

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Análise das Vazões de Água e Ar na Simulação do Gas Lift em Bancada Instrumentada

AUTORES:

CAMPOS, A.¹, NUNES, V.², HENDGES, V.³, HEGELE, L.⁴, MARINHO, A.⁵, LAMAS, L. F.⁶

INSTITUIÇÃO:

Fundação Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

ANÁLISE DAS VAZÕES DE ÁGUA E AR NA SIMULAÇÃO DO GAS LIFT EM BANCADA INSTRUMENTADA

Abstract

Methods for artificial lifting are commonly used in non-rising wells, and in rising wells when aiming the increase of oil production. The Gas Lift method, which injects gas under high pressure into production column is widely used, reducing the gravitational pressure drop gradient. Gas injection is performed using two ways: continuous or intermittent. Continuous method requires more power and pressure in the system, while intermittent method requires less energy as pressure maintenance occurs during the period when the gas lift valve remains closed. Additionally, this method is considered simple, but the uninterrupted verification of injection data and production data is required. The present study reports an experimental set up to simulate the artificial lifting (type Gas Lift), in which gas was replaced by air under pressure and oil was replaced by water. It is shown the gradient of water production, determined by the gas injection.

Introdução

A produção em poços petrolíferos é dependente, entre outras coisas, do método de elevação que é utilizado. Em alguns casos, o próprio reservatório possui pressão suficiente para produzir, sendo denominado surgente. Entretanto, em muitos casos o poço não possui surgência ou viabilidade econômica suficiente para produzir naturalmente, havendo a necessidade de buscar algum tipo de método de elevação artificial (ANDREOLLI, 2016).

Um dos métodos de elevação mais utilizados atualmente nos campos petrolíferos é a elevação por Gas Lift. Neste método, o gás é injetado no fundo do poço produtor, assim diminuindo o peso da coluna de óleo que está sendo produzido, facilitando sua produção. O gás é injetado, pelo anular, através de uma válvula de orifício responsável por manipular propriedades para uma produção adequada. Exemplos destas propriedades são a vazão de gás injetado e a localização da válvula ao longo do poço. As eficiências para diferentes localizações da válvula e vazões de injeção são avaliadas para otimizar algumas das suas propriedades (DJIKPESSE et al., 2010). A otimização do Gas Lift é crucial para garantir a máxima produção de petróleo dentro das restrições da instalação (CHIA & HUSSAIN, 1999).

Otimizar a produção de petróleo com restrições de instalação tornou-se um desafio para a maioria das empresas de E&P à medida que buscam recursos sustentáveis. Técnicas inovadoras de *gas lifting* superam esse desafio (IFEANYI, U. C. et al., J., 2019). O *gas lifting* desempenha um papel importante nas operações de produção de petróleo de campos esgotados maduros de vários E&P empresas em todo o mundo. Da mesma forma, na Oil India Limited, Índia, cerca de 48% dos poços produtores da Bacia Upper Assam estão com assistência *gas lifting* (MAUT, P. P. et al., 2019,). Por outro lado, O campo B, localizado na costa da Malásia, é fortemente dependente do *gas lifting* devido ao alto comportamento de corte de água do reservatório, juntamente com a pressão baixa-média do reservatório (ABU BAKAR, A. I. et al., 2018). Adicionalmente, um modelo hidrodinâmico foi desenvolvido para elevação intermitente de gás. Os resultados da simulação foram verificados por testes experimentais conduzidos com uma instalação de teste de 60 pés de altura e com 3 polegadas de diâmetro usando ar e um óleo com viscosidade de 108 cp. O simulador também foi aplicado com sucesso aos dados coletados em um poço de elevação de gás intermitente instrumentado (SCHMIDT, Z. et al., 1984). Outras pesquisas indicam que as propriedades da espuma e suas aplicações bem-sucedidas em processos aprimorados de recuperação de óleo mostram que ela tem potencial para ser usada em sistemas de *gas lifting*. Para avaliar a aplicabilidade da espuma em sistemas de *gas lifting*, estudos de laboratório

foram conduzidos para investigar a eficácia de surfactantes formadores de espuma (SONG, F. Y. et al., 1993). Uma abordagem inovadora de *gas lifting* de gás natural in situ foi aplicada com sucesso no grupo AG do campo FN, no Sudão. A piscina AG é uma série de arenitos empilhados movidos a água de borda com piscinas de óleo leve e gás natural, e principalmente as zonas de gás natural estão abaixo das zonas de petróleo (TANG, X. et al., 2012).

Para atingir o objetivo do trabalho, é construída uma bancada experimental. Nesta bancada, diferentes testes são executados para obter dados para realizar a otimização. Esta bancada é composta por sensores, tanques, computador e microcontrolador que permitem colher os dados de forma sistemática a pequenos intervalos de tempo. O artigo é dividido em seções: nesta próxima, será explicado o método utilizado para a aquisição dos dados; em seguida, os dados, resultados e discussões; e ao final, as conclusões sobre o experimento.

Metodologia

Para o presente experimento é adaptada a bancada XC-229 da fabricante Exsto para a simulação. O tanque superior representa o local onde o óleo produzido é depositado, e o tanque inferior é o reservatório. Este reservatório, gera para o sistema uma alimentação contínua de água (i.e óleo), que passa por um sensor de vazão e em seguida é direcionada para o tanque superior. Simultaneamente, um compressor gera ar (i.e gás) comprimido, que através de uma conexão em “y” é injetado juntamente com a água para o tanque superior. Este ar, além de passar por um sensor de vazão, possui uma válvula globo que controla manualmente a vazão de ar injetado. Há ainda, um sensor de pressão localizado antes da válvula globo, que mede a pressão manométrica do local. Por fim, uma placa de aquisição de dados, Arduino do tipo UNO, é programada para receber as informações de cada sensor. Essas informações são enviadas ao computador, e o sinal é tratado para ser convertido em unidades de medida convenientes. O diagrama abaixo demonstra a configuração do experimento:

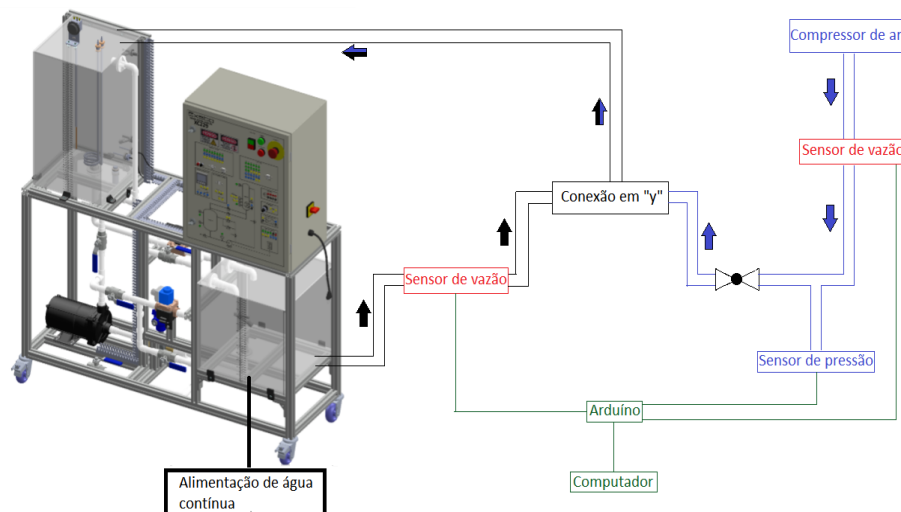


Figura 1. Diagrama Experimental

É importante ressaltar que o compressor gera ar comprimido a uma pressão constante, e é a válvula globo que permite variar a vazão de injeção de ar. Além disso, entre o tanque inferior, e a tubulação localizada entre a conexão em “y” e o tanque superior, existe uma coluna d’água formada por um tubo em U. Com a variação de altura da conexão em “y”. A dimensão da coluna d’água pode ser variada, como mostrado na figura abaixo:

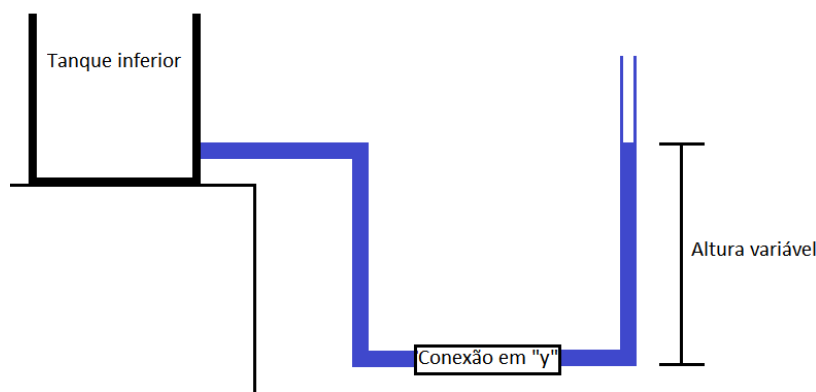


Figura 2. Tubo em "U"

Para adquirir os dados de vazão do ar injetado no sistema, foi necessário calibrar o rotâmetro deste sensor, que funciona por efeito Hall. Uma das hélices da turbina interior contém um ímã e cada passagem deste pelo sensor Hall é contada. A calibração do sensor de fluxo YF-S403 utilizado para análise de ar foi feita por meio de aquisição de dados de massa de um sistema conhecido. A célula de carga LCM411-100-USBH, da Omega (Low Profile Compression Load Cells With High Speed USB Output Standart and Metric Models. Omega, [N/A]) foi posicionada para captar a variação de massa do compressor de ar da marca MotoMil – MAM – 7,4/24L – 1,5Hp – 120lbf/pol². A célula de carga contém um software próprio, que exporta dados em CSV. Concomitantemente, o sensor YF-S403 foi ligado à saída de ar deste compressor e conectado a uma placa de aquisição de dados da marca Arduino. Assim, dois dados foram captados ao mesmo tempo: massa do compressor com ar comprimido e rotação do rotâmetro dentro do sensor de fluxo, plotando em dois gráficos distintos em função do tempo. O compressor foi pressurizado a 7 bar para cada ensaio, e a efusão durou cerca de 1,5 minuto cada. 16 medições foram feitas, das quais 3 foram altamente efetivas. Os gráficos obtidos seguem este modelo:

Figura 3. Primitiva da massa no tempo

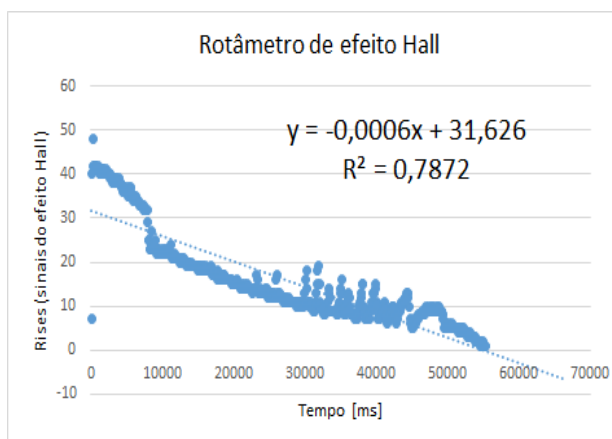
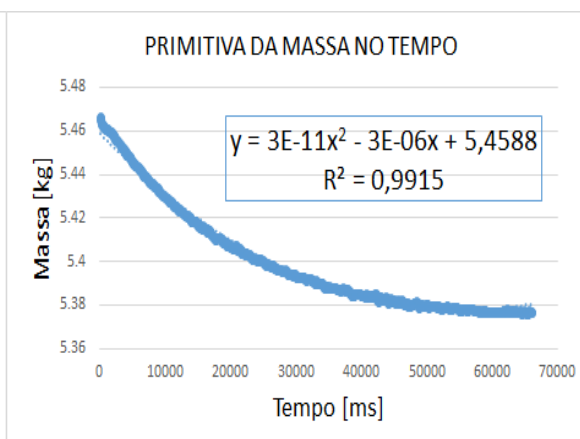
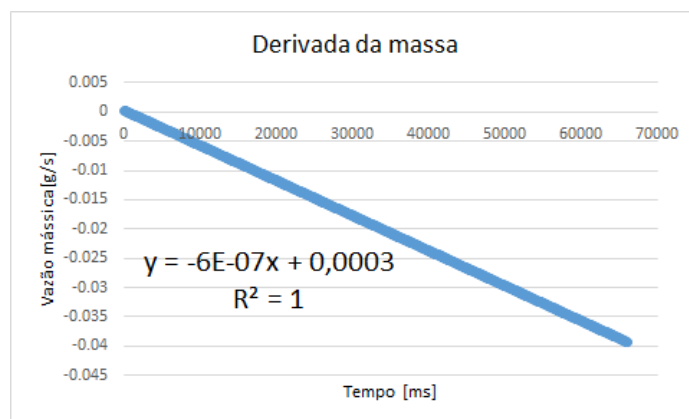


Figura 4. Rotâmetro do Sensor de Vazão de Ar



**Figura 5.** Derivada da massa

Como observado, há 3 gráficos: dois deles já explicados são a massa (chamada de Primitiva da Massa) e o rotâmetro no tempo. Traça-se então a linha de tendência exponencial no primeiro gráfico e obtém-se a equação referente a esta linha. Derivando esta equação, é traçado o gráfico. Isola-se a incógnita angular do rotâmetro e é aplicada então na equação da derivada, obtendo, ao final, a equação da vazão de ar pelo sensor de fluxo YF-S403.

O sistema em sua totalidade reproduz uma produção de hidrocarbonetos com elevação via injeção de Gas Lift. Tendo em vista a vasta utilização deste método no mercado, a influência de diferentes vazões de injeção de gás e do posicionamento da válvula ao longo da tubulação são abordadas. O experimento tem como objetivo otimizar essas propriedades.

Experimento

O teste dividiu-se em duas etapas, obtendo-se dados de pressão, vazão de gás e vazão de água para três diferentes alturas de injeção de ar e duas posições distintas da válvula. Na primeira etapa, com a válvula de globo completamente aberta (rotação de 90°), varia-se a altura da conexão em “y” como mostrada na figura 2. Esta variação faz com que a coluna de água que deve ser elevada seja modificada. Para cada uma dessas variações de altura, são realizados cinco testes, onde em cada um destes, retira-se quarenta amostras das propriedades citadas. Na segunda etapa, realiza-se o mesmo procedimento, entretanto para a válvula de globo semiaberta (rotação de 30°). As diferentes alturas para a coluna de água, posições da válvula e outros parâmetros relevantes estão dispostos na tabela abaixo:

Tabela 1. Parâmetros do sistema

Parâmetros	Valores
Altura da coluna 1 (H1)	1,55 m
Altura da coluna 2 (H2)	1,05 m
Altura da coluna 3 (H3)	0,75 m
Posição da válvula 1 (V1)	90° de rotação
Posição da válvula 2 (V2)	30° de rotação
Ponto mais alto da tubulação	2,5 m
Raio do tubo	2,55 cm

Antes de discutir sobre os resultados obtidos, um conceito fundamental na área de otimização de Gas Lift deve ser abordado (ANDREOLLI, 2016). Trata-se da curva de desempenho do poço, a qual

é resultante de um gráfico de vazão de óleo pela vazão de gás injetado. Desta curva, duas importantes informações são retiradas. Uma delas é a chamada Tangente Ótima, que consiste no ponto da curva onde passa a ser prejudicial para a produção de óleo, um aumento na vazão de injeção. Já a tangente econômica é um ponto na curva onde o custo gerado para um aumento na vazão de injeção, torna-se maior que a receita obtida pelo incremento da produção. Temos abaixo, um exemplo de uma curva de desempenho do poço:

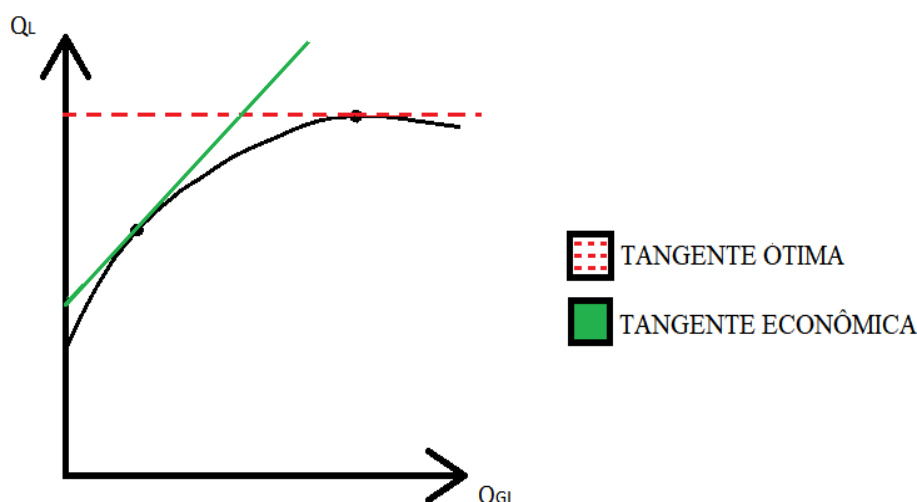


Figura 6. Curva de desempenho do poço. (ANDREOLLI, 2016)

Resultados e Discussão

Com o cálculo das médias das quarenta amostras, e em seguida com a média geral dos cinco testes, é possível a construção das seguintes tabelas. Estas dispõem das médias de cada propriedade, nas respectivas variações de altura.

Tabela 2. Resultados para V1

	p (kPa)	Qar (g/s)	Qágua (L/min)
H1	8,92045	2,278	1,3006
H2	6,33475	1,8311	1,4393
H3	4,7081	1,39305	1,68805

Tabela 3. Resultados para V2

	p (kPa)	Qar (g/s)	Qágua (L/min)
H1	17,7492	2,16025	3,73885
H2	17,09805	1,56395	3,6084
H3	17,02025	1,38575	1,6019

Analisando os valores medidos de pressão, observa-se uma queda contínua para ambas as medições de pressão (p) e vazão de ar (Qar). Isso é devido a variação nas alturas da coluna de água, dispostas também de forma decrescente nas tabelas. Além disso, é notória a diferença de pressão, medida antes da válvula de globo, entre os testes realizados para diferentes aberturas na válvula globo. Os valores para V2 são maiores devido ao posicionamento do sensor de pressão, o qual se encontra antes da válvula. Logo, com uma menor abertura, a pressão do local medido também aumenta. Em seguida é feito uma análise através de gráficos, com o intuito de observar a influência das modificações feitas no sistema. Inicialmente, são comparados os resultados para as duas diferentes aberturas na válvula globo, gerando gráficos da vazão de água (abscissas) pela altura da coluna de água (ordenadas).

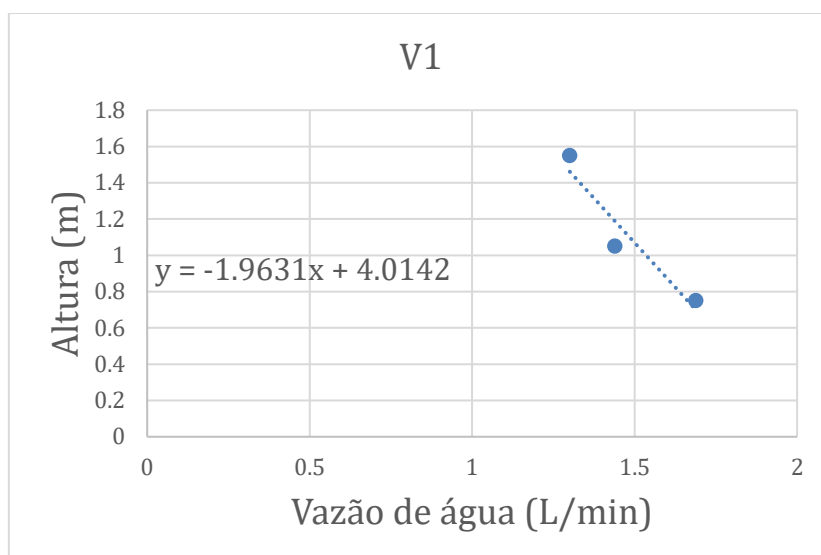


Figura 7. Gráfico para V1

A partir do gráfico, observa-se que quanto maior a coluna de água, ou seja, maior profundidade de injeção, maior é a vazão de água. Isso é devido a diminuição da densidade de uma coluna maior de água, gerando maiores índices de vazão. Por fim, é realizada a plotagem de três gráficos, pelos quais torna-se possível observar a influência da profundidade a qual o ar é injetado. Para isso, os gráficos possuem a vazão de ar injetado no eixo x e a vazão de água no eixo y.

Baseando-se nas tabelas 2 e 3, é possível notar que para H1 e H2 a vazão de água é maior quando a vazão de injeção de ar é menor, valor contrário ao esperado. Já para H3, observa-se o comportamento esperado, ou seja, a vazão de água é maior frente à maior injeção de ar. Uma analogia pode ser feita com a figura 6. Ambas as alturas H1 e H2, estão na etapa decrescente da curva de desempenho, ou seja, as vazões utilizadas são maiores que a vazão ótima de ar. Por outro lado, a altura H3 está na sua etapa crescente, com vazão de injeção inferior a vazão ótima.

Conclusões

Foi desenvolvida uma bancada experimental para avaliação do efeito da profundidade e vazão de injeção de gás em um sistema de Gas Lift.

Essa bancada experimental permite observar diferentes padrões de escoamento e também a vazão ótima de ar no sistema, a fim de maximizar a vazão de água. Nela são utilizados um compressor de ar e dois tanques de água, um representando um reservatório e o outro a superfície (i.e. na válvula *choke*). Analisar os diferentes tipos de escoamento é uma tarefa significativa considerando que há uma evolução de regimes diferente para cada tipo de injeção. A bancada é instrumentada por meio de um sensor de vazão de ar, um sensor de vazão de água, um sensor de diferencial de pressão e uma placa de aquisição de dados. Adicionalmente, o sistema contém uma bomba de água de vazão controlada, conexões, válvulas globo, tubulações e mangueiras. A aquisição dos dados é realizada por uma placa Arduino Uno, que também permite controlar a pressão do sistema. Com os dados adquiridos durante os experimentos é possível calcular a pressão e a vazão ótimas do gás para o sistema em questão. Assim sendo, esta bancada experimental apresenta aplicabilidade na simulação do fenômeno que sucede durante a elevação do óleo usando o método de elevação do Gas Lift, amplamente utilizado na indústria.

Devido a dificuldades técnicas, não foi possível obter valores para muitos valores de vazão. No entanto, foi possível verificar que para as alturas H1 e H2, o sistema se encontra acima do ponto ótimo,

ou seja, aumentos na vazão resultam em diminuição na elevação. Já para H3 (mais profundo), um aumento na vazão de injeção de ar resulta em um leve aumento na elevação da coluna. Isso indica uma importante correlação entre a vazão ótima com a profundidade de injeção.

É possível visualizar as mudanças feitas nas propriedades, analisando o comportamento lido pelo sensor de pressão. A pressão varia com a vazão imposta na válvula globo e com a altura da coluna de água. Ainda, é possível visualizar pontos extremos, antes e depois da vazão ótima de injeção, a partir dos dados obtidos experimentalmente. Isso comprova um ponto máximo onde o aumento na vazão de injeção é benéfico.

Referências Bibliográficas

ABU BAKAR, A. I., ALI JABRIS, M. Z. A., ABD RAHMAN, et al. N. CO2 Tracer Application to Supplement Gas Lift Optimisation Effort in Offshore Field Sarawak. *In: SPE ASIA PACIFIC OIL AND GAS CONFERENCE AND EXHIBITION 2018*, Austrália. *Anais [...]* Society of Petroleum Engineers, 2019.

ANDREOLLI, I. *Introdução à Elevação e Escoamento Monofásico e Multifásico de Petróleo*. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.

CHIA, Y. C. & HUSSAIN, S. Gas Lift Optimization Efforts and Challenges. *In: SPE ASIA PACIFIC IMPROVED OIL RECOVERY CONFERENCE*, 1999, Malásia. *Anais [...]* Society of Petroleum Engineers, 1999.

DJIKPESSE, H. A.; COUET, B.; & WILKINSON, D. Gas Lift Optimization under Facilities Constraints. *In: NIGERIA ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION*, 2010, Nigeria. *Anais [...]* Society of Petroleum Engineers, 2010.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS. Low Profile Compression Load Cells With High Speed Usb Output Standard And Metric Models (Omega, [N/A]). Disponível em: <https://assets.omega.com/pdf/test-and-measurement-equipment/load-and-force/load-cells/LC411_LCM411-USBH.pdf>.

IFEANYI, U. C., ESIEBOMA, & S., UCCHE, J. Gas Lift Optimization within Field Capacity Limitations. *In: SPE NIGERIA ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION*, 2019, Nigeria. *Anais [...]* Society of Petroleum Engineers, 2019.

MAUT, P. P., CHANGMI, T., CHUTIA, M. J., et al. Gas Lift Optimization of a Mature Field of Upper Assam Basin-A Case Study. *In: SPE MIDDLE EAST OIL AND GAS SHOW AND CONFERENCE*, 2019, Bahrein. *Anais [...]* Society of Petroleum Engineers, 2019.

SCHMIDT, Z., DOTY, D. R., LUKONG, P. B., FERNANDEZ, O. F., & BRILL, J. P. Hydrodynamic Model For Intermittent Gas Lifting of Viscous Oil. *Journal of Petroleum Technology*, v. 36, n. 3, 1984.

SONG, F. Y., & ISLAM, M. R. The Application Of Foams In Gas Lifting Systems. *Society of Petroleum Engineers*, 1993.

TANG, X., LI, G., YU, K., CAI, B., & WANG, R. An Innovative In-situ Natural Gas Lifting Approach to Produce High Pour Point Oil with High Output: A Case Study. *In: SPE INTERNATIONAL PRODUCTION AND OPERATIONS CONFERENCE & EXHIBITION*, 1993, Catar. *Anais [...]* Society of Petroleum Engineers, 1993.