



Estudos sobre a tecnologia de fonte sísmica do tipo Accelerated Weight Drop (AWD) e sua aplicação na Bacia do Recôncavo

Marco Barsottelli Botelho, CPGG/IGEO/UFBA, Marcos Schinelli e Gino dos Passos, PETROBRÁS/UO-BA/ENGEPE/CER

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

There is great potential applicability of the seismic source percussive type AWD in the Recôncavo Basin due to the large number of mature fields present. The potential comes from the fact that there are two features of AWD source which recommend its application in studies of reservoirs in mature fields, which are the highest frequency content of the signal generated and the similarity of the signal generated. Explaining these features, one can see that: (1) The amplitude spectrum of data generated with the source AWD has a predominant signal at frequencies between 40 Hz and 60 Hz, which is somewhat higher than the spectrum of data generated with explosive, which varies from 15 to 45 Hz; (2) in AWD seismic source the energy is not released all at once, as in the case of explosives. It can be divided into several shots or "POPs" due to the invariance of the sign, which allows records to be added later. In this research we used up to four (4) "POPs" in all experiments. A sedimentary basin with many mature fields has dense mesh of wells and pipes, but with the source AWD is possible to reduce safety distances between the PT and engineering works, increasing the number of shots or "POPs", avoiding there damage to facilities. Another favorable factor for the use of AWD is that the dense mesh of wells are always linked to a dense network of roads, where the AWD can easily move.

Introduction

Os levantamentos sísmicos terrestres frequentemente agridem o meio ambiente e podem acarretar gastos posteriores com indenizações, além de ser necessário vencer as dificuldades na obtenção de licenças ambientais e obter permissões de acesso junto aos proprietários das áreas onde a pesquisa será feita. À lista de dificuldades pode-se acrescentar o atendimento à legislação que rege a compra e manuseio de explosivos, o alto custo do próprio explosivo e ainda, a necessidade de frentes de serviço de perfuração, o que contribui para encarecer o levantamento.

As restrições ambientais tornam a cada dia mais proibitivo o uso de fontes explosivas em áreas terrestres. Alternativas como fontes vibracionais ou de percussão vem experimentando crescente aperfeiçoamento para

substituir o tradicional explosivo. Atualmente áreas de preservação ambiental, manguezais, zonas de transição, planícies fluviais, limites urbanos entre outras situações, representam locais onde não podem mais ser usadas fontes explosivas. É urgente a realização de estudos sobre a proposição e avaliação de alternativas para fonte sísmica terrestre sob pena de, num futuro próximo, vermos paralisadas as atividades de levantamento sísmico em áreas terrestres.

Uma alternativa ao emprego de explosivos na prospecção de petróleo é o emprego de caminhões vibradores, porém esta tecnologia é ainda mais cara e com fortes limitações no acesso de grandes caminhões à área de levantamento. As outras tecnologias de fontes sísmicas terrestres não atingem nem 3% das aplicações como fonte sísmica. Neste grupo de baixo emprego está incluído o *thumper*, que por sua vez inclui o moderno AWD (*Accelerated Weight Drop*). O *Thumper* ou *weight dropper* inicialmente consistia em um artefato para suspender um peso, comumente um bloco de aço com duas toneladas até a altura de três metros e soltá-lo para se chocar contra o solo e assim gerar um pulso sísmico com energia de 0,08 MJ, vide Evans (1997) e Domenico (1958). Atualmente, se emprega sistemas mais modernos, os quais são constituídos de um sistema pressurizado onde uma "marreta" é acelerada em direção ao solo, de forma controlada, para produzir uma perturbação sísmica que sirva como fonte. A questão fundamental é o quanto essas fontes poderão substituir satisfatoriamente as tradicionais fontes explosivas, como a dinamite, quando se leva em conta o conteúdo de frequência e a energia. Estudos como o de Ganguly e Moissa (2005) sugere que o espectro de frequência do AWD é muito parecido com o da fonte explosiva, sendo ele levemente mais rico em altas frequências.

Embora a atenuação do sinal com o aumento da frequência do AWD, sua amplitude e fase do AWD podem ser controladas como os devidos ajustes de pressão e peso do equipamento, podendo-se obter uma repetição do sinal de forma a registrar uma resposta coerente nos diferentes registros. Sabe-se que a energia dos explosivos é bem maior que a de um impacto do AWD, para compensar este fato pode-se obter a mesma relação sinal ruído com o equipamento executando mais de um registro por PT e, posteriormente, somar os diversos sismogramas que sejam provenientes de um mesmo ponto de tiro. O trabalho de Hendrick et al (2009) mostra que é possível obter uma boa resposta em alvos localizados em profundidades de até 4.000 metros ou sismogramas com janelas de 2 a 3 segundos. Entretanto, o uso deste equipamento, devido a sua baixa energia comparado com a dos explosivos, seria mais adequado quando os alvos geológicos de interesse fiquem na faixa de 2.000 a 3.000 metros de profundidade.

Montagem da Fonte

As fontes sísmicas do tipo AWD, com potência para serem aplicadas na prospecção de hidrocarbonetos e que estão disponíveis no mercado internacional, costumam ser vendidas já acopladas a veículos similares à pequenos tratores, os quais são equipados com esteiras feitas de plástico e/ou borracha, para causarem menores danos ao terreno por onde se desloca. Estes equipamentos prontos apresentam dois (2) inconvenientes para uma instituição acadêmica: O primeiro é o custo do veículo equipado com lagarta, o qual é superior ao preço da própria fonte AWD; o segundo, é custo com o transporte da fonte acoplada ao veículo com lagarta até os locais do levantamento sísmico.



Figura 1: Fonte sísmica do tipo *Accelerated Weight Drop* com potência média, capaz de gerar um pulso em torno 10.000 Joules para uma pressão de nitrogênio de 700 PSI, disponível no mercado internacional, a qual será acoplada a um caminhão de fabricação nacional.



Figura 2 : Caminhão de fabricação nacional, modelo Ford 1717e, o qual tem dimensões e peso compatível com a fonte sísmica de queda de peso com aceleração de porte médio (AWD F450).

A solução encontrada foi a compra de uma fonte AWD de porte médio, o modelo AF450 e de um veículo nacional que permita o acoplamento da fonte AWD sem que ocorra perdas nas características de potência da fonte e que também possa transporta-la aos locais onde ocorrerão os levantamentos sísmicos. A figura 01 mostra a fonte AWD importada e a figura 02 mostra o caminhão Ford 1717, o qual foi o veículo escolhido por melhor se adaptar à fonte em termos geométricos e fornecer o melhor aproveitamento da energia de impacto gerada, aliado ao menor peso possível do veículo.

A montagem da fonte AWD no caminhão requereu uma série de mudanças no veículo, tais como: (a) mudança na posição do tanque de gasolina, (b) encurtamento da distância de separação entre os eixos de rodas, (c) Reforço do chassi, (d) aumento dos amortecedores e (5) colocação dos para-choques na traseira e nas laterais (mata cachorro) para cumprir as leis de trânsito. O resultado da montagem da fonte AWD, denominada de AF-450, sobre a carroceria do pequeno caminhão escolhido é mostrada na figura 03, abaixo.



Figura 3 : Resultado da montagem da fonte AWD sobre o caminhão de fabricação nacional, onde pode-se ver: (1) a placa que se acopla ao solo, (2) a torre onde ocorre a expansão do nitrogênio, (3) o tubo de nitrogênio comprimido, (4) a nova posição do tanque de combustível no caminhão e (5) pára-choque lateral (mata cachorro) exigido por lei.

O sistema AWD escolhido trabalha com um cilindro de nitrogênio, veja (3) na Figura 3, o qual é responsável por gerar a aceleração do martelo (ou peso) contra a placa da base, veja (1) na Figura 3. A placa (1) é descida pelo sistema hidráulico até o solo e sobre ela a parte traseira do veículo irá se apoiar com todo o seu peso. A Figura 4 mostra a placa já acoplada ao solo e pronta para a geração do pulso sísmico. Este peso que é aplicado na placa e a mantém em contato com o solo, no intervalo de tempo de descida e de impacto do martelo com a placa, se opõem às forças de aceleração geradas para cima pelo choque. É necessário haver um balanço

entre a pressão de nitrogênio aplicada na aceleração do martelo e o peso que esta sendo aplicado na placa para que não haja saltos do sistema e nem acidentes com a quebra da placa.



Figura 4: Placa acoplada ao solo sob o peso da carroceria do caminhão, aguardando o impacto do martelo, e a 1,5 m do geofone na beira da estrada.

Características da Fonte AWD

A fonte AWD estudada é designada por AF-450, a qual atinge valores teóricos de energia geradas da ordem de 20.000 Joules, quando o Nitrogênio é comprimido a pressões de 1250 psi e contrapeso de 15 toneladas, de acordo com o gráfico fornecido pelo fabricante. Existe no mercado fonte AWD com maior capacidade energética, acima de 40.000 Joules. Por outro lado, esta fonte com maior potência tem maiores dimensões e peso, requerendo veículos ainda maiores para gerar maiores contrapesos, além de ter maior custo. Vale lembrar que veículos maiores tem pior acessibilidade *off road*, maior custo e mais onerosa sua manutenção. Considerando a fase inicial desta pesquisa e as limitações orçamentárias, optou-se pela fonte intermediária. A tabela apresentada abaixo sintetiza as principais especificações da fonte aqui estudada.

	Especificações	Observações
Peso do Conjunto	828 Kg	
Altura da Coluna	234 cm	
Peso do Martelo	208 Kg	
Deslocamento	42 cm	interno
Fonte de Nitrogênio	única	modificável
Pressão do Nitrogênio	500 – 2000 psi	ajustável

Tabela 01: Especificações da fonte sísmica AWD modelo AF-450

Resultados

Foram realizados três (3) experimentos com a fonte AWD: (1) o primeiro consistiu na comparação entre os dados gerados com fonte explosiva e com fonte AWD; (2) o segundo consistiu num levantamento 2D na área do projeto campo escola, definido pelo convênio UFBA-ANP, nas proximidades do poço 1-FMO-001-BA, o qual é usado para treinamentos de estudantes da Escola Politécnica da UFBA; e finalmente (3) testamos a potencialidade do emprego da fonte AWD em levantamentos do tipo VSP registrando o pulso de chegada em um poço nas profundidades entre 1000 e 1300 metros.

Realizou-se o primeiro levantamento experimental registrando nove (9) famílias de tiro comum com a fonte AWD, empregando cinco disparos em cada PT, sendo que o primeiro dos cinco disparos serve para compactar o terreno e registro dos quatro (4) tiros seguintes são somados para gerar a família de tiro comum. A seguir mostramos os registros de duas famílias de tiro comum sendo uma gerada com fonte explosiva e a outra com fonte AWD. Vide a figura 5.

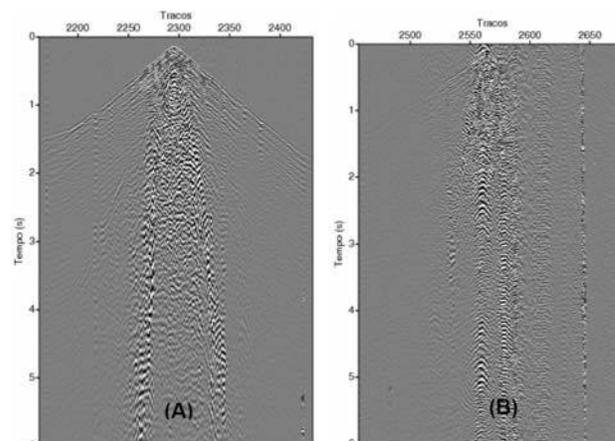


Figura 5: Famílias de tiro comum geradas (A) com explosivo e (B) com a fonte AWD.

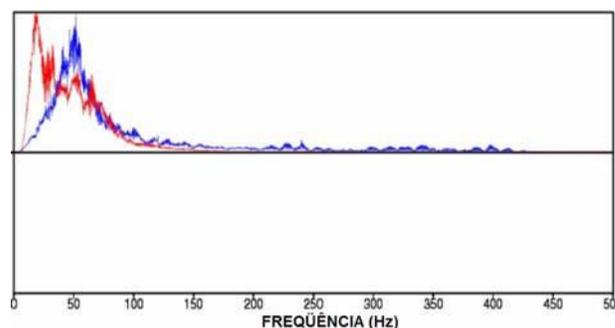


Figura 6: Comparação entre os espectros dos dados gerados com fonte de explosivos (vermelha) e com a fonte AWD (azul).

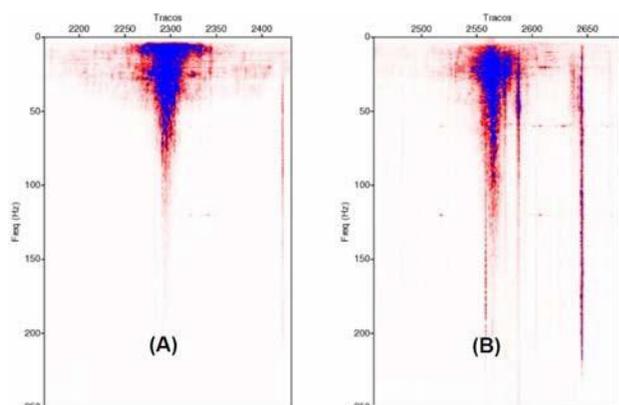


Figura 7: Comparação entre os espectros gerados traço a traço dos dados gerados com fonte de explosivos (A) e com fonte (B).

As famílias de tiro comum mostradas na figura 5 revelam que as amplitudes do sinal sísmico são mais fortes naquela gerada com explosivo (A), o que pode ser visualmente perceptível nas amplitudes da onda direta.

Os espectros comparativos da figura 6 sugerem o registro de maiores conteúdos de altas frequências pela fonte AWD (40 – 60 Hz), ao contrário do espectro comum gerado pela fonte com explosivo (15 – 45 Hz) que gera as ondas superficiais. Na figura 7, também pode ser vista uma maior abundância de baixas frequências para o tiro com explosivos, com os espectros de médias frequências dominando na maior parte dos traços do dado AWD. Os ruídos gerados pela fonte AWD apresentam amplitudes altas nos sensores sísmicos mais próximos e sofrem forte atenuação com o aumento do afastamento.

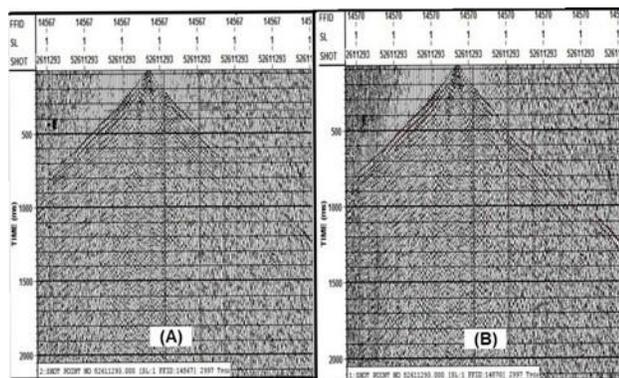


Figura 8: Famílias de tiro comum geradas com a fonte AWD, sendo a (A) resultante de um (1) único impacto do martelo e (B) resultante do somatório de quatro (4) impactos do martelo no mesmo PT.

O levantamento com a fonte AWD requer mais de um disparo no mesmo PT para que, com a soma dos diferentes registros consigamos definir melhor os eventos. É um recurso que permite aumentar a razão sinal/ruído. Para comprovar, veja a figura 8, onde pode-se observar que a onda direta presente no sismograma resultante da soma dos resultados de quatro impactos (B)

é bem mais contínua e, portanto, melhor definida que a gerada por um único impacto (A). A figura 9, abaixo, chega a mostrar a inexistência do registro da onda direta em muitos locais com diferentes afastamentos (A), porém a composição de quatro (4) sismogramas gerados por diferentes tiros na mesma posição recupera o evento da onda direta em (B), o qual passa a apresentar com excelente continuidade.

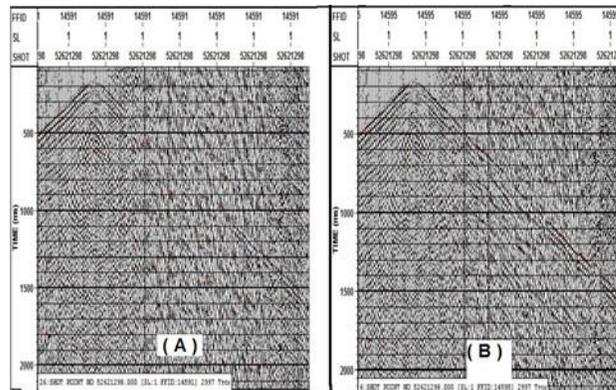


Figura 9: Famílias de tiro comum geradas com a fonte AWD sendo a (A) com um (1) único impacto do martelo e a (B) sendo composta pelo somatório de quatro (4) impactos do martelo no mesmo PT.

Apresentamos o registro de família de tiro comum correspondente ao PT 1295, com a fonte não colinear com a linha de geofones. A figura 10 mostra o registro sísmico quando empregamos a fonte AWD e a figura 11 mostra o registro empregando explosivo nos levantamentos realizados no Município de Entre Rios.

Com base nos nove (9) registros de famílias de tiro comum provenientes da campanha de Entre Rios, Bahia, podemos observar que a energia produzida é efetivamente convertida em pulsos sísmicos com mensurável capacidade de penetração. Observa-se que os ruídos gerados pela fonte AWD apresentam amplitudes altas nos sensores mais próximos e sofrem forte atenuação com o aumento do afastamento.

Analisando as figuras 5, 6, 7, 10 e 11 apresentadas aqui, entre outras, podemos estabelecer que o dado gerado com fonte AWD claramente apresenta menor poder de penetração do pulso sísmico e menores amplitudes nos afastamentos distantes. Isto deve ser causado por haver menor geração de energia pela fonte AWD. É possível que também haja perda da energia no momento do tiro, possivelmente por conversão desta energia em onda superficial. Embora, comprovadamente haja geração de energia sísmica com maior conteúdo de frequências, vide a figura 6.

Finalmente, uma característica importante da fonte AWD estudada é a invariância da função fonte, o que permite o somatório construtivo dos dados gerados por diferentes disparos do martelo em um mesmo ponto de tiro. As figuras 8 e 9 comprovam o resultado construtivo da soma dos disparos ou POPs do martelo. A figura 9 mostra uma espantosa recuperação de

informações pela soma de quatro *POPs*, recuperando ondas as diretas.

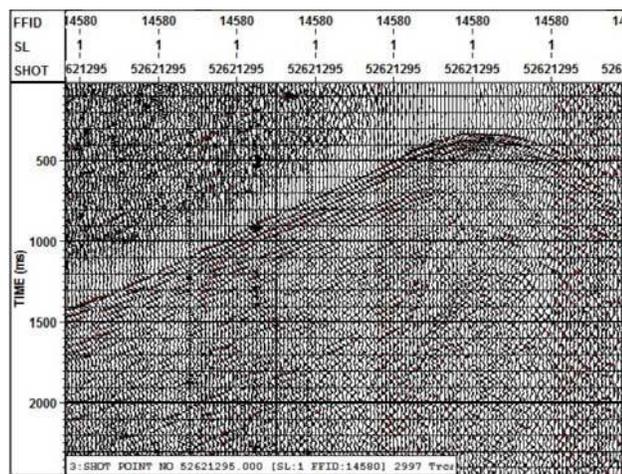


Figura 10: Família de tiro comum geradas no PT 1295 com a fonte AWD registrada no levantamento do Município de Entre Rios – Bahia.

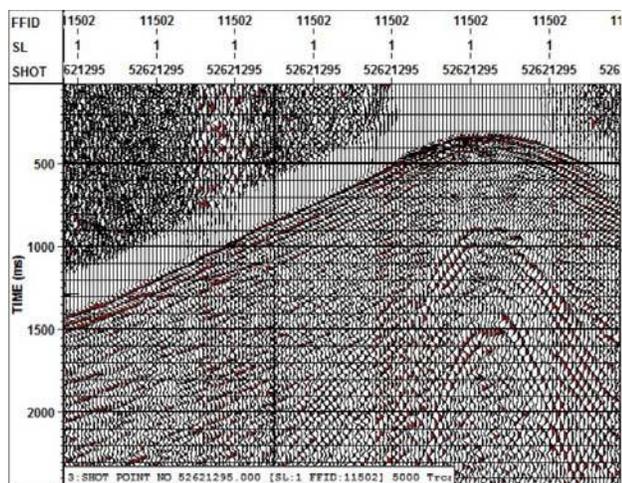


Figura 11: Família de tiro comum geradas no PT 1295 com a fonte de explosivos, registrada no levantamento do Município de Entre Rios – Bahia.

Um experimento realizado próximo à Cidade de Miranga, posicionou cinco (5) sensores em um poço a profundidades de 1000 a 1350 metros e com a fonte AWD gerou-se cinco (5) disparos ou *POPs* a uma distância de 20 metros da boca do poço. Este procedimento foi também repetido para as distâncias de 50 e 350 metros. Analisando um receptor de cada vez, constatou-se que o sinal de chegada oriundo de cada disparo tem assinatura praticamente idêntica às demais. Esta análise foi feita para cada receptor empregando as três distâncias da fonte ao poço (20, 50 e 350 m).

Conclusões

O espectro de amplitude de dados gerados com a fonte AWD apresenta uma predominância do sinal nas frequências entre 40 e 60 Hz, o que é um pouco mais elevado que o espectro dos dados gerados com explosivo, o qual varia de 15 a 45 Hz. Outra característica do sinal gerado com fonte AWD é que a relação sinal/ruído de um PT registrado é menor se comparado ao registrado com explosivo, além do conteúdo reduzido de baixas frequências. A forte atenuação sofrida pelo ruído gerado pela fonte AWD a torna recomendável a levantamentos em área. Isto é comprovado pelo registro nas linhas mais distantes da fonte que apresentam um ruído bem atenuado.

É grande o potencial de aplicabilidade para o equipamento com a fonte do tipo AWD em bacias sedimentares maduras como a do Recôncavo. Vale lembrar que as aquisições sísmicas realizadas nos últimos anos pela equipe sísmica no nordeste do Brasil foram todas destinadas a estudos de reservatório, onde os principais obstáculos operacionais são os próprios campos de produção de hidrocarbonetos.

Uma bacia sedimentar com tantos campos maduros apresenta densa malha de poços que está sempre atrelada a uma densa malha de estradas, onde o AWD pode transitar com extrema facilidade. Esta é uma grande vantagem para este equipamento, pois como todos sabem, com o AWD é possível reduzir as distâncias de segurança entre o PT e a obra de engenharia, sem que a danifique. Isso porque a energia não é liberada de uma só vez, como no caso dos explosivos. Ela pode ser dividida em diversos disparos ou "*POPs*", graças à invariância do sinal, que podem ser somados posteriormente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Termo de Cooperação número 0050.0047542.08.9 firmado entre UFBA-PETROBRÁS-FAPEX, o qual permitiu o desenvolvimento desta pesquisa.

Referencias

- Domenico, S. N., 1958, Generation of seismic waves by Weight Drops, *Geophysics*, V.23, N4, p 665-683.
- Evans, B. J., 1997, A Handbook for Seismic Data Acquisition in Exploration, Number 7, *Geophysical monograph series*, SEG.
- Ganguly, A. e Moissa, I., 2005, The Digipulse III Accelerated Weight Drop Seismic Source System Applications and Performance of the Series Model 1180 Gc/Tr. *GEOHORIZONS*.
- Hendrick, N., Yassi, N. e Visser, T., 2009, Minimal-Impact Seismic Acquisition: Successful imaging using an Accelerated Weight Drop System, *Expanded Abstract*, 20th Australian Society of Exploration Geophysicists, Vol.1, p 1 -7.