

INJEÇÃO DE CASCALHO COM CIRCULAÇÃO REVERSA E “AIR LIFT”

Simeones Néri Pereira¹

RESUMO

A produção de areia em poços tubulares produtores de água, constitui-se em um dos problemas mais sérios em se tratando de exploração de recursos hídricos subterrâneos. É a injeção de pacotes selecionados de cascalho, através de circulação reversa e “air lift”, para contenção de areia que se propõe nesse trabalho. A injeção de cascalho com circulação reversa e “air lift” é realizada com a utilização de um recirculador de mistura, que mantém mais ou menos constante a relação fluido condutor/cascalho, que será injetada no espaço anular através de uma bomba centrífuga ou alternativa. Geralmente, a parte superior do anular é fechada e a bomba tem seu recalque conectado a este. O ar comprimido é injetado através de uma linha de ar e difundido nas hastes de perfuração ou coluna de tubos que é descida até uma posição acima do último filtro, com a função do desbalanceamento da coluna hidrostática. A partir do ponto de injeção de ar, previamente calculado, forma-se uma emulsão fluido-ar, de massa específica menor que o fluido condutor do cascalho contido no sistema. Sendo a mistura fluido-ar de peso específico menor, a mesma será impulsionada para cima através da coluna de descarga, pela lama que está sendo injetada, no anular (pressão hidrostática maior que a tubulação de descarga). Este movimento de fluidez no sentido anular-coluna nos faz crer que melhora a eficiência do método.

1. INTRODUÇÃO

O carreamento de areia em poços tubulares produtores de água constitui-se em um dos problemas mais sérios quando se trata de processos de exploração de recursos hídricos subterrâneos. É mais comum em formações de pequenas profundidades e em arenitos inconsolidados, entretanto, ocorre também em formações mais profundas.

Nem sempre é possível detectar com precisão a causa da produção de areia. Contudo, as mais freqüentes estão relacionadas a seguir:

- a) vazão de produção elevada/alta velocidade de fluxo;
- b) dissolução do material cimentado da formação;
- c) desagregação da rocha produtora devido a mecanismos ligados ao processo de extração de água;
- d) poço completado com filtros de grandes aberturas;
- e) desenvolvimento insuficiente do poço.

¹ Engenheiro de Minas da CPRM Serviço Geológico do Brasil, SUREG-Recife,

Endereço: Av. Sul, 2291, Afogados, CEP 50770-011, Recife/PE, gehitepe@fisepe.pe.gov.br

Sendo a areia um material bastante abrasivo, evidentemente, o seu contato com os equipamentos provoca uma série de inconvenientes, tais como:

- colapso das secções filtrantes devido ao escorregamento da formação causada pela areia produzida;
- abrasão dos equipamentos de subsuperfície e superfície;
- necessidade de recuperações onerosas dos equipamentos;
- assoreamento da parte inferior de filtros e revestimento.

Finalmente, a produção de areia precisa ser contida, de uma forma econômica e sem provocar danos a formação. Isto pode ser obtido reduzindo as forças de fricção entre a água produzida e os grãos da formação, o que será conseguido retendo a areia mecanicamente.

Um método de retenção de areia por meios mecânicos é obtido usando-se tubos telados e pacote de areia com granulometria selecionada, injetada no anular filtro-poço. Com isto evita-se a penetração da areia natural produzida pela formação. É a operação de injeção deste cascalho que se propõe neste trabalho.

2. MÉTODOS DE ENCASCALHAMENTO

O encascalhamento artificial de poços é um procedimento que consiste em descer cascalho selecionado no espaço anular filtro-poço e as vezes revestimento-poço. A esse pacote de areia selecionado chama-se pré-filtro (Figura 1).

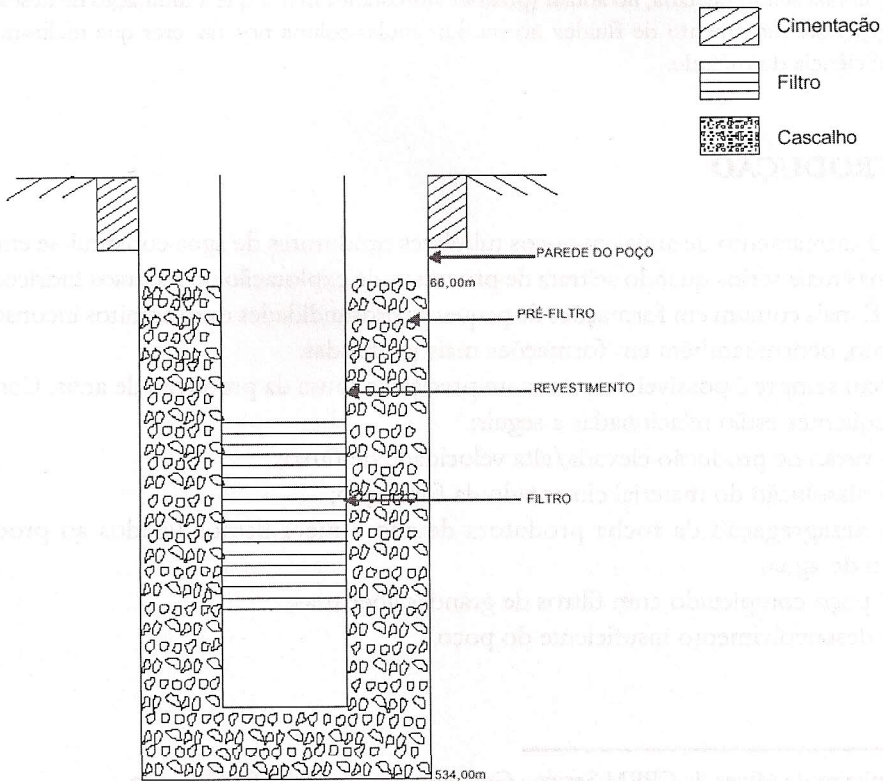


Figura 1 – Pré-filtro entre filtro-poço e revestimento-poço de 66,00 m a 534,00 m.

2.1 – CARACTERÍSTICAS ADEQUADAS PARA O CASCALHO

Um material adequado para constituir o pré-filtro de um poço deve ser limpo, de grãos arredondados e relativamente uniformes. São essas características que promovem maiores porosidades, permeabilidades e velocidades de queda uniforme às partículas quando colocadas a uma certa profundidade do anular. Estas propriedades são de suma importância a um bom encascalhamento.

Recomenda-se para o pré-filtro materiais silicosos, admitindo-se percentual de calcário até 5%. Segundo “A Literatura Técnica”, isto é importante, pois se com o passar do tempo houver necessidade de uma acidificação dos filtros do poço, a maior parte da energia dissolvente pelo ácido seria consumida no material calcário do cascalho.

2.2 – DESCIDA DE CASCALHO COM UTILIZAÇÃO DE TUBOS/FUNIL (por gravidade)

Um método simples para se evitar a segregação das partículas do pré-filtro, consiste em se utilizar uma tubulação de 1 ¼”, posta no anular entre os filtros e a parede do poço. Na extremidade superior dessa coluna de tubos é colocado um funil (Figura 2), através do qual se faz descer o cascalho juntamente com água ou fluido de baixa viscosidade para evitar a formação de “arcos de ponte” dentro da tubulação. A medida que o material desce pela tubulação preenchendo assim o espaço anular, retira-se normalmente duas seções de tubos de cada vez (Figura 2).

Neste método a própria coluna de tubos deverá ser usada para se testar, mediante contato, o topo ou profundidade do material colocado. Isto possibilita o acompanhamento do volume de cascalho descido.

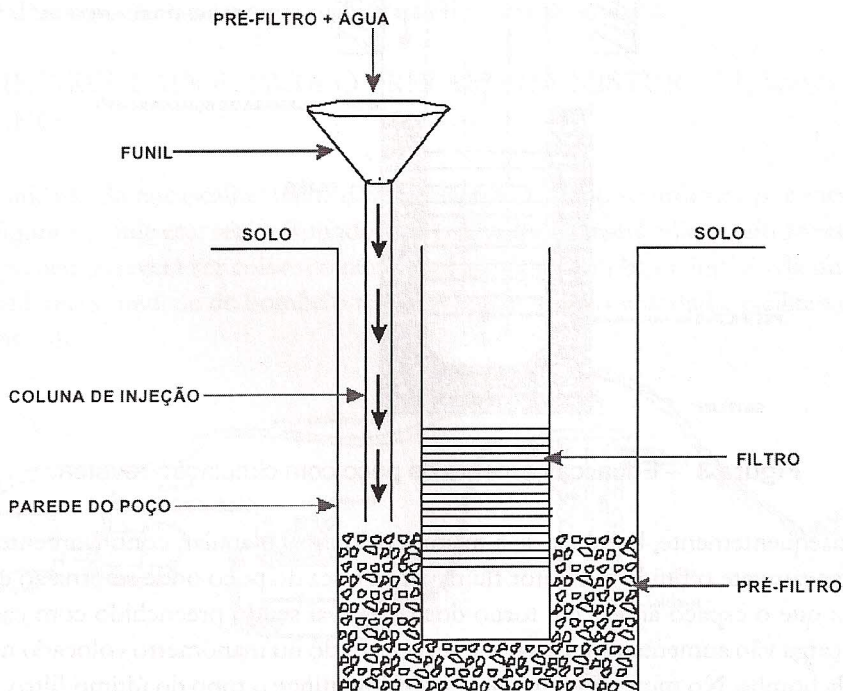


Figura 2 – Encascalhamento de poço com utilização de funil e tubos galvanizados de 1 ¼”.

2.3 – DESCIDA DE CASCALHO COM CIRCULAÇÃO REVERSA

No encascalhamento de poços profundos, o pré-filtro poderá ser levado ao fundo do poço e demais trechos acima, mediante a circulação reversa do fluido de perfuração, geralmente diluído para uma viscosidade Marsh em torno de 32.

Na injeção do pré-filtro com circulação reversa (Figura 3), emprega-se um recirculador de mistura, que mantém mais ou menos constante a relação fluido condutor/cascalho que será injetada para o espaço anular. Utiliza-se neste sistema uma bomba centrífuga ou alternativa que normalmente é submetida a grande desgaste, devido ao atrito provocado pelas partículas do cascalho em movimento no seu interior. Normalmente a parte superior do anular é fechada e a bomba tem seu recalque conectado a este. Na conexão do anular geralmente se coloca um manômetro para controle da pressão de injeção da mistura.

Neste método de injeção do cascalho, instala-se uma coluna de hastes de perfuração ou uma coluna de tubos, para descarga do fluido que deve ser descida até uma posição abaixo do último filtro. Essa calda faz com que o fluido condutor retorne por esta coluna, que na sua extremidade superior deverá ter uma mangueira ou tubo para conduzir o fluido até um dos tanques da sonda.

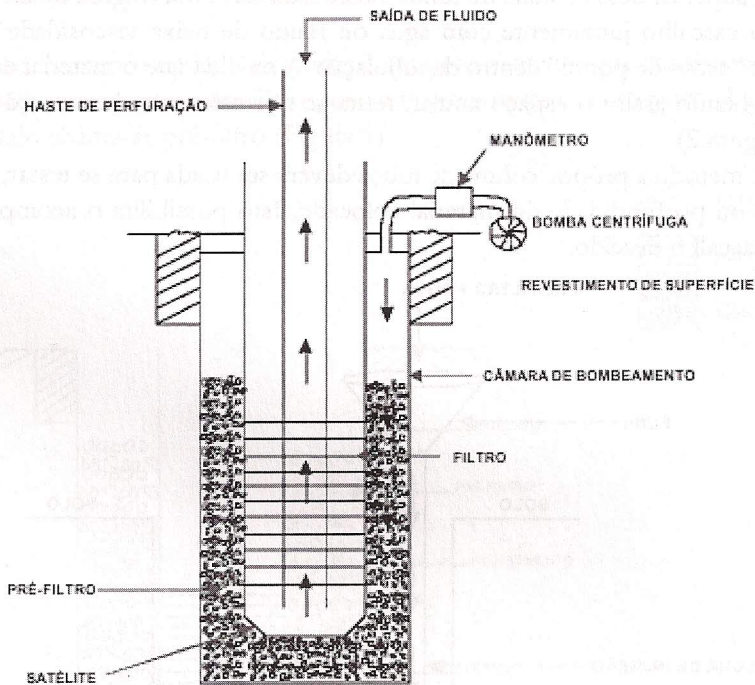


Figura 3 – Encascalhamento de poço com circulação reversa.

Conseqüentemente, bombeia-se a mistura pelo espaço anular, continuamente, sem parar, simultaneamente o fluido condutor fluirá para a boca do poço onde retorna ao circuito. A medida em que o espaço anular em torno dos filtros vai sendo preenchido com cascalho, as perdas de carga vão aumentando. Isto pode ser registrado no manômetro colocado na linha de descarga da bomba. No momento em que o pré-filtro atinge o topo do último filtro, a pressão aumenta bruscamente, indicando assim, que o encascalhamento foi finalizado.

Normalmente, o cascalho é colocado um pouco acima do filtro superior. Isso se deve ao fato de que, durante o desenvolvimento do poço, o cascalho irá se acomodar, baixando, e com isso expondo o filtro à formação. Há trabalhos na literatura que nos afirma que para se conhecer a posição do pré-filtro acima da seção principal de filtros, um ou vários filtros indicadores são colocados. No momento em que o cascalho subisse até o filtro indicador, ocorre um novo aumento súbito na pressão de injeção. Neste instante o operador suspende a operação. Conhecendo o volume de cascalho injetado e o espaço anular, o operador poderá fazer perfeitamente a correlação com o volume esperado (teórico).

A análise dos dados apresentados, permite concluir-se que este método exige um programa criterioso de encascalhamento, pessoal altamente treinado e equipamentos com bom desempenho.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A INJEÇÃO DE CASCALHO COM A UTILIZAÇÃO DE CIRCULAÇÃO REVERSA E “AIR LIFT”

A injeção de cascalho com “AIR LIFT” e circulação reversa é a aplicação do método anterior com a adição de um compressor ao sistema, que tem como função o desbalanceamento da coluna hidrostática dentro das hastes de perfuração ou coluna de tubos, que é descida no interior do revestimento de produção. A coluna hidrostática receberá a injeção de ar do compressor. A partir do ponto de injeção de ar, previamente calculado, forma-se uma emulsão fluido – ar de massa específica menor que o fluido condutor do cascalho contido no sistema. Sendo a mistura fluido-ar de peso específico menor a mesma será impulsionada para cima através da tubulação de descarga, pela lama que está sendo injetada, no anular (pressão hidrostática maior que a tubulação de descarga). Este movimento de fluidez no sentido anular-coluna de descarga nos faz crer que melhora a eficiência do método.

3.1 – RECIRCULADOR PARA O PREPARO DA MISTURA FLUIDO/CASCALHO

A unidade de encascalhamento deverá receber o fluido de mistura por meio de uma bomba (Figura 4), onde este será misturado com o cascalho que será adicionado ao recirculador. Este equipamento deverá ser colocado num nível acima da bomba de injeção da mistura. Isto possibilitará que a unidade de bombeio trabalhe com a sucção inundada, facilitando assim o seu desempenho.

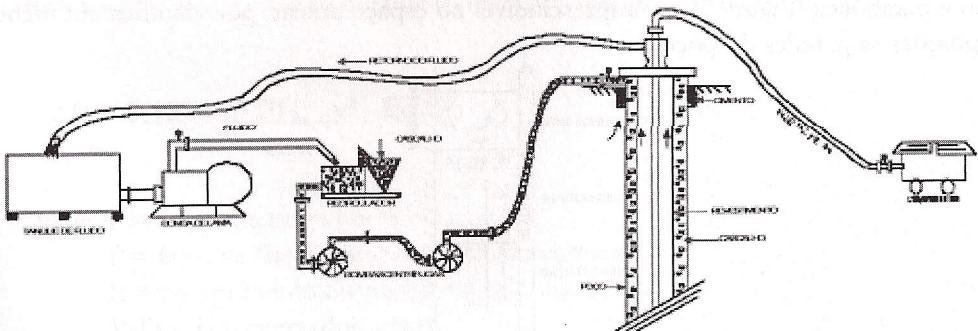


Figura 4 – Unidade de Encascalhamento.

3.2 – BOMBAS CENTRÍFUGAS

A abrasividade do material utilizado no encascalhamento e os riscos iminentes ao sistema, nos faz optar pela utilização de duas bombas centrífugas para a injeção do cascalho, tendo em vista que uma bomba ao deixar de succionar a operação não seria paralisada, pois uma é suficiente para a alimentação da mistura para o poço, pois em hipótese alguma se recomenda a interrupção dessa operação, em virtude da possibilidade de formação de “arco ponte”.

Na instalação destas bombas, deve-se levar em conta o elenco de sugestões conforme descrito abaixo:

- Para evitar aumento de “perdas de carga” na sucção, deve-se colocar mangueira igual ou superior ao diâmetro nominal de entrada; deverá ser de tamanho curto e sem curvas; qualquer conexão feita na sucção deve ser mantida perfeitamente fechada. Sem isso não haverá eficiência na sucção do fluido;
- Não operar bombas centrífugas sem o perfeito “escorvamento”;
- Quando se utiliza uma bomba centrífuga como recalque para sucção de outra do sistema, é praxe colocar esta em funcionamento e fazer sucção através daquela para assim efetuar a “escora”. Normalmente após o “escoramento”, iniciar o seu funcionamento com a válvula de descarga parcialmente fechada até que seja alcançada uma certa velocidade e então é esta válvula gradativamente aberta até sua posição de abertura total. Se após o início do funcionamento, a bomba recalca um pouco de fluido e depois suspende-o, alguma coisa errado ocorre; isso pode ser devido a falta de drenagem do ar total da linha de sucção e da bomba; pode ser que exista alguma rachadura ou vazamento na sucção ou no engaxetamento do eixo; ou em virtude da sucção ser longa e de pequeno diâmetro.

4. REGIME DE FLUXO

No tocante ao escoamento no anular e tubulações do sistema sonda, nos interessa a determinação do regime de escoamento do fluido que pode ser: tampão, laminar e turbulento.

4.1 – ESCOLHA DO REGIME DE FLUXO: Justificativa

Acredita-se que o regime ideal de escoamento para o fluido é o laminar, onde as partículas do fluido se movem segundo linhas paralelas entre si e ao eixo do fluxo, a frente deste fluxo é parabólica (Figura 5) e é imprescindível no espaço anular, pois danifica em menores proporções as paredes do poço.

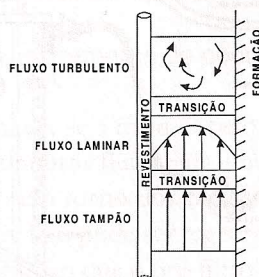


Figura 5 – Transição e regimes de fluxo do modelo Binghamiano.

No regime de fluxo turbulento segundo o qual as partículas se movimentam irregularmente ao longo dos eixos longitudinal e transversal. Este tipo de fluxo apresenta perigo de erosão nas paredes do poço, tendo em vista maiores perda de carga.

No que diz respeito ao regime de fluxo tampão, no qual o fluido escoar em forma de massa rígida. Isto provavelmente levaria a formação de “arcos pontes” de cascalho ao longo das secções filtrantes.

O melhor critério para verificar, se o regime de escoamento em uma tubulação ou anular é um dos três acima, é através do número de Reynolds (Eq. 1), que em função dos parâmetros reológicos do fluido e da geometria do anular, calcula-se a velocidade crítica (acima da qual o fluxo estaria em regime turbulento) para se obter escoamento laminar. Escolhendo-se o modelo reológico de Bigham, dentre as várias fórmulas empíricas para determinação do regime de fluxo, descreve-se a proposta pela PETROBRÁS (1989). Atribuindo valor ao número de Reynolds ($NR \leq 3.000$ para fluxo laminar) determina-se a velocidade crítica.

$$NR \leq \frac{928 \times \rho \times v \times deq}{Vp} \quad (\text{Eq.1}), \text{ com } NR > 100$$

Sendo: NR = Número de Reynolds, adimensional
 V = Velocidade de descida do fluido ao redor do revestimento, pés/seg
 ρ = massa específica do fluido, lb/gal
 Deq = Diâmetro equivalente, pol = 0,816 (DP – DR), sugerido pelo API
 Dp = Diâmetro do poço, pol
 Dr = Diâmetro do Revestimento, pol
 Vp = Viscosidade plástica, centipoise, CP

Substituindo NR; deq; Dp; DR e Vp na Eq. 1, tem-se a velocidade crítica. Com este valor determina-se a vazão de bombeio através de fórmulas empíricas, como abaixo:

$$Q = \frac{V}{17,158} (D_p^2 - D_r^2) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: Q = vazão, bbl/min

4.2 – ESTIMATIVA DA PRESSÃO DURANTE A DESCIDA DE CASCALHO

Para evitar fraturar formações fracas, pode-se calcular a perda de carga por fricção em cada trecho, e com isto a pressão durante o deslocamento, pela fórmula:

$$\Delta P = 0,1271 \frac{f \cdot Pf \cdot L \cdot v^2}{Deq} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: P = Perda de carga por fricção (psi)
 f = fator de fricção de Fanning (adimensional)
 L = comprimento do trecho considerado (pés)
 V, Deq já comentados acima.

Para o regime de fluxo laminar, o valor de f , para anular, e a perda de carga por fricção (Pf) é dado pelas expressões a seguir:

$$f = \frac{24}{NR} \quad \text{e} \quad Pf = \frac{0,039 \cdot f \cdot \rho \cdot v^2 \cdot L}{D}$$

5. UTILIZAÇÃO DE “AIR LIFT” NA INJEÇÃO DE CASCALHO COM CIRCULAÇÃO REVERSA.

A equação de Gibbs para o método “Air Lift” (Figura 6) em extração de água é:

$$V_a = \frac{L}{C \log [S + 34]} \quad \text{Eq. 4}$$

34

Sendo: V_a = Volume de ar (pés³/mim) por galão de água

L = Altura de recalque, pés

S = Submergência da linha de ar (pés)

C = Uma constante determinada pela eficiência global do sistema e a submergência

A constante C varia conforme os diferentes percentuais de submergência e seus valores estão correlacionados com a injeção de ar por dentro de um tubo ou por fora.

Valores de C

SUBMERGÊNCIA PERCENTUAL	TUBO DE AR POR FORA	TUBO DE AR POR DENTRO
30	188	140
35	216	160
40	248	188
45	272	214
50	300	240
55	316	264
60	336	288
65	348	308
70	356	324
75	364	338

Tabela 1 – Extraído de Allen, J.H.A., World Mining Magazine, From The. January, 1976.

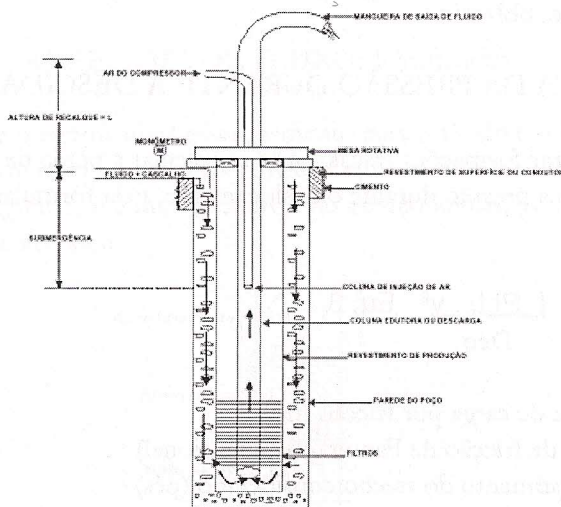


Figura 5 – Circulação Reversa com “Air Lift”

Em virtude da equação de Gibbs (Eq. 4) ser válida apenas para extração de água, massa específica de 8,33 lb/gal e geralmente os fluidos utilizados em operações de encascalhamento estão acima deste valor, aconselha-se que a altura de recalque e a submergência sejam corrigidas pela massa específica do fluido em relação a água, conforme descrição a seguir:

$$V_a = \frac{\text{Altura de Recalque} \times \text{Peso Específico do Fluido}}{\text{Clog} [\text{Submergência} \cdot \text{Peso Específico do Fluido} + 34]} \quad \text{Eq. 4'}$$

34

Considera-se de muita importância a determinação da área requerida de descarga na saída do fluido (mangueira ou tubo) e na tubulação de injeção de ar. Dados da literatura mostram que, quando comparado o trabalho para ascender o fluido de perfuração com bombas alternativas e pelo compressor de ar, afirma-se que a eficiência global deste último é em torno de 30%. Em virtude de sua baixa eficiência, é essencial que a área de entrada na coluna e a área de descarga na mangueira ou tubo sejam de dimensões satisfatória para manter as perdas de carga as menores possíveis e assim, obter a expansão completa do ar injetado. Usando as fórmulas de circulação reversa, calculam-se estas áreas como se segue:

5.1 – CÁLCULO DA ÁREA DE DESCARGA OU TUBO (A_d)

$$A_d = \frac{144}{V_d} (Q_f + Q_a)$$

Onde: A_d = Área de descarga na mangueira ou tubo, pol^2

V_d = Velocidade de descarga, pés/min (600 pés/min)

Q_f = Volume de fluido de perfuração, pés/min

Q_a = Volume de ar livre, pés/min

5.2 – CÁLCULO DO VOLUME DE AR COMPRIMIDO (Q_a)

Para determinação do volume de ar comprimido, utiliza-se a fórmula abaixo:

$$Q_a = \frac{V_a (\text{Volume de ar em pés cúbicos por galão de água})}{\text{Índice de Compressão}}$$

onde o índice de compressão (IC) é:

$$\text{IC} = \frac{\text{Submergência} \times \text{Peso Específico do Fluido}}{(2,31) (14,7)} + 1$$

5.3 – CÁLCULO DO DIÂMETRO INTERNO DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA (D)

O cálculo do diâmetro interno da tubulação de descarga de ar (D) pode ser feito pela seguinte expressão:

$$D = \sqrt{\frac{A_d}{0,7854}} \quad (\text{polegadas})$$

5.4 – CÁLCULO DA PRESSÃO DE DESCARGA DO COMPRESSOR (P)

A determinação da pressão de descarga do compressor (P) pode ser calculada assim:

$$P = \frac{\text{Submergência} \times \text{Peso Específico do Fluido} + \text{Fricção da Linha de Ar}^*}{2,31} \quad (\text{psi})$$

* Normalmente se atribui um valor de 10% para as perdas de fricção na linha de ar.

6. RECOMENDAÇÕES

Nas experiências que obtivemos com injeção de cascalho com circulação reversa e “Air Lift” e a revisão bibliográfica dessas teorias em poços de água, recomenda-se que os critérios tal como especificados abaixo, sejam estabelecidos:

- 1) mangueira ou tubos de saída de fluidos devem ser dimensionados com estimativa de velocidade de descarga de 600 pés/min para o fluido de condução do cascalho;
- 2) só executar injeção de cascalho por circulação reversa se o poço não estiver desmoronando;
- 3) baixar a viscosidade do fluido até mais ou menos 32 Marsh e circular até sua completa homogeneização.

7. VANTAGENS DO MÉTODO

- a) Menor tempo de sonda gasto para encascalhar, comparado com os métodos convencionais.
- b) Redução da pressão hidrostática, no anular, paulatinamente, evitando situações de risco.
- c) Reaproveitamento do fluido utilizado na perfuração.
- d) Possibilita a utilização do método em poços profundos.
- e) Possibilita a utilização em poços revestidos com tubos geomecânicos (observar a tração e pressão de colapso).
- f) Evita fraturamento de formações próximas a superfície.

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

PETROBRÁS. PETROGUIA. 1ª Edição. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/DEPER. 1989.

9. ANEXO – FATORES DE CONVERSÃO

	Multiplicado por	Para obter
pés/seg	30,48	cm/seg
lb/gal	0,12	kg/l
pol	2,54	cm
bbf/min	9,53	m ³ /h
psi (lb/pol ²)	703,10	kg/m ²
pés	0,3048	m
pés ³ /min	472	cm ³ /seg
galões	3,7854	litros
pol ²	6,4516	cm ²
pés/min	0,508	cm/seg

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

- ALLEN, J. H. A Review of Reverse Circulation Air Lift Methods for Big Hole Drilling, *World Mining Magazine*, From the January, 1976.
- ALMEIDA, Antônio Carvalho – Manual de Perfuração – Salvador-BA, 1997.
- ATLAS COPCO DO BRASIL – Extração de Água pelo Sistema “Air Lift”.
- METALÚRGICA SCHULZ S/A – Extração de Água de Poços Profundos.
- GARCIA, S. E. L. Contenção Mecânica da Produção de Areia – Notas de Aula – CENOR – Salvador-BA.
- GOUVEIA, P. C. V. M. Fundamentos de Revestimento e Cimentação – CENOR – PETROBRÁS. Salvador-BA.
- MACROBAR. Manual de Engenharia de Fluidos de Perfuração – Revisado por R.L.S. 1977.
- PROMINAS DO BRASIL S/A – Manual de Desenvolvimento de Poços.
- STEFAN, P. Manual de Fluidos de Perfuração. Março, 1982, Salvador-BA.