

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Orifice Well Tester: Um Método Alternativo para Medição de Pequenos Volumes de Gás Natural em Poços de Petróleo

AUTORES:

Alana Almeida
Rui Carlos Alves de Lima
James Silva Santos Correia
Luiz Antonio Magalhães Pontes

INSTITUIÇÃO:

Instituto Brasileiro de Tecnologia e Regulação e Universidade Federal da Bahia

ORIFICE WELL TESTER: UM MÉTODO ALTERNATIVO PARA MEDIÇÃO DE PEQUENOS VOLUMES DE GÁS NATURAL EM POÇOS DE PETRÓLEO

Abstract

O gás natural constitui uma importante fonte de energia não renovável devido à pluralidade de seu uso e aos irrefutáveis benefícios ambientais quando confrontado com outros combustíveis fósseis. Entretanto, o índice de queimas e perdas do gás natural em plataformas de petróleo no mar (*offshore*) e em poços de petróleo em terra (*onshore*) é expressivo. Nos campos maduros e áreas de acumulações marginais em terra, o desperdício do gás natural tem como uma das suas causas o entendimento dos agentes do setor de que a produção de gás total em um campo não é suficiente para um rentável aproveitamento. Nesses campos, o concessionário desconhece o volume real de produção do poço visto que os medidores convencionais não são adequados para medição de gás a baixas vazões, utilizando-se a Razão Gás-Óleo (RGO) histórica para declaração da produção. Este trabalho apresenta uma alternativa de medição de vazão para pequenos volumes de gás denominado *Orifice Well Tester* (OWT) visando a determinação adequada da produção de gás, a atualização da RGO com base na produção atual e a identificação do potencial de aproveitamento do gás de um campo. É elaborado um acervo de informações técnicas e acadêmicas sobre o instrumento de medição e efetuadas medições em campos da Bahia e Sergipe para validação do equipamento, sendo este trabalho pioneiro sobre o OWT no Brasil. Desenvolve-se também um programa designado OWTCalc para cálculo da vazão de gás diária e da RGO, de acordo com as características do fluido medido, do diâmetro do orifício da placa utilizada, da vazão de óleo e das condições de temperatura e pressão, tanto de operação quanto de referência, conforme condição padrão de medição da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Também são abordadas diferentes formas de aproveitamento de pequenos volumes de gás natural, que atualmente são ventilados para atmosfera ou queimados em tochas. Os resultados indicam que o medidor OWT representa um método direto, confiável e de baixo custo, exibindo boa exatidão para faixa de operação que se propõe atender. Portanto, a medição de gás com o instrumento apresentado neste trabalho permite eliminar as distorções na quantificação do volume de gás produzido, no pagamento das participações governamentais e de terceiros, no balanço de materiais do reservatório, além de evitar o desperdício do insumo para atmosfera quando for possível o aproveitamento da sua energia.

Introdução

O gás natural constitui uma importante fonte de energia não renovável e desponta na matriz energética brasileira como o combustível fóssil que apresenta contínuo crescimento na oferta interna de energia (Figura 1a). A pluralidade de seu uso, com destaque para geração de energia elétrica, setor de transporte e industrial, além dos irrefutáveis benefícios ambientais conferem ao gás natural a sua importância quando confrontado com outros insumos de origem não renovável. Entretanto, o aumento da produção de gás natural, sem o respectivo aumento do mercado consumidor e infraestrutura de escoamento, provoca o crescente índice de queimas e perdas do gás em plataformas de petróleo no mar (*offshore*)¹. Considerando os poços de petróleo em terra (*onshore*), o desperdício do gás natural (Figura 1b) se dá por causa inversa, isto é, pelos agentes do setor afiançarem que a produção de gás total em um campo não é suficiente para um rentável aproveitamento, podendo ser ventilado ou queimado sem autorização prévia da ANP, quando o volume produzido for igual ou inferior a 150 mil metros cúbicos (m³) por mês, independentemente do número de poços produtores, ou quando a Razão Gás-Óleo (RGO) for igual ou inferior a 20 m³/m³, conforme regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) na Portaria nº 249/2000².

Sendo que os medidores convencionais não são apropriados para medição de gás a baixa vazão ou inviáveis economicamente em reservatórios de baixa produção, a medição individual da produção

desses poços não é realizada e estimativas com base na RGO são adotadas para a declaração do volume de gás produzido. No entanto, a quantificação estimada do potencial de produção de gás natural de um poço provoca a determinação inadequada da produção, trazendo inúmeras consequências de caráter técnico, econômico, regulatório e ambiental³. A incorreta apropriação do volume de gás produzido provoca distorções na previsão de comportamento do reservatório por ser determinante para o balanço de materiais, na declaração da produção de gás natural pelo concessionário à ANP, no pagamento das participações governamentais e de terceiros, além de contribuir para o desperdício do insumo para atmosfera, uma vez que o concessionário desconhecendo o volume real de produção do poço, o aproveitamento do gás natural é preterido e a liberação da energia para atmosfera ou queima em tochas é autorizada, desde que respeitadas as condições da Portaria nº 249/2000. Esse trabalho se propõe apresentar um novo medidor de vazão denominado *Orifice Well Tester* (OWT), cujo princípio de operação é baseado em medição por placa de orifício, para quantificação adequada dos pequenos volumes de gás produzidos em poços de petróleo. Busca-se expor um método alternativo de medição de vazão, que permita ao concessionário medir a produção real de gás natural do poço, possibilitando a determinação correta da produção, assim como a atualização da Razão Gás-Óleo (RGO) com base na produção atual.

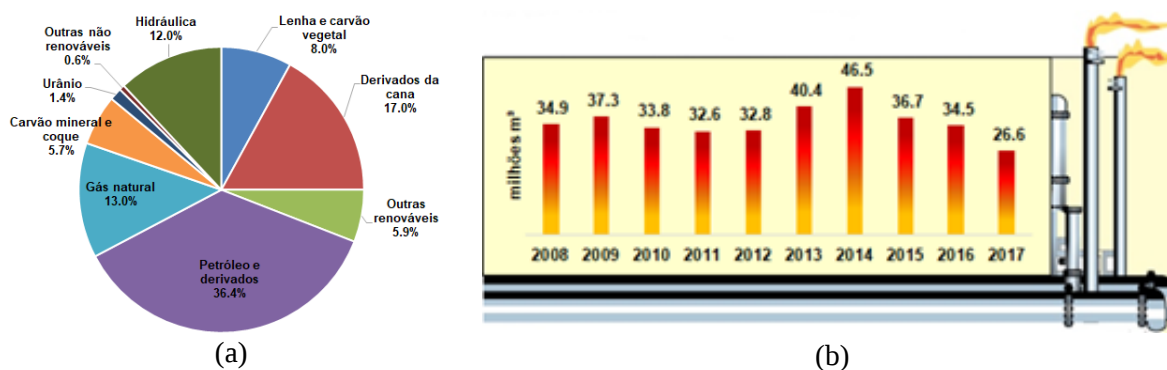


Figura 1 – Oferta interna de energia no Brasil em 2018 (a) e queima e perda de gás natural nos campos terrestres de petróleo e gás na Bahia entre os anos de 2008 e 2017 (b)^{1,4}.

Metodologia

Inicialmente, foram efetuadas visitas em diversas concessões de petróleo do Nordeste do Brasil, buscando identificar como os produtores efetuavam a quantificação do gás natural produzido e se haviam implementado algum processo de aproveitamento ou se o gás era liberado para atmosfera ou queimado em tochas. Posteriormente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e documental de métodos de medição de pequenos volumes de gás natural, quando foi identificado o OWT. Também foi efetuado o levantamento de portarias e legislação relacionadas ao tema medição de gás no Brasil e no mundo. Por se tratar de uma pesquisa pioneira sobre o instrumento OWT no Brasil, procurou-se produzir um acervo de informações técnicas e acadêmicas sobre o medidor proposto, em língua portuguesa e em unidades usuais da indústria petrolífera brasileira que, em sua grande maioria, corresponde ao Sistema Internacional de Unidades (SI). Após isso, foi efetuada a importação do instrumento e comprados os acessórios pertinentes para montagem do sistema de medição em campo e verificação do funcionamento do OWT, conforme procedimentos de medição e cálculo da vazão de gás definidos em literatura e pelo fabricante^{5,6}. Foram efetuadas diversas medições em poços de petróleo da Bahia e de Sergipe com intuito de identificar a confiabilidade do sistema. Em seguida foi desenvolvido um programa chamado OWTCalc para automatizar o cálculo das vazões medidas pelo instrumento e as respectivas correções para a condição padrão da ANP. Por fim, toda documentação e testes gerados foram apresentados à ANP⁷, sugerindo o OWT como uma alternativa de medição de pequenos volumes de gás natural.

Resultados e Discussão

De acordo com as pesquisas bibliográfica e eletrônica desenvolvidas foi identificado que o OWT 2" era adequado para medição de gás quando este é produzido a pressões relativamente baixas e quando a produção pode ser escoada para a atmosfera. O instrumento é indicado para a medição de volumes de gás entre 15 m³/dia e 8.500 m³/dia. Para valores acima desse intervalo o medidor apresenta precisão limitada. A pressão de trabalho do equipamento é de até 500 psi⁶. O OWT consiste em um tipo de medidor de vazão por placa de orifício, onde somente a pressão estática de entrada da placa necessita ser medida e como a descarga do fluido é para atmosfera, a pressão a jusante da placa é a pressão atmosférica no local de medição. O princípio de operação do medidor é baseado na variação de velocidade do fluxo de gás ao passar pelo orifício que resulta em uma correspondente variação de pressão no manômetro, que nesse trabalho foram utilizados um manômetro do tipo U de coluna d'água ou um registrador de pressão e temperatura digital. Pelo valor da deflexão total do líquido no manômetro, pode-se calcular a vazão volumétrica do fluido. Na Figura 3 é possível observar o instrumento bem como exemplos de montagem da estrutura em poços de petróleo para medição de gás na saída lateral do revestimento de produção e na saída de um separador efetuados nesse estudo.

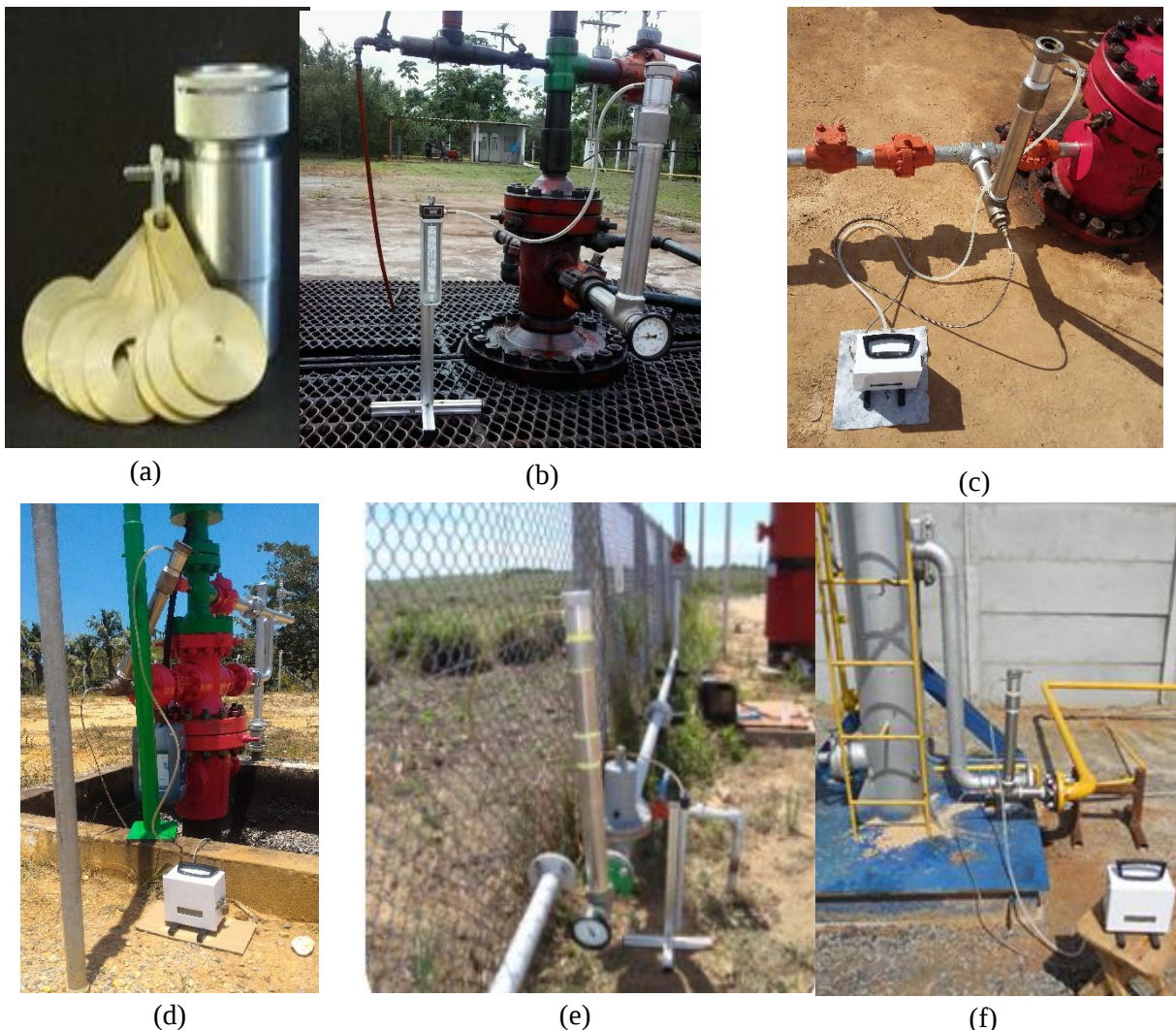


Figura 3 – Orifice Well Tester (a) e exemplos de pontos de medição: saída lateral do revestimento de produção (anular) usando o OWT com um manômetro de coluna d'água (b) e o OWT com um registrador digital (c, d); e saída de um separador usando o OWT com um manômetro de coluna d'água (e) e o OWT com um registrador digital (f).

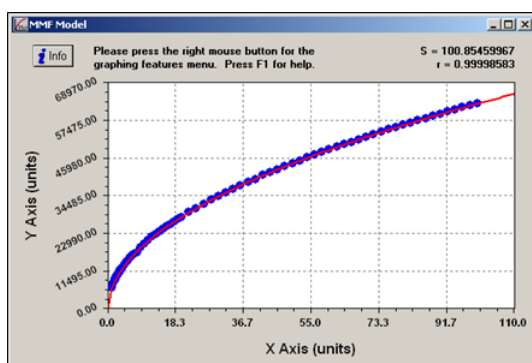
O procedimento de cálculo da vazão medida através do OWT consiste em: (1) consultar tabela do fornecedor com o levantamento das pressões e correspondentes vazões para o diâmetro do medidor,

o diâmetro do orifício e pressão registrada no manômetro, identificando-se a vazão medida (Q_{TAB}); (2) determinar a densidade relativa do gás através de análise cromatográfica ou solicitá-la ao concessionário para correção da densidade relativa; (3) efetuar a correção conforme as condições de medição. É necessário fazer as correções para densidade relativa do gás medido (F_{SG}), para a temperatura de fluxo (F_T) e para pressão atmosférica no local (F_p), visto que as tabelas foram geradas para as condições de referência nos EUA; (4) Calcular a vazão volumétrica de gás corrigida que será dada por: valor de vazão encontrado no item 1 multiplicado pelo fator de correção de temperatura, multiplicado pelo fator de correção da densidade do gás e, finalmente, multiplicado pelo fator de correção de pressão; e (5) Efetuar a correção para a condição de referência pelo fator de correção para a temperatura e pressão padrão, $F_{T_{sc}}$ e $F_{p_{sc}}$, respectivamente, conforme equação 1.

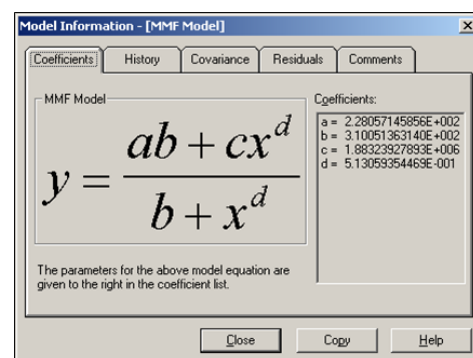
$$Q = Q_{TAB} F_T F_{SG} F_p \times F_{T_{sc}} F_{p_{sc}} \quad (1)$$

Para automatizar os cálculos obtido a partir da medição em campo foi desenvolvido um programa em *Visual Basic for Application* (VBA), nomeado de OWTCalc, com a finalidade de efetuar o cálculo da vazão de acordo com cada etapa descrita no procedimento de cálculo, facilitando assim encontrar o valor de vazão diária de gás a partir da leitura da pressão. Para isso foi necessário efetuar (1) o levantamento das curvas que melhor representassem a tabela de pressão versus vazão, contemplando o maior número de pontos de pressão medida; e (2) a elaboração do programa no aplicativo Excel, utilizando a linguagem de programação VBA para automatização dos cálculos.

Através do programa *Curve Expert* versão 1.4⁸ foi possível encontrar a equação que melhor descreveria a variação da vazão em função da pressão para cada diâmetro da placa de orifício da tabela do OWT, contemplando assim os inúmeros intervalos de pressão. Foi utilizado o programa para gerar as curvas para todas as placas de orifício presentes na tabela, ou seja, $\frac{1}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", 1", $1\frac{1}{4}$ " e $1\frac{1}{2}$ ". O modelo MMF foi o que apresentou o melhor ajuste conforme curva e equação apresentadas na Figura 4. Esse modelo forneceu um coeficiente de correlação “r” em todas as curvas geradas superior a 0,9999, o que é expressivo pois é muito próximo de 1 (um), indicando que a curva se ajusta muito bem aos dados. Para ilustrar o excelente ajuste fornecido pelo modelo MMF, na Figura 4a traz a curva traçada pelo programa de acordo com os dados inseridos neste caso igual a $\frac{1}{2}$ ". No eixo “X” foram inseridos os valores de pressão e no eixo “Y” os valores de vazão tabelados. Já a Figura 4b mostra a equação que corresponde ao modelo gerado para o mesmo diâmetro, confirmando que o modelo MMF foi o que melhor se ajustou aos pontos inseridos, que para este exemplo forneceu um coeficiente de correlação “r” igual a 0,99998583.



(a)



(b)

Figura 4 – Curva no modelo MMF obtida pelo programa Curve Expert (a) e tela de resultados da medição do Programa OWTCalc (b).

Após levantamento das equações que descrevem o comportamento da vazão em função da pressão medida com o OWT 2", elaborou-se o programa para cálculo de vazão, batizado como

OWTCalc, que é composto de três partes. A primeira denominada “Dados do Poço”, é a tela onde se especificam os dados gerais do campo e do poço. Caso deseje o cálculo da RGO, com base na produção de gás medida, deve ser inserido também o volume de óleo produzido nas condições de fluxo, como também na condição de referência. Na tela chamada “Dados de Medição”, que constitui a segunda parte do programa, devem ser inseridas as pressões registradas no manômetro de coluna d’água e a temperatura de fluxo durante todo o intervalo da medição, além de parâmetros da medição, como o diâmetro do orifício, a densidade relativa do gás medido, a pressão barométrica no local e a altitude do local de utilização do elemento primário. Para cada valor de pressão e temperatura, é calculada a vazão correspondente, com base nas informações inseridas e nas expressões obtidas com o Curve Expert. Na terceira parte do programa, representada pela tela chamada “Resultados”, são fornecidos os fatores de correção para cada parâmetro afetado pelas condições de medição e, por fim, o valor final da vazão diária de gás e a RGO, conforme apresentado na Figura 5 em exemplo de uma medição realizada em campo.

Dados de medição

Pressão média: 60.4 °H ₂ O	Temp. média: 77.0987 °F	Condição ANP: 14.696 psia 20 °C
Pre. barométrica: 14.50377 psi	Dens. Relativa: 0.867	Condição RRC: 14.65 psia 60 °F 0.6 SG

*Preencher somente as células em branco

Menu inicial
Dados do poço
Dados de medição
Resultados

Resultados

Fatores de correção para condições experimentais:			Vazões:		
Temp.: 0.983554	Pressão: 1.010082	SG: 0.83189	Condição RRC: 13059.59 ft ³ /dia		
			Condição de campo: 10797.59 ft ³ /dia		
			Condição da ANP: 296.641 m ³ /dia		

Fatores de correção para condições da ANP:		
Temp.: 0.983049	Pressão: 0.98692	SG: -

Salvar

Menu inicial
Dados do poço
Dados de medição
Resultados

(a)
(b)

Figura 5 – Tela de entrada de dados (a) e dos resultados (b) da medição no programa OWTCalc.

Através desta seção, buscou-se demonstrar que a utilização do programa OWTCalc dispensa o uso de tabelas e cálculos manuais para determinação da vazão, sendo necessário apenas, durante o período de medição, o registro dos parâmetros que influenciam a vazão, além, evidentemente, da pressão no manômetro. A partir da determinação adequada dos volumes produzidos, é possível identificar oportunidades de aproveitamento do gás natural. As aplicações do gás natural são diversas, o insumo tanto pode ser usado como combustível para fornecimento de calor, geração e cogeração de energia, como também matéria-prima nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes, ou ainda na área de transportes como substituto de outros combustíveis. Na indústria petrolífera, o gás natural tem duas aplicações básicas: a injeção de gás em reservatórios, visando aumentar a recuperação de óleo e o consumo interno em virtude da disponibilidade na própria área do poço, em substituição a outros produtos alternativos, com redução substancial dos custos. Conforme apresentado na Figura 6, entre as opções de uso do gás produzido para consumo interno pode-se citar a geração de eletricidade, o acionamento de unidades de bombeio, das bombas para captação, de injeção e de transferência de fluidos e para injeção de produtos químicos em poços e tanques. As diversas oportunidades para o bom emprego do gás natural como recurso energético não se limitam somente as grandes produções. Em empresas que objetivam a maximização da produção de petróleo aliada a utilização de boas práticas extrativas, é possível identificar exemplos das referidas aplicações para utilização de pequenos volumes de gás como fonte de energia, permitindo a otimização de gastos na concessão com outros combustíveis e reduzindo a emissão de gases nobres no meio ambiente. Em poços que possuem baixa produção de gás, onde não se justificaria economicamente a aplicação individual do recurso energético, uma forma de aproveitamento dos pequenos volumes de gás é a captação da produção de vários poços próximos, por exemplo, em forma de anel. Através da interligação da produção oriunda do espaço anular, formado pela coluna de revestimento e a coluna de produção do poço, a vazão do conjunto pode representar um volume significativo para implementação de variadas aplicações, desde o autoconsumo até a venda da produção. Os volumes de gás oriundos tanto do anular quanto da linha de ventilação do tanque de óleo

são possíveis oportunidades de aproveitamento e também devem ser avaliados quanto à quantidade e teor de hidrocarbonetos líquidos.

Em concessões no Nordeste do Brasil é possível encontrar motores movidos a gás natural de 32 HP de potência, alimentados com 200 m³ de gás por dia, acionando unidades de bombeio mecânico utilizadas como método de elevação artificial, idênticas ao apresentado na Figura 6. Em contato com um representante desses motores, o custo final de um motor a gás de 32 HP é de cerca de R\$ 60.000,00 considerando o preço do equipamento fabricado na Argentina e contabilizado os gastos com importação, transporte e instalação do mesmo no interior da Bahia.



Figura 6 – Equipamentos movidos a gás natural bombeio mecânico (esquerda), bomba de injeção (centro) e bombeio de cavidade progressiva (direita)⁹.

A substituição de um motor a diesel ou elétrico pelo motor a gás na concessão pode-se gerar economia por se utilizar o recurso energético disponível na área do poço e antes desperdiçado para atmosfera. Além do uso do motor a gás propiciar a redução das perdas financeiras por vandalismo e, conseqüentemente, a perda da produção devido aos constantes roubos de combustível em motores a diesel, e de cabos de cobres da rede de eletricidade para alimentação dos motores elétricos. De acordo com informações da empresa Diadema Engine, para vazão de gás natural também igual a 200 m³ de gás por dia, é possível gerar 20 kVA na tensão ou frequência desejada. Pode também buscar o emprego do gás natural produzido na área do poço para auto geração de energia elétrica através de um moto-gerador a gás, onde o concessionário após o consumo próprio na concessão pode, em caso de excedente de energia, realizar a venda de eletricidade para consumidores próximos, desde que haja autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador do setor. Diante dos exemplos citados, é fundamental destacar que a avaliação do potencial de gás de uma concessão constitui etapa precípua para a determinação do aproveitamento do recurso como fonte de energia. Logo, os sistemas de medição são parte integrante da produção e a necessidade da medição adequada do gás produzido torna-se evidente, tanto para definição do aproveitamento do insumo energético, quanto para o controle operacional do campo e atendimento as exigências regulatórias do setor.

Conclusões

Nesse trabalho, foram evidenciados os prejuízos regulatórios, operacionais, ambientais e econômicos provocados por uma quantificação da produção de gás natural baseada na Razão Gás-Óleo (RGO) histórica do poço, quando esta não é atualizada. Através da apresentação dos mecanismos de produção de um fluido em um reservatório, observou-se que a RGO sofre alterações ao longo da vida produtiva do poço, exigindo que os volumes de gás produzidos sejam constantemente medidos e, assim, a RGO seja invariavelmente atualizada. Dessa forma, o foco desse trabalho foi apresentar uma alternativa para medição para pequenos volumes de gás em poços de petróleo através do instrumento denominado *Orifice Well Tester* (OWT), sendo este estudo pioneiro na abordagem acadêmica e técnica desse medidor no Brasil. Buscou-se com isso, produzir um material que auxiliasse a agência reguladora e os concessionários, a conhecer o método de medição, onde foram apresentadas as vantagens e restrições do instrumento, o princípio de operação e procedimento de medição e de obtenção da vazão diária de um poço através da utilização do OWT. A determinação da vazão diária fornecida pelo referido instrumento é obtida por meio de tabelas presentes na literatura, a partir dos valores de pressão

registrados no manômetro interligado ao medidor, do diâmetro do orifício da placa utilizada, da densidade relativa do gás e da temperatura de fluxo. Assim, para automatização do procedimento de cálculo da vazão com OWT foi desenvolvido um programa em aplicativo Excel utilizando a linguagem de programação VBA, que foi designado OWTCalc. Logo, o OWTCalc dispensa o uso de tabelas e cálculos manuais para determinação da vazão, além de possibilitar o cálculo da vazão para as condições de fluxo e de referência e a atualização da RGO, desde que sejam inseridos os dados de vazão de óleo nestas condições. Nesse estudo pode-se concluir que o medidor proposto representa um método direto, prático, confiável e de custo relativamente baixo para o concessionário, uma vez que para baixas pressões, os medidores convencionais exigiriam a implantação de um sistema de medição que poderia inviabilizar economicamente a continuidade da concessão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Amauri Amaral (*in memoriam*) da empresa Boipeba Serviços de Petróleo por ter identificado a necessidade do mercado e iniciado o uso do instrumento nas pequenas concessões dos estados da Bahia, Sergipe, Rio Grande do Norte e Espírito Santo.

Referências Bibliográficas

1 AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário estatístico 2018**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2018>>.

2 AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Portaria Nº 249, de 1 de novembro de 2000. Aprova o **Regulamento técnico de queimas e perdas de petróleo e gás natural**, que dispõe sobre as questões relacionadas com as queimas em flares e as perdas de gás natural. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 nov. 2000

3 CARVALHO, A. R. F. **Apropriação de pequenas produções de gás natural a poços de petróleo**. Dissertação (Mestrado) – Regulação da Indústria de Energia. 2009. Universidade Salvador – UNIFACS.

4 EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2018**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>.

5 RAIL ROAD COMMISSION. **Gas well back pressure test, completion or recompletion report and log**. Disponível em: <<http://www.rrc.state.tx.us/cgi-bin/htsearch>>.

6 REFINERY SUPPLY COMPANY. **RSC Orifice well tester**. Disponível em: <<https://www.refinerysupply.com/manuals/35332-000%20Orifice%20Well%20Tester.pdf>>.

7 AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Resolução Conjunta ANP/Inmetro nº 01/2013. Aprova o **Regulamento técnico de medição de petróleo e gás natural**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>.

8 HYAMS, D. **Curve expert**. Disponível em: <<http://www.curveexpert.net/>>.

9 DIADEMA. **Engines**. Disponível em: <<http://diademaengine.com/en/products.html>>.