

UTILIZAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO ABANDONADOS PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA GEOTÉRMICA

Tulio Santana Montenegro¹
Marcos Antônio Costa Junior²

Engenharia de Petróleo
 cadernos de
graduação
ciências exatas e tecnológicas
ISSN IMPRESSO 1980-1777
ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Abaixo da superfície da terra, existem recursos geotérmicos com potencial para dar uma contribuição significativa à demanda global de energia de maneira ecologicamente correta, muitos desses recursos poderiam ser utilizados utilizando-se a estrutura de poços de petróleo abandonados para recuperação do calor destes locais, o que representaria uma importante alternativa, tanto do ponto de vista econômico quanto ecológico. O presente trabalho propõe a análise dos fatores econômicos, associados ao custo do MW produzido através de fontes geotérmicas. Considerando-se que o custo unitário do MW está diretamente ligado à capacidade instalada, uma unidade de 50 MW teria um custo de US\$ 2200/MW. As cidades brasileiras candidatas a receber investimentos nesta área seria as localizadas na região centro sul. Muito ainda se precisa investigar e investir na energia geotérmica para que ela seja de fato competitiva.

PALAVRAS-CHAVE

Energia geotérmica, poços de petróleo abandonados, viabilidade econômica.

ABSTRACT

Below the surface of the earth, there are geothermal resources with the potential to make a significant contribution to global energy demand in an environmentally friendly way, many of these sources could be harnessed from the abandoned oil well structure, representing an important alternative, both from the point of view economic and ecological. The present work proposes the analysis of economic factors, associated to the cost of MW produced through geothermal sources. Considering that the unit cost of MW is directly related to the installed capacity, a unit of 50MW would cost US \$ 2200 / MW. The Brazilian cities eligible for investments in this area would be those located in the south-central region. Much more is needed to investigate and invest in geothermal energy so that it is actually competitive.

KEYWORDS

Geothermal energy. Abandoned Oil Wells. Economic viability.

1 INTRODUÇÃO

O abandono de um poço é uma consequência natural das operações de produção. Por mais que seja um procedimento que não gera receitas para a companhia, é imprescindível que seja feito com grande responsabilidade, tendo em vista que a integridade do meio ambiente pode ser gravemente afetada. Os principais objetivos de realizar o abandono de um poço são: impedir que algum fluido proveniente de formações mais pressurizadas na subsuperfície entre em contato com outras formações, com o oceano, com o lençol freático ou mesmo com a terra; proteger as reservas que ainda restam no reservatório e atender a todos os requisitos legais impostos por órgãos reguladores.

Para atingir tais metas, o requisito mais fundamental é que não existam caminhos por meio dos quais os fluidos consigam migrar das formações mais pressurizadas para a superfície. Dessa forma, o abandono do poço consiste em criar barreiras ao fluxo (SOBRINHO, 2016). De acordo com a ANP, com base em dados de 2010 a 2015, são abandonados permanentemente em média 391 poços por ano no país. A maior parte dos abandonos permanentes se refere a poços marítimos (ANP, 2016). O que seria necessário para tornar um poço preexistente promissor para a captura geotérmica seria um aprofundamento do poço em apenas 10 ou 20 metros, uma vez que os reservatórios de água tendem a assentar-se logo abaixo das reservas de petróleo e gás (WILT, 2016).

O ambiente econômico atual e as iminentes mudanças climáticas decorrentes da combustão de hidrocarbonetos tornam o uso de fontes de energia alternativas, incluindo geotérmicas, imperativas para o futuro próximo (DAVIS, 2009). Um dos principais problemas do mundo atual é o aquecimento global causado pela emissão de gases de efeito estufa em atividades geralmente ligadas ao consumo de derivados de petróleo (LAVEZZO, 2016). Porém, o petróleo continuará sendo, ainda por muitos anos, um

recurso estratégico para as nações e esta indústria uma das maiores do mundo, movimentando bilhões e envolvendo condições geopolíticas explosivas no mundo.

De forma simples, o gradiente geotérmico é a diferença de temperatura entre duas superfícies. No caso da energia geotérmica, é a diferença de temperatura entre o magma do núcleo externo e os lençóis freáticos, sendo que sempre que há um gradiente geotérmico entre dois pontos, haverá um processo dinâmico de equilíbrio térmico, resultando em uma redução do gradiente entre as superfícies, no caso, entre o magma e os lençóis freáticos (NASCIMENTO, 2012).

Quando o processo anteriormente descrito ocorre, havendo transferência térmica do ponto mais quente para o ponto mais frio com o objetivo de reduzir o gradiente, ocorrerá o denominado fluxo térmico, contudo este fluxo depende diretamente das características do material, ou seja, da condutividade térmica. É importante salientar que existem três formas de transferências de calor utilizadas por nosso planeta: Condução, convecção e radiação.

A utilização de uma nova tecnologia para a produção de energia é extremamente desejável. Uma energia limpa e que não prejudica o meio ambiente. Utilizar poços já perfurados ajuda bastante, pois poupa um gasto inicial de perfuração e reutiliza um poço que iria ser abandonado.

2 ABANDONO DE POÇO

O registro da participação do petróleo na vida humana remonta a tempos bíblicos. Ao longo do tempo, o petróleo foi se impondo como fonte de energia, principalmente depois do advento da petroquímica, nas quais centenas de novos compostos, tais como: o plástico, as borrachas sintéticas, as tintas, os corantes, os adesivos, os solventes, os detergentes, os explosivos, os produtos farmacêuticos, os cosméticos etc., foram desenvolvidos (THOMAS, 2001).

Hoje, o petróleo representa a principal fonte de energia primária consumida no mundo e movimenta bilhões de dólares diariamente em atividades industriais gigantescas, passando a ser imprescindível às facilidades e comodidades da vida moderna (SANTOS, 2006)

Na cadeia produtiva das atividades de Exploração e Produção (E&P), o custo de abandono faz parte dos seus processos básicos. Portanto, na análise da viabilidade técnica de um projeto de exploração e produção de óleo e gás, deve-se levar em conta desde os investimentos para obtenção dos dados necessários ao estudo da área a ser explorada, até os custos de abandono quando do final da vida econômica do campo produtor de óleo e gás.

Os custos de abandono (desativação, remoção e restauração do local) são, portanto, componentes fundamentais em qualquer análise de viabilidade econômica, uma vez que, em alguns casos, eles são extremamente elevados e chegam a exceder os investimentos incorridos para a construção da infraestrutura e instalação dos equipamentos necessários a produção.

Existem três principais razões para se declarar que um poço necessita ser abandonado: Cessão da produção, poço compartilhado ou abandono de perfurações piloto e poços exploratórios (SOARES, 2017).

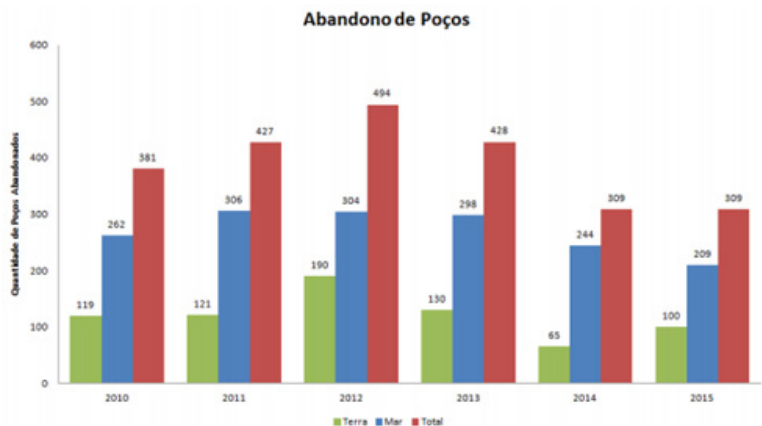
Quando o poço não é mais economicamente rentável, ou seja, os lucros com sua produção não superam mais os gastos, não é mais viável mantê-lo em operação, pois sua produção está cessando.

A técnica do poço compartilhado consiste em abandonar parte do poço já perfurado e completado, perfurá-lo novamente, seguindo uma trajetória lateral de forma a atingir outras áreas mais produtivas do reservatório. Nessa operação, retira-se a parte superior da coluna de produção (SOARES, 2017).

Nos casos de abandono de Perfurações Piloto e Poços Exploratórios, os poços são tamponados e abandonados imediatamente após serem perfurados e/ou testados. Não haverá a completação destes poços. Independente do poço ser *offshore* ou *onshore*, os procedimentos de abandono utilizados são muito similares e podem variar apenas de acordo com o que é exigido na regulamentação das agências locais. Quando um poço é abandonado, as operadoras são obrigadas a deixá-lo em condições que preservem o meio ambiente, mantenham a integridade do poço e vão ao encontro dos requerimentos exigidos pelas agências reguladoras locais (SOARES, 2017).

Os abandonos permanentes no Brasil sofreram uma queda no número total entre os anos de 2012 e 2015 (TERAOKA, 2017), como pode ser visto na Figura 1, apenas o número de abandono de poços em terra teve um aumento do ano de 2014 para 2015, os abandonos permanentes por localização, terra ou mar, no período de 2010 a 2015. Percebe-se que os abandonos de poços marítimos representam cerca de 70% dos poços abandonados no país.

Figura 1 – Poços abandonados permanentemente no Brasil, por localização



Fonte: Teraoka (2017).

Segundo a ANP, em sua portaria nº 25 de 06/03/2002, o abandono de poço é definido como uma série de operações destinadas a assegurar o perfeito isolamento das zonas de petróleo e/ou gás, também dos aquíferos existentes, de modo a prevenir a mi-

gração dos fluidos entre as formações, seja pelo poço, seja pelo espaço anular entre o poço e o revestimento: e a migração de fluidos à superfície do terreno ou fundo do mar.

Esse abandono pode ser permanente, quando não houver interesse de retorno ao poço; ou temporário, quando por qualquer razão houver interesse de retorno ao poço. Ainda segundo a ANP, durante a fase de produção todo poço produtor de petróleo e/ou gás ou injetor somente poderá ser abandonado após a autorização escrita da ANP. O poço não poderá ser abandonado enquanto as operações necessárias ao abandono puderem vir a prejudicar de alguma forma quaisquer operações em poços vizinhos, a menos que o poço em questão represente ameaça de dano à segurança e/ou ao meio ambiente.

2.1 ABANDONO PERMANENTE

Este tipo de abandono é o normalmente utilizado, pois usualmente os poços são abandonados quando não mais rentáveis e, portanto, não há a intenção de reentrada para retorná-los à produção.

O abandono permanente ocorre da seguinte forma: operadores removem a completação ou a coluna de produção e depois instalam as barreiras necessárias (usualmente, tampões de cimento) em profundidades específicas ao longo da zona produtora e zonas de água para atuar como barreiras permanentes. Esta operação parece simples, porém, se não tiver um plano bem definido, o sucesso da operação pode ser comprometido e fugir do orçamento planejado. Sem dados atualizados e suficientes sobre os poços, o planejamento das operações de abandono pode sofrer mudanças durante sua execução (AGUILAR, 2016).

A ANP, portaria nº 25 de 06/03/2002 capítulo IV, determina que no abandono permanente de poço equipado com *liner*, este deverá ser isolado por tampão de cimento de, no mínimo trinta metros de comprimento, com a base do tampão posicionada no topo do *liner* sem prejuízo da adoção dos demais procedimentos de abandono.

2.2 ABANDONO TEMPORÁRIO

Opta-se por este tipo de abandono quando o poço não é mais rentável em determinado momento de seu ciclo de vida, porém, as zonas produtoras às quais está conectado ainda têm potencial econômico. Também pode ser feito quando existe a necessidade de reparo no BOP entre as etapas de perfuração e completação dos poços. Nesses casos, faz-se o chamado abandono temporário, onde também são colocados tampões para inviabilizar o fluxo de fluidos, mas estes são temporários, podendo ser facilmente retirados em um momento de reentrada no poço e retorno da produção.

De acordo com a regulação brasileira, proposta pela ANP, abandonos temporários monitorados devem ter um prazo de duração máxima de três anos. Após isso, os poços devem ser abandonados permanentemente ou voltar à atividade.

Em abandonos temporários, podem ser utilizados equipamentos de segurança que pertencem ao ciclo de vida do poço e não necessariamente apenas do abandono temporário. Esses equipamentos irão compor o Conjunto Solidário de Barreiras (CSB).

Os abandonos temporários podem ser classificados de acordo com o monitoramento. Há o abandono temporário monitorado, em que ocorre a monitoração ou verificação periódica. Podendo essa ser um programa de inspeção visual periódica no entorno do poço, monitoramento dos anulares, entre outros. Esse tipo de abandono não há limite de duração, desde que as monitorações ocorram. O outro tipo de abandono temporário é o não monitorado, esse é aplicado em poços em que não há um monitoramento ou verificação periódica. Esta condição de temporário não monitorado pode durar no máximo três anos (IBP, 2017).

2.3 POÇO PARTILHADO

Este método seria o mais interessante quando se sabe que o reservatório ainda tem potencial econômico, porém aquele poço já não é mais viável para a recuperação de hidrocarbonetos.

Essa técnica consiste em utilizar a estrutura superior do poço e isolar sua estrutura inferior, realizando-se o abandono propriamente dito nessa porção do poço. A idéia é aproveitar toda a estrutura de completação já encontrada no poço e reperfurá-lo, direcionalmente, de forma a atingir novas zonas produtoras do reservatório em questão (SOARES, 2017).

Para determinar a melhor maneira de se abandonar um poço, é necessária a coleta de dados sobre ele, porém, pode ser muito desafiador determinar o estado do poço, dependendo de sua idade, história e qualidade dos registros. Com esse desafio, vem o risco, pois as condições do poço podem ser favoráveis ou não, e isso impacta no orçamento do abandono e pode gerar custos adicionais.

2.4 CUSTOS PARA O ABANDONO DE POÇO

Nos projetos de produção de reservas de petróleo e gás natural é importante que seja levado em consideração, além dos investimentos iniciais com perfuração de poços, compra e instalação de equipamentos, construção de estação de coletas de petróleo, dentre outros, os custos inerentes ao desmantelamento, remoção e restauração das áreas produtoras de óleo e gás. Além do mais, a importância do custo de abandono para as estratégias da empresa, quando analisado sob o enfoque do ciclo de vida do produto, é de importância fundamental (SANTOS, 2006).

Na análise do ciclo de vida é preciso levar em consideração todos os custos que incorrem no período útil de um produto/projeto, mesmos aqueles que incorrem bem antes da fase inicial dos processos produtivos (design de um produto, estudos de viabilidade, projetos de engenharia etc.) até aqueles referentes abandono definitivo de sua produção e comercialização, descarte final de quaisquer resíduos ou até quando as obrigações inerentes perdurarem.

Quando o poço alcança o seu limite econômico, ele deve ser retirado de operação e tamponado, de modo a isolar os fluidos das formações entre si e da superfície, visando minimizar os riscos de acidentes e danos ao meio ambiente. Todas as instalações e equipamentos montados no poço devem ser removidos. Além disso, a área deve ser recuperada para as condições existentes no período anterior à intervenção produtiva, de modo que o impacto no meio ambiente seja o mínimo possível.

Tratam-se, portanto, de custos inevitáveis que na indústria petrolífera incluem o desmantelamento, demolição ou desmontagem e a remoção de instalações e equipamentos utilizados na produção e, ainda, a restauração e recuperação da área para as condições ecologicamente similares às existentes antes do início da extração de petróleo e gás natural (SANTOS, 2006).

Os maiores custos de abandono ocorrem quando as áreas a serem abandonadas estão situadas no mar (*offshore*), na qual existe a necessidade de desmontagem dos equipamentos e outras estruturas dos poços (normalmente em ambientes hostis) e a recuperação da superfície oceânica. Os custos do abandono *offshore* são extremamente elevados e em alguns casos excedem aos gastos para construir e preparar as instalações, além de incorrerem por vários períodos futuros. Nas operações em terra (*onshore*), entretanto, muitas companhias assumem que o valor residual deve ser igual à soma dos custos de desmantelamento das instalações e dos custos necessários às atividades de limpeza e restauração da área, sendo que o custo líquido do desmantelamento frequentemente é ignorado (JENNING; FEITEN; BROCK, 2000).

De acordo com o *Decommissioning Insight 2016*, publicado pela Oil&Gas UK, a média de custo de abandono por poço para o período de 2016 a 2025 é de £ 3 milhões para a plataforma continental do Reino Unido e de £10 milhões para poços na plataforma continental Norueguesa. O que, na época, representava aproximadamente 12 milhões de reais para a plataforma do Reino Unido e 40 milhões de reais para a plataforma Norueguesa.

3 ENERGIA GEOTÉRMICA

Energia geotérmica é energia adquirida a partir do calor que provém da Terra, mais justamente do seu interior. Este fluxo contínuo de calor abaixo da Terra proporciona uma grande oportunidade para a energia renovável que é capaz de fornecer eletricidade de forma contínua.

Devido a necessidade de adquirir energia elétrica de uma forma mais limpa e em quantidades cada vez maiores, foi desenvolvido um modo de usufruir esse calor para a geração de eletricidade, atingindo máximos de milhares de graus Celsius, semelhante à superfície do sol.

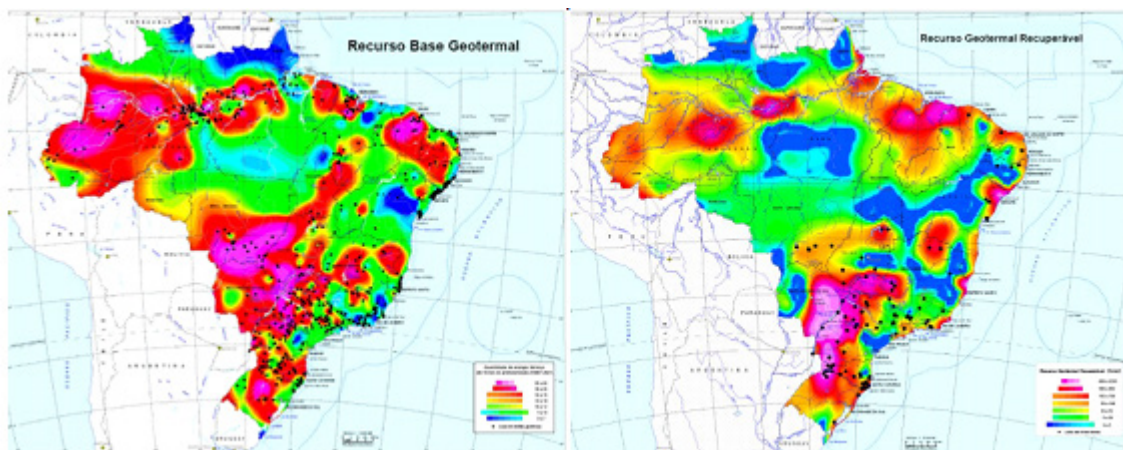
O uso dessa energia possui algumas vantagens, tais como: ajudar países em desenvolvimento, não ser prejudicial à Terra, ser confiável, limpa e possuir alta eficiência energética. Porém, em contrapartida, ela também possui algumas desvantagens como: elevados custos de instalação, escassez de locais com elevado potencial geotérmico, manutenção cara e poluição sonora.

Em um mundo que precisa cada vez mais de opções energéticas limpas, a geotérmica chama a atenção pelos benefícios que proporciona quando desenvolvida adequadamente. Ela é capaz de gerar eletricidade com menos impacto ambiental e custo menor do que o exigido pelos combustíveis fósseis (petróleo e carvão, por exemplo). E, por ser uma fonte renovável, ajuda a melhorar a segurança do abastecimento elétrico (CERATTI, 2016).

O custo inicial de explorar e perfurar entre três e cinco poços geotérmicos varia de 20 milhões a 30 milhões de dólares (CERATTI, 2016), por isso, reutilizar poços de petróleo que não estão mais produzindo, é uma excelente alternativa, pois já pouparia esse gasto inicial de perfuração de poços.

De acordo com Cardoso, Hamza e Alfaro (2010), os recursos geotérmicos explorados no Brasil são estimados em 250 MWt (Mega Watt termal), sendo que o país apresenta uma localidade considerada de alta entalpia e 25 localidades consideradas de baixa entalpia. Observa-se que, para o Brasil, os maiores valores (entre 80-100 mW/m²) se encontram nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Sul. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicou em 2010 o Atlas Nacional do Brasil, onde estão disponíveis uma série de mapas geotermiais, como os de recurso base e recurso recuperável, os quais são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Mapa de recurso base geotermal para o Brasil e mapa de recurso geotermal recuperável'



Fonte: IBGE (2010).

A viabilidade de utilização da energia geotérmica no Brasil ainda é discutida, sendo necessários estudos que revelem, de forma mais aprofundada, a real potencialidade de aplicação desse tipo de energia. Segundo Arboit (2013), atualmente estão em pauta investimentos principalmente quanto à exploração do potencial geotérmico do Aquífero Guarani, cuja temperatura da água pode ser capaz de aquecer a água de edifícios ou casas e sistemas de calefação e lareiras.

4 METODOLOGIA

Os principais modelos utilizados para projetar custos de sistemas de produção de energia geotérmicos são modelos exponenciais e modelos harmônicos.

A Equação 1 foi proposta por Sanyal (2004) e foi utilizada para calcular os valores de custo em usinas.

$$(1) \quad C_d = 2500e^{-0,003(P-5)}$$

Onde; C_d = Custo (US\$);

P = Potência (MW).

A Equação 2 foi utilizada para calcular o declínio harmônico na produtividade de um poço com o tempo.

$$(2) \quad W = \frac{W_i}{1 + D_i t}$$

Onde: W_i = Produtividade inicial (MW);

D_i = Taxa de declínio inicial anual;

W = Produtividade no ano (MW);

t = Tempo (ano).

A Equação 3 foi utilizada para determinar o tempo para que a capacidade instalada da usina possa ser mantida sem qualquer perfuração de poços, após o início da operação.

$$(3) \quad T_c = \frac{1}{D_i} \left[\frac{W_i N_{wi}}{\left(\frac{1+r}{100} \right)^P} - 1 \right]$$

Onde: D_i = Taxa de declínio inicial anual;

W_i = Produtividade inicial (MW);

N_{wi} = Número inicial de poços;

P = Capacidade da usina (MW);

r = capacidade de produção de reservas mínimas exigida.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As usinas de energia geotérmica são, como todas as outras tecnologias renováveis, relativamente intensivas em capital, mas também apresentam custos operacionais baixos e previsíveis. Os custos de engenharia, aquisição e construção (EPC) de uma usina geotérmica seguem as tendências dos preços das commodities e dos custos de perfuração. Assim, quando os mercados de commodities e petróleo estão em alta, os custos de desenvolvimento de usinas de energia geotérmicas também aumentam. O oposto acontece quando esses mercados estão desacelerando (IRENA, 2017).

Estimativas da Comissão de Energia da Califórnia (CEC) de 2007 colocam os custos de geração para uma usina binária geotérmica de 50 MW a US \$ 92 por megawatt hora e para uma usina geotérmica *dual flash* de 50 MW a US \$ 88 por megawatt hora, que ao longo da vida da planta pode ser competitivo com uma variedade de tecnologias, incluindo gás natural. De acordo com o relatório da CEC, o gás natural custa US \$ 101 por megawatt/hora para uma usina de ciclo combinado de 500 MW e

US \$ 586 por megawatt/hora para uma usina de ciclo simples de 100 MW. Em média, o custo dos novos projetos geotérmicos variava de 6 a 8 centavos de dólar por quilowatt/hora, de acordo com um relatório de 2006, incluindo o crédito fiscal à produção.

O preço da energia Geotérmica não se altera de acordo com o preço do petróleo e do gás. A energia geotérmica atua como um estabilizador de preços que compensa a dependência dos EUA em relação aos mercados de energia de combustíveis fósseis altamente voláteis. Isso ocorre porque a energia geotérmica não precisa de combustível externo para operar – a energia geotérmica depende de uma fonte constante de combustível livre. Energia geotérmica é capital intensivo, assim todo o combustível é essencialmente pago antecipadamente. No entanto, uma vez que o projeto de energia é construído, a maioria de seus custos de produção de energia são conhecidos e poucos parâmetros de mercado podem modificá-los.

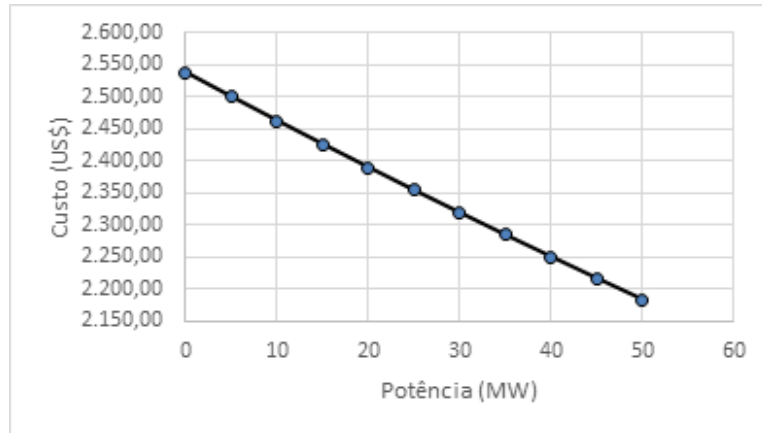
Existem muitos fatores que influenciam o custo de uma usina de energia geotérmica. Em geral, as usinas geotérmicas são afetadas pelo custo do aço, outros metais e mão de obra, que são universais para a indústria de energia. No entanto, os custos de perfuração também podem variar. Projetos geotérmicos são específicos do local, portanto, os custos para se conectar à rede elétrica variam de projeto para projeto. Além disso, se o projeto é o primeiro em uma determinada área ou reservatório, isso afeta os riscos e os custos.

A aquisição e arrendamento de terras também varia, porque para explorar completamente um recurso geotérmico, um desenvolvedor é obrigado a arrendar os direitos para 2.000 acres (8,1 km²) ou mais, segundo a *Geothermal Energy Association*. Desafios para locação e licenciamento variam de projeto para projeto; especialmente em terras federais. Esses fatores incluem: Tamanho da planta, tecnologia de usina, conhecimento do recurso, temperatura do recurso, profundidade de recursos e permeabilidade, políticas ambientais, incentivos fiscais, mercados, opções de financiamento e custo e atrasos.

Um estudo de 1995 estima que os custos de geração de energia aumentariam 17% para o gás natural e 25% para o carvão se os custos ambientais fossem incluídos. Estes custos incluem a degradação do solo, as emissões de produtos químicos tóxicos e as emissões, a extinção forçada e a destruição de animais e plantas e os impactos na saúde para os seres humanos. Custos de segurança nacional ainda mais altos precisam ser considerados se o combustível, como petróleo ou gás natural, for importado.

As usinas geotérmicas são caracterizadas por alto investimento de capital para exploração, perfuração de poços e instalação de usinas, mas com baixo custo de operação e manutenção. As centrais geotérmicas não têm custos de combustível e, ao longo de uma vida típica de 30 anos, os custos de combustível para uma usina de gás natural ou carvão podem representar o dobro do custo de capital inicial. Ao longo da vida da usina, quando você considera os custos de capital e os custos totais de combustível, os projetos geotérmicos podem ser um investimento sólido.

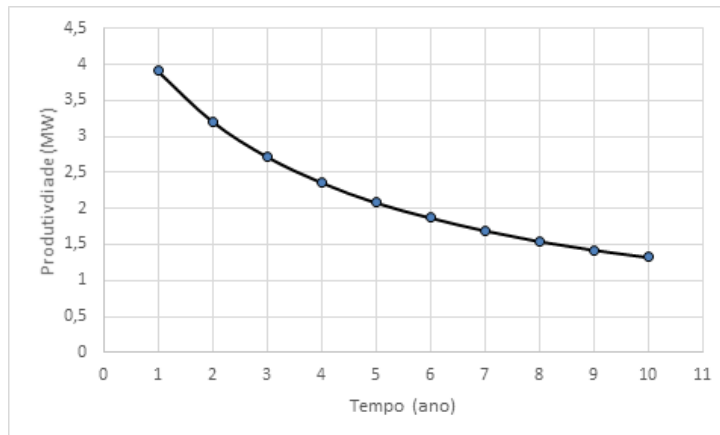
Ao seguir a Equação 1, proposta por Sanyal (2004), foi possível calcular os valores do custo em usinas com potência estimada até 50 MW, um valor médio de potência de usina geotérmica, o gráfico apresentando os resultados está mostrado na Figura 3. É possível observar que quanto maior a capacidade instalada menor o custo unitário por MW.

Figura 3 – Relação Custo x Potência

Fonte: Autores (2018).

Poços geotérmicos geralmente sofrem um declínio “harmônico” na sua produtividade com o tempo (SANYAL, 2004). Para o cálculo desse declínio harmônico, foi utilizada a Equação 2.

A produtividade anual foi calculada, utilizando valores aproximados, pois há a impossibilidade de se obter os valores reais (SANYAL, 2004). Uma taxa de declínio anual inicial de 28% ao ano (SANYAL, 2004) e uma produtividade inicial de 5 MW. Tal produtividade foi estimada para um período inicial de 10 anos, conforme apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Cálculo da produtividade anual por 10 anos

Fonte: Autores (2018).

Foi possível determinar, utilizando a Equação 3, qual será o tempo para que a capacidade instalada da usina possa ser mantida sem qualquer perfuração de poços, após o início da operação.

Os resultados obtidos, referentes ao cálculo realizado pela Equação 3 e relacionando aos resultados anteriores podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 – Cenários de Desenvolvimento Analisados

| Capacidade da planta (MW) | Custo Unitário (US\$) | Número inicial de poços | Tempo sem perfuração (Anos) |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 5 | 2.500 | 2 | >30 |
| 10 | 2.463 | 3 | >30 |
| 20 | 2.390 | 5 | 9 |
| 30 | 2.319 | 7 | 2 |
| 50 | 2.184 | 11 | 0 |

Fonte: Adaptado de Sanyal (2004).

De acordo com a capacidade da planta, é possível determinar um custo unitário e o seu tempo de funcionamento sem a necessidade de uma nova perfuração. Quanto maior for a capacidade dessa planta, menos custo terá, porém, haverá a necessidade de uma nova perfuração. Há vários tipos de destinação direta para o calor extraído: bombas de calor, aquecimento de residências e piscinas termais estão entre os tipos de uso mais comuns em todo o mundo. A Tabela 2 lista as principais aplicações e sua respectiva capacidade instalada no planeta (ANJOS, 2018).

Tabela 2 – Aplicações diretas da energia geotérmica e suas respectivas capacidades instaladas em 2015

| Aplicação | Capacidade instalada em 2015 (MWt) |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Bombas de calor | 49898 |
| Aquecimento de residência | 7556 |
| Aquecimento de estufa | 1830 |
| Aquecimento de lagos de agricultura | 695 |
| Secagem agrícola | 161 |
| Uso industrial | 610 |
| Piscina termal (lazer) | 9140 |
| Refrigeração/derretimento de neve | 360 |
| Outro | 79 |
| Total | 70329 |

Fonte: Anjos (2018).

Desses 70.329 MWt, pouco mais de 360 MWt de capacidade instalada estão no Brasil, sendo a maior parte do uso para piscinas termais. Apesar do pouco uso, o país possui um grande potencial geotérmico de baixa qualidade, isto é, de baixa temperatura (ANJOS, 2018). Segundo Anjos (2018), alguns locais do Brasil tiveram suas potências geotérmicas conhecidas e representadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Potência geotérmica em alguns locais do Brasil

| Local | Potência da bomba (KW) |
|--------------------|------------------------|
| Ponta Grossa | 430,2 |
| Guarani | 270 |
| Além Paraíba | 436,5 |
| Coronel Fabriciano | 453,7 |
| Cachoeira Pajéu | 456,3 |
| Diamantina | 455,9 |
| Guanhães | 452,9 |
| Itabira | 447,2 |
| Manhuaçu | 437,7 |
| Mantena | 437,7 |
| Medina | 455 |
| Angra dos reis | 266,2 |

Fonte: Anjos (2018).

Com base nos dados obtidos os dados das potências nessas determinadas localidades e utilizando a Equação 1, já exposta, foram encontrados valores referentes ao custo, que considerando-se uma média, fica em torno de US\$ 2535,00. O que evidencia um potencial de instalação deste tipo de unidade no país.

6 CONCLUSÃO

Grande parte da eletricidade usada no mundo é gerada pela queima de combustíveis fósseis. Combustíveis fósseis têm o potencial de prejudicar o meio ambiente, tanto quando extraídos da Terra como quando queimados para criar energia. No entanto, a população da Terra continua a depender de combustíveis fósseis não renováveis para a produção de energia.

A energia geotérmica é uma fonte de energia limpa, segura e abundante que minimiza os impactos ecológicos melhor do que qualquer outra fonte de energia renovável. O aspecto econômico de um projeto de energia geotérmica se beneficiaria da utilização de um poço de petróleo abandonado.

Com o modelo utilizado, chegou-se ao resultado dos custos relacionados a capacidade de uma usina geotérmica. Uma usina que possui capacidade de 5MW tem um custo de US\$ 2.500, em contrapartida, usinas com maiores capacidades, possuem um custo menor, usinas com 50 MW, por exemplo, possuem o custo de US\$ 2.184. A produtividade anual (em MW) de uma usina geotérmica, considerando-se um horizonte de 10 anos, foi estimada em 3,91 MW no primeiro ano até 1,32 MW no décimo ano.

Os resultados para os potenciais geotérmicos de localidades no Brasil ficaram próximos ao valor médio de US\$ 2.535/MW. O Brasil é um país com pouco potencial geotérmico, porém ainda assim, o possui e, conforme verificado nos dados apresentados, o

remanejamento dos gastos para o fechamento de um poço, seria possível a instalação de uma usina geotérmica, utilizando assim, uma energia mais limpa para o planeta.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, P.; JOHNSON, C. R.; SALAZAR, J.; BOGAERTS, M. "Plug and Abandonment Solution for Oilfield Decommissioning in the North Sea". **Society of Petroleum Engineers**, 20 abril 2016.

ANJOS, Henrique Vilela Pinto. **Estimativa do potencial mundial e do brasileiro do aproveitamento da energia geotérmica para geração de eletricidade e uso direto**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenharia Mecânica, 2018.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução n. 25**, de 6 de março de 2002. Dispõe sobre Procedimentos para Abandono de Poços de Petróleo. 2002.

ARBOIT, Nathana Karina Swarowski. Potencialidade de utilização da energia geotérmica no Brasil, **Revista do Departamento de Geografia**, USP, 2013.

CERRATTI, Mariana Kaipper. Energia geotérmica: uma aposta de risco, mas atraente para a América Latina, **El País**, 2016. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2016/08/16/internacional/1471370983_126959.html. Acesso em: 9 jul. 2018.

DAVIS Adelina P. **Geothermal Power production from abandoned oil wells**. Engenharia Mecânica, Universidade do Texas, 29 novembro 2009.

HAMZA, V. M.; GOMES, A. J. L.; FERREIRA, L. E. T. Status Report on Geothermal Energy Developments in Brazil. *In: Proceedings World Geothermal Congress*, 2005. Antalya, Turkey, 24-29 de abril 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas Nacional do Brasil Milton Santos**, 2010. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/atlas/atlas_nacional_do_brasil_2010/. Acesso em: 6 jul. 2018.

INSTITUTO Brasileiro de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Caderno de boas práticas de E&P**: Diretrizes para abandono de poços, maio de 2018

IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2017**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2018.

JENNING, D. R.; FEITEN, J. B.; BROCK, H. R. **Petroleum accounting: principles, procedures & issues**. 5. ed. Denton, Texas: Price water house Coopers/Professional Development Institute, 2000.

LAVEZZO, César. Fontes de energia. **Revista eletrônica Gestão em Foco**, UNIFIA, São Paulo, Centro Universitário Amparense. 2016. Disponível em: http://www.unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/gestao_foco/artigos/ano2016/012_fontes_energia.pdf. Acesso em: 7 jul. 2018.

NASCIMENTO, Fernanda. **Fontes de energia renováveis: energia geotérmica: histórico, utilização, potencialidade e pontos positivos e negativos**. Salvador: Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia (IFBA), 2012.

OIL & GAS UK. Decomissioning Insight. Disponível em: <http://url.ie/1216u>. Acesso em: 21 jul. 2018

SANTOS, Paola Ribas Gonçalves. **Fontes Renováveis e não renováveis geradoras de energia elétrica no Brasil**. Instituto Federal Catarinense, Curso Técnico Integrado ao Ensino Médio em Administração IFC-Campus São Francisco do Sul, 2015.

SANYAL, Subir. Cost of Geothermal Power and factors that affect it. Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. **Stanford University**, Stanford, California, 2004.

SOARES, Luiza Nogueira de Azeredo Coutinho. **Abandono de poços: levantamento de práticas mundiais e recomendações para o cenário brasileiro**. UFRJ, 2017

SOBRINHO Nayara Nagly de Araujo. **Abandono permanente de poços petrolíferos: comparativo entre a portaria ANP nº 25/2002 e o novo regulamento do sistema de gerenciamento da integridade de poços (SGIP) publicado no DOU em 3.11.16**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, novembro de 2016.

TERAOKA, Larissa Yumi. **Análise comparativa entre as diretrizes das principais associações da indústria de petróleo e agências reguladoras para abandono permanente de poços**. Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Niterói, Rio de Janeiro, 2017.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência/Petrobras, 2001

Data do recebimento: 25 de fevereiro de 2020

Data da avaliação: 10 de junho de 2020

Data de aceite: 10 de junho de 2020

1 Acadêmico do curso de Engenharia de Petróleo. E-mail: tuliosmontenegro@hotmail.com

2 Professor do curso de Engenharia de Petróleo. E-mail: tuliosmontenegro@hotmail.com