



## Estudo das réplicas do sismo de magnitude 4.3 em Taipu - RN ocorrido em 2010.

H. C. de Lima Neto<sup>1</sup>, J. M. Ferreira<sup>1</sup>, A. F. do Nascimento<sup>1</sup>, F. H. R. Bezerra<sup>1</sup>, R. M. P. Spineli, N.P. Costa & E.A.S. Menezes.  
1- Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, Brasil.

Copyright 2010, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV 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.

### Resumo

Neste estudo analisamos as réplicas do sismo de magnitude 4.3 com epicentro localizado no município de Taipu - RN (Nordeste do Brasil), ocorrido no dia 11 de janeiro de 2010. Os dados foram registrados por uma rede composta por 5 estações sismográficas de período curto e foram utilizados neste trabalho os dados coletados entre 13 de Janeiro até 31 de março de 2010.

A determinação hipocentral foi realizada utilizando o programa HYPO71 e o mecanismo focal composto foi obtido com auxílio do programa FPFIT. A determinação hipocentral mostrou que estes sismos não ocorreram na conhecida falha sismológica de Poço Branco, mas numa outra falha mais a oeste, dentro do município de Taipu - RN. O mecanismo focal composto obtido teve os seguintes parâmetros: 58° *strike*, 54° mergulho e -90° para o *rake*, caracterizando uma falha normal. O plano de falha foi determinado utilizando o mergulho dos hipocentros.

Essa nova falha sismológica recebeu o nome de Falha de Jerusalém, com os parâmetros vistos no parágrafo anterior. Embora próxima da falha de Poço Branco sua direção e mergulho são bastante distintos.

### Introdução

No dia 09/01/2010 às 15h:11min (UTC) ocorreu um sismo de magnitude 3.5 no município de Taipu - RN que foi sentido em Natal, num raio de 60 km do epicentro. Após este evento, um outro sismo com magnitude 4.3, no dia 11/01/2010 às 15:54 (UTC), com epicentro localizado também em Taipu - RN provocou pânico em Taipu e municípios vizinhos e foi sentido nas seguintes capitais: Natal - RN, João Pessoa -PB e Recife- PE.

Para estudar as réplicas do evento de magnitude 4.3 teve início a instalação de uma rede local de estações sismográficas em Taipu - RN no dia 13/01/2010. Os dados utilizados foram coletados durante o período de 13/02/2010 até 31/03/2010. Neste estudo realizamos uma análise dos dados coletados por esta rede de estações, objetivando a determinação dos hipocentros, do mecanismo focal composto e a discussão tratando da diferença entre estes sismos e os que foram registrados em 1987/88 na região deste estudo.

### Metodologia

Devido à participação do Laboratório Sismológico da UFRN no INCT de Estudos Tectônicos foi possível, neste estudo, a utilização das estações sismográficas de período curto do PEGBR (Pool de Equipamentos Geofísicos do Brasil). Foi utilizada uma rede sismográfica local composta por cinco estações providas de sismômetros de período curto modelo L4C3 (vertical, NS e EW, em cada estação) Todas as estações utilizaram o registrador Reftek130.

Neste estudo foram utilizados os sismos que tiveram distância epicentral mínima de até 10 km e foram registrados em pelo menos três estações. O programa DIMAS (Dima Droznin, 2008) foi utilizado para fazer a leitura dos tempos de chegada e as polaridades das ondas P e S.

Os hipocentros foram determinados com o programa HYPO71 (Lee & Lahr, 1975) que tem sido utilizado com sucesso no estudo da sismicidade no Nordeste do Brasil (Ferreira *et al.*, 1987, 1995, 1998 e 2008; do Nascimento, 1997; Lima Neto *et al.* 2009).

A solução do mecanismo focal composto proposta neste estudo, a partir do primeiro movimento da onda P, foi obtida com auxílio do programa FPFIT (Reasenberg & Oppenheimer, 1985), considerando a distribuição dos hipocentros. O FPFIT considera que o padrão de radiação é do tipo duplo-binário sem momento e busca numa malha de solução uma média ponderada de discrepâncias nas polaridades, considerando a variância estimada dos dados e a amplitude da radiação da onda P (Reasenberg & Oppenheimer, 1985).

### Hipocentros

Antes de usar o HYPO71 (Lee & Lahr, 1975), num modelo de semi-espaco, necessita-se determinar, inicialmente, os valores da velocidade das ondas P ( $V_P$ ) e a razão entre as velocidades das ondas P e S ( $k = V_P/V_S$ ).

O modelo de velocidades foi obtido de forma conjunta, considerando o Diagrama Wadati (Figura 1) como critério de consistência dos dados e escolhendo o conjunto de parâmetros com maior quantidade de sismos que tivessem as menores médias de erros. Isto foi feito variando a velocidade da onda P ( $V_P$ ) de 5,0 km/s a 6,4 km/s. Os valores médios do erro quadrático médio, a média do erro horizontal e a média do erro vertical foram calculadas com auxílio do programa HYPO71. O melhor modelo encontrado de forma conjunta foi:  $V_P = 6,00$  km/s e  $V_P / V_S = 1,70$ .

O programa HYPO71 (Lee & Lahr, 1975) foi utilizado para calcular os hipocentros, com os parâmetros que foram encontrados na escolha do modelo de velocidades (modelo do semi-espaço,  $k = V_P/V_S = 1,70$  e  $V_P = 6,00$  km/s).

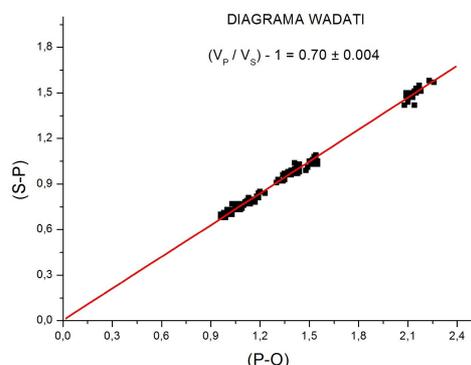


Figura 1 – Diagrama Wadati dos sismos selecionados para a obtenção dos parâmetros do modelo de velocidades. (P-O) é a diferença entre o tempo de chegada da onda P e a hora de origem. (S-P) é a diferença entre o tempo de chegada da onda S e da onda P. Foram utilizados 34 sismos totalizando 146 dados.

Na Figura 2 os triângulos vermelhos representam as estações digitais com sismômetro de período curto, a linha preta indica a localização da Falha Sismológica de Poço Branco que foi determinada pela atividade sísmica de 1987/88 (Takeya *et al.* 1989), as estrelas azul e verde indicam o epicentro do sismo de magnitude 4.3 calculado pelo USGS e UFRN (determinação preliminar), respectivamente. Os epicentros das réplicas registrados pela rede de estações local são indicados por pequenos círculos (profundidade  $h \leq 3$  km), pequenos quadrados ( $3 < h \leq 4,5$  km) e pequenos triângulos ( $4,5 \text{ km} < h \leq 6,5$  km).

Takeya *et al.* 1989 utilizando os registros da rede local de João Câmara mostrou que a sismicidade próximo a cidade de Poço Branco definia uma outra falha, a qual se refere como falha de poço Branco que possui a mesma direção da Falha de Samambaia e o mecanismo focal transcorrente encontrado por Ferreira *et al.* 1987 é similar ao Falha de Samambaia.

A figura 3 mostra os eventos registrados em 2010 (os mesmos eventos da Figura 2) e em 1987/88, na área deste estudo. Os epicentros dos eventos de 1987/88 são representados por pequenos diamantes amarelos e possuem os mesmos erros dos sismos registrados em 2010 (*rms* máximo de 0,03s erros horizontal e vertical máximo de 300m; *gap* < 180°). Observando a figura, percebe-se que os sismos de 2010 - réplicas do evento de magnitude 4.3 - não ocorreram na Falha de Poço Branco como o agrupamento principal dos eventos registrados em 1987/8, mas estão aglomerados próximo a uma localidade conhecida com Jerusalém no município de Taipu –RN.

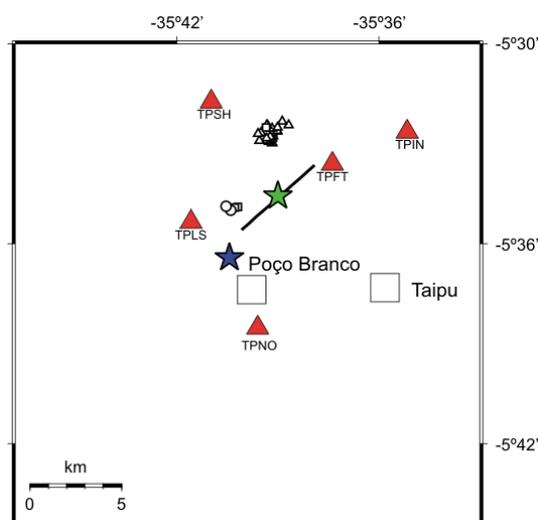


Figura 2 – Distribuição espacial dos sismos registrados entre 14/01/2010 até 31/03/2010 que foram registrados pelo menos em 4 estações com *rms* máximo de 0,03s, erros vertical e horizontal máximo de 300m e *gap* < 180°.

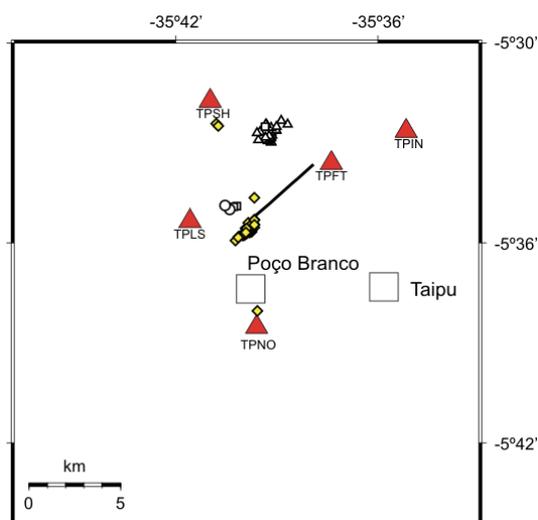


Figura 3 – Distribuição espacial dos sismos registrados no período de 1987/88 (diamantes amarelos) e os eventos registrados em 2010 (mesmos eventos da Figura 2) com os seguintes erros: *rms* máximo de 0,03s, erros vertical e horizontal máximo de 300m; e *gap* < 180°.

Na Figura 4 são mostrados os eventos da Figura 3 em escala ampliada. Para se visualizar melhor a situação existente, tentar determinar com segurança a direção do plano de falha dos eventos registrados em 2010 e comparar a direção do mergulho em relação aos eventos de 1987/88 foram feitas duas projeções: uma projeção vertical num plano paralelo ao azimute da distribuição dos epicentros registrados em 2010 (seta b) e uma projeção vertical no plano perpendicular (seta c) a essa mesma direção. Observando a Figura 4.c percebe-se que o mergulho dos sismos ocorridos em 1987/88 está praticamente na direção vertical, ao contrário dos sismos

registrados em 2010. No entanto, quatro eventos de 2010, ao sul do agrupamento principal, apresentam o mesmo mergulho vertical dos eventos de 1987/88.

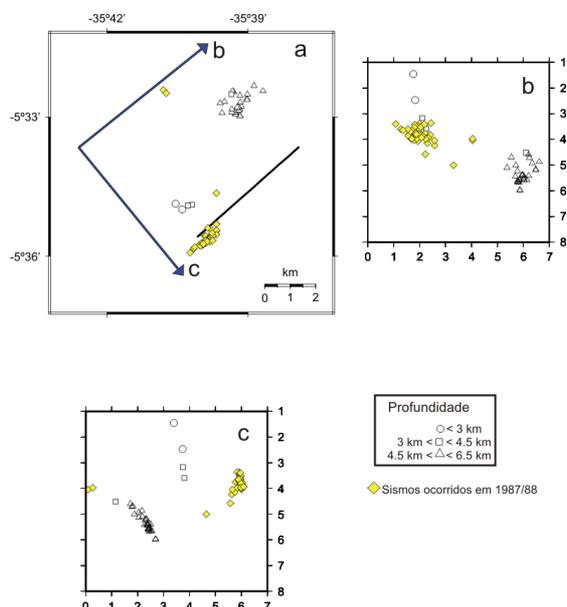


Figura 4 – Mapa (a) e projeção dos sismos registrados em 2010 e em 1987/88 em planos verticais paralelo (b) e perpendicular (c) ao agrupamento dos epicentros dos eventos registrados em 2010.

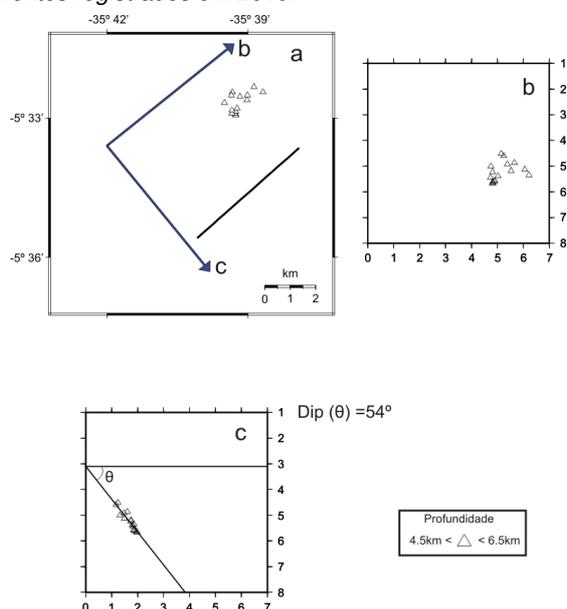


Figura 5 - Mapa dos sismos selecionados para determinação do mecanismo focal composto (a). Os 16 sismos selecionados possuem  $rms \leq 0.02 \text{ s}$ ,  $erh \leq 0,2 \text{ km}$ ,  $erz \leq 0,2 \text{ km}$ ,  $gap \leq 180^\circ$  e  $NO \geq 08$  observações. Para esses eventos o mergulho (dip) determinado por mínimos quadrados foi de  $54^\circ$ . Projeção planos verticais paralelo (b) e perpendicular (c).

### Mecanismo focal

A solução proposta neste estudo, para o mecanismo focal composto, levou em consideração a distribuição dos hipocentros (o mergulho e o azimute) e foi obtida com auxílio do programa FPFIT. Só foram utilizadas as polaridades de excelente qualidade das ondas P registradas (P0) de 16 eventos selecionados (figura 5).

O plano de falha e o mergulho foram obtidos através do método dos mínimos quadrados, utilizando o programa PLAN (Sophia, 1989). O Azimute obtido foi de  $58^\circ$  e o mergulho  $54^\circ$ . Desse modo, baseando-se nesta solução encontrada, o mergulho e o azimute foram fixados em  $58^\circ$  e  $54^\circ$ , respectivamente, para os 16 eventos selecionados (figura 5).

Baseado na existência de estações com alternância de polaridades, o que denota proximidade de um dos planos nodais, o rake foi fixado em  $-90^\circ$ . O mecanismo focal proposto é de um plano de falha na direção aproximada NE-SW, com movimento normal (figura 6). Os valores dos demais parâmetros da Falha Sismológica de Jerusalém são mostrados na Tabela 1. O plano de falha foi determinado utilizando o mergulho dos hipocentros dos 16 eventos selecionados como mostra a figura 5.c.

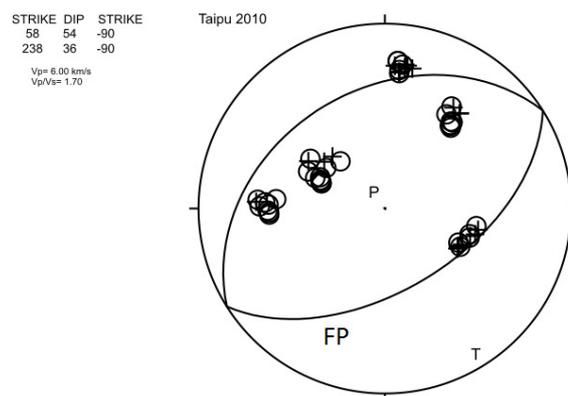


Figura 6- Mecanismo focal composto para os 16 eventos selecionados. Hemisfério inferior, projeção de igual área. Cruzes e círculos representam os primeiros movimentos compressivos e dilatacionais, respectivamente. P e T São os eixos de compressão e dilatação, respectivamente. FP indica o plano de falha.

Para se ter uma melhor visualização da alternância de polaridades, foi criada a figura 7. Na figura 7a estão representadas as polaridades negativas e na figura 7b as polaridades positivas. Algumas polaridades positivas entre as negativas nas regiões afastadas dos planos nodais podem ser explicadas devido ao fato de que na técnica do mecanismo focal composto nem todos os eventos têm de fato o mesmo mecanismo focal.

Tabela 1 - Solução proposta por este estudo para o mecanismo focal composto.

Strike	Dip	Rake	Azimute e Plunge (P e T)
58°	54°	-90°	328.0/81.0 (P) e 148.0/6.0 (T)

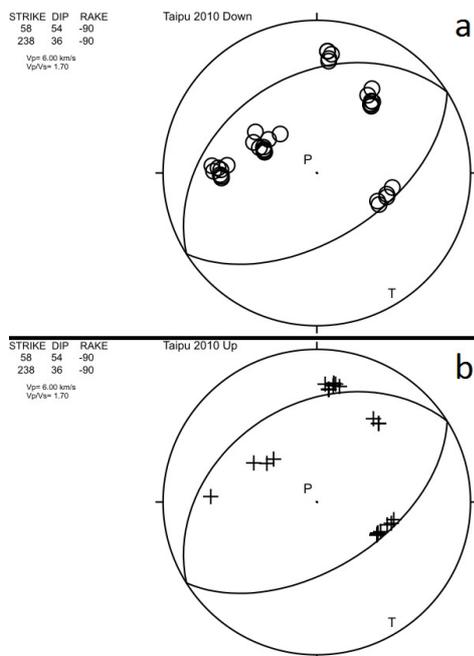


Figura 7- Visualização da alternância de polaridades do mecanismo focal da figura 6, mostrando as polaridades separadamente. Na figura 7.a estão representadas as polaridades negativas e na figura 7.b as polaridades positivas. FP indica o plano de falha.

### Discussão e Conclusões

Neste estudo foi mostrado que os epicentros das réplicas do tremor de magnitude 4.3 ocorrido no dia 11/01/2010 não estão localizados na falha de Poço Branco como os que foram registrados em 1987/88, porém aglomerados próximo à localidade de Jerusalém município de Taipu - RN.

A profundidade dos sismos estudados variou entre 1,5 km até no máximo 7 km. Os sismos do agrupamento principal ocorridos em 2010 mostrados na Figura 2 estão numa extensão de aproximadamente 2,5 km e os eventos que ocorreram mais ao sul estão 2,8 km distantes do agrupamento principal.

O mecanismo focal composto foi encontrado para os 16 sismos selecionados. O azimute da falha (58°) e o mergulho (54°) foram obtidos através do método dos mínimos quadrados, utilizando o programa PLAN. Baseado na existência de estações com alternância de polaridades, o que denota proximidade de um dos planos nodais, o rake foi fixado em -90°. O mecanismo focal proposto para a Falha de Jerusalém é de um plano de

falha na direção aproximada NE-SW, com movimento normal.

Falhamento normal, numa região de predominância de esforços compressivos, só é possível se o plano de falha estiver próximo da direção do eixo do esforço horizontal máximo. Segundo Ferreira *et. al.* (1998), essa direção, estimada a partir de vários mecanismos focais em João Câmara, seria de 76°, menos de 20° da direção do plano de falha. Esse novo mecanismo certamente contribuirá para uma melhor estimativa do esforço horizontal máximo na região.

Os resultados alcançados podem ser melhorados tanto na determinação hipocentral quanto na determinação do mecanismo focal, considerando-se a qualidade dos dados, obtidos com sismômetros triaxiais com relógios controlados por GPS. Técnicas como de posicionamento relativo de eventos, e determinação de mecanismo focal utilizando outros parâmetros além da polaridade da onda P podem ser usados. Ainda podem ser realizados estudos do processo de nucleação dos sismos e determinação dos parâmetros de fonte.

### Agradecimentos

Ao Dr. Reinhardt Fuck, coordenador do Projeto INCT de Estudos Tectônicos, pelo apoio constante.

Ao Dr. Darcy Nascimento, coordenador do PEGBR (Pool de Equipamentos Geofísicos do Brasil).

Ao Dr. Marcelo Assumpção pelas sugestões.

A CAPES.

### Referências

Bezerra, F.H.R., Takeya, M.K., Sousa, M.O.L., do Nascimento, A.F. 2007. Coseismic reactivation of the Samambaia fault, Brazil. *Tectonophysics* 430: 27–39.

DIMAS (Dima Droznin) 2008. New release of DIMAS 2008: Display, interactive manipulation & analyses of seismograms.

do Nascimento, A .F. 1997. Estudo da sismicidade induzida pelo reservatório da Barragem do Assu (RN)- Tese de mestrado, 001-PPGG/UFRN ,68 pp.

Ferreira, J.M. & Assumpção, M. 1983. Sismicidade do Nordeste do Brasil. *Rev Bras. Geofís*, 1: 67-88.

Ferreira, J.M., Takeia, M., Costa, J.M., Moreira, J.A., Assumpção, M., Veloso, J.A.V. & Pearce, R.G. 1987. A continuing intraplate earthquake sequence near João Câmara, Northeastern Brazil – Preliminary results. *Gephys.Res.Lett.*, 14: 1402-1405.

Ferreira, J.M., Assumpção, M., Costa, J.M., Moreira, J.A.M., Pearce, R.G. & Takeya, M.K.1995. Correlation of seismicity and water level in the Açú reseivor- na example from Northeast Brazil. *Bull. Seism.Soc. Am*, 85: 1483-1489.

Ferreira, J.M., Oliveira, R.T., Takeya, M.K. & Assumpção, M. 1998. Superposition of local and regional stress in northeast Brazil: evidence from focal mechanism around the Potiguar marginal basin. *Geophys. J. Int.*, 134: 341-355.

Ferreira, J.M., Bezerra, F.H.R., Souza, M.O.L., do Nascimento, A.F., Martins Sá, J., França, G.S. 2008. The role of precambrian mylonitic na present day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco Lineament, Brazil. *Tectonophysics*. 456:11-126.

França, G.S., Ferreira, J.M., Takeya, M.K. 2004. Seismic Activity in Senador Sá – CE, Brazil, 1997-1998. *Rev. Bras. Geofís.*, 22(2): 115-125.

Lee, W.H.K. & Lahr, J.C. 1975. HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. U.S. Geol. Surv. Open File Rep. 75-311, 114 pp.

Lima Neto, H.C., Ferreira, J.M., Nascimento, A.F. & Bezerra, H.R., 2009. Estudo da atividade sísmica em São Caetano-PE em 2007, 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, Extended Abstract, 6 pp.

Reasenber, P. & D. Oppenheimer. 1985. FPFIT, FPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions. U.S. Geol. Surv. Open File Rep. 85-739, 109 pp.

Sophia, C.M. 1980. A reativação sísmica de João Câmara, RN, - Fevereiro de 1987. Tese de mestrado. IAG/USP. 90 pp.

Takeya, M.K., Ferreira, J.M., Pearce, R.P., Assumpção, M., Costa, J.M. & Sophia C.M. 1989. The 1986-1987 intraplate earthquakes sequence near João Câmara, northeast Brazil- evolution of seismicity. *Tectonophysics*, 167: 117-131.

Takeya, M. K. 1992. High precision studies of an intraplate earthquake sequence in northeas Brazil. Ph. D. Thesis, University of Edinburgh, 228 pp.