



## Petrofísica da Bacia do Rio do Peixe: resultados preliminares.

J.A. Soares<sup>1</sup>, F.C.C. Nogueira<sup>1</sup>, L.D.G. Tabosa<sup>2</sup>, H.A. Almeida<sup>1</sup>, B.M. Cavalcanti<sup>1</sup>, F.M. Souza<sup>1</sup>, K.G.R. Gurjão<sup>1</sup>, L.A. Freire<sup>1</sup>, G.A.V. Ribeiro<sup>1</sup>, W.B. Sousa<sup>1</sup>, C.H. Dias<sup>1</sup>, P.H.A. Lima<sup>1</sup>, A.M.M. Araújo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, <sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Copyright 2012, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V 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 trabalho são apresentadas as propriedades petrofísicas medidas em amostras de rochas da Bacia do Rio do Peixe, localizada no extremo oeste do estado da Paraíba. As propriedades analisadas são a porosidade, a densidade de grãos e as velocidades das ondas elásticas. As amostras de rocha foram coletadas em campo, os plugues foram preparados e descritos em laboratório, secos e submetidos aos ensaios sob temperatura ambiente e pressões confinantes efetivas de até 40 MPa. Resultados preliminares indicam uma forte correlação entre as velocidades elásticas e a porosidade, bem como com a cimentação carbonática amplamente presente em muitas áreas da bacia.

### Aspectos Geológicos

A Bacia do Rio do Peixe (BRP) tem idade cretácica. Segundo Ponte *et al.* (1991), a BRP apresenta uma coluna sedimentar atribuída ao estágio rifte. Lima Filho (1991) caracterizou litofaciologicamente três formações que compõem a BRP: na base a Formação Antenor Navarro, no meio a Formação Sousa e no topo a Formação Rio Piranhas. A Fm Antenor Navarro é composta por conglomerados e arenitos arcósianos grossos associados a arenitos médios a finos, intercalados com siltitos e argilitos. Esta formação teria sido gerada em ambiente fluvial anastomosado e leques aluviais. Na Formação Sousa há predominância de folhelhos e siltitos avermelhados, delgadas lentes de calcário, e intercalações de arenitos finos a grossos. A gênese da Fm Sousa ocorreu em águas calmas, em ambiente lacustre raso ou de planície de inundação com influência fluvial. A Formação Rio Piranhas é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, com intercalações de siltitos e argilitos avermelhados.

A BRP se encontra imediatamente ao norte do lineamento Patos (direção E-W), na junção com a zona de cisalhamento Portalegre (de direção SW-NE), formando duas sub-bacias principais: a sub-bacia de Sousa - a norte do Lineamento Patos - e a sub-bacia Brejo das Freiras, a oeste da Falha de Portalegre. Há ainda uma terceira sub-bacia de menor porte e localizada na extremidade leste da BRP: a sub-bacia de Pombal (Figura 1).

### Propriedades petrofísicas investigadas

Este trabalho tem como objetivo apresentar os primeiros resultados obtidos em uma campanha para a caracterização das propriedades físicas das rochas presentes na BRP. Esta atividade é parte integrante de um projeto de P&D que está sendo conduzido através de um convênio entre a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e a PETROBRAS. As análises petrofísicas aqui apresentadas foram realizadas no Laboratório de Petrofísica da UFCG em amostras coletadas em afloramentos e em um poço estratigráfico perfurado naquela bacia sedimentar. As análises foram realizadas em plugues preparados na sala de preparação de amostras do próprio laboratório. As propriedades até o momento investigadas foram porosidade, densidade de grãos, densidade total e velocidades elásticas.

A medição da porosidade foi realizada utilizando o equipamento UltraPoroPerm 500<sup>®</sup>, modelo da Corelab, o qual se utiliza do método da porosimetria por expansão gasosa (Tiab & Donaldson, 2004). No ensaio de porosidade foi utilizado um *matrix cup* que permite estimar a porosidade a partir da medição do volume de grãos. Com o auxílio de uma balança de precisão foi medida a densidade de grãos.

Para a medição das velocidades elásticas foi utilizado o sistema AutoLab 500<sup>®</sup>, marca *New England Research*, o qual permite registrar simultaneamente três formas de onda: a onda P, que se propaga e possui polarização na direção axial do plugue, e duas ondas S com direções de polarização mutuamente ortogonais e perpendiculares ao eixo do plugue: S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub>.

As velocidades elásticas apresentadas neste trabalho foram obtidas em plugues secados em estufa sob temperatura de 80°C por 24 horas. Durante os ensaios elásticos o sistema de pressão de poros foi mantido aberto para a pressão ambiente e os ensaios foram realizados à temperatura ambiente. Portanto, a única variável durante os ensaios elásticos foi a pressão confinante, a qual variou no intervalo de 5 a 40 MPa. A secagem das amostras é uma condição necessária para os ensaios de porosidade e de densidade de grãos. A medição das propriedades elásticas não precisa ser realizada, necessariamente, em amostras secas, mas quando assim realizada permite modelar as velocidades das amostras saturadas.

### Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo consistiram no reconhecimento das formações litoestratigráficas descritas na literatura,

na identificação de afloramentos, no registro das principais feições estruturais presentes nos afloramentos e na coleta e descrição de amostras de mão. Amostras oriundas de um poço estratigráfico anteriormente perfurado pelo Laboratório de Geologia Sedimentar da UFRJ também foram analisadas (Silva Filho, 2009; Carvalho *et al.*, 2009). O mapa da Figura 1 indica a localização dos afloramentos e do poço estratigráfico de onde se originam as amostras de rochas analisadas neste trabalho.

As amostras coletadas incluem arenitos conglomeráticos, arenitos de granulometria grossa a fina e folhelhos vermelhos. Há uma forte presença de cimento carbonático em grande parte das amostras coletadas e analisadas, indicando uma extensa dispersão espacial desta atividade diagenética na BRP.

Uma variável importante é a forte presença de feições estruturais, como falhas, fraturas e juntas de deformação observadas em toda a bacia. Tais estruturas atuantes em rochas siliciclásticas podem controlar o fluxo de fluidos, pois a atuação tardia das mesmas pode aumentar os valores de porosidade de uma rocha, ou obliterar os caminhos preferenciais de fluxo inicialmente existentes. Na BRP há predominância de feições de direção E-W próximas ao lineamento Patos, NE-SW e N-S nas proximidades da zona de cisalhamento Portalegre, NE-SW e NW-SE no centro da sub-bacia de Sousa e E-W no centro da sub-bacia de Brejo das Freiras.

### Preparação de plugues

Plugues cilíndricos com uma polegada e meia de diâmetro e cerca de 5 centímetros de comprimento foram preparados. Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos para os primeiros 45 plugues analisados. Após a sua preparação, os plugues foram submetidos à secagem em estufa por 24 horas sob temperatura constante de 80°C, à descrição geológica, pesados em balança eletrônica de precisão e foi realizada a medição de suas dimensões (diâmetro e comprimento) com paquímetro digital.

### Análises laboratoriais

Após a secagem, pesagem e medição das dimensões dos plugues, foram realizados os ensaios no permoporosímetro a gás. Com o uso do *matrix cup* mede-se o volume de grãos do plugue. A diferença entre o volume de grãos e o volume total consiste no volume de vazios da amostra. A porosidade é determinada pela razão entre o volume de vazios e o volume total.

Uma vez que a amostra se encontra seca pode-se assumir que a sua massa corresponde à massa de sua fase sólida, sendo a densidade de grãos dada pela razão entre a massa do plugue e o volume de grãos medido. Com a porosidade e a densidade de grãos pode-se estimar a densidade total da rocha desprezando a densidade do ar que preenche os poros da rocha.

O volume de grãos é medido pela expansão do nitrogênio contido em uma câmara no interior do permoporosímetro.

Os ensaios de propriedades elásticas foram realizados através da medição do tempo de trânsito da transmissão direta de ondas P e S através do comprimento axial dos plugues analisados. O equipamento Autolab500<sup>®</sup> permite realizar ensaios sob condições controladas de pressão confinante, de poros, temperatura e saturação fluida. Neste trabalho as medições das velocidades das ondas P e S foram realizadas em plugues secos e submetidos a níveis decrescentes de pressão confinante. A pressão de poros e a temperatura foram mantidas nos níveis do ambiente. Determinados os tempos de trânsito das ondas e conhecidos os comprimentos dos plugues, as velocidades de propagação das ondas são dadas pela razão entre estes parâmetros.

A partir das velocidades de propagação das ondas P e S e da densidade total dos plugues, pode-se calcular os módulos elásticos: módulo de elasticidade (E), incompressibilidade (K), módulo de cisalhamento (G) e razão de Poisson ( $\nu$ ).

As velocidades elásticas foram medidas sob pressão efetiva entre 5 e 40 MPa e a porosidade foi medida a pressão ambiente. Para examinar a variação das velocidades com a porosidade sob níveis elevados de pressão foi feita uma estimativa da porosidade para pressões de até 40 MPa. Esta estimativa foi realizada considerando a incompressibilidade para cada nível de pressão confinante em que a medição de velocidades foi realizada.

### Resultados

A Figura 2 apresenta os valores de densidade de grãos medidos nas 45 amostras analisadas. Nesta figura observam-se pelo menos três níveis: folhelhos mais ricos em cimentação carbonática apresentam densidade de grãos em torno de 2,75 g/cm<sup>3</sup>, arenitos de matriz predominantemente quartzosa exibem densidade de grãos em torno de 2,60 a 2,65 g/cm<sup>3</sup> e folhelhos provavelmente mais ricos em matéria orgânica apresentam densidade de grãos em torno de 2,52 g/cm<sup>3</sup>. Neste trabalho não foi realizada análise geoquímica para comprovar os teores de matéria orgânica.

A Figura 3 apresenta as relações entre VP e porosidade para plugues de arenitos e folhelhos sob confinamento de 40 MPa. De modo semelhante, as Figuras 4 e 5 apresentam resultados similares para as velocidades das ondas S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub>. De modo geral observa-se que as velocidades decrescem com o aumento da porosidade. Para porosidades muito baixas, as velocidades de arenitos e folhelhos tendem a apresentar valores semelhantes. À medida que as porosidades aumentam, as velocidades dos folhelhos decrescem mais rapidamente que a dos arenitos.

A Figura 6 apresenta os módulos elásticos medidos, sob pressão confinante efetiva de 40 MPa, nos 45 plugues analisados. Excetuando-se a razão de Poisson, os demais módulos apresentam um consistente decréscimo

com o aumento da porosidade, sendo a variação dos módulos de arenitos e folhelhos com a porosidade praticamente a mesma. Para a razão de Poisson observa-se que a maioria das amostras, independente da litologia, apresenta valores que decrescem suavemente com a porosidade, partindo de 0,20 para porosidades muito baixas e terminando em torno de 0,17 para as porosidades mais elevadas. Deve-se ressaltar que estes resultados são válidos para amostras secas.

### Conclusões

Propriedades petrofísicas de rochas da BRP foram medidas no Laboratório de Petrofísica da UFCG. Para as amostras apresentadas neste trabalho os valores medidos de porosidade se encontram no intervalo de 2% a 25%. Três níveis de densidade de grãos foram identificados, os quais estão relacionados à composição mineral das rochas. A densidade de grão mais elevada é indicadora de cimentação carbonática, muito comum em grande parte da bacia.

As velocidades elásticas, medidas em amostras secas, são relativamente elevadas para a maioria das amostras analisadas, refletindo porosidades baixas e presença de cimentação carbonática. As velocidades de arenitos e folhelhos decrescem com a porosidade, sendo que as velocidades dos folhelhos diminuem mais rapidamente do que a dos arenitos. As velocidades aumentam com a pressão efetiva, sendo esta variação maior nas amostras com velocidades menores.

Os módulos elásticos diminuem de forma consistente com o aumento da porosidade, não havendo diferença considerável nessa relação para arenitos e folhelhos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao convênio PETROBRAS/UFCG TC 0050.0057323.10.9 pelo financiamento da pesquisa e à PETROBRAS pela permissão para a publicação destes resultados.

### Referências

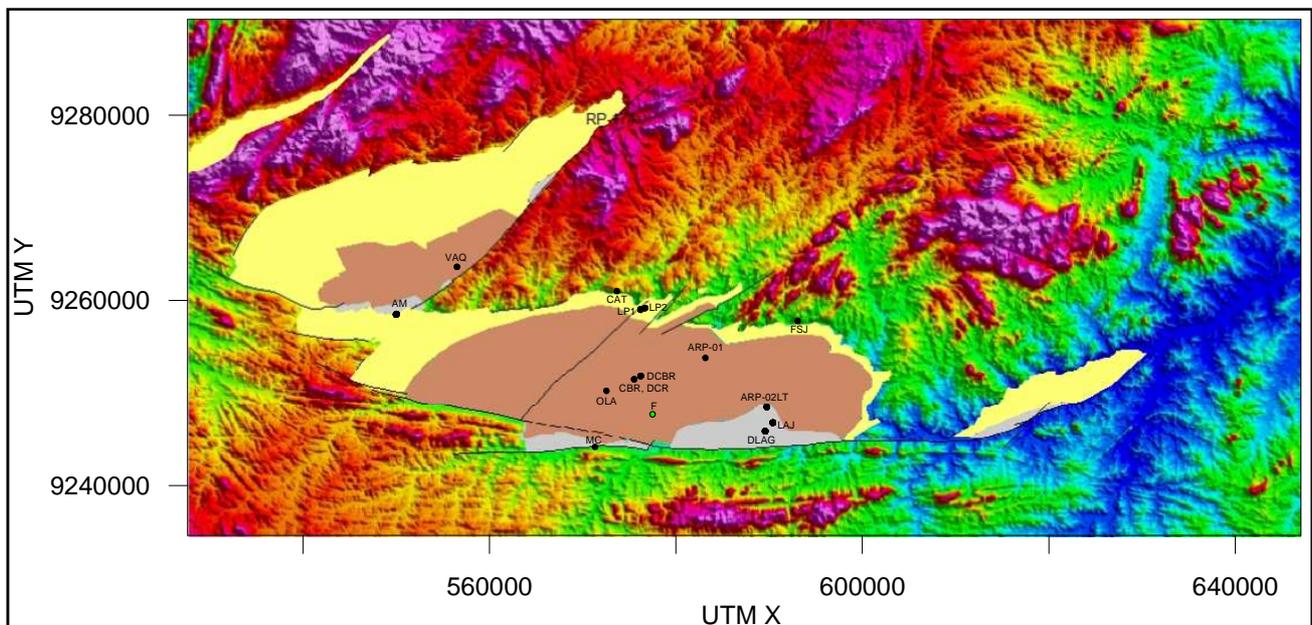
Carvalho, I.S.; Borghi, L.; Mendonça Filho, J.G.; Abreu, C.J. 2009. Investigação estratigráfica da bacia de Sousa (PB). Relatório Técnico do LAGESED. Departamento de Geologia da UFRJ.

Lima Filho, M.L. 1991. Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Rio do Peixe-PB. Dissertação de Mestrado. UFPE. Recife.

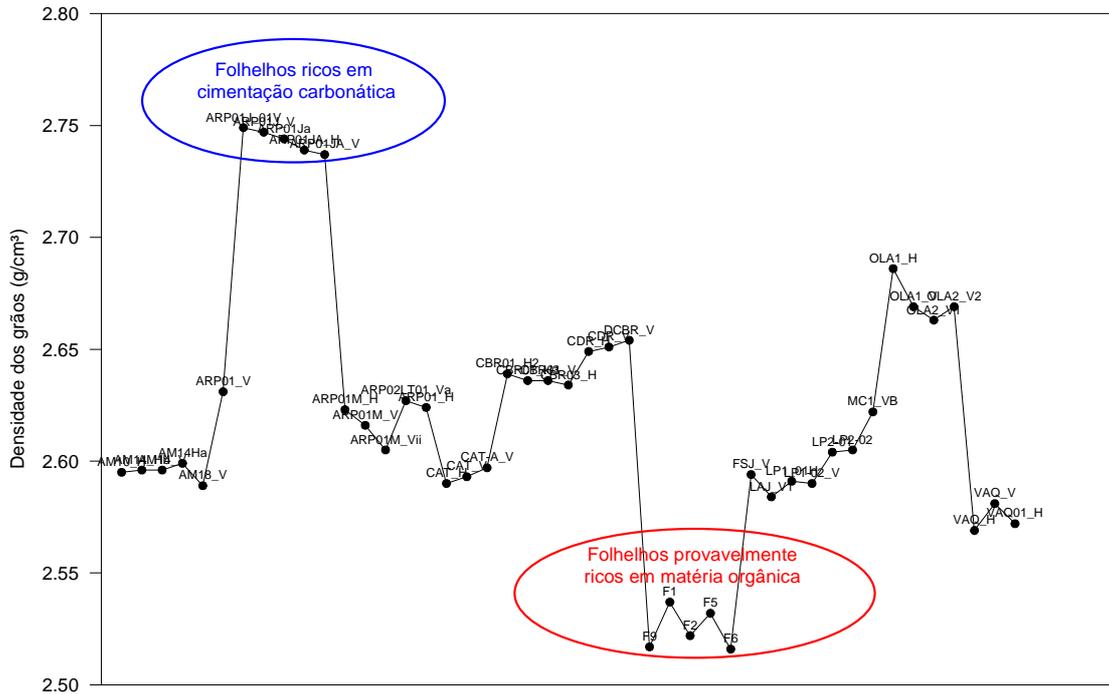
Ponte, F.C., Hashimoto, A.T., Dino, R., coords. (1991). Geologia das bacias sedimentares mesozóicas do interior do Nordeste do Brasil. PETROBRAS/CENPES/DIVEX/SEBIPE, relat. interno.

Silva Filho, R.P. 2009. Análise de fácies da Formação Sousa (Cretáceo Inferior), bacia de Sousa (PB), e seu contexto em um sistema petrolífero. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geologia da UFRJ.

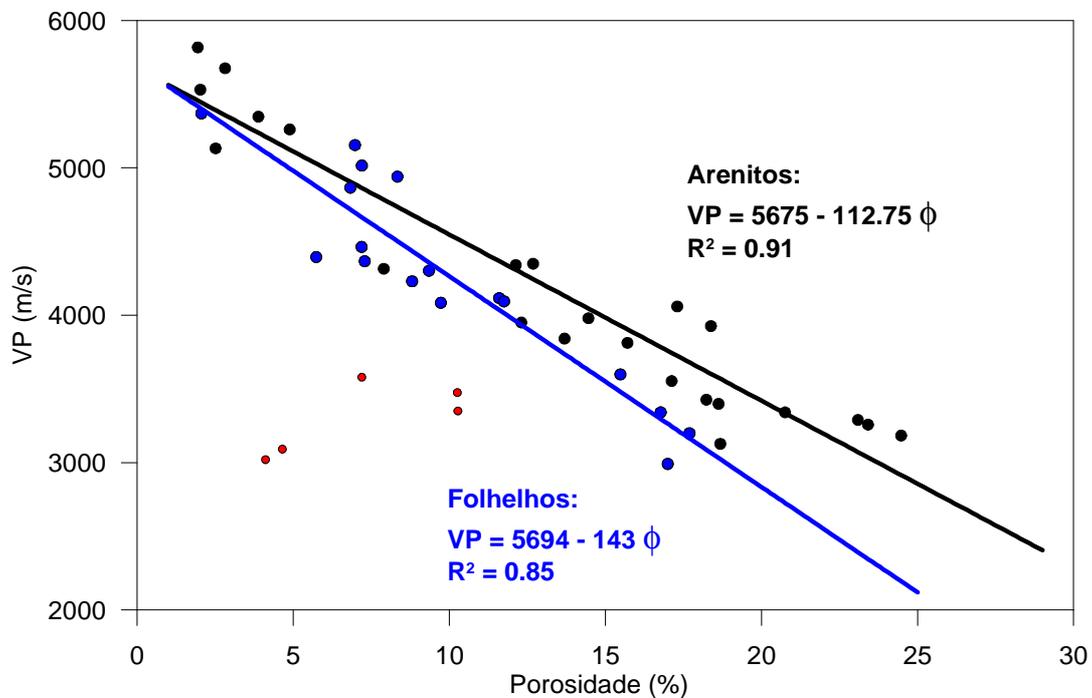
Tiab, D.; Donaldson, E.C. 2004. Petrophysics. Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Elsevier.



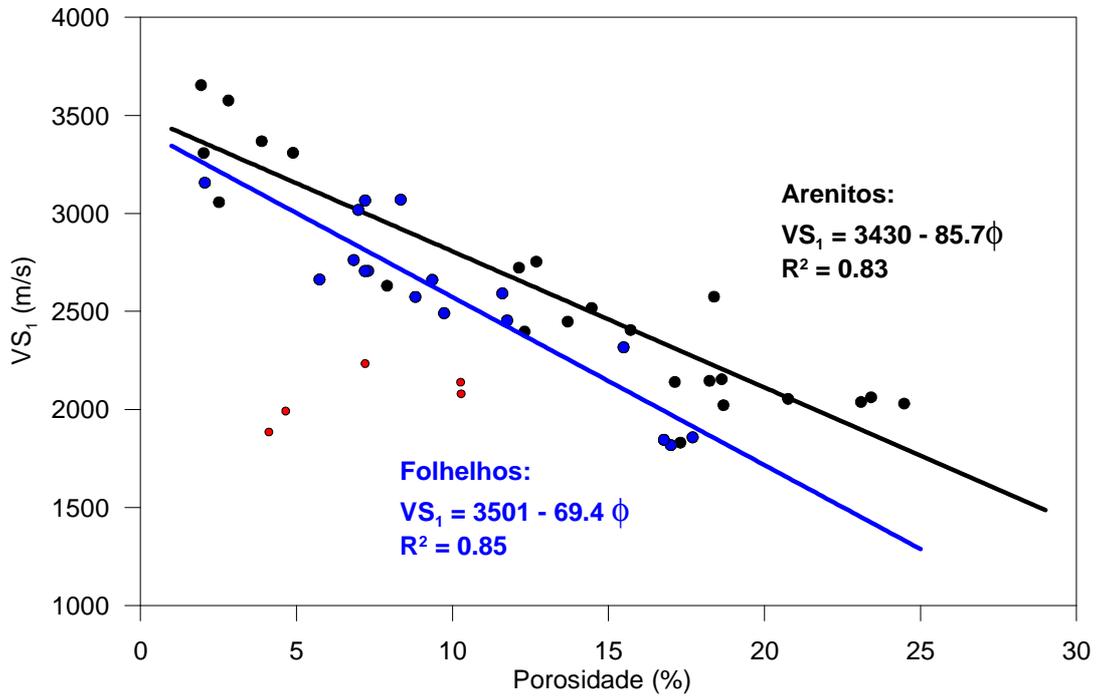
**Figura 1** – Mapa da BRP com localização dos afloramentos (pontos pretos) e do poço (ponto verde) dos quais análises petrofísicas são apresentadas neste trabalho. As cores no entorno da bacia indicam a altitude do terreno.



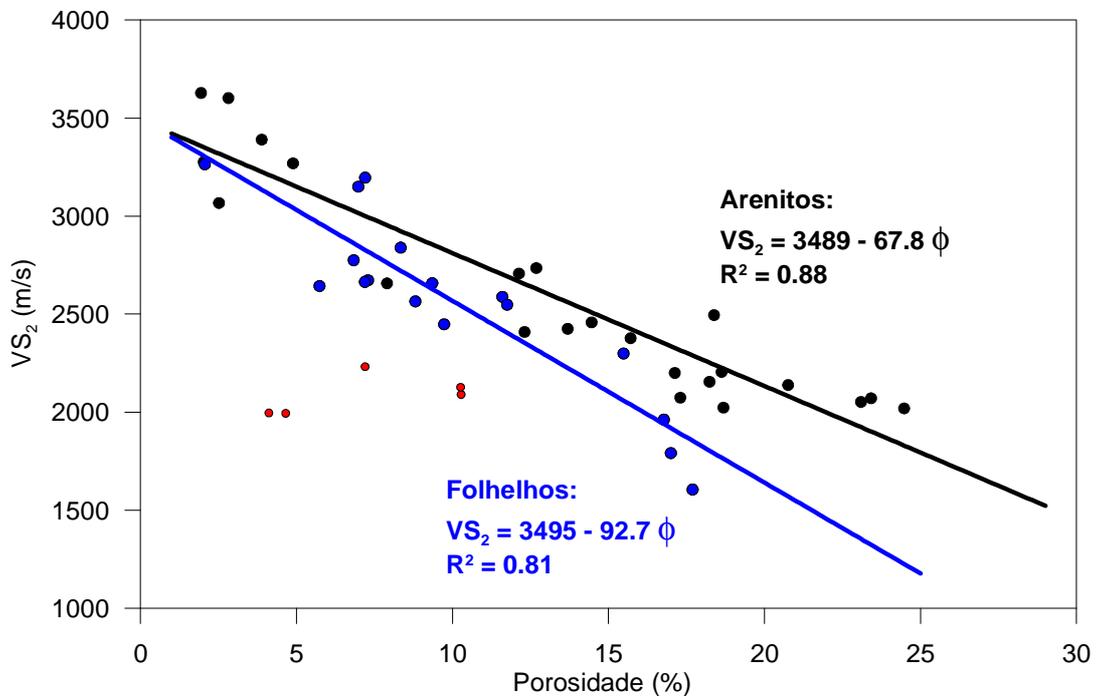
**Figura 2** – Densidade de grãos medida nos plugues da BRP. Observam-se pelo menos três níveis: folhelhos mais ricos em cimentação carbonática apresentam densidade de grãos em torno de 2,75 g/cm<sup>3</sup>, arenitos de matriz predominantemente quartzosa exibem densidade de grãos em torno de 2,60 a 2,65 g/cm<sup>3</sup> e folhelhos provavelmente mais ricos em matéria orgânica apresentam densidade de grãos em torno de 2,52 g/cm<sup>3</sup>.



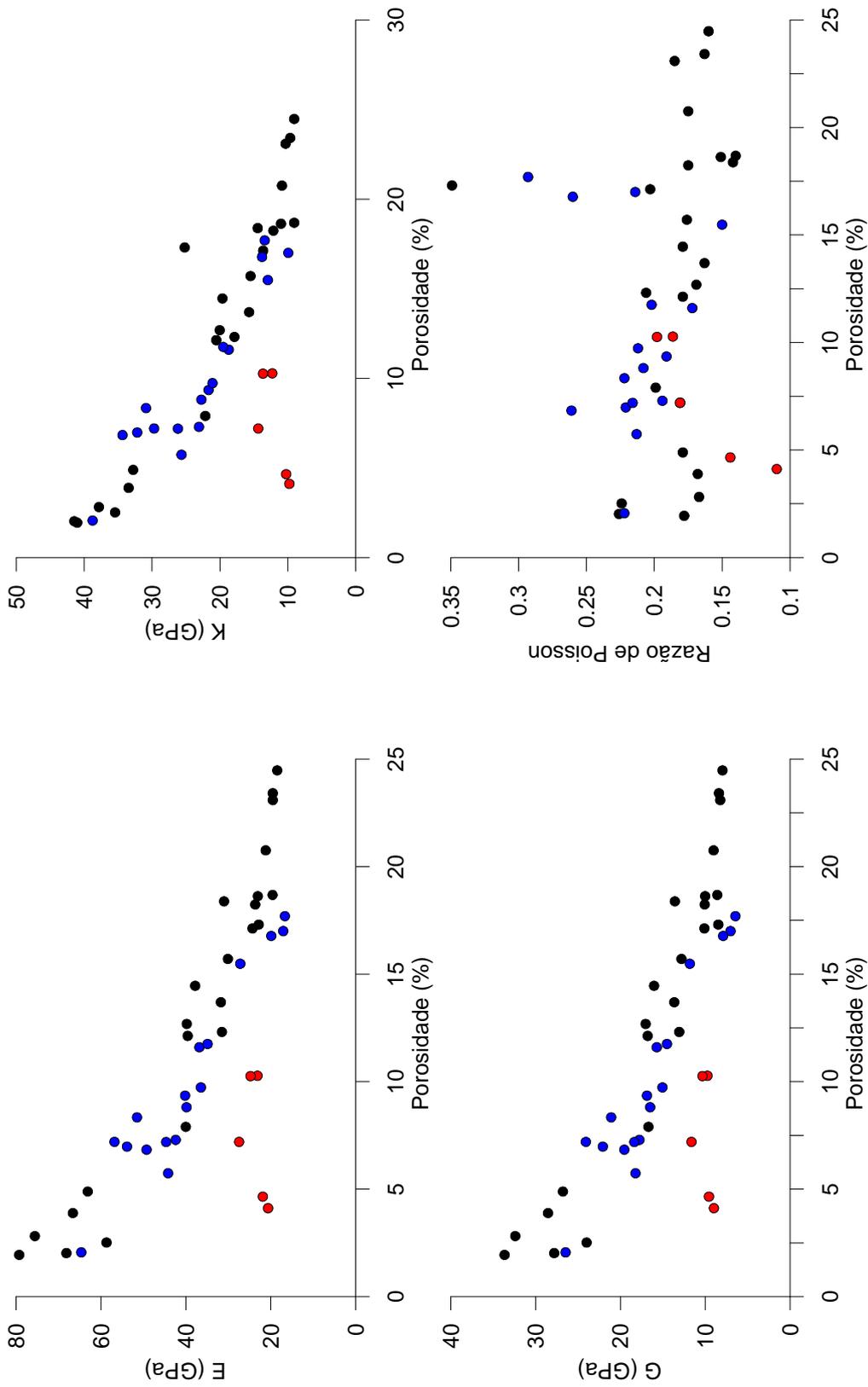
**Figura 3** – Relação entre velocidade da onda P e porosidade para pressão confinante efetiva de 40 MPa em plugues da BRP. Os pontos em vermelho são folhelhos oriundos do poço estratigráfico e foram desconsiderados na determinação da linha de tendência dos folhelhos.



**Figura 4** – Relação entre velocidade da onda S<sub>1</sub> e porosidade para pressão confinante efetiva de 40 MPa em plugues da BRP. Os pontos em vermelho são folhelhos oriundos do poço estratigráfico e foram desconsiderados na determinação da linha de tendência dos folhelhos.



**Figura 5** – Relação entre velocidade da onda S<sub>2</sub> e porosidade para pressão confinante efetiva de 40 MPa em plugues da BRP. Os pontos em vermelho são folhelhos oriundos do poço estratigráfico e foram desconsiderados na determinação da linha de tendência dos folhelhos.



**Figura 6** – Relações entre módulos elásticos e porosidade para pressão confinante efetiva de 40 MPa em plugues da BRP. Os pontos pretos representam amostras de arenito, os azuis de folhelhos (ambos de afloramentos), e os vermelhos são folhelhos oriundos do poço estratigráfico.