

TÉCNICAS NÃO-SUPERVISIONADAS DE MACHINE LEARNING APLICADAS À CLASSIFICAÇÃO DE FÁCIES SÍSMICAS E CARACTERIZAÇÃO DE ELEMENTOS DEPOSICIONAIS EM ÁGUAS PROFUNDAS NA BACIA DO CEARÁ

Karen M. Leopoldino Oliveira, Mariano Castelo Branco, Francisco Nepomuceno Filho – Universidade Federal do Ceará, Heather Bedle – University of Oklahoma

Nos últimos anos, a Margem Equatorial Brasileira (MEB) tem chamado atenção devido às novas descobertas de hidrocarbonetos, tanto na margem conjugada africana quanto na Guiana Francesa, Suriname e Guiana. Entretanto, as regiões de águas profundas das bacias da MEB ainda são pouco exploradas. Nesse trabalho foi realizada interpretação de dado sísmico 3D e de poços exploratórios utilizando técnicas não-supervisionadas de machine learning para melhor entender as estruturas geológicas e identificar possíveis locais de acúmulo de hidrocarbonetos em águas profundas da Bacia do Ceará. Os resultados da abordagem de machine learning, incluindo Self-Organizing Maps (SOMs) e Independent Component Analysis (ICA), foram capazes de produzir imagens de alta resolução e mapear a geometria 3D da geomorfologia sísmica em diferentes níveis estratigráficos, do intervalo Albiano ao Turoniano. Uma melhor compreensão da geomorfologia sísmica e das análises de fácies sísmicas forneceram informações relevantes sobre uma bacia pouco explorada, oferecendo o melhor potencial para armadilhas estratigráficas em águas profundas.

INTRODUÇÃO

A MEB tem sido recentemente foco de considerável interesse devido às grandes descobertas de hidrocarbonetos documentadas em grandes campos de petróleo em Gana e Costa do Marfim, bem como as últimas descobertas no Suriname (Huaicun, 2014; Exxon Mobil, 2020; GeoExpro, 2020). Dados de domínio público disponíveis da avaliação sísmica em andamento sugerem que há alto potencial para descobertas de óleo leve em reservatórios de arenitos turbidíticos do Cretáceo Superior em armadilhas estratigráficas. Na Bacia do Ceará, trabalhos anteriores como o de Maia de Almeida et al. (2020) mostrou que os reservatórios de um poço de águas profundas compreendem arenitos do Cretáceo em armadilha relacionada tanto a discordância quanto a falha normal. Leopoldino Oliveira et al. (2020) identificou uma série de potenciais armadilhas estratigráficas e estruturais em sequências rifte e drifte da bacia. Esses estudos foram baseados principalmente em dados sísmicos 2D, que têm suas limitações na realização de análises de geomorfologia sísmica.

Diante disso, neste estudo, três poços em águas profundas e dado sísmico 3D (Figura 1) foram analisados com dois objetivos principais: (i) identificar elementos deposicionais em águas profundas; (ii) usar técnicas não-supervisionadas de machine learning, como o SOM e o ICA, para caracterizar fácies sísmicas que podem estar relacionadas com fácies sedimentares. Essas técnicas forneceram informações sobre a geomorfologia sísmica e a análise de fácies melhoraram a interpretação da arquitetura interna e externa dos elementos deposicionais e, assim, ajudaram a

identificar e prever possíveis reservatórios relacionados a arenitos turbidíticos.

METODOLOGIA

Na primeira etapa, os horizontes foram mapeados e gridados para produzir superfícies contínuas. Então, o dado sísmico 3D foi cortado entre os horizontes da base do Albiano ao topo do Turoniano. Um fluxo de trabalho de geomorfologia sísmica foi utilizado para destacar os elementos estruturais e arquitetônicos por meio da análise de atributos e interpretação de perfil de poço. Para melhor avaliar as fácies sísmicas, empregamos o SOM e o algoritmo ICA para definir as fácies. Para as entradas SOM, usamos os atributos: 1) amplitude RMS; 2) energia coerente; 3) frequência instantânea; 4) homogeneidade GLCM; e 5) componente de

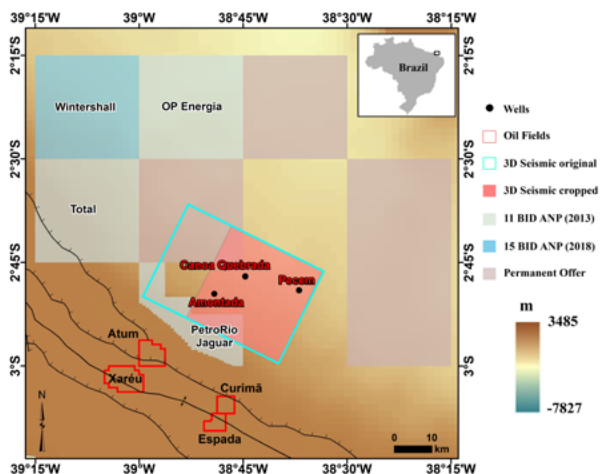


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, dado sísmico 3D e de poços fornecidos pela ANP. O modelo topográfico foi fornecido pelo NOAA.

magnitude espectral 30 Hz.

Já no ICA utilizamos 14 atributos de componente de magnitude espectral (5-70 Hz) para extrair a resposta espectral que pode delinear melhor as feições sísmicas associadas a diferentes feições geológicas. Este algoritmo foi usado para análise sísmica de carbonatos (Li e Lu, 2014; Bueno et al., 2014), bem como sistema fluviodeltaico (Honório et al., 2014) e canais de turbidíticos (Lubo-Robles e Marfurt, 2019). Quatro horizontes foram criados entre o topo e a base do intervalo de interesse, resultando em um intervalo de análise de ~ 350 ms.

RESULTADOS

Self-organizing map

A Figura 2 mostra os quatro horizontes que ilustram a distribuição da geomorfologia sísmica com base na classificação volumétrica do SOM. Na parte superior do talude, os elementos deposicionais não estão bem definidos (e.g. canais alimentadores) e a geomorfologia próxima ao poço Amontada não está bem caracterizada. Uma seção vertical apresenta a classificação de fácies SOM (Figura 2e). A partir dessa classificação, podemos observar três cores distintas (fácies). A cor verde representa a fácies de alta amplitude com refletores contínuos e o verde brilhante representa refletores sísmicos com contraste de alta impedância. Comparando os resultados com a fácies do poço, essas cores estão associadas a arenitos métricos e folhelhos sutis intercalados (arenito >> folhelho). A cor roxa é mais representativa da fácies caótica de amplitude moderada. A Figura 2e mostra que a cor roxa está associada a folhelhos e arenitos sutis intercalados (folhelhos >> arenitos). A cor azul representa os refletores mais fracos que são mais representativos da parte superior do talude (Figura 2a). Observando a geomorfologia dos horizontes, notamos que as fácies verdes estão distribuídas principalmente no complexo de canais, canais menores, lobos dendríticos e estrutura em leque (Figura 2a a d).

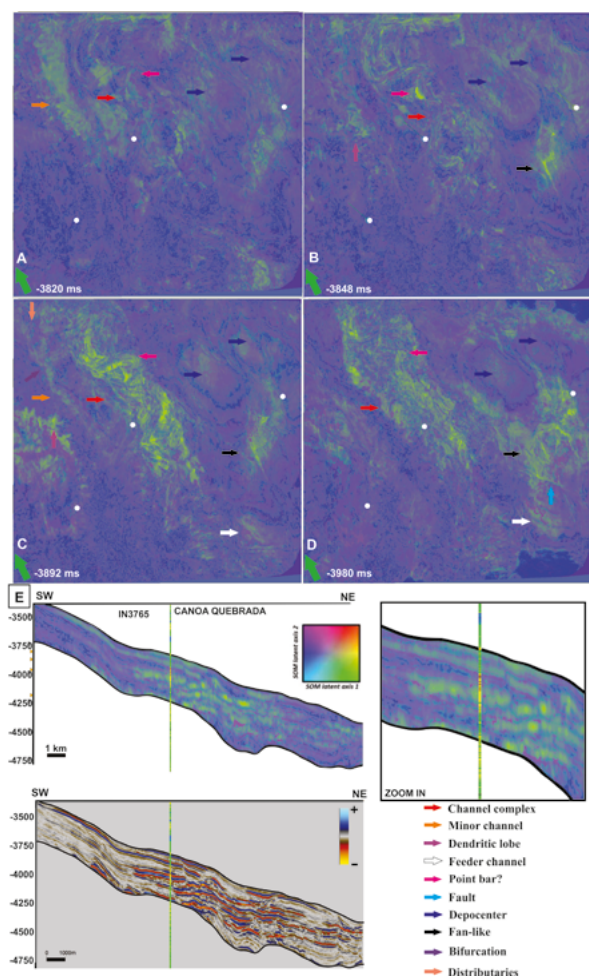


Figura 2: Resultados do SOM apresentados nos quatro horizontes que destacam os elementos deposicionais de águas profundas. (A) Horizonte 1 (mais jovem); B) Horizonte 2; C) Horizonte3; D) Horizonte 4 (mais antigo). As localizações dos poços são exibidas como um ponto branco; E) Inline 3765 mostrando o dado sísmico abaixo e o SOM resulta no topo.

altamente variável com uma mistura de diferentes fácies sísmicas, cuja variabilidade foi melhor capturada usando ICA do que SOM.

Independent component analysis

Para cumprir o objetivo de fazer análise de fácies sísmica não-supervisionada, plotamos os componentes independentes IC1, IC2 e IC3 usando um esquema de cores RGB (Figura 3). Na Figura 3, notamos que a combinação RGB usando os componentes independentes fornece melhor resolução das características geológicas quando comparada aos resultados do SOM. O complexo de canal, canais menores, falhas, depocentros, barras laterais e canais alimentadores, bem como as pequenas características geológicas (e.g. lobos dendríticos e canais distributários) são melhor delineados usando o método ICA. Também é possível notar que a combinação ICA em RGB proporciona melhor contraste entre as distintas fácies sísmicas.

Conforme mapeado na Figura 3b, o complexo de canais é caracterizado predominantemente por fácies verde intercaladas com fácies sísmicas amarela e roxa, enquanto a área próxima ao poço Pecém tem fácies predominantemente roxa. O complexo de canais tem uma alta variabilidade de fácies sísmicas; no entanto, sua forma não é bem definida e parece semelhante a canais sinuosos. No horizonte 3 (-3892 ms) (Figura 3c) as feições geológicas próximas ao poço Amontada são caracterizadas por fácies sísmicas verdes e roxas predominantes, enquanto o lobo dendrítico tem fácies sísmicas amarelas. Esses lobos dendríticos parecem alimentar os canais menores, e estes canais têm a mesma fácies sísmica que seus distributários. O complexo de canais tem uma grande variabilidade de fácies sísmicas e está bem delineado (Figura 3c).

No horizonte 1, o complexo de canais tem fácies predominantemente verde e fácies roxa, uma vez que tende para o noroeste. O canal menor, a noroeste, tem fácies sísmica predominantemente amarela quando comparado aos horizontes mais antigos (Figura 3c). No horizonte 4 (-3980 ms) (Figura 3d), a estrutura em forma de leque é

Para validar nossa interpretação de fácies sísmicas usando princípios da geomorfologia e da combinação ICA RGB para destacar os diferentes elementos arquiteturais sedimentares, relacionamos as fácies sísmicas com litologias analisando as informações das fácies do relatório do poço Canoa Quebrada. A Figura 3e demonstrou que o arenito provavelmente correlaciona-se com uma mistura de fácies sísmica verde brilhante com alta amplitude e refletores paralelos. As fácies azul e roxa estão associadas a folhelho e arenito intercalados (folhelho >> arenito).

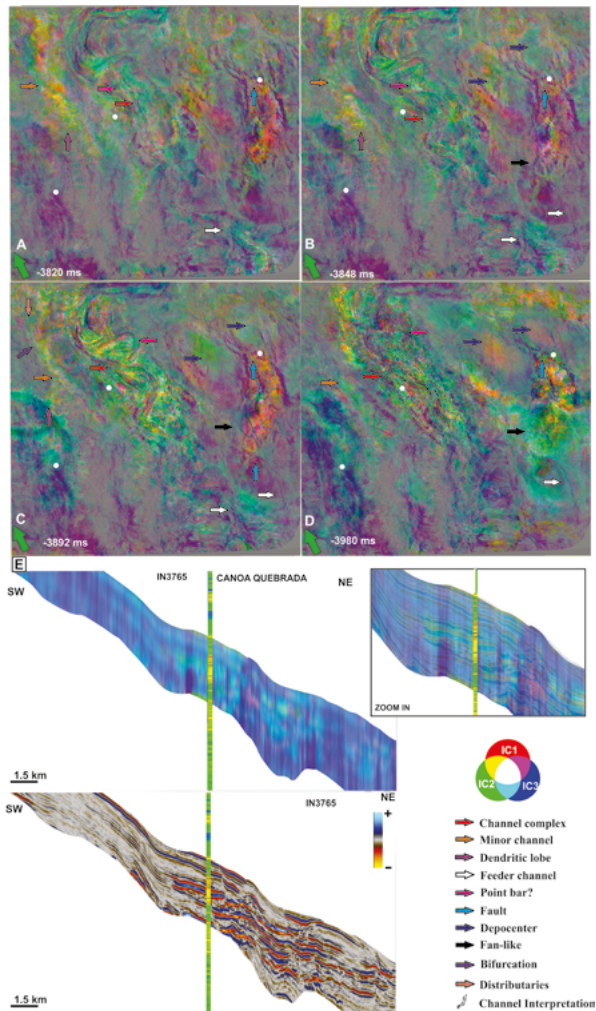


Figura 3: Resultado do ICA apresentado nos quatro horizontes que destacam os elementos de águas profundas. (A) Horizonte 1 (mais jovem); B) Horizonte 2; C) Horizonte 3; D) Horizonte 4 (mais antigo). As localizações dos poços são exibidas como um ponto branco; E) Inline 3765 mostrando o dado sísmico abaixo e resultado ICA no topo.

GEOEXPRO, 2020. Guyana–Suriname: The Hotspot That Keeps on Giving. Vol. 17, No 5, pp 36-37. <https://www.geoexpro.com/articles/2020/11/guyana-suriname-the-hotspotthat-keeps-on-giving>. (Accessed 12 November 2020).

HUAICUN, J., 2014. Progress and revelation of exploration of large oil and gas fields around the globe. *Sci. Technol. Rev.* 32 (8), 76–83, 2014.

HONORIO, B., A. SANCHETTA, E. PEREIRA, AND A. VIDAL, 2014, Independent component spectral analysis: Interpretation, 2, no. 1, SA21–SA29, doi: 10.1190/INT-2013-0074.1.

LEOPOLDINO OLIVEIRA, K.M., H. BEDLE, R.M.G.C. BRANCO, A.C.B. SOUZA, F. NEPOMUCENO FILHO, M.N. NORMANDO, N. MAIA DE ALMEIDA, AND T.H. DA SILVA BARBOSA. 2020. Seismic stratigraphic patterns and characterization of deepwater reservoirs of the Mundaú subbasin, Brazilian Equatorial Margin. *Mar. Pet. Geol.* <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104310>.

LI, F., and W. LU, 2014, Coherence attribute at different spectral scales: Interpretation, 2, no. 1, SA99–SA106, doi: 10.1190/INT-2013-0089.1

LUBO-ROBLES, D., and K. MARFURT. 2019. Unsupervised seismic facies classification using ICA: Interpretation, 7, 3, Society of Exploration Geophysicists.

MAIA DE ALMEIDA N.M., T. M. ALVES, F. NEPOMUCENO FILHO, G.S.S. FREIRE, A.C.B. SOUZA, M. N. NORMANDO, K.M.L. OLIVEIRA, AND T.H.S. BARBOSA. 2020. Tectono sedimentary evolution and petroleum systems of the Mundaú sub-basin: A new deepwater exploration frontier in equatorial Brazil. *AAPG Bulletin*, v. 104, no. 4 (April 2020), pp. 795–824. DOI:10.1306/07151917381.

CONCLUSÕES

Características geológicas relevantes foram extraídas com sucesso de dados sísmicos 3D usando as técnicas SOM e ICA. A integração da sísmica com dados de poços ajudou a identificar elementos deposicionais de águas profundas ricos em arenitos. O ICA é um algoritmo útil para reduzir a dimensionalidade, extrair informações valiosas de vários volumes de atributos sísmicos e separar feições geológicas de ruído. A análise por ICA forneceu melhor resolução do que a análise por SOM. A abordagem de machine learning é mais eficiente para identificar padrões deposicionais do que a interpretação convencional de reflexão sísmica. Principalmente, se o intérprete quiser uma visão geral rápida da área de exploração usando um enorme cubo sísmico 3D.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a ANP por fornecer os dados geofísicos e à Schlumberger pela licença do Petrel. Agradecimento especial para o consórcio AASPI na Universidade de Oklahoma, bem como o LGPSR e o Laboratório de Interpretação Sísmica da UFC pelo apoio a essa pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

BUENO, J.F., B.C. Z. HONÓRIO, M.C. KURODA, A.C. VIDAL, AND E.P. LEITE. 2014, Structural and stratigraphic feature delineation and facies distribution using seismic attributes and well log analysis applied to a Brazilian carbonate field, Interpretation 2: SA83-SA92.

EXXON MOBIL, 2020. Guyana project overview. Article Oct. 1, 2020. <https://corporate.exxonmobil.com/Locations/Guyana/Guyana-projectoverview#DiscoveriesintheStabroekBlock>. (Accessed 12 November 2020).