

## 2 Produção de Areia e Sistemas de Contenção

### 2.1. Introdução

Produção de Areia é o termo dado ao fluxo simultâneo de óleo ou gás e de partículas sólidas durante os estágios de produção de um poço de petróleo. De uma forma geral, os problemas associados a este mecanismo são operacionais, causando prejuízos financeiros como resultado do desgaste prematuro de equipamentos e a necessidade de limpeza pesada, podendo chegar a alguns casos de fechamento do poço. Normalmente não é decorrente de apenas um evento, mas de uma seqüência deles.

A produção de óleo e gás sem o carreamento de sólidos é um desafio dos mais antigos da produção comercial do petróleo. Segundo Vaziri *et al* (2000), os custos relativos à produção de areia são difíceis de contabilizar devido aos seguintes fatores: i) as medidas de contenção de produção de areia são aplicadas a priori em muitos poços mesmo sem necessidade; ii) o controle da produção de areia reduz em cerca de 40% a 50% o potencial de produção, devido a tamponamentos e; iii) os custos operacionais de limpeza são bastante variados, assim como a disposição e tratamento da areia.

A produção de areia pode se apresentar em três cenários distintos: no primeiro, os sólidos são produzidos junto ao primeiro fluxo do poço, cessando logo em seguida; no segundo, os sólidos são produzidos de forma contínua, por toda a vida do poço; já no terceiro, a produção pode começar após um período de tempo, geralmente após o início da produção de água, devido à perda de tensão capilar, aumento da fricção do fluxo de fluidos e/ou pressão de reservatório reduzida. (Borges, 2007).

Ao longo do tempo, sistemas para diminuir o impacto da produção de areia vêm sendo desenvolvidos. Entre esses métodos, estão incluídos os não mecânicos, onde, na realidade, o problema é amenizado através da interferência nas

propriedades da formação, e os mecânicos, onde são instaladas telas no poço. De acordo com Foster *et al* (1999), os métodos mecânicos vêm sendo utilizados em poços horizontais localizados no Golfo do México, perfurados em rochas brandas e com alta permeabilidade, desde o início de década de 90. A completção desses poços com grande potencial de produção de areia compreende desde a instalação de telas simples até telas mais sofisticadas e sistemas compostos.

## **2.2. Produção de Areia**

### **2.2.1. Problemas Relacionados à Produção de Areia**

De uma forma geral os sólidos produzidos podem ocasionar problemas de três maneiras: grãos carregados para o poço, grãos depositados ao longo do poço e ao longo das linhas de produção e grãos “produzidos” juntamente com o óleo.

Os grãos de areia que são depositados ao longo do poço e das linhas de produção podem levar a um entupimento das mesmas, resultando em queda da vazão. Se essa restrição de produção não for revertida, pode levar ao entupimento do canhoneio e ao bloqueio total da produção. Para tentar reverter a situação, são necessárias operações de limpeza do poço, e conseqüente parada na produção, o que implica no aumento dos gastos operacionais.

Entre os problemas causados pelos grãos carregados incluem-se: a diminuição da produção de óleo ou gás no poço e abrasão de ferramentas internas ao poço (fig. 2.1), danos às tubulações e aos equipamentos de superfícies, colapso do revestimento, levando à necessidade de reparo ou substituição dos materiais e a uma conseqüente parada de poços e plantas de processo (Fjær *et al*, 1992).



Figura 2.1 – Equipamentos internos erodidos pelo carreamento de grãos.

Além disso, devem ser levados em consideração os problemas ambientais, derivados da necessidade de disposição de resíduos impregnados por hidrocarbonetos: a areia que chega à superfície deve passar por processos especiais de manuseio e descarte (Dusseault e Santarelli, 1989).

### 2.2.2. Mecanismos de Produção de Areia

A produção de areia ocorre com mais frequência em formações arenosas onde a tensão de confinamento é baixa. Estas formações podem ser classificadas em três categorias:

a) formações friáveis, que têm resistência suficiente para permitir que um testemunho íntegro seja retirado do poço, mas que pode ser quebrado em pequenos fragmentos ou ter seus grãos separados individualmente com a pressão dos dedos;

b) formações parcialmente consolidadas, que apresentam alguma resistência à degradação, que pode ser alterada por mudanças químicas ou físicas até o ponto em que a aderência entre os grãos não seja mais efetiva no controle do movimento dos grãos de areia e;

c) formações totalmente inconsolidadas, que não possuem resistência alguma – o arcabouço está totalmente livre de cimento.

Qualquer mudança química ou física do meio provê a aderência entre os grãos pode dar início ao processo de desagregação. (Borges, 2007).

Segundo Friedman *et al* (1992), é a quantidade de agente cimentante existente entre os grãos que determina o grau de consolidação do arenito. Além disso, a presença de pouco agente cimentante entre os grãos é associada a pouca compactação e à baixa pressão de dissolução.

Da mesma forma, a produção de sólidos também pode ocorrer em rochas calcáreas, carvão e arenitos de resistência média e elevada (Dusseault e Santarelli, 1989) e ainda em rochas carbonáticas (Papamichos, 1998), devido à alta pressão a que a formação é submetida (Costa, 2007).

De acordo com Tronvoll *et al* (1997), para que ocorra produção de areia, deve ocorrer uma seqüência de mecanismos desestabilizadores – instabilidades mecânicas associadas a instabilidades hidromecânicas. A concentração de tensões na parede do poço devido às condições de produção deve ser suficiente para romper a cimentação natural dos grãos, tornando-os livres para serem arrastados pelas forças de percolação.

Os mecanismos desestabilizadores podem ser de natureza mecânica da formação – resultando em plastificação ao redor do furo ou ruptura; e/ou de natureza hidrodinâmica – resultando em erosões e no carreamento de partículas mais finas. Dusseault e Santarelli (1989) estabeleceram que a natureza acoplada do fenômeno de produção de sólidos é função das condições da estrutura e do estado de tensões e ocorre devido à condutividade hidráulica relacionada ao estado de deformações. Tronvoll *et al* (1997) estabeleceram que os mecanismos mecânicos e hidrodinâmicos estão acoplados e a concentração de tensões ao redor do furo pode provocar danos localizados, aumentando a quantidade de material livre, que poderia, então, ser facilmente transportado pelas forças hidrodinâmicas.

Os mecanismos de natureza mecânica ocorrem devido a rupturas por tração ou por compressão. No primeiro caso, as partículas são arrancadas do reservatório por tensões de tração induzidas pelas forças de percolação devido ao fluxo, sendo que este comportamento é mais comum em rochas brandas ou pobremente consolidadas. A ocorrência destes mecanismos está associada à perda de coesão e, conseqüentemente, desenvolvimento de uma zona ou região plastificada. Pode ser função da diferença entre a pressão dos poros da formação e a pressão do fluido no interior do poço (*drawdown*), ou das forças de percolação, ou ainda das propriedades do meio poroso (Mendoza, 2003). No segundo caso, cascalhos de rocha fragmentada originam-se devido à concentração de tensão de compressão ao

redor do poço. Uma vez livres, estas partículas podem ser facilmente arrastadas pela força de percolação do fluido (Morita e Boyd, 1991).

Em relação ao comportamento associado ao fluxo, este pode conduzir ao arraste de partículas da estrutura da rocha, devido ao fluxo através dos poros. Além disso, quanto maior a velocidade de fluxo e a viscosidade do fluido maior será a quantidade de areia produzida.

Ainda segundo Mendoza (2003), entre os fatores que influenciam o desencadeamento da produção de areia, estão os associados às propriedades da formação e os associados às fases de desenvolvimento de um poço (perfuração, completação e produção).

São chamados de Fatores Básicos aqueles que incrementam o potencial de desagregação dos grãos da matriz. Entre eles podemos citar a magnitude das tensões vertical e horizontais *in situ*, o gradiente de pressão de poros, a velocidade local do fluido, entre outros. Aqueles que incrementam o potencial de desagregação dos grãos, mas estão associados às características da formação, são os Fatores Relacionados à Resistência e entre eles estão: resistência e heterogeneidade da rocha e forças capilares. Por último, os Fatores Operacionais, associados às operações de desenvolvimento do poço, que modificam as características da rocha matriz (Bianco, 2001). Nas operações de perfuração, o tamanho e fase do furo e densidade do fluido podem aumentar o potencial de desagregação; na completação, os parâmetros são o diâmetro e orientação do poço e a dimensão dos tubos; e por último, na fase de produção, incluem-se taxa de fluxo, velocidade do fluxo de fluidos, pressão diferencial, depleção, influxo da água e declínio da pressão de poros.

Outro fator que deve ser levado em conta no problema de produção de areia é o declínio da pressão estática do reservatório, que levará a uma maior tensão efetiva sobre a formação, podendo resultar em dano à cimentação entre os grãos.

### **2.3. Métodos de Contenção de Areia**

A necessidade de desenvolver métodos de controle de areia surgiu a partir da detecção deste problema nos poços de água. (Borges, 2007). Para que o método seja o mais adequado, é importante definir as características da formação. Bennet

*et al* (2000) propõem uma metodologia para seleção do sistema adequado de contenção de areia para poços horizontais não revestidos. O sistema deve considerar parâmetros como diâmetro médio da areia da formação, coeficiente de uniformidade dos grãos, quantidade de finos, vazão esperada e mecanismos de ruptura do poço.

Para a escolha do método, devem ser considerados também fatores de projeto – histórico de produção de areia, custo inicial do controle de areia, confiabilidade esperada, influência na produtividade, custo de reparação do sistema de completação, exclusão de camadas de água ou gás, presença indesejada de camadas de folhelhos, entre outros (Suman *et al*, 1991). A partir disso, o método a ser aplicado levará em conta o equilíbrio do conceito/projeto e o custo associado (Bianco, 1999).

A seguir estão apresentados os principais métodos utilizados para o controle da produção de areia.

### **2.3.1. Métodos Não-Mecânicos**

Os métodos não-mecânicos de contenção da produção de areia consistem em intervenções para reforçar a formação, através da injeção de substâncias químicas ou vapor d'água, seleção de intervalos de canhoneio ou na redução das forças de arraste. As principais características, bem como vantagens e desvantagens de cada um dos métodos são descritos abaixo.

#### **2.3.1.1. Redução das Forças de Arraste**

As duas formas de controle de areia através deste método são o aumento da área de fluxo e a restrição da vazão de produção. No caso de poços revestidos, o aumento do fluxo consiste no aumento do diâmetro do poço e/ou da densidade do canhoneado, isto é, mais furos no mesmo trecho a ser produzido (fig. 2.2). No caso de poços não-revestidos, consiste no aumento do diâmetro do poço e/ou do comprimento do intervalo produtor. Em ambos os casos, é possível aumentar a área da formação exposta ao fluxo, através da fraturas induzidas (Machado, 2004).



Figura 2.2 – Esquema de canhoneio.

A restrição da vazão de produção é limitada pela vazão crítica do poço, onde a partir deste ponto a produção de areia é excessiva. Este ponto é determinado em função de fatores econômicos e mecânicos do sistema.

Entre as principais vantagens dessas técnicas, incluem-se a simplicidade do método e o baixo custo. Entre as desvantagens podemos citar as limitações de instalação, pois depende das características de cada formação e o fato de muitas vezes tornar a produção economicamente inviável.

#### 2.3.1.2.

#### **Consolidação Química (Pré-consolidação da Formação)**

Esta técnica consiste no tratamento químico da formação através da injeção de resina para a cimentação dos grãos de areia, promovendo um aumento na resistência da formação (fig. 2.3). É de simples execução e baixo custo, requer o uso de poucos equipamentos e tem uma razoável durabilidade.

Entre as desvantagens estão as limitações de temperatura (devem alcançar no máximo 135°C), as limitações de aplicação (intervalos pouco espessos, de 2 a 3 metros, são bem-sucedidos), a redução da permeabilidade e a possibilidade de

tornar a produção economicamente inviável e o risco de interrupção da produção pela impermeabilização do arenito (Machado, 2004).

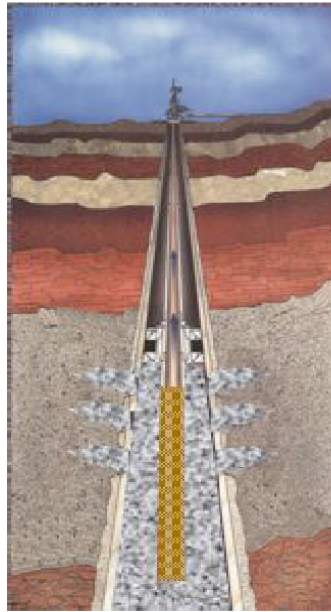


Figura 2.3 – Esquema da pré-consolidação do arenito (Borges, 2007).

### 2.3.1.3. Seleção dos Intervalos de Canhoneio

A seleção dos locais de canhoneio é um outro meio para minimizar a produção de areia. É uma técnica simples, mas para ser bem sucedida requer uma seleção cuidadosa dos intervalos a serem perfurados, que pode ser obtida a partir das propriedades de perfis mecânicos (Bianco, 1999). Consiste em perfurar regiões onde a formação possui uma boa resistência mecânica, e com isto uma pequena possibilidade de produzir areia. No entanto, pode limitar as taxas de produção e o potencial do reservatório pode não ser totalmente explorado. Colapsos e danos à formação também podem ser fatores limitantes.

### 2.3.2. Métodos Mecânicos

Os métodos mecânicos de contenção de areia surgiram a partir da evolução das técnicas utilizadas nos poços de água – criando os primeiros tubos rasgados. (Borges, 2007). Eles têm a função de filtrar e consistem na instalação de



ferramentas no fundo do poço, que pode ser um tubo ranhurado, uma tela ou um sistema mais complexo.

Os métodos baseiam-se no princípio de retenção dos sólidos que formam pontes ou arcos através do embricamento de partículas que impedem a entrada de mais sólidos da formação para o poço (Machado, 2004). São aplicáveis em poços revestidos ou abertos, verticais, direcionais ou horizontais e estão detalhados a seguir.

### **2.3.2.1. Stand Alone**

Técnica muito utilizada nos primeiros poços horizontais, consiste na simples instalação de um equipamento de contenção, que pode ser um tubo ranhurado, ou, mais freqüentemente, uma tela de contenção. Este sistema é eficaz se for instalado em formações de granulometria homogênea e com pouca quantidade de finos, do contrário as partículas mais finas podem causar a redução da permeabilidade do sistema e por conseqüência redução da produtividade do poço (Machado, 2004).

- **Tubos Ranhurados**

Os tubos ranhurados são tubos com cortes longitudinais, dimensionados em função do diâmetro dos grãos da rocha (fig. 2.4 e 2.5). O custo de instalação é baixo, além de ser um método eficaz para poços com longos trechos expostos ao reservatório (poços horizontais). No entanto, a aplicação é limitada para poços com vazões menores, não sendo recomendado para aplicação em poços com altas vazões, pois o carregamento de grãos poderia provocar o entupimento das ranhuras.

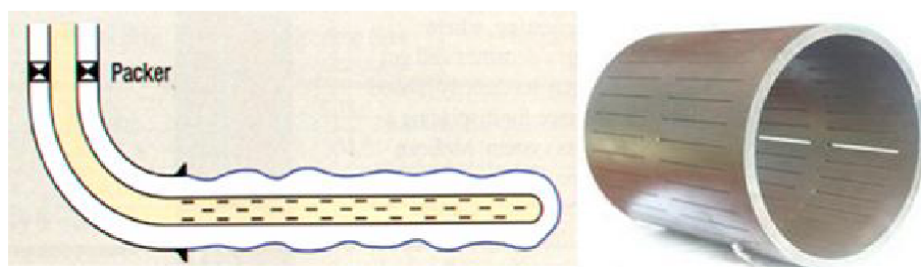


Figura 2.4 – Esquema de poço aberto com tubo ranhurado e foto do tubo ranhurado (Weatherford, 2009).

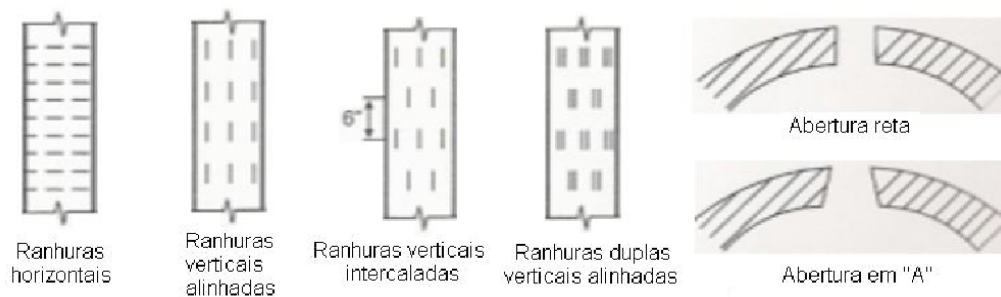


Figura 2.5 – Disposição das ranhuras no tubo (Borges, 2007).

- Telas Não-expansíveis

As telas não-expansíveis são um grupo composto pelas telas *wire wrapped*, pré-empacotadas e *premium*. Apresentam maior área de abertura ao fluxo, no entanto, reduzem o diâmetro interno do poço.

As telas *wire wrapped* são compostas basicamente de um tubo base perfurado envolvido por uma camada de arame com espaçamento adequado para reter a areia da formação. São indicadas para completação de poços abertos de reservatórios homogêneos com granulometria bem graduada (fig. 2.6).

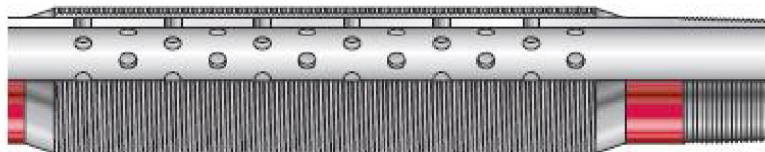


Figura 2.6 – Telas *Wire Wrapped* (Weatherford, 2008).

As telas *premium* têm maior área aberta ao fluxo e são compostas por camadas de telas com malha de diferentes aberturas – *shroud* (camada externa, de proteção para o meio filtrante), meio filtrante (3 camadas, para captação de partículas, livre passagem do fluxo e suporte) e tubo base (sustentação e rigidez do sistema). As aplicações destas incluem poços com alta pressão, completações de poços abertos ou fechados, poços com raio de curvatura pequeno, *sidetracks* ou multilaterais e poços em reservatórios compactados (fig. 2.7).



Figura 2.7 – Telas *Premium* (Weatherford, 2008).

As telas do tipo pré-empacotadas são compostas por duas camadas de telas de arame (interna e externa) preenchidas com *gravel* de granulometria selecionada. Muito utilizada em poços revestidos, é uma alternativa mais econômica que o *gravel pack*, contudo, apresenta a possibilidade de um maior tamponamento por finos (fig. 2.8).

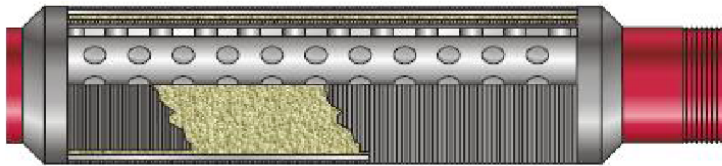


Figura 2.8 – Telas Pré-empacotadas (Weatherford, 2008).

- Telas Expansíveis

Esta técnica consiste em uma tela que se deforma plasticamente (fig. 2.9), e que ao ser expandida provoca um empacotamento dos grãos da rocha que estão ao redor do furo (fig. 2.10). Apresenta como vantagens um diâmetro final superior aos outros métodos e um conseqüente aumento na produtividade, além da diminuição de perdas de carga por atrito. Entretanto, apesar de ser uma tela de fácil instalação, o custo é da tela é relativamente alto e apresentou altas taxas de falhas em aplicações nos campos brasileiros.

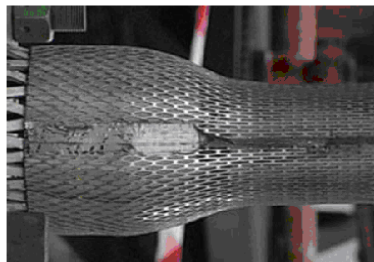


Figura 2.9 – Expansão das telas do tipo ESS (Weatherford, 2003).

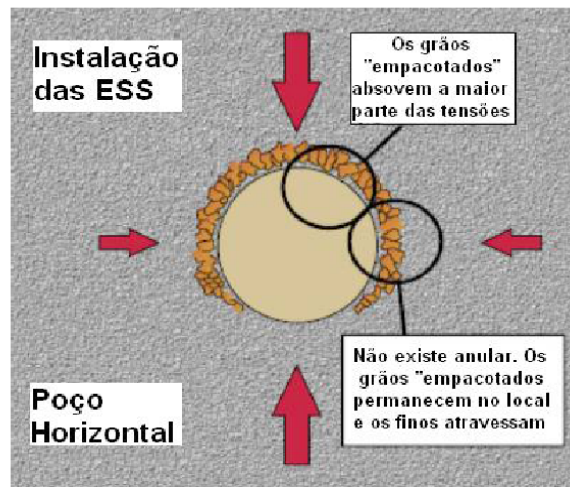


Figura 2.10 – Esquema de empacotamento de grãos pelas telas expansíveis (Weatherford, 2003).

### 2.3.2.2. Empacotamento

Os procedimentos de empacotamento consistem em uma combinação de técnicas para aumentar a eficiência dos métodos de contenção de areia. Neste grupo, podem ser incluídos o *FracPack* e o *Gravel Pack*.

- *Gravel Pack*

É o método mais utilizado para poços direcionais e horizontais, com um sistema semelhante a um filtro de areia instalado dentro do poço, sobreposto a uma tela. A operação de *gravel pack* consiste na deposição do agente de contenção, formando um colchão de grãos, de forma a empacotar o tubo. O agente tem como função reter o material mais grosseiro da formação e a tela tem como função reter o agente.

Segundo Fernandes (2008), os materiais utilizados como agente de contenção (AC) ou *gravel* são cuidadosamente selecionados e podem ser a areia, que apresenta menor custo, ou a cerâmica, com maior uniformidade e permeabilidade.

O método consiste no bombeamento de uma onda  $\alpha$  e uma onda  $\beta$ , que distribuem o agente ao longo do poço, preenchendo o anular entre a tela e o revestimento (poços revestidos) ou formação (poços abertos). A onda  $\alpha$  avança ao

longo do comprimento do poço aberto, enquanto que a onda  $\beta$  preenche o topo das telas, conforme mostrado na figura 2.11.

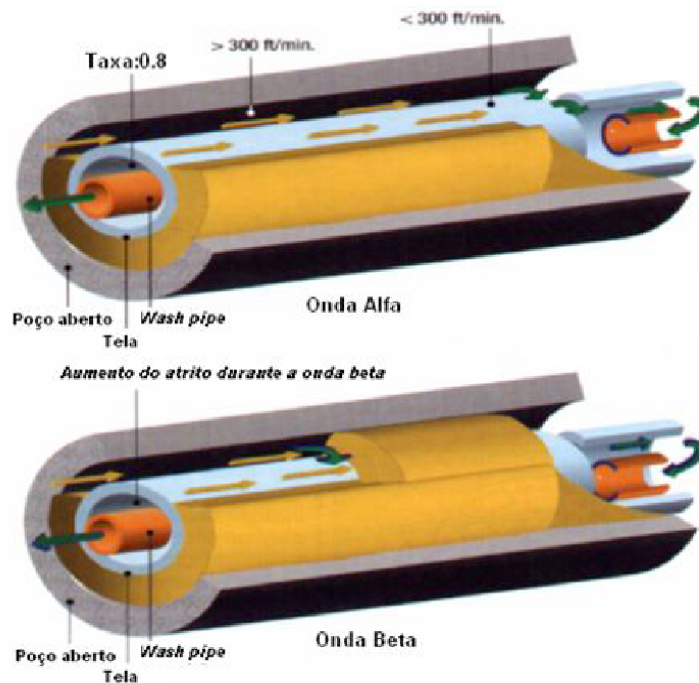


Figura 2.11 – Esquema de instalação do *Gravel Pack*. Acima o esquema de disposição do *gravel* pela onda  $\alpha$  e abaixo o esquema de disposição pela onda  $\beta$ .

A técnica, no entanto, apresenta limitação para poços horizontais de grande comprimento, em função da pressão de assentamento do *gravel* durante a onda beta, não podendo esta, ultrapassar a pressão de fraturamento da formação (MMS, 2003). De acordo com Gaspar (2005), é necessário ainda estudos acerca da taxa de preenchimento e razão de duna, para determinar a taxa de deslocamento e a granulometria do agente de contenção a fim de não induzir pontos críticos que resultem na formação de dunas (fig. 2.12). Sage e Lacey (1941), afirmam que a velocidade de bombeamento do agente afeta o empacotamento de duas formas: a velocidade do fluido influencia diretamente o carregamento do *gravel*, mas, ao mesmo tempo, o aumento excessivo da velocidade pode destruir o empacotamento. Esta técnica, utilizada em larga escala em campos brasileiros (Marques *et al*, 2007), protege a tela contra erosão e aumenta vida útil do sistema. No entanto, a utilização do *gravel pack* resulta em uma redução do diâmetro do poço, além de ser complexo e com elevado custo de implantação.

De acordo com Tiffin *et al* (1998), ainda que seja uma técnica amplamente empregada e, portanto bem conhecida, sempre existe algum dano após a instalação do agente, podendo ser devido à filtração inadequada do fluido de completação ou devido ao agente especificado de forma incorreta, o que contribui para o aumento do dano ao longo do tempo.

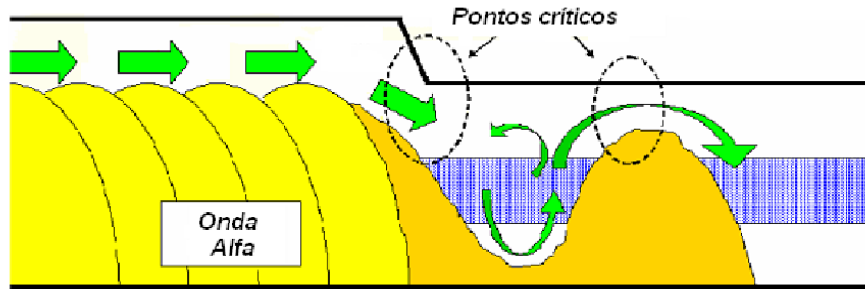


Figura 2.12 – Esquema de Indução de Pontos Críticos a partir da Taxa de Preenchimento e Formação de Dunas (BJ, 2008).

- *FracPack*

É um método que combina as técnicas de *gravel* pack e fraturamento hidráulico, adequado para reservatórios onde a taxa de produção de óleo é elevada, cuja convergência do fluxo radial pode se tornar um agravante para a produção de sólidos. O método somente pode ser utilizado em poços revestidos e cimentados e consiste na criação de uma pequena fratura condutora, que terá a função de um canal entre formação e o poço, transformando o fluxo radial em fluxo linear, e por conseqüência reduzindo o gradiente de pressão (Silvestre, 2004).

A aplicação bem sucedida deste método não deve apenas conter o fluxo de sólidos, mas estabelecer uma fratura larga que permanece aberta devido à disposição de *gravel* nas regiões vizinhas ao poço (Edwards, 1999). O estabelecimento da fratura, além de criar um canal de alta condutividade entre formação e poço, altera o estado de tensões ao redor do poço, aumentando a compactação da rocha naquela região. As perdas de carga, impostas pela instalação do *gravel*, são compensadas pelo aumento de produtividade proporcionado pelo fraturamento.

O *fracpack* seletivo é utilizado de forma seqüencial em reservatórios espessos, com possibilidade de controle de produção independente e isolamento seletivo de cada intervalo/zona.

## 2.4. Comentários Finais

Apesar de controlarem a produção de areia, as técnicas relacionadas apresentam como inconveniente alto custo de instalação e manutenção ou a redução da produção do poço, ou ainda em alguns casos, ambos os problemas. A escolha de qual técnica, e quando utilizá-la, torna necessária a introdução de um método de previsão da produção de areia.

A escolha do método *gravel pack* como objeto de estudo é devido a este método ser empregado em larga escala nos campos offshore do Brasil, ainda que apresente alta complexidade e alto custo de instalação. É importante saber como determinadas características deste método podem influenciar no resultado final e realizar estudos da viabilidade do método escolhido para determinado campo e/ou poço. O quadro 2.1 apresenta um resumo dos métodos, com suas principais vantagens e desvantagens.

Quadro 2.1 – Comparação entre as vantagens e desvantagens das técnicas de contenção de areia.

| Método                            | Vantagens   | Desvantagens  |
|-----------------------------------|---|---|
| Redução das Forças de Arraste     | Método barato e de simples execução.                        | Limitação da produção.  |
| Aumento da Resistência do Arenito | Método barato e de simples execução.                        | Impermeabilização.  |
| Tubo Ranhurado                    | Menor custo entre os métodos mecânicos.                     | Limitação para baixas vazões de produção.                           |
| Tela Não-Expansível               | Produtividade média.  | Redução do diâmetro interno do poço.                                |
| Tela Expansível                   | Menor perda de carga e maior produtividade.                 | Custo elevado e alta taxa de falhas.                                |
| <i>Gravel Pack</i>                | Eficiência na retenção de areia, extensa área de aplicação. | Redução do diâmetro do poço, custo elevado de instalação e remoção. |