



## Desafios, técnicas e equipamentos utilizados em levantamentos sísmicos terrestres recentes na bacia do Espírito Santo.

Adeilton Rigaud L. Santos\*, Adriano de P. Lima, Rui Pinheiro Silva PETROBRAS S.A., Brazil.

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

In the Espírito Santo basin, the seismic data shows very good response, mainly when compared with another Brazilian land basins. In spite of this, many times the stacked data presents a characteristic low quality aspect, because the seismic parameters used in acquisition or the physiographic features that restrict the work in the surface (lakes and swampy areas). Considering the requirement for better seismic data, including that unavailable data like in lakes, the land seismic acquisition activities in the Espírito Santo has incorporated the technologies from the transition zone acquisition crews and used different planning and designs. In the last year (2004), a new seismic acquisition took place in the BT-ES-22 block, where was chosen a new field layout different from the normal one used by Petrobras (the swath field layout is normally applied). In this way, a non-orthogonal field layout was used – with receiver lines in a forty-five degrees angle from the shot lines – and with parameters defining a 20x20 meters square bin. And taking advantage of hydrophones, air guns and transition zone tools, it was possible to accomplish the acquisition in all over the area of BT-ES-22, including lakes and swampy areas. The seismic data displays a better quality than the ones acquired in previous projects, mainly considering the high frequency content, azimuthal distribution, nominal fold and bin shape and size.

### Introdução

A sísmica corresponde ao método geofísico mais utilizado na indústria petrolífera para a prospecção de petróleo e gás, uma vez que apresenta alta definição das características geológicas do terreno com uma razão custo/benefício relativamente baixa, além de possuir todo um histórico de grandes descobertas ao longo dos anos.

Tradicionalmente a aquisição sísmica terrestre na Petrobras tem utilizado dispositivos de registro do tipo *swath*, semelhante ao utilizado no mar, com linhas de tiros coincidentes com as linhas de receptores, levando a uma grande concentração azimutal nas trajetórias fonte-receptor na direção *inline* do levantamento (Gélio et al., 1997). Além disso, devido às restrições ambientais e/ou de equipamento, os levantamentos não eram realizados em rios ou lagoas, prejudicando o imageamento principalmente pela falta dos *offsets* curtos nestas áreas.

O levantamento sísmico 3D tratado neste trabalho foi realizado no segundo semestre do ano de 2004 no bloco

BT-ES-22. Com aproximadamente 115 km<sup>2</sup> de área, este bloco inclui duas celas da ANP (Agência Nacional do Petróleo) e está localizado a cerca de 40 km a nordeste da cidade de Linhares/ES (figura 01). Para realizar este levantamento sísmico, a Petrobras contratou a empresa Grant Geophysical do Brasil. Um dos principais desafios enfrentados para a realização do levantamento sísmico neste bloco foi a existência de várias lagoas de porte variável na região, além de grandes trechos de terreno alagado. Além disso, uma porção apreciável do bloco apresentava uma camada de laterita que reduziu bastante a produtividade das equipes de perfuração. Já a principal dificuldade enfrentada pela topografia foi a existência de trechos de mata que inviabilizaram a utilização de GPS RTK (*Real Time Kinematic*), forçando o uso de estação total e consequentemente reduzindo a produtividade da abertura de picadas.

### Dispositivo de Registro e Multiplicidade

O equipamento de registro utilizado no BT-ES-22 foi o ARAM Aries de 24 bits (Modelo S 084), com a casa branca montada num caminhão 4x4, o qual imprimiu grande mobilidade à mesma (figura 02). Nas lagoas foram utilizados cabos e caixas ARAM marítimos, além de cabos de transição para permitir que tanto geofones quanto hidrofones fossem ligados, possibilitando a continuidade do registro na interface lagoa/terra. A aquisição de dados nas lagoas com lâmina d'água superior a 2 m é inédita em levantamento na bacia do Espírito Santo, permitindo aos intérpretes trabalhar com dados contínuos.

Visando uma mais adequada distribuição azimutal, com o propósito de melhorar o desempenho da migração PSTM em uma passagem, no BT-ES-22 optou-se pela utilização de um arranjo não-ortogonal (Cordson et al., 2000), com ângulo de 45° entre as linhas de tiro e de receptores (ver figura 01). Os parâmetros utilizados neste levantamento (ILTx = 200 m, ILR = 160 m, IPTx = 40 m, IE = 40 m) definiram uma cela quadrada de 20 x 20 metros em sub-superfície, o que possibilitou uma boa qualidade dos dados empilhados também na direção das *crosslines*.

Considerando a profundidade máxima observada para o embasamento em levantamentos sísmicos realizados anteriormente pela Petrobras, optou-se pela utilização de um *offset* máximo de 1980 metros para cada lado do lançamento, sendo o mesmo do tipo bipartido simétrico. Cada *swath* foi registrado com oito linhas de receptores ligadas, sendo duas roladas após o registro, resultando numa multiplicidade de 40. Oito tiros foram detonados por salvo, movimentando o dispositivo a cada tiro, e a técnica *turn on/turn off* foi utilizada no início e final de cada *swath*. A qualidade do levantamento sísmico, exposta na razão sinal/ruído, fica evidenciada pela densidade de traços obtida (Lansley, 2004), sendo no BT-ES-22 de 100.000 traços por km<sup>2</sup>.

### Arranjos de Fonte e Receptores

Apesar da existência de outros tipos de fontes sísmicas terrestres, tal como o *Vibroseis* (Cordson et al., 2000) e o *Thumper* (Monk et al., 2004), o explosivo é a fonte sísmica mais amplamente utilizada, considerando a baixa razão custo/benefício e o baixo impacto ambiental. Entretanto, em áreas com lagoas e rios, faz-se necessário o uso de *air guns* semelhantes aos utilizados em sísmica marítima. O levantamento sísmico realizado no BT-ES-22 utilizou tanto explosivos quanto *air guns* como fontes sísmicas.

A utilização de arranjos, tanto de fonte quanto de receptor tem por função filtrar o ruído coerente associado ao levantamento, notadamente o *ground roll* (Upadhyay, 2004). No BT-ES-22 usou-se um arranjo de fonte com 1,5 kg de explosivo (*powergel*) por ponto de tiro (PT), sendo cada um dos três furos existentes no PT separados entre si por 10 m, carregados com 0,5 kg a profundidade de 4 metros. O arranjo de cargas utilizado foi suficiente para alcançar o embasamento da região e apropriado para gerar altas frequências e menos ruídos coerentes. Em levantamentos sísmicos anteriores, não se trabalhava em áreas com lâmina d'água superior a 2,0 metros, o que gerava lacunas nos *offsets* curtos dos dados sísmicos, devido principalmente a lagoas. Para sanar este problema, no BT-ES-22 utilizaram-se barcos equipados com um arranjo de *air guns* Sodera GI de dois ou quatro elementos, de acordo com a profundidade no local (figura 02). Onde foi inviável utilizar os *air guns* convencionais, devido à profundidade d'água, usou-se um *downhole air gun* Bolt 2800LL, com dois tiros por PT para serem somados durante o processamento.

Como receptores foram utilizados geofones de pântano, uma vez que boa parte do terreno estava alagada. Os geofones foram arranjados em grupos de 06 por estação, com espaçamento de 6,67 m entre si. Para as lagoas, foram utilizados hidrofones do modelo P44 da Mark Products, sendo um sensor único por estação receptora, com o espalhamento sendo realizado por barcos.

### Aspectos Operacionais

A abertura das linhas sísmicas foi realizada utilizando GPS RTK modelo Trimble 5700 nas áreas de pasto (92,39% da área), e estação total modelo Leica TCR 407 nos trechos com mata (5,28% do bloco). Os 2,33% restantes correspondem a lagoas, onde se utilizou um sistema DGPS com receptor Trimble AG132.

Uma extensa área de laterita – com até 2,5 metros de espessura – exigiu um esforço extra das equipes de perfuração e carregamento no BT-ES-22, uma vez que a unidade de sonda com descarga de água (“sonda sapo”), usualmente utilizada para perfuração em terrenos arenosos, consumia bastante tempo e água (até uma hora, utilizando 2000 litros de água sem recirculação) para atingir a profundidade de 4 metros. Como solução, optou-se pela utilização de trados mecânicos (“sonda mariposa”) que atravessavam a laterita mais facilmente. Os furos produzidos eram bastante instáveis, devido ao lençol freático quase aflorante, sendo necessário que o carregamento fosse realizado logo após a perfuração.

Durante a sismografia, um helicóptero modelo AS350-B2 Squirrel foi utilizado para dar apoio às equipes de

espalhamento e recolhimento de material. A opção por utilizar o helicóptero levou em consideração o aumento na produtividade da sismografia e a minimização do impacto ambiental no terreno, uma vez que os cabos e equipamentos de registro não seriam transportados por terra como em levantamentos sísmicos anteriores (*buggys* e *pick-ups* com tração 4x4). No Brasil, foi a primeira vez que um helicóptero foi utilizado em levantamentos sísmicos terrestres fora da região amazônica. O material foi transportado externamente, utilizando um cabo de aproximadamente 40 metros de comprimento (*long line*) e *heli-bags*, dentro das quais o material era acomodado (ver figura 02). A produtividade média foi de 248,6 registros por dia, porém chegou-se a registrar 562 tiros num único dia.

As operações nas lagoas foram conduzidas com o arranjo de *air guns* montado num barco de 32 pés, com um compressor de alta pressão e tanques de armazenamento também montados no mesmo. No princípio do levantamento, alguns problemas na sincronização entre o disparo dos *air guns* e o início do registro na casa-branca fizeram com que vários tiros fossem perdidos. Já o *downhole air gun* foi utilizado numa das lagoas, devido a profundidade da mesma não ultrapassar 2 metros em toda sua extensão, e nas margens de todas as outras pelo mesmo motivo. Este era descido através de um tubo de 4 metros, deixado num furo previamente perfurado a partir de uma plataforma montada em outro barco.

Trabalhos realizados em áreas de água rasa (GIA-UFPR, 2002) demonstram que o impacto do *air gun* nas comunidades aquáticas é desprezível. No BT-ES-22, numa das lagoas onde os *air guns* foram utilizados, existiam viveiros para criação de peixes. Os trabalhos nesta lagoa foram acompanhados pelos responsáveis dos setores de SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde) da Petrobras e da Grant e não foi constatado nenhum tipo de problema nas criações de peixes existentes na lagoa.

Os dados registrados recebiam um processamento preliminar por parte da Grant Geophysical na base da equipe sísmica, que consistia em checar os tempos dos traços auxiliares, visualizar os registros com ganho fixo, aplicar geometria e checar as coordenadas LMO. Para verificar a qualidade dos dados, também era realizado um empilhamento preliminar (após deconvolução e correção do espalhamento geométrico). Após isto, os dados eram gravados em formato SEG-Y e enviados para a Petrobras.

### Qualidade dos Dados

No geral, os dados adquiridos no BT-ES-22 apresentam qualidade superior aos observados em levantamentos sísmicos realizados anteriormente na região, principalmente devido à parametrização utilizada e aos equipamentos mais modernos empregados.

Os tiros com dinamite apresentam nível de energia e conteúdo de frequências nitidamente superiores aqueles com *air gun* (figura 03), mesmo quando os receptores são hidrofones. Isto ocorrendo principalmente devido a pouca profundidade das lagoas, além da existência de uma vegetação no fundo das mesmas que absorvia parte da energia emitida pelos *air guns*.

O *downhole air gun* apresentou o mais baixo nível de energia de todos, sendo observadas reflexões apenas nas camadas mais rasas, mesmo com a soma de dois tiros em cada ponto. Apesar disto, a utilização deste equipamento possibilitou a continuidade das reflexões na interface lagoa/terra.

No processamento desses dados com diferentes tipos de fontes e receptores foram aplicados filtros de forma antes da deconvolução *spike*, com o objetivo de uniformizar todo o dado para uma *wavelet* proveniente de fonte dinamite e receptores do tipo geofone. A figura 04 apresenta seções sísmicas do BT-ES-22 (*inline* e *crossline*) com aplicação da migração PSTM em uma passagem.

### Discussões e Conclusões

A utilização de equipamentos de zona de transição no levantamento sísmico realizado no BT-ES-22 possibilitou a aquisição em toda a área do prospecto, incluindo os *offsets* curtos nas áreas de lagoas, as quais eram suprimidas em programas sísmicos anteriores.

O emprego do helicóptero durante a sismografia levou a um aumento considerável da produtividade, além de reduzir o impacto ambiental associado à atividade sísmica.

O dispositivo de registro não ortogonal proporcionou a aquisição com uma cela quadrada de pequenas dimensões (20x20 m) e maior distribuição de azimutes, o que favoreceu ao bom desempenho da migração em tempo em uma passagem e conseqüentemente dados de qualidade superior também na direção das *crosslines*. Além disso, para obter uma cela com esta forma e dimensão utilizando o dispositivo *swath*, a quantidade de linhas de tiro e receptores a serem abertas seria muito superior ao necessário no dispositivo não-ortogonal, conseqüentemente aumentado o custo do levantamento e o impacto ambiental. A utilização de cela com dimensões de 20x20 m também melhorou o imageamento sísmico, permitindo a individualização de estruturas de pequeno porte e desta forma facilitando a interpretação sísmica e conseqüentemente a definição de um modelo geológico da região.

Devido a qualidade dos dados obtidos, as estruturas que poderão ser individualizadas nas seções sísmicas darão

maior suporte na locação e acompanhamento de poços horizontais nos campos produtores em terra. Além disso, a parametrização otimizada (parâmetros para sísmica de reservatório) faz com que este levantamento possibilite o acompanhamento da evolução dos reservatórios, servindo de base para levantamentos posteriores com parâmetros semelhantes (sísmica 4D).

Considerando os resultados obtidos com este levantamento, sugere-se a utilização dos equipamentos empregados e de dispositivos de registro diferentes do dispositivo do tipo *swath* para levantamentos sísmicos a serem realizados em outras bacias terrestres.

### Referências

- Cordson, A., Galbraith, M. and Peirce, J., 2000,** Planning land 3D seismic surveys: SEG Geophysical Developments Series, vol. 9
- Gélio, A. B., Gomes, F. A. F., Rosalba, J. F., Chaves, R. D., 1997,** A sísmica terrestre na Petrobras. Informe Geofísico 119, Boletim Interno da Petrobras, 12 p.
- GIA-UFPR, 2002,** Avaliação dos Impactos causados durante a aquisição de dados sísmicos sobre organismos marinhos de interesse comercial. 111 p. Disponível na internet: <http://www.bmcal4.com.br>.
- Lansley, R. M., 2004,** CMP fold: A meaningless number? The Leading Edge, Vol. 23, p.1038-1041, October.
- Monk, D., Ross, J., Mooney, B., 2004,** Using thumpers as a seismic source. Why an old technique is now ready for use: 74th SEG Annual Meeting, Denver, In CD-ROM.
- Upadhyay, S. K., 2004,** Seismic reflection processing, with special reference to anisotropy. Berlin: Springer, 636 p.

### Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos à Petrobras, por permitir a publicação dos dados, à Grant Geophysical, pelo empenho e cooperação durante a aquisição dos dados, e a todos os geofísicos e técnicos da Petrobras e da Grant Geophysical que participaram das etapas de aquisição e processamento de dados sísmicos no bloco BT-ES-22.

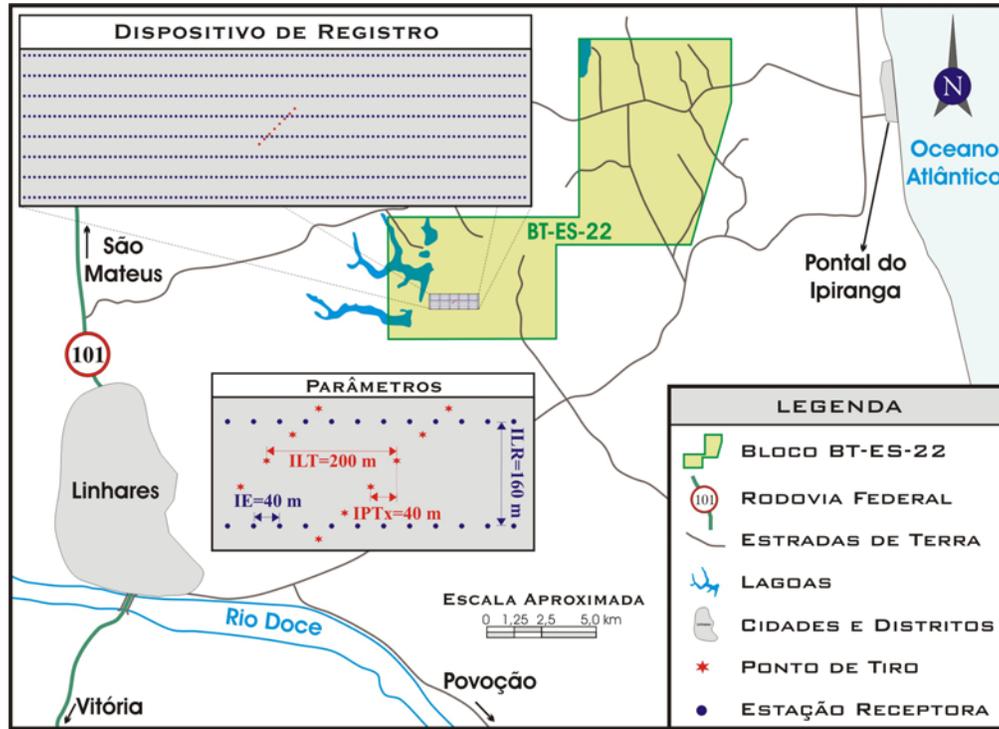


Figura 01 – Mapa de localização do bloco BT-ES-22. Em detalhe os parâmetros utilizados e o dispositivo de registro empregado no levantamento, com oito tiros por salvo e 800 canais ligados em 8 linhas de receptores.



Figura 02 – Equipamentos utilizados no levantamento sísmico realizado no BT-ES-22. **A:** Casa branca montada em caminhão 4x4. **B:** Barco de 32 pés com compressores, cilindros de ar comprimido e arranjo com 04 air guns. **C:** Helicóptero com long line aproximando-se de ponto de apoio para deixar helibags com geofones e caixas para serem revisadas.

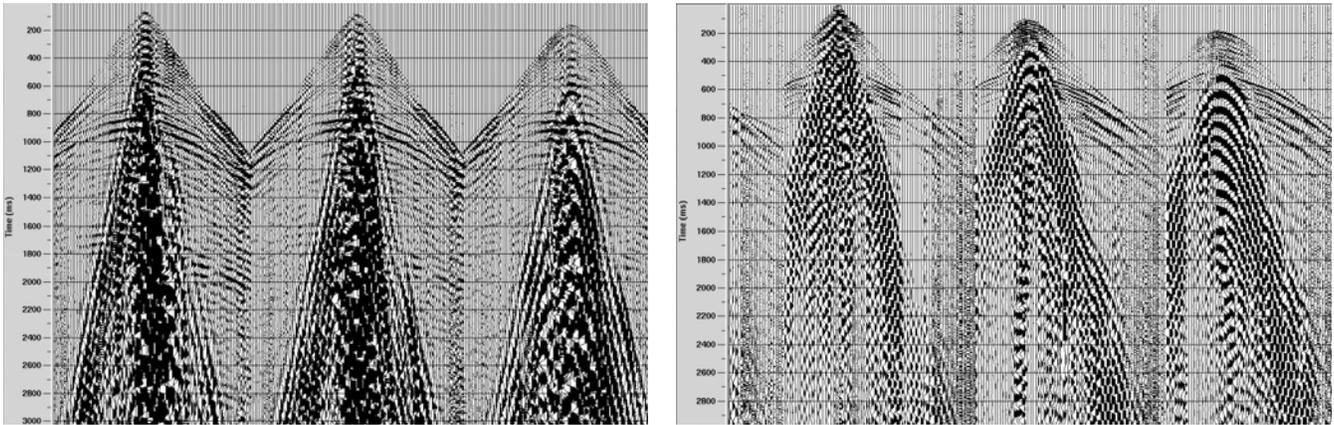


Figura 03 – Exemplos de tiros registrados no BT-ES-22. No sismograma da direita, a fonte é o *air gun* enquanto no da esquerda é dinamite. O tiro com dinamite apresenta reflexões mais contínuas e conteúdo de frequência superior ao tiro com *air gun*.

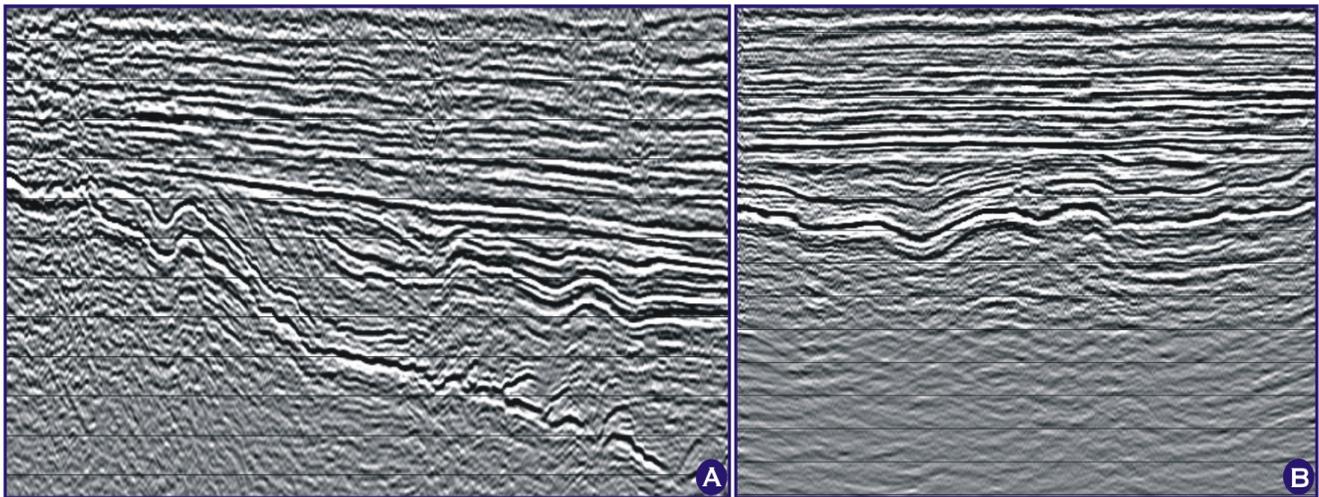


Figura 04 - Seções sísmicas do BT-ES-22, com migração PSTM em uma passagem. **A:** Seção *inline*. **B:** Seção *crossline*.