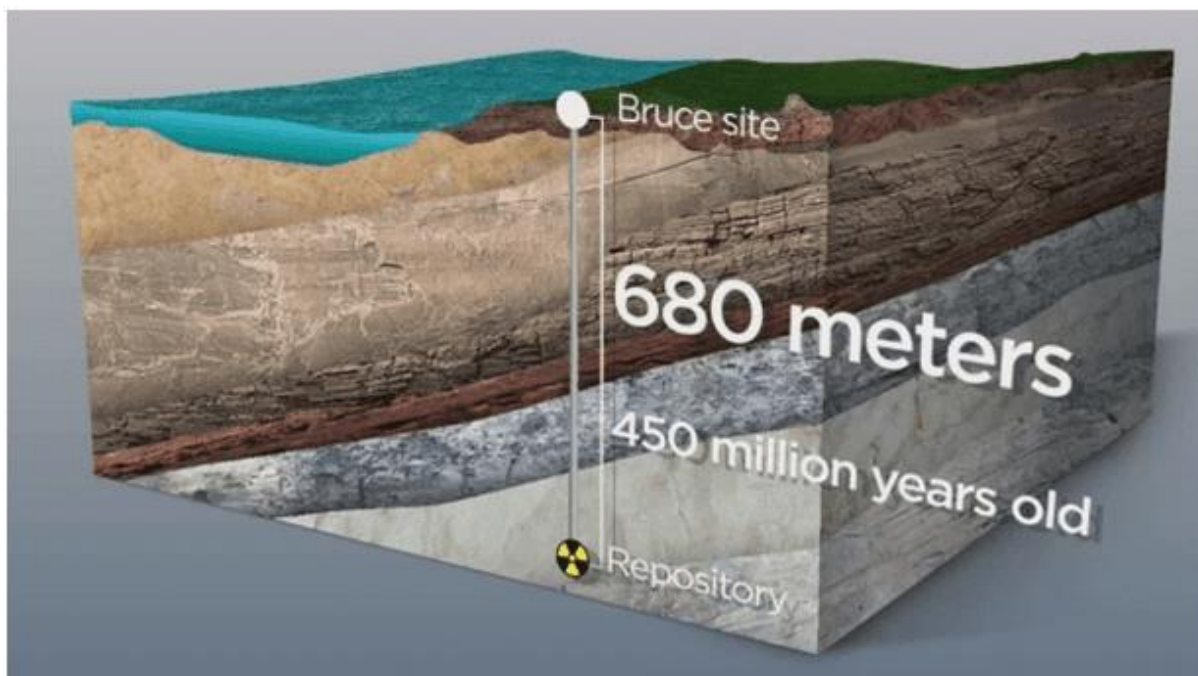


superficiais que acabam ocupando áreas que poderiam ter outro tipo de utilização, impactando também no valor da região (SÃO PAULO, 2021).

O combustível nuclear também acaba sendo um problema para a indústria energética, uma vez que esse subproduto ainda se mantém com níveis de radioatividade por algumas centenas de anos (US Energy Information Administration, 2020). Alguns países estão investindo forte na criação de cavernas para o seu armazenamento como solução definitiva, porém, os poços depletados ou exploratórios secos, poderiam ser boas estruturas para o armazenamento permanente desses materiais (FINLÂNDIA, 2021), respeitando regras que ainda precisam ser criadas. A Energia Nuclear é uma energia que não emite CO₂, favorece uma leitura mais positiva e sustentável, tendo um grande potencial para ajudar no crescimento da demanda energética (US Energy Information Administration, 2020).

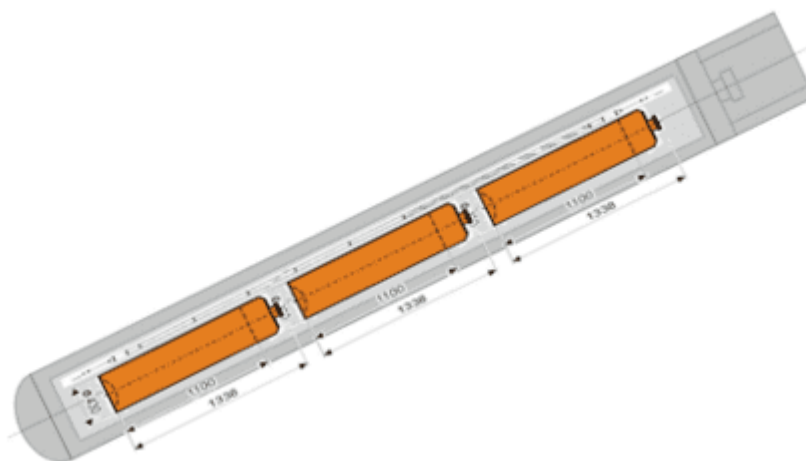
A figura 19, exemplifica uma opção de armazenamento de material radioativo depletado para seu fim original permanentemente (FINLÂNDIA, 2021). De acordo com Bracke, et al., (2017), duas alternativas de armazenamento que atenderiam ao princípio de múltiplas barreiras seriam: o aprofundamento dos poços e o encapsulamento prévio do material.

Figura 19 – Ilustração de subsuperfície para o potencial armazenamento de material radioativo depletado



Fonte: Sorensen (2019)

Figura 20 – Módulo de container para o armazenamento de materiais perigosos



Fonte: Bracke (2017)



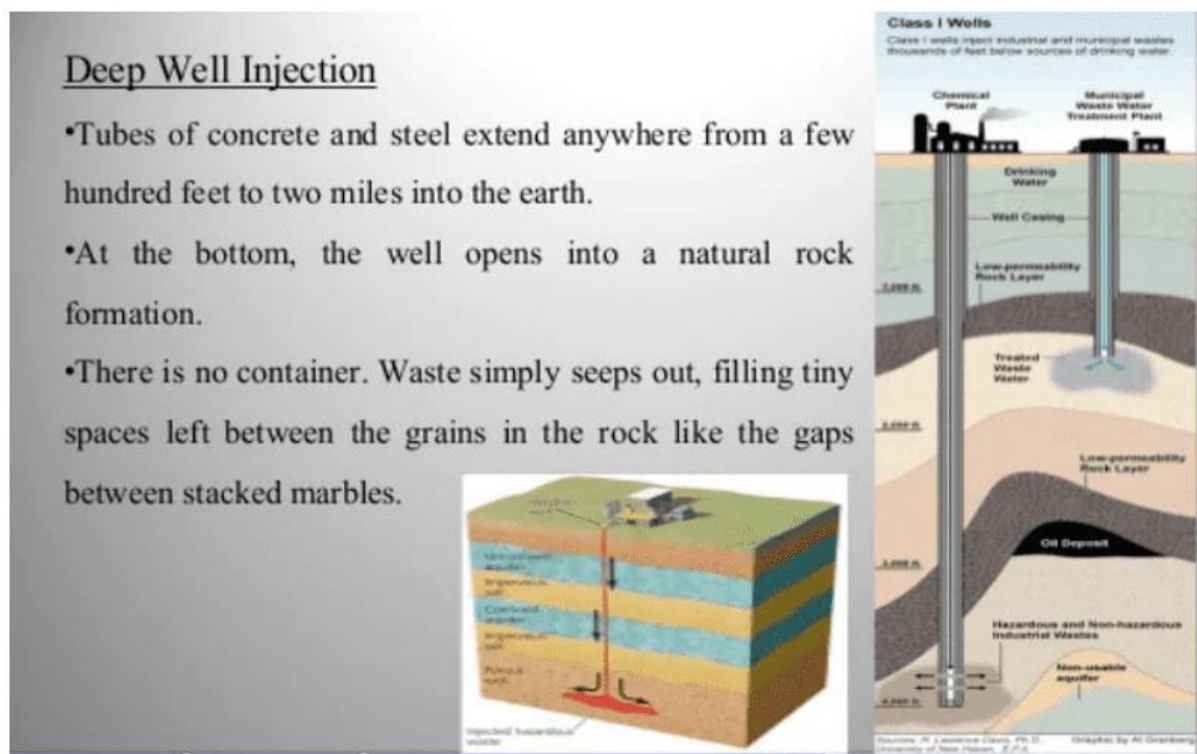
No caso Finlandês, “o combustível gasto será colocado dentro de um favo de aço fundido com grafite (direita) contido em um tambor de cobre (esquerda)”.

Figura 21 – Ilustração de módulo para o armazenamento subterrâneo de material radioativo depletado



Fonte: Finlândia, 2021

Figura 22 – Ilustração de cimentação do material em subsuperfície



Fonte: Smith (2018)

3.7 USO DOS RESERVATÓRIOS PARA O ARMAZENAMENTO DA AMÔNIA OU DO HIDROGÊNIO

O armazenamento de outros materiais, como Amônio ou Hidrogênio, é apontado pelo *Sandia National Laboratories* (2011) como sendo uma opção viável para o uso dos poços depletados.

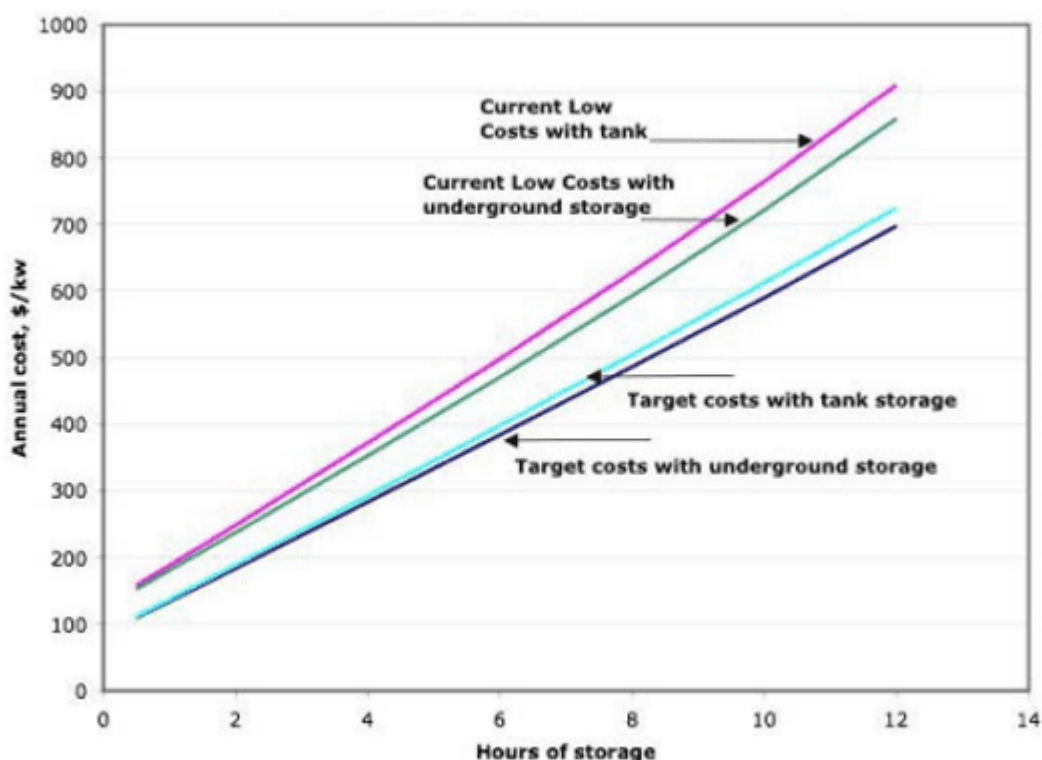
O custo do armazenamento a larga escala no subsolo é uma solução mais econômica do que outras soluções, pois um dos problemas com o Hidrogênio é a degradação que acontece nos tanques e a necessidade de tanques que precisam de grandes capacidades de pressão e alta resistência a degradação/corrosão.

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>

O gráfico 9 mostra uma comparação entre o custo de armazenamento do hidrogênio em tanques (*tank*) ou subsolo (*underground*) no período de 1 ano (SANDIA NATIONAL LABORATORIES, 2011).

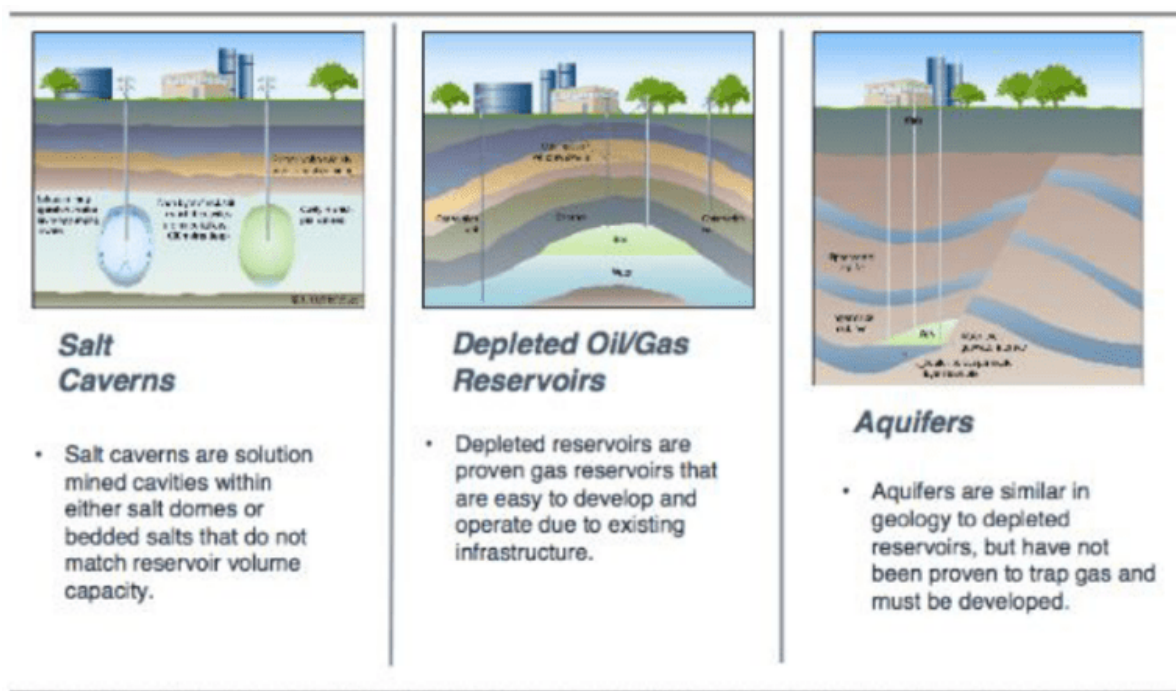
Gráfico 9 – Comparação dos custos de armazenamento de hidrogênio em diferentes opções.



Fonte: Sandia National Laboratories (2011)

Na figura 23, são demonstradas algumas opções de armazenamento propostas pelo estudo, incluindo o caso de estudo deste trabalho, demonstrando os reservatórios depletados com infraestrutura pronta (SANDIA NATIONAL LABORATORIES, 2011).

Figura 23 – Diferentes opções para o armazenamento do hidrogênio

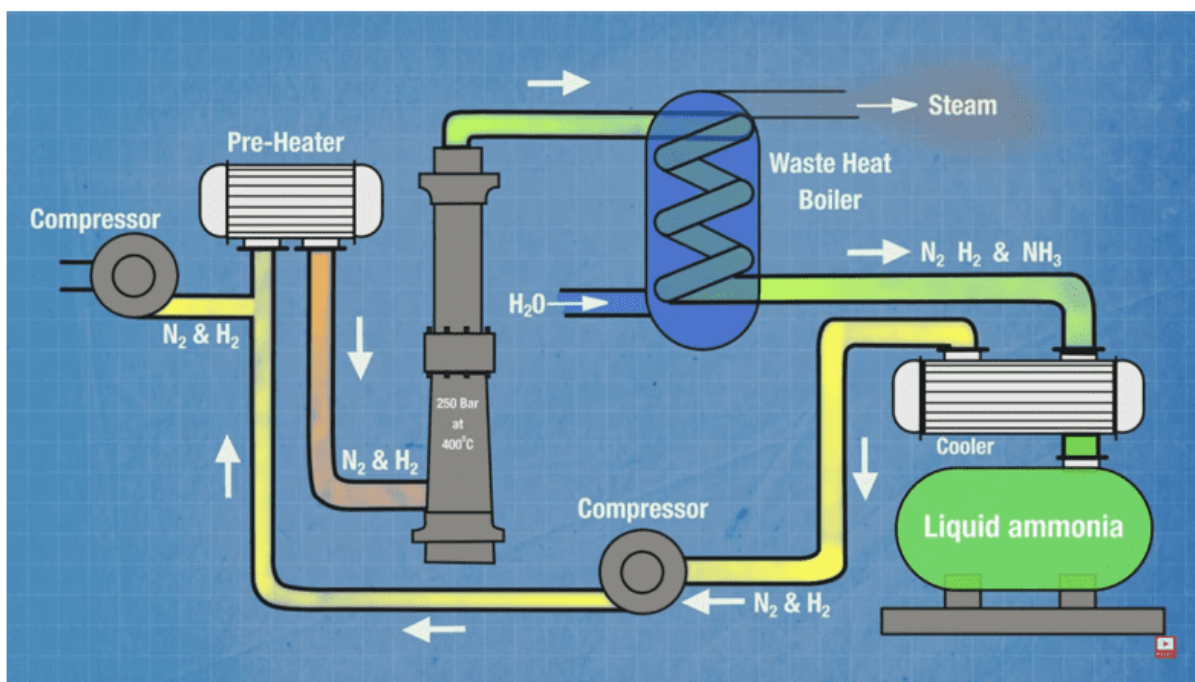


Fonte: Sandia National Laboratories (2011)

A amônia é produzida em larga escala usando o processo conhecido como *Haber-Bosch*, um processo que produz amônia de forma muito rápida, porém com altas taxas de emissões de CO₂. Esse processo combina o Hidrogênio com o Nitrogênio comprimidos a 250 bar e a temperaturas de até 400 graus Célsius. O processo usa o nitrogênio e o hidrogênio separado das suas fontes naturais, apesar da possibilidade de a produção do Hidrogênio por eletrólise ser a mais simples e conhecida.

Em escala industrial muitas vezes o processo utilizado é a reforma do Metano, que é o bombardeio do gás natural ou metano com vapor a temperatura e pressão elevada para fazer a separação do carbono e hidrogênio (BORLACE, 2020), que na falta de sistemas de captura e sequestro de carbono (CCS) (TOTAL, 2018), podem ser liberados a natureza, o que hoje em dia responde por 1% do CO₂ emitido na natureza. Já o Nitrogênio é obtido através da liquefação fracionada ou destilação fracionada (LOPES DIAS, 2021).

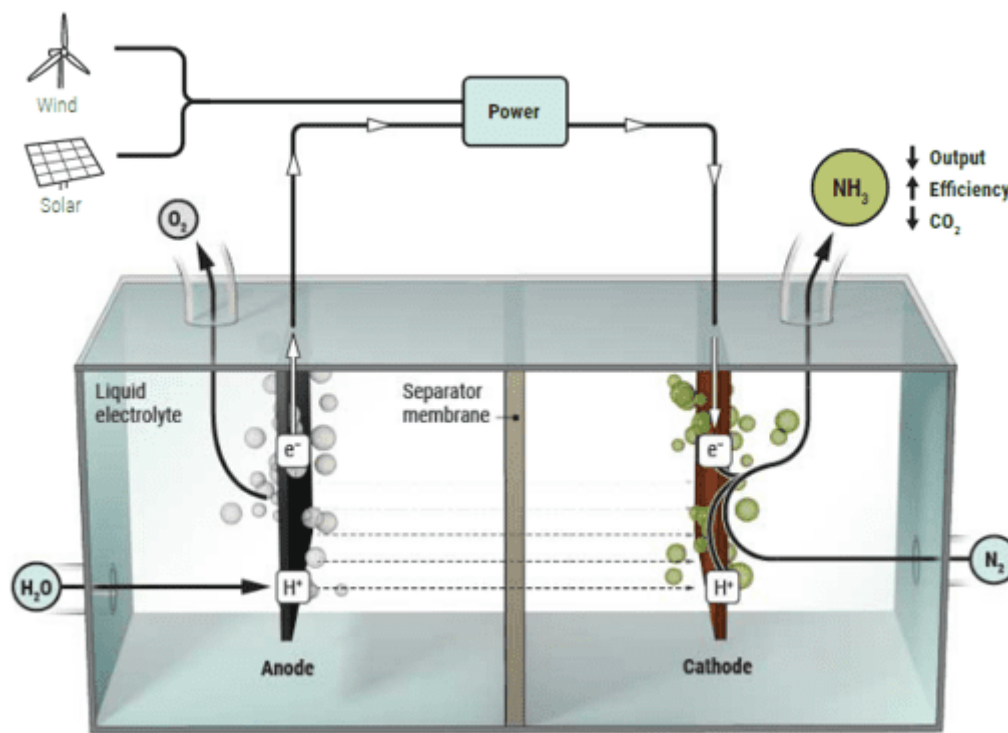
Figura 24 – Processo Haber-Bosch de produção de Amônia



Fonte: Borlace (2020)

A eletrólise da água é uma alternativa mais sustentável para a geração do hidrogênio. Através de eletricidade verde também é possível produzir a Amônia de forma mais sustentável, a figura 25 demonstra um modelo mais simples e verde para produzir amônia (F.SERVICE, 2018).

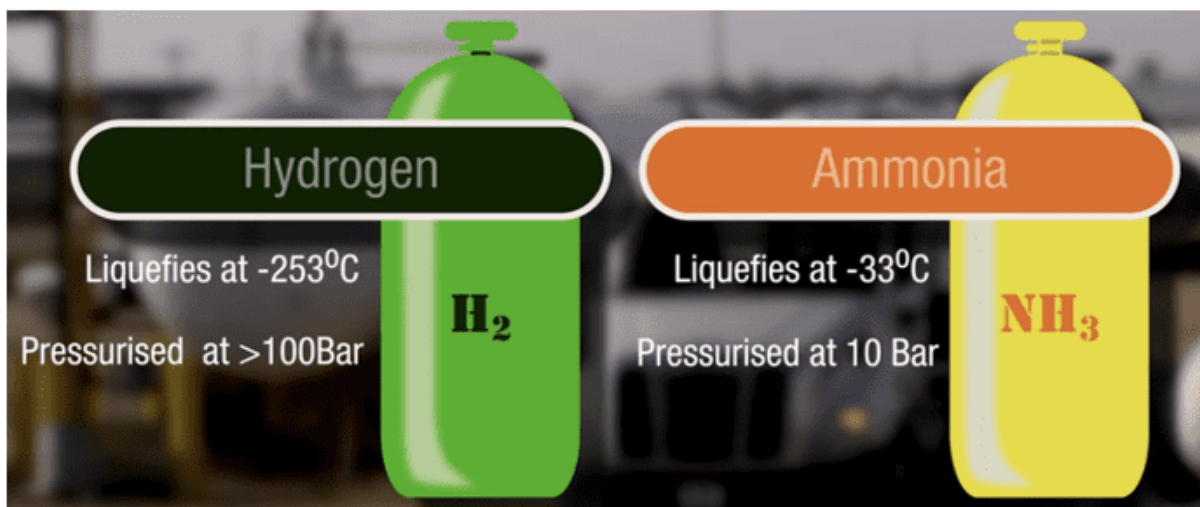
Figura 25 – Produção de Amônia Verde, através de célula de combustível



Fonte: F. Service (2018)

Da mesma forma que se pode armazenar o hidrogênio no subsolo, também é possível armazenar a Amônia. O Hidrogênio precisa de temperaturas de -253°C para se liquefazer, e de tanques pressurizados para o transporte, já a Amônia se liquefaz a -10°C , conforme observado na figura 26, o que faz a Amônia mais fácil para o transporte e armazenamento (F. SERVICE, 2018; BORLACE, 2020).

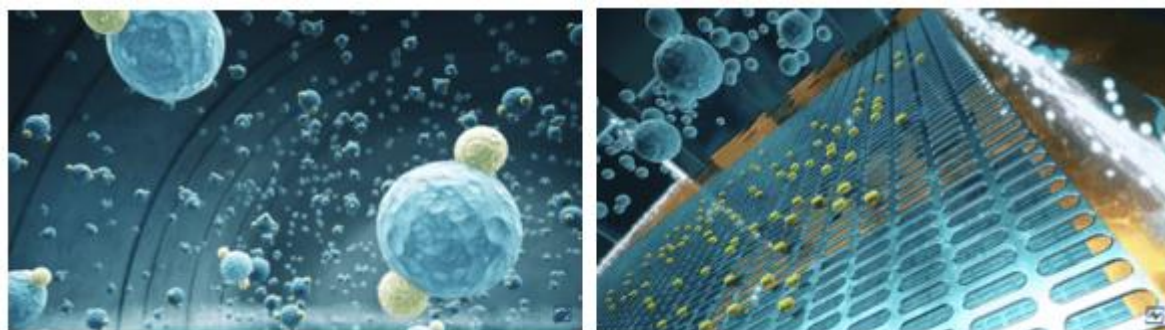
Figura 26 – Comparação do Hidrogênio com a Amônia para fins de transporte



Fonte: Borlace (2020)

A Amônia é convertida a hidrogênio através do uso de células de combustível sem a necessidade de uso de fontes externas de energia. O Gás flui através de catalisadores onde ocorre a separação do Hidrogênio e do Nitrogênio que é liberado na atmosfera, o hidrogênio é depois utilizado em células de combustível que liberam elétrons, produzindo eletricidade, ao se combinar com oxigênio (GENCELL, Ltd, 2019).

Figura 27 – Ilustração do processo molecular de produção de energia através da amônia



Fonte: GenCell Ltd (2019)

RC: 120912

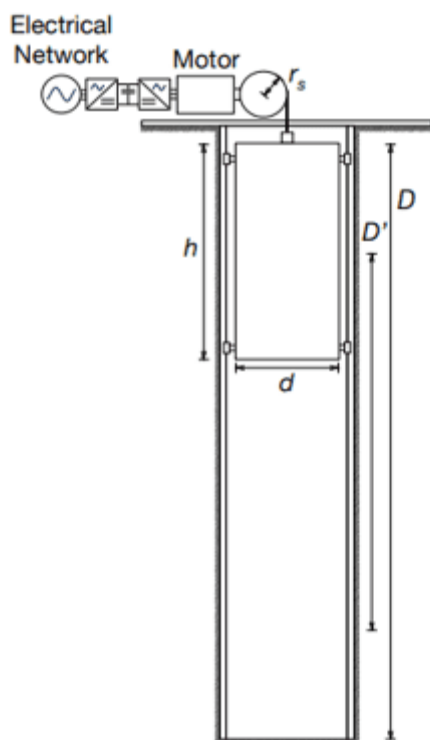
Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>

Sabendo-se que um volume de 58.905m^3 tem o potencial de armazenar 150 GWh de energia tendo como base o volume do reservatório empírico citado anteriormente $17.739.000\text{ metros}^3$, um reservatório com poço depletado, pode armazenar 45.172GWh de energia (*International Agency, 2019*).

3.8 USO DA ESTRUTURA DOS POÇOS PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POTENCIAL

A gravidade é um caminho para o armazenamento de energia através do uso de pesos que podem ser suspensos, para o armazenamento da energia potencial, e, abaixados para a geração da energia (*MORSTYN et al., 2019*).

Figura 28 – Ilustração do processo de produção de energia através da gravidade em poços



Fonte: Morstyn et al., (2019)



É possível estimar a capacidade de energia a se armazenar de acordo com a seguinte equação (MORSTYN et al., 2019):

$$E = \eta mgD'$$

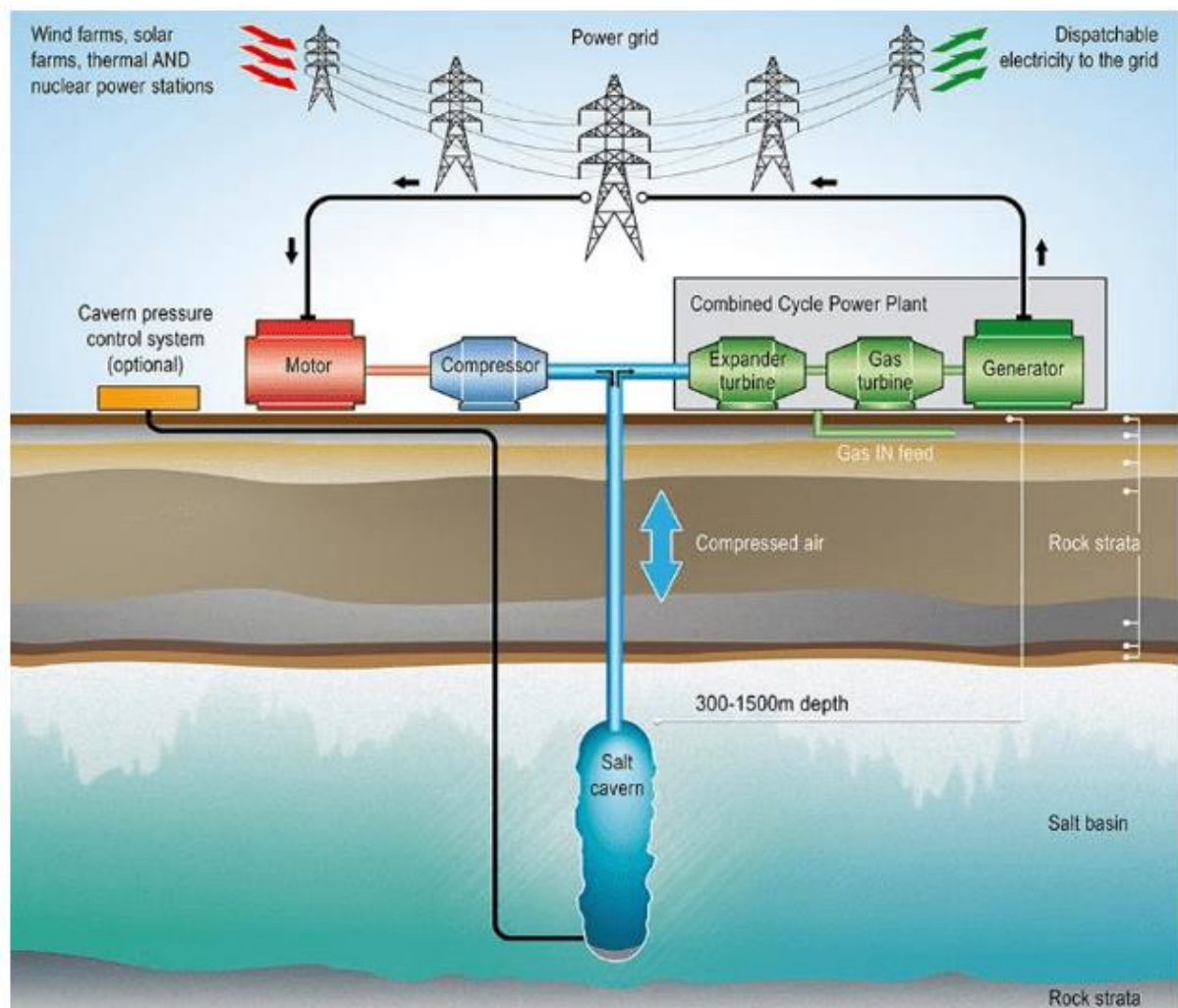
Onde o rendimento (η) do sistema é considerado 80% (MORSTYN et al., 2019), ' m ' a massa será considerada 5 toneladas (carga de chumbo de 5" de diâmetro, do poço empírico previamente convencionado, com 35 metros de altura – densidade de 11340kg/m³), ' g ' é força de atração da terra, aproximada em 10m/s², e D' é a profundidade aproveitável do poço, aqui 1km, o que resulta em 39,2 MJ ou 11kWh.

A velocidade de descarga do sistema pode ser controlada de acordo com a demanda, é claro que o sistema pode também ser adaptado para armazenar diversas cargas no fundo do poço, o que permitiria o armazenamento de mais energia, além de trabalhar com cargas de maiores diâmetros e dimensões a depender da necessidade (GRAVITRICITY, 2020), poços de petróleo existente podem ter o seu diâmetro aumentado, ou ainda, podem ser aprofundado com o uso de alargadores (THOMAS, 2001).

3.9 ARMAZENAMENTO DE AR COMPRIMIDO NO RESERVATÓRIO

Considerando o fato do reservatório possuir grande volume, uma outra forma de acumular e reutilizar energia de reservatório seria através da pressurização de ar, com o uso de compressores em série de ar comprimido, onde sua liberação para a produção de energia elétrica seria através de turbinas em momentos de necessidade, também conhecido como CAES - *Compressed Air Energy Storage* (MENÉNDEZ; LORETO, 2019), conforme demonstrado na figura 29.

Figura 29 – Ilustração do armazenamento de energia através de ar comprimido



Fonte: Storelectric (2021)

A tabela 4 demonstra uma comparação do armazenamento do ar em diferentes minas de carvão com alguns volumes conhecidos (MENÉNDEZ; LORETO, 2019), e, apesar de ainda serem necessários estudos para comprovar o uso em reservatórios de petróleo, a mesma analogia do reservatório empírico de 17.739.000 metros³ e tomando em consideração apenas o volume da tabela 4, pode-se estimar uma capacidade mínima de de 3,6GW de armazenamento.



Tabela 4 - Comparação do armazenamento do ar em diferentes minas de carvão com alguns volumes conhecidos

Plant	Huntorf	McIntosh
Cycle Efficiency	42%	54%
Energy input for 1kWhe	0.8 kWhe	0.69 kWhe
Energy content	642 MWh	2640 MWh
Compression		
Max. Electricity input	60 MW	50 MW
Max. Air mass flow rate	108 kg/s	90 kg/s
Compression units	2	4
Charging time	8h	38h
Storage		
Cavern pressure range	4.6-7.2 MPa	4.6-7.5 MPa
Cavern volume	310,000 m ³	538,000 m ³
Expansion		
Max. Electricity output	321 MW	110 MW
Control range	100-321 MW	110 MW
Discharging time	2h	26h
Max. Mass flow rate	455 kg/s	154 kg/s

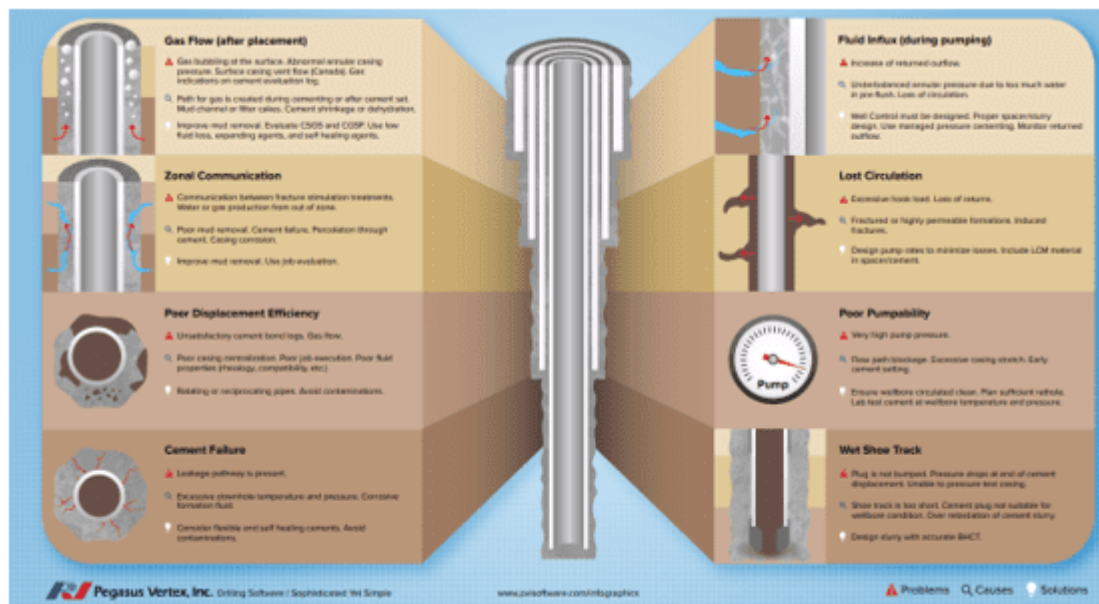
Fonte: Méndez; Loredó (2019)

Além da oportunidade de armazenamento de ar, existem também estudos para o armazenamento de água pressurizada para posterior liberação de energia (POWER TECHNOLOGY, 2016).

3.10 MONITORAMENTO DA ESTANQUEIDADE

Existem diversas formas possíveis de através da geofísica de garantir que as condições do poço estejam estáveis e com boa isolamento, mas também é possível criar uma dinâmica de monitoramento ao longo da extensão do reservatório. Dentre as formas de garantir as condições do poço está o CBL (*Cement Bonding Logging*), e das formações estão os testes de pressão (PEGASUS VERTEZ, Inc. 2021; THOMAS, 2001).

Figura 30 – Problemas comuns na cimentação de poços



Fonte: Pegasus Vertex, Inc., (2021)

Os poços de petróleo são completados com o uso de revestimentos de aço cimentados para garantir a isolamento entres as formações com a parte interna do poço. O método de CBL já mencionado, é um método indireto utilizado para garantir uma boa qualidade da cimentação. Em casos de defeitos é possível fazer uma operação de intervenção para reparar a má cimentação do poço e, dessa forma, garantir que o trabalho ficou bem solidificado. Existem casos em que *packers*, estruturas tubulares que travam nos revestimentos podem ser instaladas de forma temporária ou permanente para garantir a estabilidade de certas áreas de preocupação (THOMAS, 2001).

Figura 31 – Sistemas de monitoramento de Metano, fixo e por drones



Fonte: Baker Hughes (2021)

Com relação ao potencial de vazamentos em outras regiões do reservatório, é possível a instalação de estruturas fixas, uso de drones e, ainda, monitoramento por satélite, conforme demonstrado na figura 31 (BAKER HUGHES, 2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reengenharia da Desengenharia representa um potencial sustentável tanto para o meio ambiente, quanto econômico. A aplicação em poços e reservatórios de petróleo e gás inicialmente usados para a exploração de petróleo e gás possuem diversas possibilidades de uso através deste processo.

A depender da aplicação a ser utilizada, pode haver a necessidade de intervenção, e, conseqüentemente um investimento precisa ser feito para preparar o poço para o seu uso final. No entanto, os estudos demonstraram as vantagens de se aproveitar de uma estrutura completamente construída.

A aplicação também vai determinar o tipo de monitoramento de potenciais emissões que precisa ser estruturada para garantir zero impacto para o ambiente, e, em alguns casos, licenças especiais precisam ser desenvolvidas.



O trabalho focou nas oportunidades de reciclagem dos equipamentos da completação superior, inferior e de superfície para o reaproveitamento do aço, que contribui para a redução de emissões de CO₂ e potencial geração de créditos de carbono para a detentora dos equipamentos, um mercado ainda a ser explorado no Brasil, além da oportunidade de uso para a captura e carbono que pode ser para armazenamento de carbono gerado no Brasil, ou, em outros países do mundo, para o armazenamento de energia, sendo este potencial, através do uso de pesos, por ar comprimido, hidrogênio e até amônia. A geração de energia geotérmica também pode ser uma opção a depender da região geográfica onde o poço se encontre, e por fim o armazenamento de rejeitos de diferentes origens, que hoje em dia ocupam espaço em áreas que podem ser utilizadas para outros fins. A tabela 5 mostra algumas das opções aqui discutidas.



Tabela 5 – 5W1H de opções para poços fora de uso

O que?	Injeção de CO2	Armazenamento de Hidrogênio ou Amônia	Geotermia Total ou Parcial	Armazenamento de Combustível Nuclear depletado / Norm-Tenorm / Rejeitos	Armazenamento de Energia Potencial	Ar comprimido
Quem?	Operadora de petróleo e gás, ou empresa operadora de sistemas de captura de carbono.	Empresa produtora de hidrogênio ou amônia	Empresa geradora de energia elétrica	Centrais de rejeitos radioativos, empresas responsáveis pela destinação de material radioativo ou descontaminação, usinas nucleares.	Empresas geradoras de energia renovável ou concessionárias de energia.	Empresa geradora de energia elétrica
Como?	Bombeio através de compressores	Bombeio através de compressores	Uso do potencial geotérmico total ou parcial de uma região, seja através do bombeio de água e retorno de vapor, ou bombeio de água com retorno de água	Armazenamento em cápsulas seladas e cimentadas, posteriormente descidas no poço e finalmente definitivamente feita a cimentação do poço.	Uso de sistema de peso associado a motor/gerador elétrico.	Bombeio através de compressores e posterior liberação para a geração de energia



			aquecida que posteriormente pode ter sua temperatura um pouco mais elevada com menos uso de energia para a geração de vapor – uso do vapor em turbinas a vapor. Outra forma seria o uso da água quente para outras aplicações residenciais ou industriais.			
Onde ?	Campos depletados com boa permeabilidade e amplo reservatório.	Campos depletados com boa permeabilidade e amplo reservatório próximo a regiões produtoras	Poços de elevada temperatura.	Poços em regiões onde novas perfurações não sejam planejadas, que não cruze lençóis	Poços verticais, especialmente casos de grandes diâmetros.	Campos depletados ou não economicamente viáveis com boa permeabilidade e amplo



		de hidrogênio		freáticos e livre de sismos.		reservatório.
Por que?	Devolver o CO ₂ produzido em consequência da queima de combustíveis fósseis para o armazenamento permanente em reservatórios subterrâneos.	Proximidade, aproveitamento do espaço, redução de custo de armazenamento	Aproveitar o potencial geotérmico de alguns poços e com isso evitar o uso de outras formas de energia para produzir água quente.	Aproveitar o espaço de poços que podem ter quilômetros de profundidade e dessa forma garantir um armazenamento permanente do material radioativo sem oferecer risco à sociedade; Maior disponibilidade de espaço em superfície para outros usos.	Acumular energia potencial para liberar em momentos de escassez	Acumular energia e liberar em momentos de necessidade
Quando?	Sempre que for preciso armazenar o CO ₂ . Nem sempre o poço precisa estar	Quando o reservatório terminar sua vida econômica e existir condições para a produção de	Ao final da produção econômica do campo petrolífero	Ao final da vida útil do combustível nuclear ou do rejeito radioativo.	Durante picos de produção de energia elétrica	Durante picos de produção de energia elétrica



	próximo a região de captura, o transporte pode se dar por tubulação, caminhões, trens ou navios.	hidrogênio nas proximidades.				
--	--	------------------------------	--	--	--	--

Fonte: Autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O final do uso do poço de petróleo, ou a interrupção temporária do seu uso, não deve representar o final do valor deste para a sociedade ou ficar parada sem gerar oportunidades, o seu valor econômico pode ser ainda maior a depender do uso que se destine, e a depender da aplicação com um pequeno CAPEX e um OPEX mínimo pode-se gerar lucro por muitos anos ou oportunidades para desocupar área que previamente estavam sendo destinadas para rejeito, por exemplo.

A desengenharia não deve ser o fim ou ser vista como uma penalidade no final da depreciação do uso de um empreendimento ou ativo, mas sim deve representar uma oportunidade para a realização de mais negócios através da reengenharia.

REFERÊNCIAS

ACTIS, A. *O método Gás- Lift*. Disponível em: **Campos Marginais de Petróleo:** <<<http://camposmarginais.blogspot.com/2012/03/o-metodo-gas-lift.html>>> . 2012

AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. *Resolução ANP Nº 699 DE 06/09/2017*. Disponível em: <<ANP.GOV: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http%3A%2F%2Fwww.anp.gov.br%2Fimages%2FConsultas_publicas%2FConcluidas%2F2017%2Fn_06%2FResolucao_pocos.docx&wdOrigin=BROWSELINK>>. 2017.

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. *Opportunities in the Brazilian Oil & Gas Industry*. Fonte: Agencia Nacional do Petróleo: <<http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/Livreto_Upstream_2018-I.pdf>>. 2018

AGÊNCIA EPBR. *Monitor da Perfuração*. Disponível em: epbr: <<<https://epbr.com.br/monitor-da-perfuracao/consulta-de-pocos-perfurados>>>. 2021

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás Natural e Biocombustíveis. *Acervo de dados*. Disponível em: <<gov.br: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/dados-tecnicos/acervo-de-dados>>>. 2021

AREATECNOLOGIA. *Turbina de Vapor*. Disponível em: Areatecnologia: <<<https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbina-de-vapor.html>>>. 2021

BAKER HUGHES. *Emissions management*. Disponível em: Baker Hughes: <<<https://www.bakerhughes.com/emissions-management>>>. 2021

BORLACE, D. *Hydrogen energy storage in AMMONIA: Fantastic future or fossil fuel scam?* Disponível em: Youtube: <<https://www.youtube.com/watch?v=5Y_2Z_VwFNc>>. 2020

BraCKE, G., CHARLIER, F., LIEBSCHER, A., R. SCHILLING, F., & RÖCKEL, T. *About the Possibility of Disposal of HLRW in Deep Boreholes in Germany*. *Geosciences*, 1-17. 2017

CASTRO FARIA, M. Estrutura geológica e mineração. Disponível em: Educação Globo: <<<http://educacao.globo.com/geografia/assunto/geografia-fisica/estrutura-geologica-e-mineracao.html>>>. 2013

CBIE. O QUE SÃO OS CUSTOS DE EXTRAÇÃO DO PETRÓLEO? Disponível em: CBIE: <<<https://cbie.com.br/artigos/o-que-sao-os-custos-de-extracao-do-petroleo/>>>. 2019

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



CEPEMAR. Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo. Disponível em: Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo: <<https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/RIMAS/RIMAS_2005/Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20escoamento%20-%20Campo%20de%20golfinho%20ES.pdf>>. 2005

CONOCOPHILLIPS. *The Life Cycle of a Well - ConocoPhillips*. Disponível em: YouTube: <<<https://www.youtube.com/watch?v=0r4J34FEsTk>>>. 2015

CONSELHO DE PROMOÇÃO DA FINLÂNDIA. Os resíduos nucleares descansarão em paz. Disponível em: This is Finland: <<<https://finland.fi/pt/vida-amp-sociedade/os-residuos-nucleares-descansarao-em-paz/>>>. 2021

DA SILVA, M., BARILLAS, J., & DUTRA JR., T. Estudo Paramétrico da Injeção de Polímeros em Reservatórios de Petróleo. *XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, 1-8. 2014

DUARTE, L., & CATAIA, M. Transformações espaciais da exploração e produção de petróleo no território brasileiro: a distribuição dos poços perfurados (1922-2015). *KOSMOS*, 7-10. 2019

DW Planet A. *Can carbon capture ACTUALLY work?* Disponível em: YouTube: <<<https://www.youtube.com/watch?v=JHs-eWHb16g&t=105s>>>. 2021

E. V. LOPES, A., & ASSUMPÇÃO, M. *Uma breve conversa sobre a disciplina Sísmica I – Primeira Aula*. Disponível em: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - USP: <<https://www.iag.usp.br/~marcelo/agg232info/Power%20Points%20das%20aulas/aula01-Introducao_ao_Curso.pdf>>. 2010

ELECTRO ENERSOL. *Geotermia*. Fonte: Electro Enersol: <<<https://www.electroenersol.com/?p=44>>>. 2011

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



F. SERVICE, R. *Ammonia—a renewable fuel made from sun, air, and water—could power the globe without carbon.* Disponível em: Science: <<<https://www.science.org/news/2018/07/ammonia-renewable-fuel-made-sun-air-and-water-could-power-globe-without-carbon>>>. 2018

GENCELL LTD. *Ammonia: The Next Big Thing in Energy Production - GenCell.* Disponível em: Youtube: <<<https://www.youtube.com/watch?v=drdDt1ski1I>>>. 2019

GOMES, A., KOVALESKI, J., SCHMANECH TRAMONTIN, A., & SCHMANECH TRAMONTIN, A. Reengenharia: Revisando os velhos conceitos ainda atuais. *Gestão da Produção: Organização e Planejamento*, 218-225. 2005

GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF TRINIDAD AND TOBAGO. *Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS).* Disponível em: Ministry of Energy and Energy Industries: <<<https://www.energy.gov.tt/carbon-capture-utilization-and-storage-ccus/>>>. 2021

GOVERNO DE SÃO PAULO. *Tratamento e destinação.* Disponível em: CETESB: <<<https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/vazamentos-de-oleo/acoes-de-resposta/residuos-oleosos/tratamento-e-destinacao/>>>. 2021

GRAVITRICITY. *Latest Gravitricity Explainer Extended Animation Spring 2020.* Disponível em: Youtube: <<<https://www.youtube.com/watch?v=meFkbADJq28>>>. 2020

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *The Future of Hydrogen - Seizing today's opportunities.* Disponível em: IEA: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf>>. 2019

IVANOV, K., BELOVSKI, I., & ALEKSANDROV, A. Research and Analysis of the Electromotive Voltage Generated by Seebeck and Peltier Modules. *12th National Conference with International Participation "Electronica 2021"*, 1-4. 2021

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



JÁCOME, I. *Após um ano, petrolífera aumenta em 30% produção de campos vendidos pela Petrobras no RN*. Disponível em: G1: <<<https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2021/06/18/apos-um-ano-petrolifera-aumenta-em-30percent-producao-de-campos-vendidos-pela-petrobras-no-rn.ghtml>>>. 2021

KÜHN, M., STREIBEL, M., NAKATEN, N., & KEMPKA, T. Integrated Underground Gas Storage of CO₂ and CH₄ to Decarbonise the “Power-to-gas-to-gas-to-power” Technology. *ScienceDirect*, 9-15. 2014

LINCERADIO. *O que é Descontaminação NORM/TENORM?* Disponível em: LINCERADIO: <<<https://linceradio.com.br/o-que-e/o-que-e-descontaminacao-norm-tenorm/>>>. 2021

LOPES DIAS, D. *Nitrogênio*. Disponível em: Brasil Escola: <<<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/nitrogenio.htm>>>. 2021

MATLAK AL-HAJERI, M., AL SAEED, M., DERKS, J., FUCHS, T., HANTSCHHEL, T., KAUERAUF, A., PETERS, K. Basin and Petroleum Modelling. *Oilfield Review*, 14-29. 2009

MENÉNDEZ, J., & LOREDO, J. Compressed Air Energy Storage plants in abandoned underground mines: Preliminary analysis and potential. *IAPE '19*, 1-4. 2019

MODEKURTI, S., ESLICKB, J., OMELLB, B., BHATTACHARYYA, D., C. MILLERB, D., & E.ZITNEYC, S. Design, dynamic modeling, and control of a multistage CO₂ compression system. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 31-45. 2017

MORSTYN, T., CHILCOTT, M., & D. MCCULLOCH, M. Gravity Energy Storage with Suspended Weights for Abandoned Mine Shafts. *Applied Energy*, 1-7. 2019

PEGASUS VERTEX, INC. *Common Well Cementing Problems*. Disponível em: Pvisoftware:

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



<<https://www.pvisoftware.com/infographics/Common_Well_Cementing_Problems.PDF>>. 2021

PETROBRAS. *Plano de Desenvolvimento Aprovado Reunião de Diretoria nº 827 de 09/12/2015 Resolução nº 1001/2015*. Disponível em: Agência Nacional do Petróleo: <<http://www.anp.gov.br/images/planos_desenvolvimento/Marlim.pdf>>. 2015

PETROSKILLS. *Introduction to Artificial Lift*. Disponível em: Petroskills: <<https://www.petroskills.com/blog/entry/00_totm/sept17-sub-totm-artificial-lift?page=5#.YUXtTp1KjIU>>. 2017

POWER TECHNOLOGY. *Could depleted oil wells be the next step in energy storage?* Disponível em: Power Technology: << <https://www.power-technology.com/features/featurecould-depleted-oil-wells-be-the-next-step-in-energy-storage-5680002/>>>. 2016

PUC-RIO. *Maxwell*. Fonte: PUC-Rio: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/22966/22966_3.PDF>>. 2011

ROSA, A. J. *Engenharia de Reservatório de Petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência. 2006

SÁNCHEZ, L. *Desengenharia. O passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais*. São Paulo: EdUSP/FAPESP. 2001

SANDIA NATIONAL LABORATORIES. *Economic Analysis of Large-Scale Hydrogen Storage for Renewable Utility Applications*. Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550: SANDIA REPORT. 2011

SANSONE, E. *Permeabilidade das Rochas*. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1678305/mod_resource/content/1/07%20-%20PMI1673%20-%202014%20-%20Permeabilidade.pdf>>. 2015

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



SHEN, Z.-G., TIAN, L.-L., & LIU, X. Automotive exhaust thermoelectric generators: Current status, challenges and future prospects. *Energy Conversion and Management*, 1138-1173. 2019

SHULMAN, G. *LOW TEMPERATURE FLASHED STEAM POWER GENERATION*. Disponível em: <<<https://www.geothermal-energy.org/>: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/1995/3-shulman.pdf>>>. 1995

SILVA, M., RIBEIRO, J., CARMO, J., GONCALVES, L., & CORREIA, J. Thin-films for Thermoelectric Applications. *University of Minho*, 1-23. 2013

SMITH, F. *Hazardous Waste Disposal And Cleaning*. Disponível em: SlideShare: <https://www.slideshare.net/mohammedashique5/hazardous-waste-disposal-and-cleaning-biochemical-and-nuclear-wastes>>>. 2018

SORENSEN, E. *Canada's nuclear waste to be buried in deep underground repository*. Disponível em: Global News: <<<https://globalnews.ca/news/5329835/canadas-nuclear-waste-to-be-buried-in-deep-underground-repository/>>>. 2019

STORELECTRIC. *The Storelectric Technology*. Disponível em: Storelectric: <<<https://www.storelectric.com/technology/>>>. 2021

SWAROWSKI ARBOIT, N., DECEZARO, S., MELLO DO AMARAL, G., LIBERALESSO, T., MICHAEL MAYER, V., & DA CUNHA KEMERICH, P. Potencialidade de utilização da energia geotérmica no brasil – uma revisão de literatura. *Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 26*, 155-168. 2013

THOMAS, J. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência. 2001

TOTAL. *Total - What is CCUS?* Disponível em: YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=HSvWrjviqZM>>>. 2018

RC: 120912

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/reengenharia-da-desengenharia>



US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Nuclear explained: Nuclear power and the environment*. Disponível em: US Energy Information Administration: <<<https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-and-the-environment.php>>>. 2020

VISSER, W. *Why metals should be recycled, not mined*. Disponível em: The Guardian: <<<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2014/nov/05/metals-recycled-mine-extractive-business>>>. 2014

ZHANG, J., GUO, J., LI, Y., & SUN, Z. 3D-Basin Modeling of the Changling Depression, NE China: Exploring Petroleum Evolution in Deep Tight Sandstone Reservoirs. *Energies*, 1-27. 2019

ZHOU, W., YAMAMOTO, K., MIURA, A., IGUCHI, R., MIURA, Y., UCHIDA, K.-I., & SAKURABA, Y. Seebeck-driven transverse thermoelectric generation. *Nature Materials*, 463-467. 2021

APÊNDICE REFERÊNCIA NOTA DE RODAPÉ

3. NORM e TENORM são materiais radioativos de ocorrência natural.

Enviado: Abril, 2022.

Aprovado: Julho, 2022.