

AVALIAÇÃO DE CORRELAÇÕES MATEMÁTICAS NA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CASCALHOS DURANTE A PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

EVALUATION OF MATHEMATIC CORRELATIONS IN CUTTINGS REMOVAL EFFICIENCY OF OIL WELLS DURING THE DRILLING

GALLILEU GENESIS PEREIRA DE SOUSA

Graduação em Engenharia de Petróleo e Gás pela Universidade Potiguar.
E-mail: galileu.genesis@hotmail.com

ÁLVARO PLÍNIO GOUVEIA CABRAL

Graduação em Engenharia de Petróleo e Gás pela Universidade Potiguar.
E-mail: pliniocabral1@gmail.com

FABIO PEREIRA FAGUNDES

Doutor em Química. Professor da Universidade Potiguar (UnP)
E-mail: fabio.fagundes@unp.br

Envio em: Janeiro de 2015
Aceite em: Janeiro de 2015

RESUMO

Durante o processo de perfuração de um poço de petróleo, a remoção dos cascalhos representa um dos principais procedimentos, de modo que uma boa eficiência nesse quesito diminui os custos e otimiza o tempo de operação. A limpeza do poço está relacionada, diretamente, com a velocidade com que os sólidos se sedimentam através do fluido de perfuração, sendo essa grandeza afetada por parâmetros, como densidade e viscosidade do fluido, diâmetro dos sólidos, densidade dos sólidos e regime de fluxo. Tendo em vista esse cenário, o presente trabalho visa a analisar a sensibilidade e a confiabilidade dos modelos matemáticos de Stokes, Chien e Moore, com relação a cada um de seus parâmetros individualmente, associando-os à velocidade de sedimentação e eficiência de remoção dos sólidos gerados durante a perfuração. Também será analisada a relação entre o conceito de eficiência de limpeza de poços de petróleo e a vazão de bombeio. Os resultados mostraram como cada parâmetro age sobre a velocidade de sedimentação, a variação da eficiência de remoção dos cascalhos diante de diferentes regimes de fluxo e faixas de vazão de bombeio.

Palavras-chave: Limpeza de poço. Velocidade de Sedimentação. Perfuração.

ABSTRACT

During the process of drilling an oil well, the removal of the cuttings is one of the main processes, so that a good efficiency in this regard reduce costs and optimize the operating time. Well cleaning is connected directly with the speed at which the solids settle through the drilling fluid, and this quantity affected by parameters such as density and viscosity of fluid, the diameter of the solid, solid density and flow rate. Given this scenario, this paper aims to analyze the sensitivity and reliability of mathematical models of Stokes, Chien and Moore, with respect to each of its parameters individually, linking them to sedimentation and solids removal efficiency generated during drilling. It also analyzes the relationship between the concept of cleaning efficiency of oil wells and the flow pump. The results show how each parameter acting on the settling velocity, the variation of the cuttings on the removal efficiency of different flow regimes and pumping flow rates.

Key-words: *Well Cleaning. Settling velocity. Well Drilling.*

1 - INTRODUÇÃO

A perfuração de um poço representa uma das maiores parcelas do investimento destinado à exploração de uma jazida. Sendo esse processo responsável, também, pelo consumo da maior parte do tempo destinado ao projeto. Diante disso, tem-se que uma boa limpeza do poço representa uma otimização desse procedimento, o que tem efeito direto sobre os custos e o tempo do projeto.

A eficiência do carreamento de cascalhos no poço é afetada por vários fatores, como velocidade média do fluido no anular, velocidade de sedimentação dos sólidos, a rotação da coluna de perfuração, o ângulo de inclinação do poço, as propriedades do fluido, o tamanho e forma das partículas, a excentricidade da coluna de perfuração e a taxa de penetração (COSTA et al, 2003). Caso não se tenha um bom carreamento, ocorrerá o acúmulo de sólidos no anular, o que pode gerar problemas à perfuração, como: redução da taxa de penetração da broca, perda de circulação, obstrução do anular e prisão da coluna de perfuração (MACHADO et al, 2002).

Para que se obtenha uma boa eficiência de limpeza, é preciso conhecer a velocidade com que os cascalhos se sedimentam e quais os parâmetros que influenciam essa velocidade de queda. Existem várias correlações matemáticas para o cálculo da velocidade de queda de partículas, sendo as mais usuais, devido a sua simplicidade matemática, as correlações de Moore (BOURGOYNE, 2005), de Chien (BOURGOYNE, 2005) e a Equação de Stokes.

No presente trabalho, serão analisadas a sensibilidade e a confiabilidade das correlações matemáticas citadas, com relação a cada um de seus parâmetros individualmente, associando-os à velocidade de sedimentação e eficiência de remoção dos sólidos gerados durante a perfuração. Também será analisada a relação entre o conceito de eficiência de limpeza de poços de petróleo e a vazão de bombeio

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O transporte dos cascalhos gerados pela broca durante a perfuração é um dos principais objetivos do fluido de perfuração. A eficiência e a capacidade desse transporte dependem das características reológicas do fluido e da capacidade das bombas utilizadas no processo.

2.1 RAZÃO DE TRANSPORTE

Matematicamente, pode-se definir a capacidade de carreamento em função de um parâmetro denominado

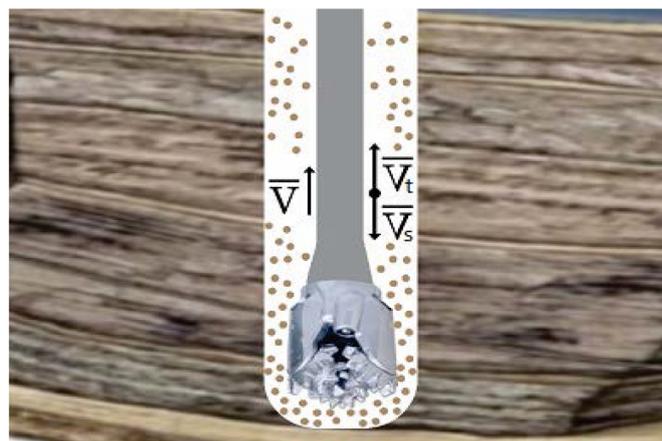
Razão de transporte (R_t), que é a relação entre a velocidade média de remoção e a velocidade média de fluxo:

$$R_t = \frac{V_r}{V} \quad (1)$$

A velocidade média de remoção (V_r) é definida como sendo a diferença entre a velocidade média do fluxo do fluido carreador (V) e a velocidade média de sedimentação (V_s), como pode ser visualizado na Figura 1.

$$V_r = V - V_s \quad (2)$$

Figura 1 – Esquema das Velocidades Atuantes Durante o Carreamento



Fonte – Autores

De acordo com a equação 2, para que se tenha uma razão de transporte eficiente, é preciso conhecer a velocidade com que as partículas se sedimentam no interior do fluido de perfuração. Com essa informação, pode-se dimensionar a vazão da bomba necessária para alcançar uma velocidade de fluxo ideal e, também, pode-se condicionar as propriedades reológicas do fluido, que afetam diretamente a velocidade de queda dos sólidos.

Dessa forma, é de suma importância que as características reológicas e a densidade do fluido estejam muito bem definidas para os diferentes cenários, pois são essas características que afetarão, diretamente, a velocidade de sedimentação (MACHADO et al. 2002).

2.2 EFICIÊNCIA DE LIMPEZA

A Eficiência no carreamento dos cascalhos durante o processo de limpeza do poço pode ser definida por:

$$\varepsilon = \left(\frac{V_r}{V}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

Em que V_r é a velocidade de Remoção dos sólidos e V , Velocidade de fluxo no anular.

Portanto, de acordo com a Equação 3, fica claro que a eficiência na limpeza do poço é, diretamente, proporcional à velocidade de remoção dos cascalhos. Observando a Equação 2, fica bastante evidente que, quanto menor for a velocidade de sedimentação das partículas, mais eficiente será a remoção. Logo, conhecer bem esse parâmetro torna-se crucial para uma melhor modelagem do processo de limpeza do poço.

2.3 CORRELAÇÕES PARA CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CORRELAÇÃO

2.3.1 CORRELAÇÃO DE MOORE

A correlação de Moore é composta por três expressões que são empregadas de acordo com o número de Reynolds considerado. Basicamente, essas expressões são baseadas na massa específica do fluido, massa específica dos sólidos e diâmetro dos sólidos. Para números de Reynolds (NRs) intermediários, é acrescentada a influência da viscosidade aparente do fluido na correlação. Sendo assim, temos as seguintes expressões:

Para NRs ≤ 3

$$V_s = 82,87 \left(\frac{d_s^2}{\mu_a}\right) (\rho_s - \rho_f) \quad (4)$$

Para $3 < \text{NRs} < 300$

$$V_s = \frac{2,90 d_s (\rho_s - \rho_f)^{0,667}}{\rho_f^{0,333} \cdot \mu_a^{0,333}} \quad (5)$$

Para NRs > 300

$$V_s = 1,54 \sqrt{d_s \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}} \quad (6)$$

Em que:

V_s = Velocidade de Sedimentação

ρ_s = Massa Específica da Partícula

ρ_f = Massa Específica do Fluido

d_s = Diâmetro Equivalente de Partícula

μ_a = Viscosidade Aparente do Fluido

2.3.2 CORRELAÇÃO DE CHIEN

A correlação proposta por Chien é, estruturalmente, diferente daquela proposta por Moore, porém, baseia-se nos mesmos parâmetros:

$$V_s = 0,0075 \left(\frac{\mu_a}{\rho_f \cdot d_s}\right) \left[\sqrt{\frac{36800 \cdot d_s \cdot (\rho_s - \rho_f)}{\left(\frac{\mu_a}{\rho_f \cdot d_s}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}\right) + 1} - 1} \right] \quad (7)$$

Em que:

V_s = Velocidade de Sedimentação

ρ_s = Massa Específica da Partícula

ρ_f = Massa Específica do Fluido

d_s = Diâmetro Equivalente de Partícula

μ_a = Viscosidade Aparente do Fluido

2.3.3 EQUAÇÃO DE STOKES

Um das equações mais utilizadas para cálculo da velocidade de sedimentação é a Equação de Stokes (MACHADO et al. 2002). Essa depende do tipo de regime de fluxo, e, para cada caso, há uma expressão derivada, conforme apresentado a seguir:

Se for considerado o regime laminar, ou seja, NRs < 1 :

$$V_s = 4980 \cdot \left[D_p \cdot \frac{(\rho_p - \rho)}{\mu} \right] \quad (8)$$

No caso de Regime intermediário, $1 < \text{NRs} < 1000$:

$$V_s = 175 \cdot \left[D_p \cdot \frac{(\rho_p - \rho)^{0,667}}{\rho^{0,333} \cdot \mu^{0,333}} \right] \quad (9)$$

Para regimes turbulentos, NRs > 1000 , obtemos a correlação

$$V_s = 75,6 \cdot \left[D_p \cdot \frac{(\rho_p - \rho)}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Em que:

V_s = Velocidade de Sedimentação [ft/min]

ρ_s = Massa Específica da Partícula [lb/gal]

ρ_f = Massa Específica do Fluido [lb/gal]

d_s = Diâmetro Equivalente de Partícula [in]

3 - METODOLOGIA

Para análise das correlações matemáticas de cálculo

da velocidade de sedimentação, foi utilizado o software Microsoft Office Excel 2010. Foram analisadas as correlações propostas por Moore (BOURGOYNE, 2005), Chien (BOURGOYNE, 2005) e a Equação de Stokes. Cada expressão foi analisada em um mesmo cenário, com as mesmas características, possibilitando, assim, a análise comparativa de cada um dos modelos. A Tabela 1 resume o planejamento do trabalho quanto aos parâmetros analisados e suas respectivas faixas de variação:

Tabela 1 – Valores dos parâmetros analisados

Parâmetro	Valor Constante	Faixa de Variação
Massa Específica do Fluido (lb/gal)	9,0	8,5 - 12,5
Massa Específica do Sólido (lb/gal)	21	20 - 22
Diâmetro dos Sólidos (in)	0,3	0,2 - 0,39
Viscosidade Aparente (cP)	130	60 - 260

Fonte: Autores

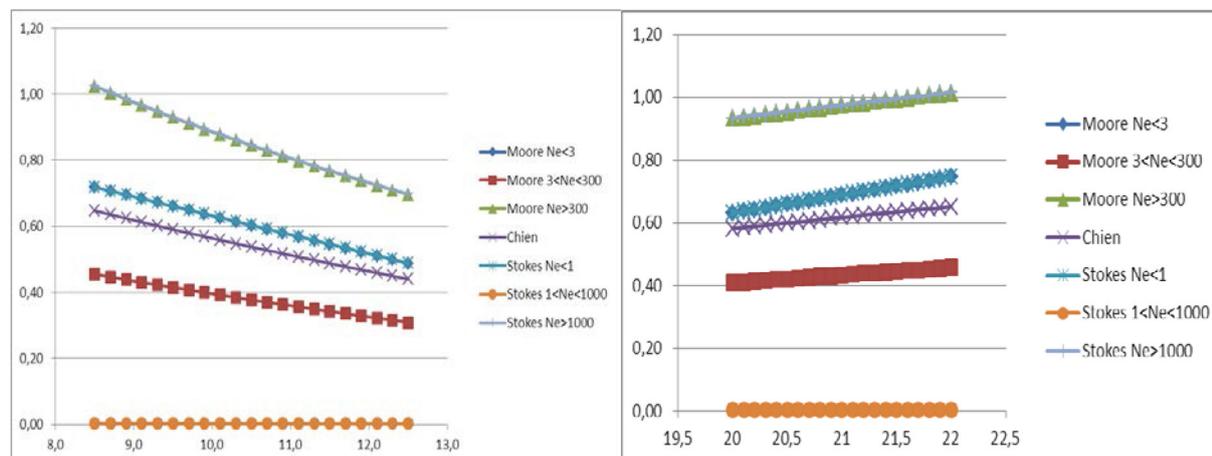
Dessa forma, foi analisada a confiabilidade de cada correlação, tendo em vista cada parâmetro individualmente; os parâmetros foram variados nas faixas descritas na Tabela 1, enquanto as demais variáveis foram mantidas constantes. Posteriormente, foram gerados gráficos das velocidades de sedimentação em função dos parâmetros variados, o que permitiu fazer uma análise comparativa das correlações. Em seguida, foram feitas correlações entre a Eficiência de Limpeza do poço e a velocidade de remoção dos cascalhos (Equação 2), para cada parâmetro de cada correlação, tendo em vista diferentes faixas de vazão de bombeio (200 - 1200 gal/min).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fazendo variar os parâmetros conforme a Tabela 1, chegam-se aos seguintes resultados da variação da velocidade de sedimentação em função dos diferentes parâmetros considerados.

As Figuras 2-a (à esquerda) e 2-b (à direita) mostram os resultados da variação da velocidade de sedimentação com relação à massa específica do fluido e a massa específica dos sólidos, respectivamente, para a correlação de Moore, Chien e a Equação de Stokes, em diferentes regimes de fluxo.

Figura 2 – em função da massa específica do fluido (a) e da massa específica dos sólidos (b)



Fonte – Autor

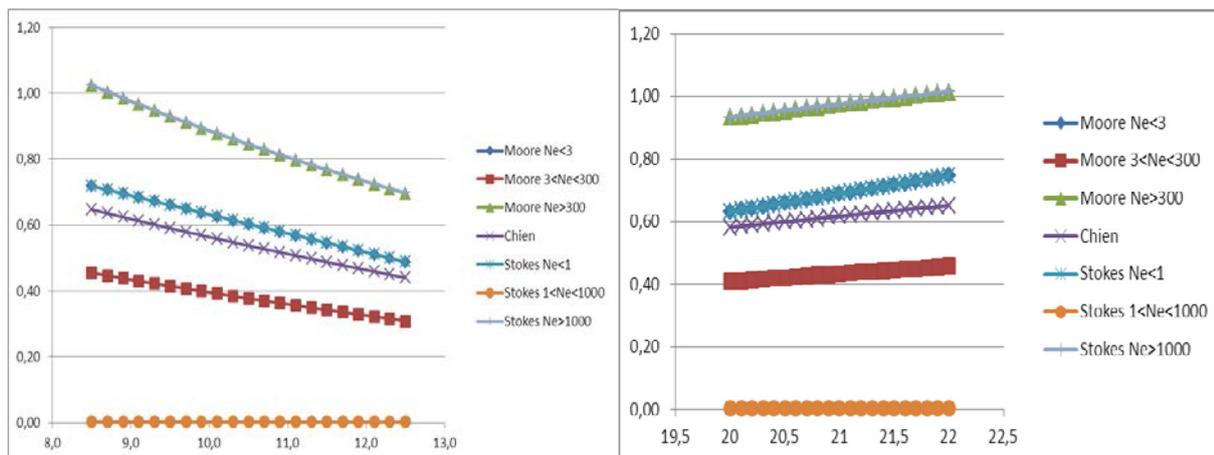
Os dados obtidos mostram que, em função da massa específica do fluido (Figura 5-a), a velocidade de sedimentação apresenta tendência de queda para todas as correlações. Pode-se observar, também, que as curvas da correlação de Moore e da Equação de Stokes se sobrepõem, quando se considera o regime laminar e turbulento, o que mostra que essas têm uma ótima conformidade para esse tipo de cenário. Entretanto, no regime transitório, a equação de Stokes apresenta valores de velocidade de sedimentação extremamente baixos, de modo que há uma discrepância acentuada, em comparação aos valores gerados pelas demais correlações. A correlação de Moore para o regime transitório apresentou os menores valores de velocidade de sedimentação para o cenário apresentado, se considerarmos inconsistentes os dados obtidos pela equação de Stokes nesse mesmo regime. A correlação de Chien mostrou-se com boa semelhança com relação às demais correlações, apresentando valores de velocidade de sedimentação intermediários aos da Equação de Stokes e da Correlação de Moore para o

regime transitório e Laminar.

A Figura 2-b expõe os dados gerados, quando se considera a velocidade de sedimentação em função da massa específica dos sólidos. Nesse cenário, a velocidade de sedimentação apresenta tendência de crescimento com o aumento da massa específica dos sólidos. No regime laminar e turbulento, a correlação de Moore e equação de Stokes mantiveram uma ótima correspondência, apresentando curvas sobrepostas de velocidade de sedimentação. A equação de Stokes, quando se considera o regime transitório, mais uma vez apresentou valores inconsistentes de velocidade de sedimentação, em comparação com as correlações de Moore e Chien. A correlação de Chien gerou valores intermediários, e a correlação de Moore para o regime transitório teve os melhores valores de velocidade de sedimentação.

Já quando se considera o diâmetro dos Sólidos e a Viscosidade Aparente do fluido, têm-se os resultados apresentados nas Figuras 3-a (à esquerda) e 3-b (à direita), respectivamente.

Figura 2 – em função da massa específica do fluido (a) e da massa específica dos sólidos (b)



Fonte – Autor

Os dados obtidos mostram que, em função da massa específica do fluido (Figura 5-a), a velocidade de sedimentação apresenta tendência de queda para todas as correlações. Pode-se observar, também, que as curvas da correlação de Moore e da Equação de Stokes se sobrepõem, quando se considera o regime laminar e turbulento, o que mostra que essas têm uma ótima conformidade para esse tipo de cenário. Entretanto, no regime transitório, a equação de Stokes apresenta valores de velocidade de sedimentação extremamente baixos, de modo que há uma discrepância acentuada, em comparação aos valores gerados pelas demais correlações. A correlação de Moore para o regime transitório apresentou os menores valores de velocidade de sedimentação para o cenário apresentado, se considerarmos inconsistentes os dados

obtidos pela equação de Stokes nesse mesmo regime. A correlação de Chien mostrou-se com boa semelhança com relação às demais correlações, apresentando valores de velocidade de sedimentação intermediários aos da Equação de Stokes e da Correlação de Moore para o regime transitório e Laminar.

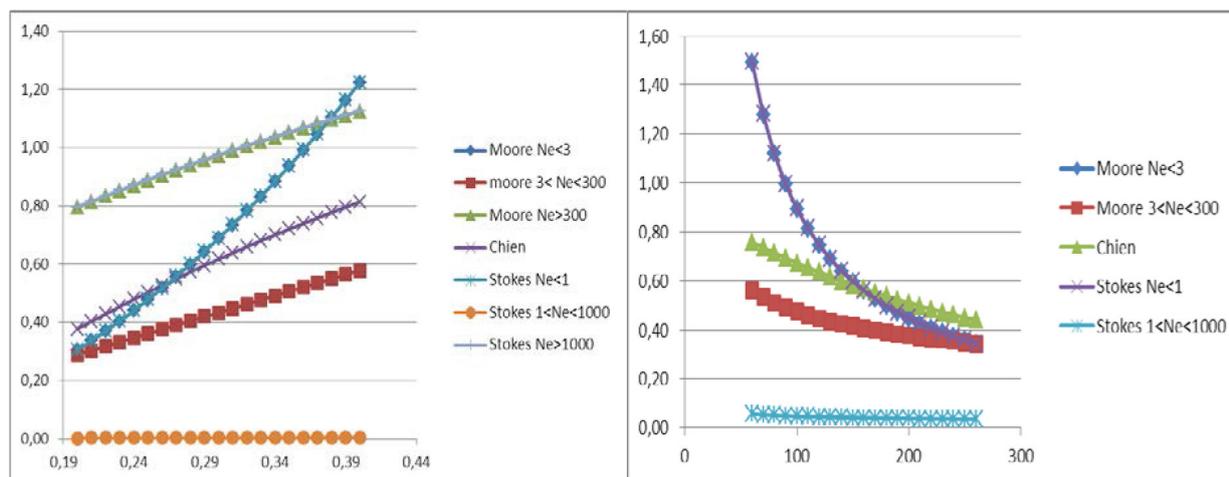
A Figura 2-b expõe os dados gerados, quando se considera a velocidade de sedimentação em função da massa específica dos sólidos. Nesse cenário, a velocidade de sedimentação apresenta tendência de crescimento com o aumento da massa específica dos sólidos. No regime laminar e turbulento, a correlação de Moore e equação de Stokes mantiveram uma ótima correspondência, apresentando curvas sobrepostas de velocidade de sedimentação. A equação de Stokes, quando se considera o

regime transitório, mais uma vez apresentou valores inconsistentes de velocidade de sedimentação, em comparação com as correlações de Moore e Chien. A correlação de Chien gerou valores intermediários, e a correlação de Moore para o regime transitório teve os melhores valores

de velocidade de sedimentação.

Já quando se considera o diâmetro dos Sólidos e a Viscosidade Aparente do fluido, têm-se os resultados apresentados nas Figuras 3-a (à esquerda) e 3-b (à direita), respectivamente.

Figura 3 – Velocidade de sedimentação em função do diâmetro dos sólidos (a) e da Viscosidade Aparente do Fluido (b)



Fonte – Autor

A Figura 3-a apresenta os resultados da variação da velocidade de sedimentação em função do diâmetro dos sólidos para cada correlação. Assim como para a densidade dos sólidos, a velocidade de sedimentação apresenta um crescimento mediante o aumento do diâmetro das partículas. Com relação ao comportamento das correlações, nesse cenário, ocorreu, basicamente, o mesmo que nos anteriores. A correlação de Moore e a equação de Stokes mantiveram a ótima similitude gráfica no regime laminar e turbulento. Nota-se que, no regime laminar, há um aumento substancial da velocidade de sedimentação, o que mostra que o diâmetro das partículas tem grande influência na velocidade de queda nesse tipo de regime de fluxo. No regime transitório, a equação de Stokes manteve os valores de velocidade de queda extremamente baixos, e a correlação de Chien também manteve os valores intermediários.

Na Figura 3-b, são expostos os dados de velocidade de sedimentação em função da Viscosidade Aparente do Fluido. Nessa conjuntura, o comportamento das correlações segue os padrões que foram expostos anteriormente. A Correlação de Moore e Equação de Stokes apresentam curvas sobrepostas para os regimes laminar e turbulento. No regime laminar, há uma queda acentuada da velocidade de sedimentação, o que mostra que esse tipo de regime é bem mais sensível à variação da viscosidade do que os demais. A equação de Stokes, no regime transitório, mais uma vez manteve os valores in-

consistentes, e a correlação de Moore para esse regime de fluxo gerou os menores valores de velocidade de sedimentação. A correlação de Chien apresentou dados intermediários, próximos aos da correlação de Moore no regime transitório.

4.1 ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DE REMOÇÃO E A EFICIÊNCIA DE LIMPEZA COM A VAZÃO DE BOMBEIO

A velocidade de remoção dos sólidos e a eficiência de limpeza são calculadas pelas equações 1 e 4, respectivamente.

A velocidade do fluido no anular é calculada pela seguinte equação:

$$V = \frac{Q}{2,448.(D_o^2 - D_i^2)} \quad (11)$$

Em que:

V = Velocidade do Fluido no Anular

Q = Vazão de Bombeio

D_o = Diâmetro do Poço

D_i = Diâmetro dos tubos de Perfuração

Foi estabelecida uma faixa de vazão de 200 a 1200 gal/min, com a seção de poço constante de diâmetro interno de revestimento de 8,5 in e diâmetro externo da coluna de perfuração de 4,5 in.

Dessa forma, considerando uma velocidade de sedimentação média para cada correlação, é possível calcular a eficiência de limpeza do poço através da Equação 3 e, assim, fazer uma correlação entre a vazão de bombeio e a velocidade de remoção e eficiência de limpeza para cada caso. Tomando como referência a variação de cada parâmetro nas correlações, foram ob-

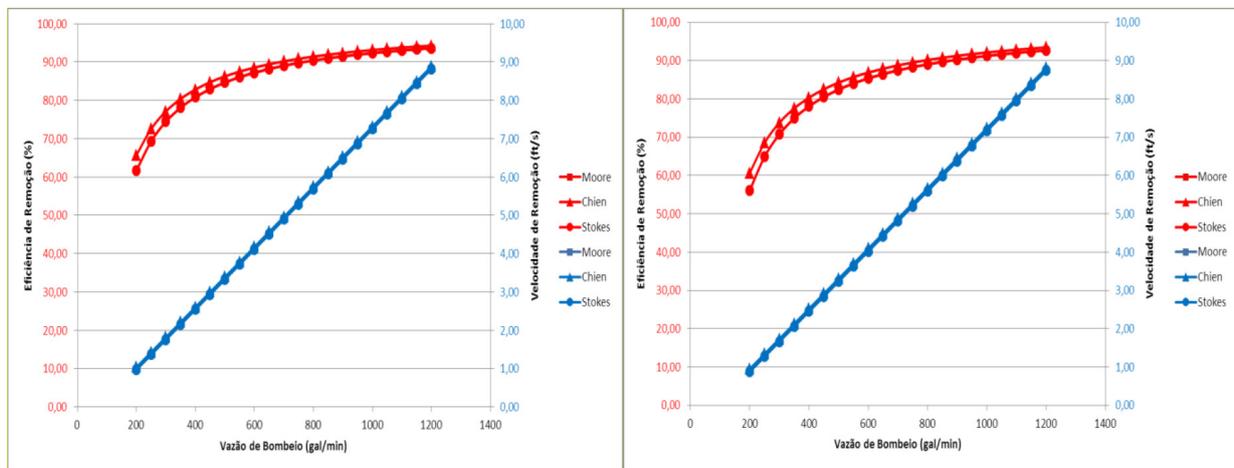
tidos os resultados descritos a seguir.

4.1.1 REGIME LAMINAR

A seguir, serão apresentados gráficos da correlação entre a eficiência de limpeza e a velocidade de remoção e a eficiência de limpeza com relação à vazão de bombeio, quando se considera o regime de fluxo laminar.

As figuras abaixo apresentam os dados em função da Massa Específica do Fluido (Figura 4-a, à esquerda) e da massa específica dos sólidos (Figura 4-b, à direita):

Figura 4 – Correlação entre a eficiência de limpeza e a velocidade de remoção com relação à vazão de bombeio. (a) Em função da massa específica do fluido. (b) Em função massa específica dos sólidos

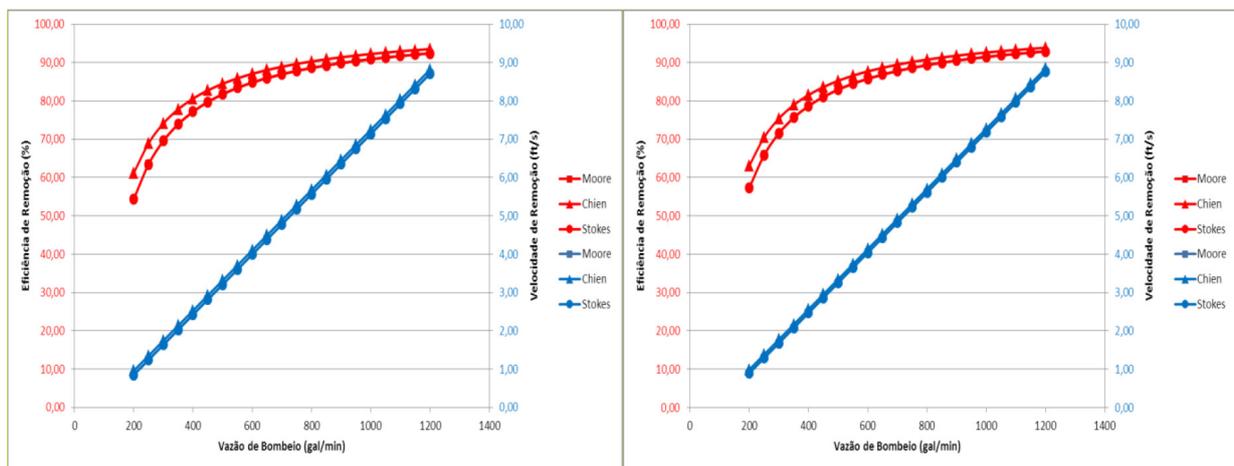


Fonte – Autor

Analisando as correlações em função do Diâmetro das partículas e da viscosidade Aparente do Fluido,

chegam-se aos dados apresentados nas figuras 5-a e 5-b, da esquerda para direita respectivamente.

Figura 5 – Correlação entre a eficiência de limpeza e a velocidade de remoção com relação à vazão de bombeio. (a) Em função do Diâmetro das partículas. (b) Em função da viscosidade Aparente do Fluido



Fonte – Autor

Nos gráficos acima, percebe-se grande semelhança nos valores obtidos. Fica claro que é possível ter uma boa eficiência de limpeza do poço, mesmo para vazões de bombeio baixas. O padrão visto nas figuras mostra que, no fluxo laminar, todos os parâmetros têm efeito muito semelhante sobre a velocidade de queda da partícula.

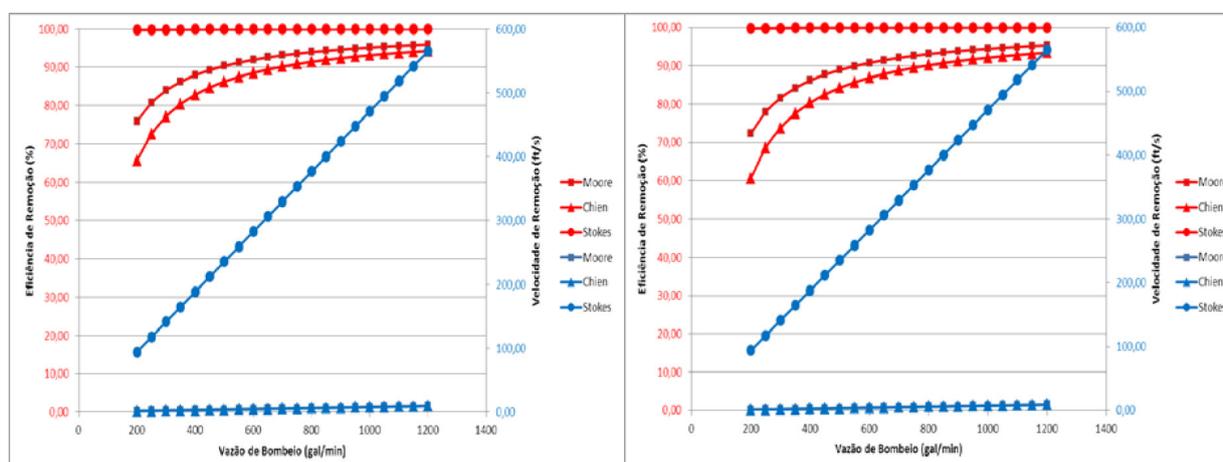
Observa-se, também, que os gráficos de eficiência de limpeza da correlação de Moore e Stokes se sobrepõem, mostrando que há uma ótima conformidade entre essas correções e que, para esse parâmetro, a correlação de Chien apresenta os valores mais elevados.

Nota-se, também, uma tendência para um valor limite de eficiência, pouco maior que 90%. Já com relação à velocidade de remoção, houve um crescimento linear desta com o aumento da vazão.

4.1.2 REGIME TRANSITÓRIO

Para o regime de fluxo transitório, foram gerados os dados apresentados a seguir. As figuras 6-a e 6-b representam os valores obtidos em Função da Massa Específica do Fluido e a Massa específica dos Sólidos, respectivamente.

Figura 6 – Correlação entre a eficiência de limpeza e a velocidade de remoção com relação à vazão de bombeio. (a) Em função da massa específica do fluido. (b) Em função massa específica dos sólidos

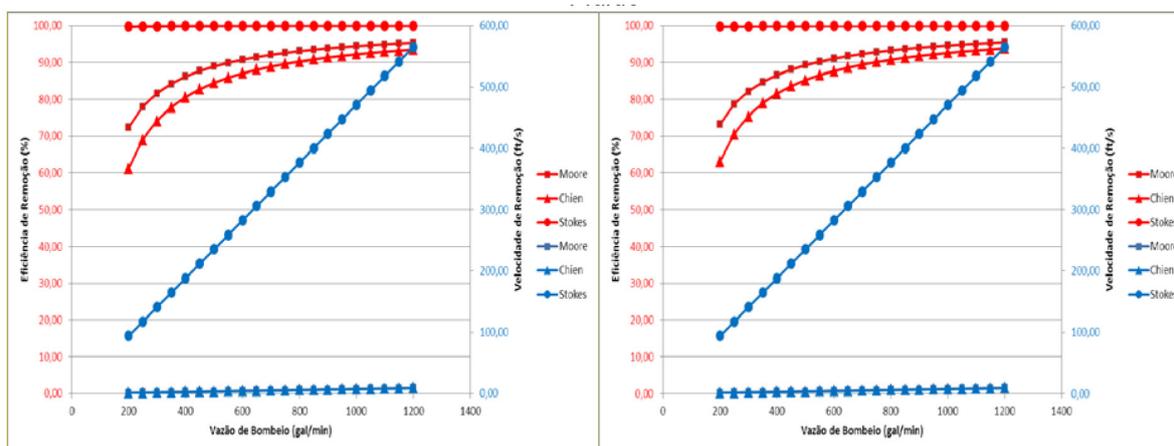


Fonte – Autor

Os dados obtidos em Função do Diâmetro das partículas e viscosidade Aparente do Fluido são apresen-

tados nas figuras 7-a e 7-b, da esquerda para direita respectivamente.

Figura 7 – Correlação entre a eficiência de limpeza e a velocidade de remoção com relação à vazão de bombeio. (a) Em função do Diâmetro das partículas. (b) Em função da viscosidade Aparente do Fluido



Fonte – Autor

Os resultados mostram números de eficiência de limpeza altos, mesmo com pequenas vazões. As correlações de Moore e Chien mantiveram padrões semelhantes aos obtidos para o regime Laminar, tendo a correlação de Chien, mais uma vez, os melhores resultados de eficiência de Remoção.

A equação de Stokes gerou valores de eficiência de limpeza do poço extremamente altos, superiores a 99%. Isso pode ser explicado pelo fato de que, para esse tipo de regime, os valores de velocidade de sedimentação obtidos foram extremamente baixos, que

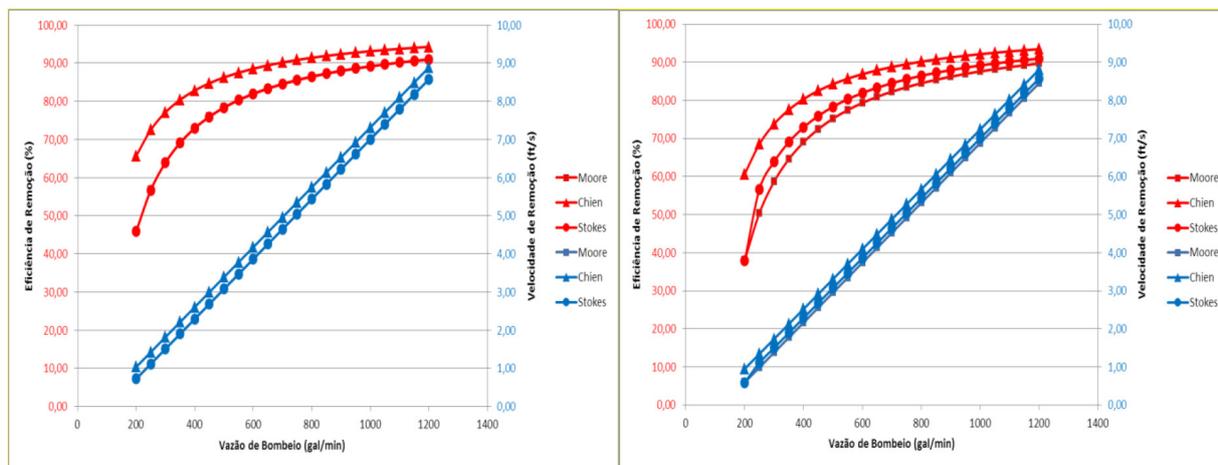
mostram uma não confiabilidade da Equação, quando se considera o regime de fluxo transitório.

4.1.3 REGIME TURBULENTO

No regime turbulento, as correlações se comportaram de acordo com os dados descritos a seguir.

Em Função da Massa Específica do Fluido e da Massa específica dos Sólidos, geraram-se os dados mostrados nas figuras 8-a e 8-b, da esquerda para a direita respectivamente.

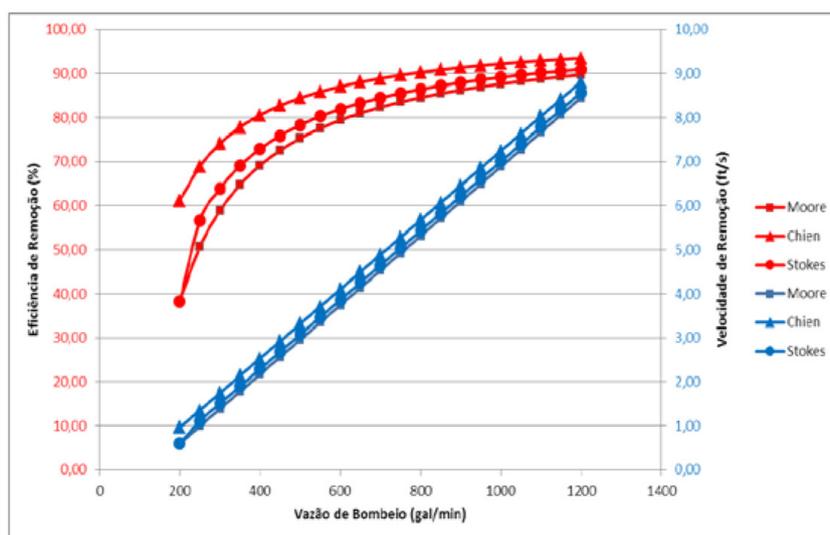
Figura 8 – Correlação entre a eficiência de limpeza e a velocidade de remoção com relação à vazão de bombeio. (a) Em função da massa específica do fluido. (b) Em função massa específica dos sólidos.



Fonte – Autor

A seguir, temos os valores em Função do Diâmetro das partículas.

Figura 9 – Correlação entre a eficiência de limpeza e a velocidade de remoção com relação à vazão de bombeio. Em função da viscosidade Aparente do Fluido



Fonte – Autor

No regime turbulento, os dados gerados em função da massa específica do fluido mostram a tendência de conformidade entre as correlações de Moore e Stokes e, também, que a correlação de Chien apresenta os valores mais elevados para a Eficiência de Remoção, fato que se mantém para os demais parâmetros analisados.

Quando se analisa as correlações em função da Massa Específica dos Sólidos e Diâmetro das Partículas, nota-se que a equação de Stokes tem resultados inferiores de Eficiência de limpeza, em relação às correlações de Moore e Chien.

Uma boa limpeza do poço só é atingida, quando os valores de vazão atingem patamares superiores a 400 gal/min. Além disso, a eficiência da limpeza tende a um limite com relação ao aumento da vazão. Já com relação à velocidade de remoção dos cascalhos, os resultados apresentaram-se com boa conformidade para todas as correlações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram uma boa conformidade entre as correlações avaliadas. Os valores de velocidade de sedimentação, segundo a Correlação de Moore, foram menores para o regime transitório, o que

mostra que, nesse cenário, as partículas seriam carregadas com mais facilidade. Já o regime turbulento apresentou os valores mais elevados. A correlação de Stokes apresentou anomalia nos resultados para o regime transitório, o que mostra que essa equação não seria a mais adequada para a aplicação nesse regime de escoamento.

Com relação à eficiência de limpeza, os valores obtidos foram bastante semelhantes para todas as correlações analisadas. O regime transitório também apresentou as melhores eficiências na limpeza do poço, contrariamente aos valores obtidos para o regime turbulento. A vazão de bombeio tem influência direta na eficiência de remoção dos cascalhos, tendo em vista dependência da velocidade de remoção do fluido. No entanto, em todos os casos estudados, existe um ponto ótimo de vazão que deverá ser correlacionado com as propriedades reológicas do fluido, diâmetro médio e densidade de partículas.

Dessa forma, os modelos propostos por Moore e Chien apresentam uma maior confiabilidade dos resultados referentes à eficiência de limpeza de poços. Além disso, foi verificado que o regime transitório apresentou uma maior eficiência na remoção de cascalhos do poço.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Diego Wohlers da F.; COSTA, Suzana Santos; FONTOURA, Sérgio A. B. da. Estudo de correlações de velocidade de sedimentação de partículas para fluidos não-newtonianos aplicados a problemas de limpeza de poços de petróleo. **PDPETRO**, 4, . Campinas-SP, v. 2.2.0343-1, n.1, 21-24 de Outubro de 2007.

BOURGOYNE, A. T. Jr. et al. **Applied Drilling Engineering**. SPE textbook Series. Vol. 2, 1984.

HUILGOL, R.R. A systematic procedure to determine the minimum pressure gradient required for the flow of viscoplastic fluids in pipes of symmetric cross-section. **J. Non-Newtonian Fluid Mechanics**, v. 136, p. 140–146, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jnnfm.2006.04.001>>

MACHADO, José Carlos. **Reologia e escoamento de fluidos**. 1.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002, 255.

MARTINS, A. L.; Villas-Boas, M. B.; Taira, H. S. Real time monitoring of hole cleaning on a deepwater Extend Well. **SPE Drilling conference**, 2003.

MIMS, Michael et al. K&M Technology Group. **Drilling Design and implementation for extended Reach and Complex Wells**. 3rd ed., United States, 2003.

PLÁCIDO, João Carlos Ribeiro. **Coluna de perfuração de poços de petróleo**. Rio de Janeiro, 2009.

SIMMOS, E. L. **Technique for accurate bit programming and drilling performance optimization**. SPE 14784, 1984.

RYAN, N. W.; JOHNSON, M. M. Transition from laminar to turbulent flow in pipes. **AIChE Journal**, v.5, n.4, p.433–435, 1959. <<http://dx.doi.org/10.1002/aic.690050407>>