



Aplicação de Sísmica de Alta Resolução para a Determinação de Armadilhas Geológicas de Cascalhos Auríferos em um Trecho do Rio Peixoto de Azevedo, MT

Application of High Resolution Seismic for the Determination of Geological Traps of Auriferous Gravels in a Section of the Peixoto de Azevedo River, MT

Eduardo Xavier Seimetz; Welitom Rodrigues Borges & Marco Ianniruberto

Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Instituto de Geociências, ICC, Asa Norte, 70910-900, Brasília, Distrito Federal

E-mails: edu.seimetz@gmail.com; welitom@unb.br; ianniruberto@unb.br

DOI: http://doi.org/10.11137/2020_2_469_476; Recebido: 19/03/2019 Aceito: 15/04/2020

Resumo

A exploração de ouro em cascalhos auríferos presentes nas calhas dos rios da região amazônica é desenvolvida de maneira aleatória, com utilização de dragas de sucção e de escarificação. Tal condição remobiliza e aumenta o volume de sedimentos suspensos ao longo dos rios. Consequentemente, intensifica o assoreamento e a erosão nas margens dos rios. Este trabalho mostra resultados de investigações sísmicas realizadas com objetivo de verificar a eficiência da sísmica de reflexão de alta resolução na identificação de possíveis armadilhas geológicas de cascalhos auríferos presentes na calha do rio Peixoto de Azevedo. As aquisições de dados ocorreram durante o período de cheias em um trecho de 2700 metros do rio, com um perfilador de subfundo regulado para emitir sinais sísmicos nas frequências de 2 a 15 kHz. Os resultados possibilitaram a identificação de 3 fácies sísmicas e 2 superfícies de reflexão. As fácies sísmicas relacionam-se aos sedimentos arenosos atuais da calha do rio Peixoto (Sf1), aos sedimentos argilosos e grossos (cascalhos) mais antigos (paleosedimentos, Sf2), e às rochas ígneas do embasamento (Sf3). As superfícies de reflexão correspondem às interfaces entre os depósitos arenosos atuais da calha do rio e os paleosedimentos (Ss), e entre os paleosedimentos e as rochas ígneas do embasamento (Sr). Ao longo das seções sísmicas notam-se deflexões na superfície Sr que indica potenciais armadilhas de cascalhos auríferos.

Palavras-chave: Perfilador de subfundo; Fácies sísmicas; Armadilhas de ouro.

Abstract

The exploitation of gold in gold-bearing gravel present in the river channels of the Amazon region is carried out in a random manner, using suction and scarification dredges. Such a condition remobilizes and increases the volume of sediment suspended along the rivers. Consequently, it intensifies sedimentation and erosion along riverbanks. This work presents results of seismic investigations carried out with the objective of verifying the efficiency of the high-resolution seismic reflection in the identification of possible geological traps of auriferous gravels present in the channel of the river Peixoto de Azevedo. Data acquisition occurred during the flooding period in a 2700 meters section of the river, with a sub bottom profiler set to emit seismic signals in frequencies of 2 to 15 Hz. The results allowed the identification of 3 seismic facies and 2 reflection. Seismic facies are related to the present sandy sediments of the Peixoto river channel (Sf1), to the oldest clayey and sedimentary sediments (paleosediments, Sf2), and to the igneous rocks of the basement (Sf3). The reflection surfaces correspond to the interfaces between the present sandy deposits of the river channel and the paleosediments (Ss), and between the paleosediments and the igneous rocks of the basement (Sr). Throughout the seismic sections we notice deflections on the surface Sr which indicates potential traps of auriferous gravels.

Keywords: Sub bottom profiler; Seismic facies; Gold traps.

1 Introdução

No município de Peixoto de Azevedo, estado de Mato Grosso, o ouro ocorre associado a depósitos primários (filões) e secundários (Paes de Barros, 2007). Os depósitos secundários acontecem associados a cascalhos eluvionares (depósitos residuais), coluvionares e aluvionares (terraços e canais atuais; Figura 1). A maior produção de ouro na região é proveniente da exploração de depósitos fluviais, em paleoterraços do rio Peixoto e em sedimentos de canal do rio Peixoto de Azevedo.

A exploração do ouro ocorre nos paleoterraços e ao longo do canal do rio durante o período de estiagem na região visto o rebaixamento do nível d'água, utilizando dragas para o processo de extração e concentração do minério, como é prática comum na região amazônica (Veiga & Barros, 1991). No período de chuvas há uma expressiva redução na produção de ouro, visto que a exploração ocorre apenas nas áreas dos filões (*shafts*).

Nos depósitos secundários, as maiores concentrações de ouro acontecem nos cascalhos acumulados em armadilhas geológicas, que na região refletem depressões no embasamento rochoso causadas pela presença de zonas de cisalhamento. Estas falhas/fraturas possibilitam uma maior percolação de água e consequentemente um maior intemperismo da rocha, o que gera pequenas cavidades nas rochas que favorecem a deposição dos sedimentos com maior densidade (Figura 2).

A prospecção de ouro tanto nos paleoterraços quanto no canal atual do rio Peixoto ocorre com a execução de perfurações aleatórias para verificar a presença de cascalhos auríferos, o que provoca

eventualmente a remoção desnecessária da floresta ou alteração das estruturas sedimentares e remobilização de sedimentos do leito do rio.

A utilização de geofísica na pesquisa de depósitos secundários (cascalhos) aluvionares mostra-se eficiente quando há um dimensionamento correto da amostragem espacial dos dados (Francke, 2012). As pesquisas desenvolvidas por Rasskazov *et al.* (2017) mostram que o método da eletrorresistividade é efetivo na identificação de camadas de paleoterraços em função do alto contraste de resistividade elétrica entre os sedimentos. Jessell *et al.* (2015) usa dados eletromagnéticos aéreos para determinar a localização de paleocanais na parte sul da Bacia Volta, em Ghana. Os autores confirmam a baixa resistividade dos sedimentos finos e alta resistividade dos sedimentos grossos (cascalhos). Brabers (2018) usa a eletrorresistividade ao longo de um rio no congo para identificar cascalhos diamantíferos, e confirma a alta resistividade deste material em ambiente aquoso.

Apesar de inúmeros trabalhos geofísicos detalharem a estratigrafia aluvionar (Whiteley, 1971; Bridge, 2009; Francke, 2012), não se encontrou pesquisa direcionada para a localização de possíveis estruturas concentradoras de minerais de alta densidade.

Neste trabalho utilizou-se a sísmica de alta resolução com o perfilador de sub fundo (SBP) para imagear a geometria do fundo rochoso dos sedimentos depositados na calha do rio Peixoto de Azevedo, MT, e assim sugerir os pontos de maior favorabilidade de concentração de cascalhos auríferos.

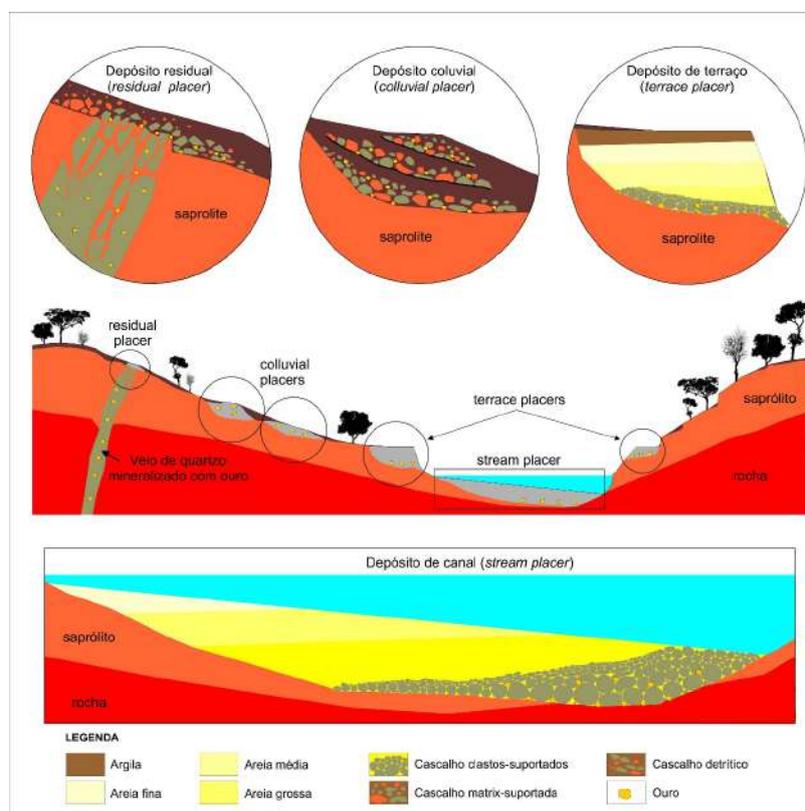


Figura 1 Representação esquemática de depósitos secundários (depósito residual, depósito coluvial, depósito de terraço e depósito de canal) e sua relação geomorfológica e estratigráfica de acúmulo de minério aurífero.



Figura 2 Modelo geológico com a posição dos locais mais favoráveis para o desenvolvimento de armadilhas de cascalhos auríferos (*gold traps*) em ambientes fluviais.

2 Geologia

Na região de Peixoto de Azevedo e Matupá ocorrem um conjunto de plútons graníticos, nomeada de Suíte Intrusiva Matupá (Figura 3). Moreton & Martins (2005) individualizam esta suíte em quatro litofácies, com base nas características petrográficas, petroquímicas, morfológicas e assinatura aerogeofísica: fácies 1) biotita granito e biotita monzogranito; fácies 2) hornblenda monzogranito, biotita hornblenda monzonito e hornblenda monzodiorito; fácies 3) clinopiroxênio-hornblenda monzogranito, clinopiroxênio-hornblenda monzodioritos magnéticos; e fácies 4) biotita granitos, granitos emonzogranitos com microgranitos e granófiros subordinados.

No mapa geológico elaborado por Moreton &

Martins (2005), abaixo dos sedimentos aluvionares do rio Peixoto, ocorrem gabros, granodioritos, quartzo dioritos, monzogabros e monzodioritos da Suíte Intrusiva Flor da Serra. Nas margens do rio Peixoto é comum a presença de afloramentos desta unidade abaixo dos sedimentos de terraços (Figura 4A). A maioria dos garimpos de produção de ouro secundário e primário na década de 80 e 90 desenvolveu-se sobre esta unidade geológica, o que ressalta sua importância para a gênese do ouro na região.

Os sedimentos aluvionares do rio Peixoto classificam-se como depósitos relacionados a paleocanais e depósitos aluvionares recentes. Nestes depósitos predominam as camadas de areias com estratificações do tipo plano-paralelas, cruzadas-tabulares e acanaladas (Moreton & Martins, 2005). Nas exposições de sedimentos observadas nas margens do rio Peixoto notam-se inúmeras camadas de argila cinza e amarelada interdigitando os pacotes arenosos. Os garimpos de ouro secundário extraem o minério de cascalhos com matriz arenosa dos paleocanais (Figura 4B). Este cascalho comumente está trapeado por camadas de argilas amareladas, e é caracterizado pela presença predominante de fragmentos de quartzo e de rochas ígneas (Figura 4C e 4D). No rio as balsas utilizam bombas de sucção para sugar os sedimentos e extrair o ouro, o que provoca a criação de ilhas de sedimentos ao longo do rio (Figura 4E) e consequentemente a remobilização dos sedimentos.

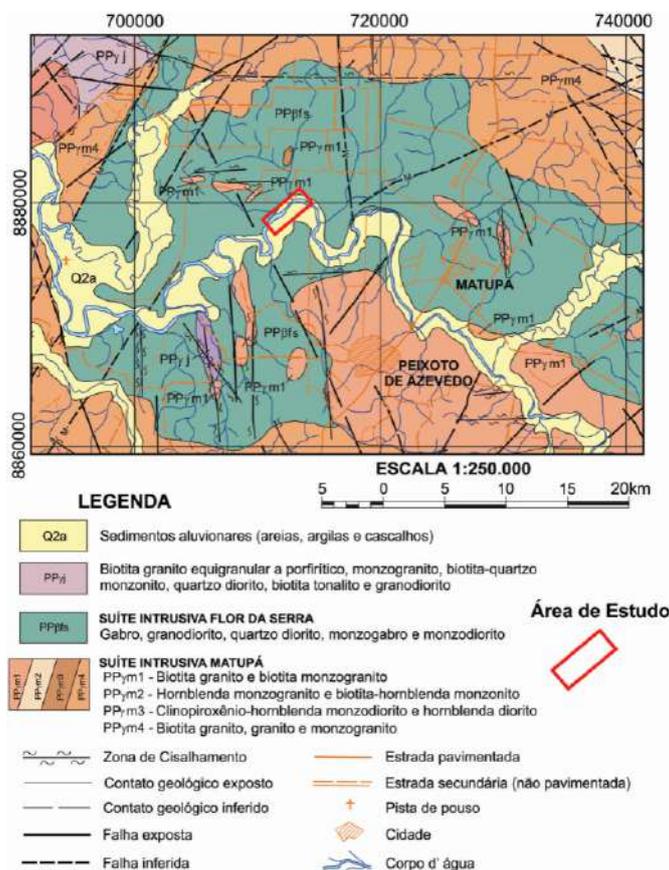


Figura 3 Mapa geológico da região de Peixoto de Azevedo com as principais unidades e estruturas geológicas e a localização da área do trabalho (modificado de Moreton & Martins, 2005).

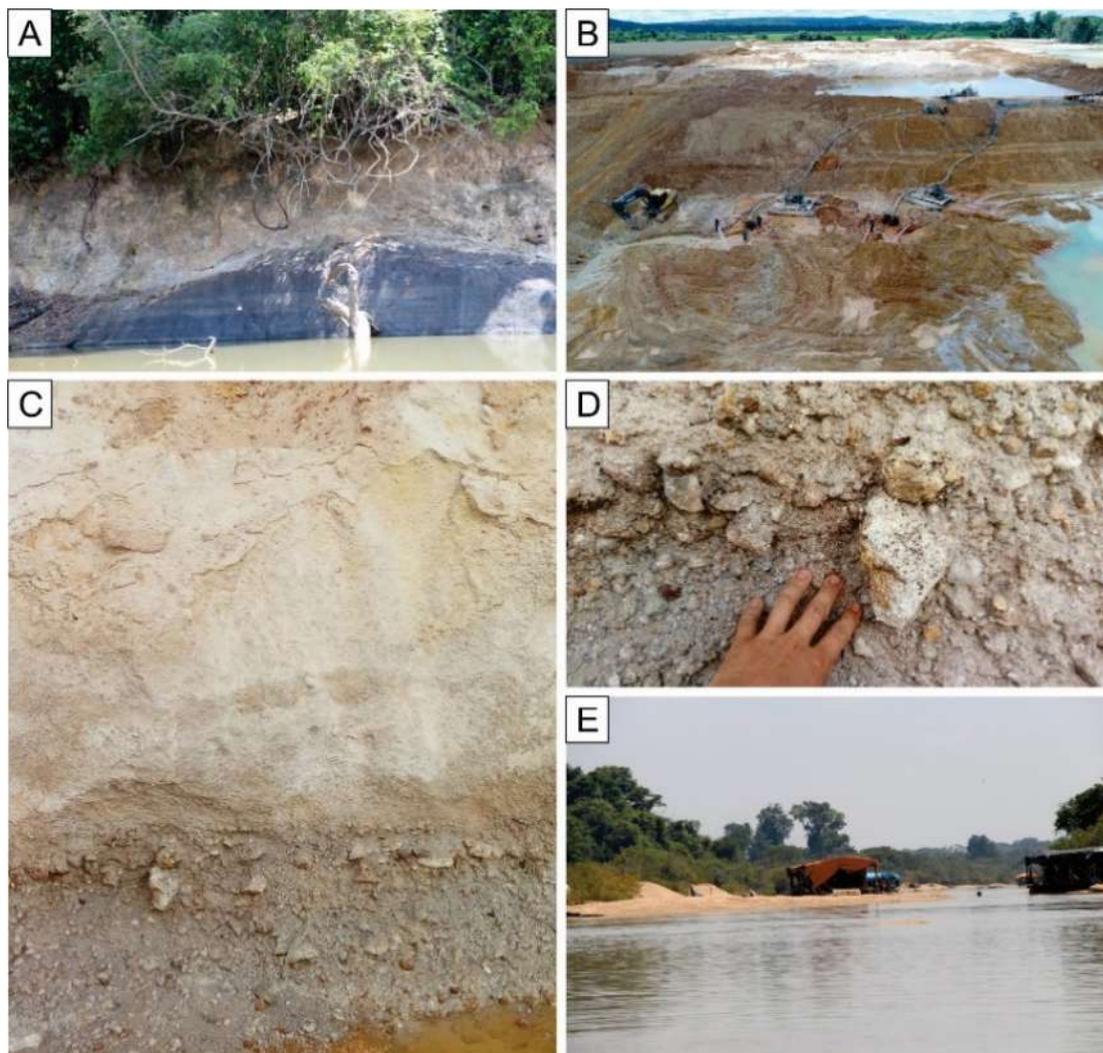


Figura 4 Fotografias evidenciam: A. Gabro da Suíte Intrusiva Flor da Serra sobreposta por sedimentos aluvionares do rio Peixoto. B. Garimpo de ouro em paleoterraço do rio Peixoto. C. Depósitos arenosos sobrepondo argilas e cascalhos auríferos de paleoterraço. D. Detalhe de cascalhos com matriz arenosa e clastos angulosos de quartzo e de granitoides. E. Dragas em operação no rio Peixoto com a formação de praias artificiais originadas pelo processo de sucção.

3 Metodologia

O trabalho objetiva identificar os melhores locais de acumulação de cascalhos auríferos em um trecho do rio Peixoto, usando-se dados sísmicos de alta resolução obtidos com o perfilador de subfundo (SBP).

O método sísmico usa o conceito de variação da propagação de ondas elásticas em função do tipo de material. Com a geração, propagação e registro de ondas sísmicas em diferentes pontos localizam-se possíveis interfaces em que as ondas são refletidas em função das variações de impedância acústica entre os meios. A amplitude do sinal refletido é função de uma complexa interação entre diversos fatores (Wu & Wu, 2008). No entanto, uma simplificação desta relação é definida para ângulos de incidência normal à superfície refletora. Neste caso o coeficiente de

reflexão (R_c), definido como a razão entre a amplitude do sinal refletido e a amplitude da onda incidente (Equação 1; Sharma, 1997).

$$R_c = \frac{A_r}{A_i} = \frac{\rho_1 V_1 - \rho_2 V_2}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2} \quad (1)$$

Na Equação 1 o símbolo R_c consiste no coeficiente de reflexão, A_r é a amplitude do sinal refletido, A_i é a amplitude do sinal incidente, ρ_1 e ρ_2 são as densidades da primeira e segunda camadas do meio, e V_1 e V_2 são as velocidades de propagação das camadas 1 e 2 respectivamente. Portanto o coeficiente de reflexão depende do contraste de impedância acústica, definida pelo produto da velocidade pela densidade, entre dois meios. Estas interfaces aparecem nos registros como refletores sísmicos.

Existem vários tipos de fontes sísmicas utilizadas na aquisição aquática, cada uma emitindo um sinal dentro de um determinado espectro de frequência e com uma assinatura característica conforme o tipo de aplicação desejada (Souza, 2006). Por isso cada tipo de fonte é utilizado para uma finalidade. De uma maneira geral quanto mais alta for a frequência de uma fonte sísmica maior será a atenuação do sinal e, por conseguinte, menor sua capacidade de penetração.

O tipo de fonte utilizada neste trabalho é o ressonante que usa as propriedades piezoelétricas de alguns materiais para geração do sinal acústico. Diferentemente de outros sistemas sísmicos, que necessitam de receptores separados (hidrofonos), as fontes ressonantes são ao mesmo tempo emissores e receptores do sinal sísmico. As principais características destas fontes são a melhor repetitividade do pulso emitido e a baixa potência necessária para geração dos sinais. Os equipamentos geradores deste tipo de fonte são mais simples e compactos, o que possibilita a utilização em embarcações de pequeno porte. A capacidade de penetração destas fontes pode chegar a 50 metros

abaixo do fundo a depender do tipo de sedimento (Ayres, 2000; Araújo, 2014).

A aquisição dos dados de sísmica ocorreu ao longo de 3 linhas em um trecho do rio Peixoto de Azevedo de 2700 metros (Figura 5). A escolha deste segmento do rio aconteceu em função da alta densidade de garimpos nas margens do mesmo e de informações geológicas da presença de filões auríferos cruzando o rio neste trecho.

No levantamento de dados sísmicos optou-se pelo uso do perfilador de subfundo, modulado com frequência de 2 a 15 kHz, para a obtenção de registros de elevada resolução. Os parâmetros de aquisição foram janela temporal de 140 milissegundos, amostragem temporal de 0,092 milissegundos, 1528 amostras por traço, frequência de amostragem de 5,4 kHz e amostragem espacial em função da velocidade de deslocamento do barco. Em função da manutenção da velocidade do barco menor que 5 km/h, a amostragem espacial ficou entre 0,2 a 0,25 m. Durante a navegação usou-se um GNSS diferencial para georreferenciamento dos dados em tempo real.



Figura 5 Imagem aérea com a localização das seções sísmicas realizadas com o SBP no trecho do rio Peixoto de Azevedo, MT.

O processamento dos dados sísmicos ocorreu no software ReflexW, versão 8.5 (Sandmeier, 2017). O fluxo de processamento consistiu na conversão do formato SEG Y para o formato DAT, aplicação de ganho de decaimento de energia, e conversão da seção de tempo para profundidade usando-se velocidade constante de 1500 m/s (velocidade da onda sísmica na água). Em função do dado registrado do SBP ser o valor absoluto da amplitude do sinal, não há possibilidade de filtragem dos registros após a aquisição dos mesmos.

4 Resultados

Neste trabalho optou-se pelo uso do conceito de classificação dos refletores em função do critério da sismoestratigrafia (Mitchum *et al.* 1977). Os parâmetros usados na definição das sismoestratigrafias foram: a geometria dos refletores sísmicos, a amplitude das reflexões e a continuidade dos traços sísmicos.

Após o processamento, identificaram-se 3 principais padrões de sismoestratigrafias (Sf1, Sf2 e Sf3; Figura 6) e 2 superfícies estratigráficas (Ss e Sr) que

se relacionam com limites de sismosequências. O primeiro padrão de sismofácies (Sf1) caracteriza-se pela presença de refletores descontínuos de alta amplitude e geometria caótica. Este padrão ocorre nos primeiros 2 metros das seções sísmicas logo abaixo da lâmina d'água. É limitada na base pela superfície Ss. A sismofácies Sf1 relaciona-se aos sedimentos aluvionares arenosos (pacotes de areias finas a médias) da calha do rio Peixoto de Azevedo.

A sismofácies (Sf2) possui refletores de alta amplitude, contínuos a descontínuos, e inclinados a horizontais. Ocorre abaixo e lateralmente à Sf1, com aleatórios refletores lineares de alta amplitude. Esta sismofácies é interpretada como os depósitos argilosos e de granulometria grossa (cascalhos) depositados ao longo do rio Peixoto. A base de Sf2 é delimitada pela superfície Sr.

O terceiro padrão de reflexão (Sf3) distingue-se dos demais pela falta de refletores e

pela baixa amplitude, correspondente a sismofácies transparente de Mitchum *et al.* (1977).

Apesar das aquisições sísmicas ocorrerem no período de cheia do rio Peixoto, notam-se até 5 reflexões múltiplas do assoalho do rio e dos refletores internos, o que impede a identificação de eventuais refletores geológicos abaixo de 7 metros de profundidade.

Nas seções de SBP, a superfície sísmica R (Sr) delineou as trapas estruturais no topo do embasamento rochoso. As trapas têm dimensões de 2 a 60 metros de largura, com profundidades, do topo à base da trapa, de até 3 metros (Figura 7). As trapas têm um forte controle estrutural uma vez que fortes refletores sísmicos lineares e inclinados marcam os limites das mesmas (Figura 7C e 7D). Ao longo de todas as seções registram-se inúmeras trapas estruturais.

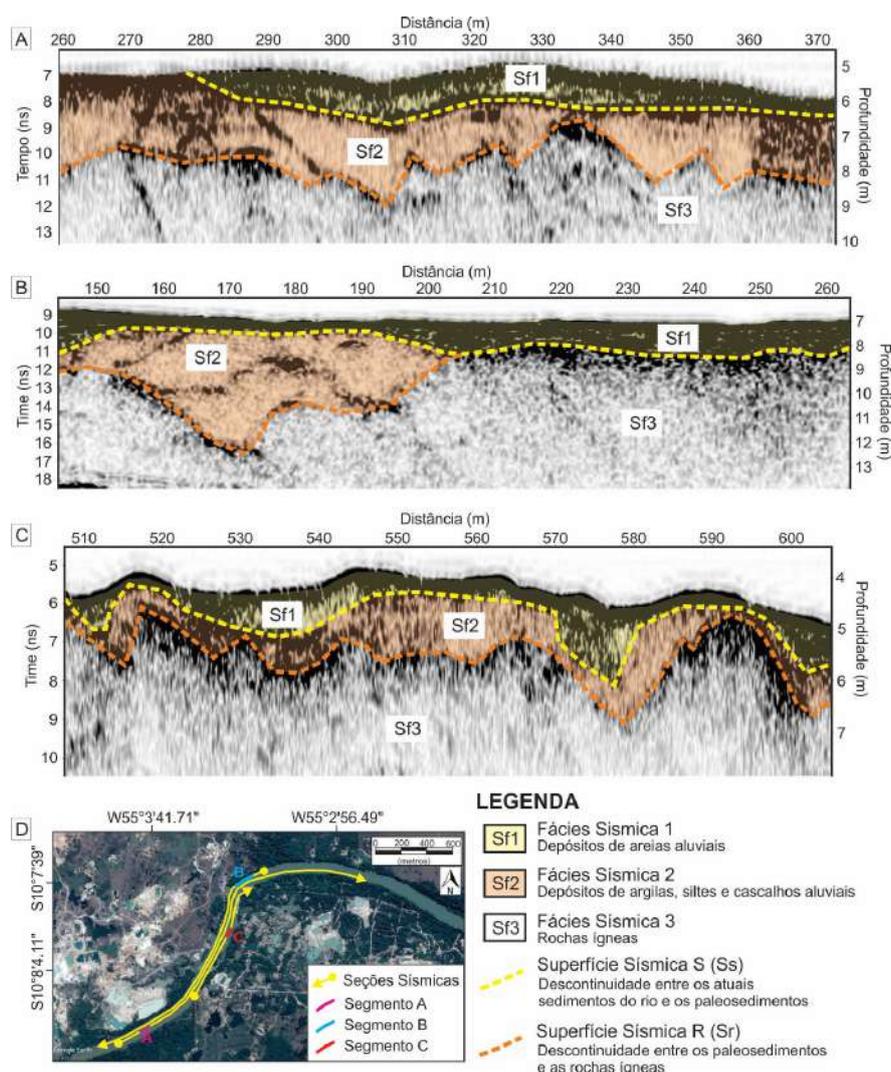


Figura 6 Parte das seções sísmicas das Linhas 1, 2 e 3 com a interpretação das fácies sísmicas e das superfícies de descontinuidade sísmica. A. Segmento entre 260 a 370 metros da Linha 2. B. Segmento entre 145 a 265 metros da Linha 1. C. Segmento entre 508 a 604 metros da Linha 3. D. Imagem de satélite com a localização das seções sísmicas e respectivos segmentos interpretados.

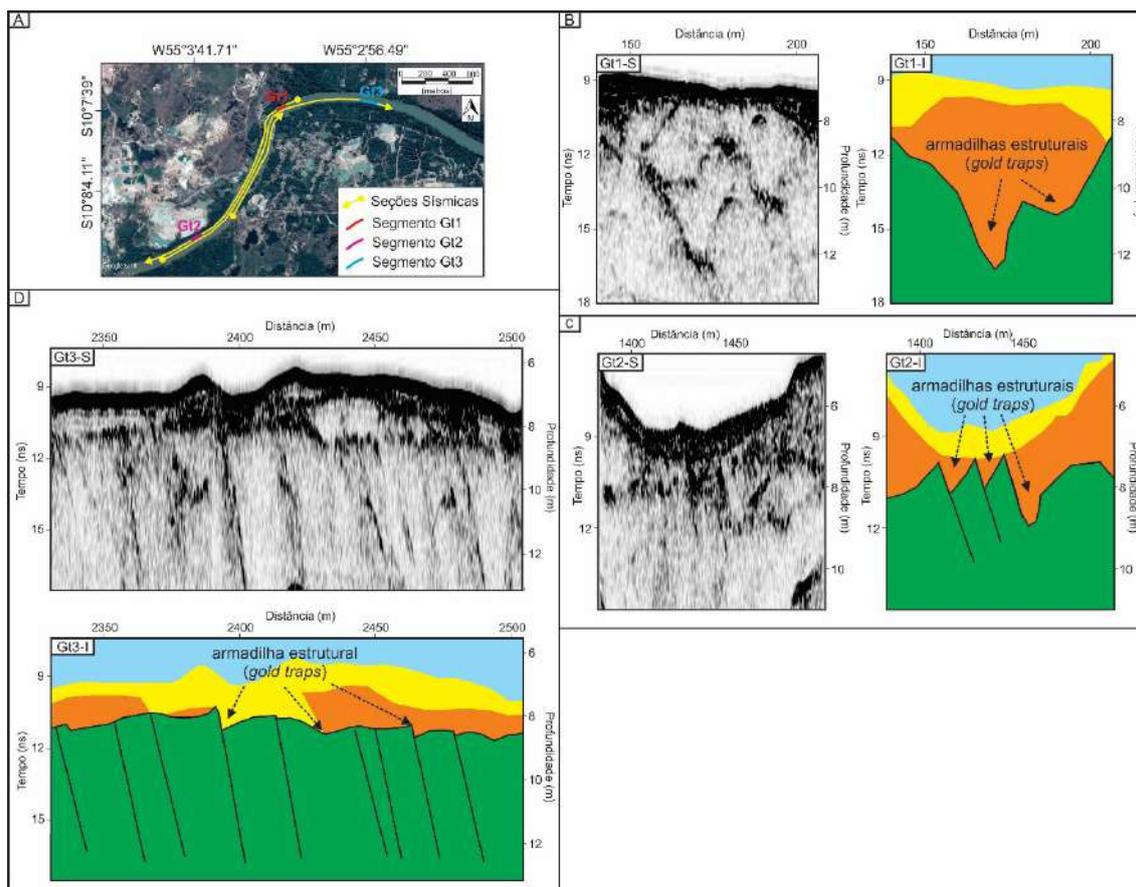


Figura 7 A. Imagem de satélite com a localização das seções sísmicas e das armadilhas (*gold traps* - GT) sem interpretação – S e interpretadas – I. B. Gt1-S e Gt1-I correspondem ao segmento sísmico entre 120 a 240 metros da Linha 1 com uma armadilha de 60 metros de largura. C. Gt2-S e Gt2-I referem-se ao trecho da Linha 1 entre 1390 a 1470 metros, com armadilhas de 8 metros de largura. D. Gt3-S e Gt3-I indicam o trecho entre 2325 a 2500 metros, com armadilhas de 5 metros de largura.

5 Conclusões

Os resultados de sísmica de alta resolução obtidos com o sub bottom profile (SBP) possibilitaram a identificação de sismofácies e superfícies que representam os sedimentos atuais (Sf1) da calha do rio Peixoto de Azevedo, os paleosedimentos (Sf2) e o embasamento rochoso ígneo (Sf3), bem como as interfaces sedimentos atuais/paleosedimentos (Ss) e paleosedimentos/rocha ígnea (Sr).

Os registros sísmicos indicam que Sr é a superfície mais importante para identificar as traps estruturais de cascalhos auríferos ao longo do rio. Esta superfície indica que o embasamento rochoso tem um forte controle estrutural visto a inúmera presença de refletores relacionados à cisalhamentos. A erosão diferenciada nestas áreas de falhas/fraturas favorece a geração de depressões no embasamento que concomitantemente são possíveis locais de deposição de sedimentos mais grossos (cascalhos).

Os resultados confirmam a aplicabilidade da sísmica de alta resolução na prospecção de traps

estruturais de depósitos detríticos grossos ao longo do rio Peixoto de Azevedo, MT. Estes resultados podem auxiliar no posicionamento correto das balsas que extraem o minério na calha do rio Peixoto, o que minimizará o impacto ambiental causado pela exploração em áreas estéreis.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à METAMAT e a COOGAVEPE pelo apoio logístico e financeiro, bem como pela ajuda ao acesso da área de estudo. Agradecem ao Instituto de Geociências da UnB por disponibilizar os equipamentos de geofísica e a infraestrutura dos laboratórios. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

7 Referências

Araújo, V.C.M. 2014. *Análise de métodos geofísicos aplicados à identificação de potenciais depósitos de cascalhos*

- diamantífero em rios*. Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicada, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, 159p.
- Ayres, N.A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18: 241-256.
- Brabers, P.M. 2018. Geophysical alluvial exploration using the Aquares resistivity method. Proceeding of Diamonds – Source to Use Conference, Johannesburg, 73-88p.
- Bridge, J. 2009. Advances in Fluvial Sedimentology using GPR. In: JOL, H.M. (Ed). *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. Amsterdam, Elsevier. p. 323-359.
- Francke, J. 2012. A review of selected ground penetrating radar applications to mineral resource evaluations. *Journal of Applied Geophysics*, 81: 29–37.
- Jessell, M; Boamah, K; Duodu, J.A. & Ley-Cooper, Y. 2015. Geophysical evidence for a major palaeochannel within the Obosum Group of the Volta Basin, Northern Region, Ghana. *Journal of African Earth Sciences*, 112: 586–596.
- Mitchum, Jr.R.M.; Vail, P.R. & Sangree, J.B. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: PAYTON, C.E. (Ed.). *Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 26: 117–133.
- Moreton, L.C. & Martins, E.G. 2005. Geologia e recursos minerais da Folha Vila Guarita. SC-21-Z-B. Relatório do Projeto Província Mineral de Alta Floresta, CPRM/MME, 86p.
- Paes de Barros, A.J. 2007. *Granitos da região de Peixoto de Azevedo – Novo Mundo e mineralizações auríferas relacionadas – Província Aurífera Alta Floresta (MT)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 154p.
- Rasskazov, I.Y.; Shkabarnya, N.G.; Litvintsev, V.S. & Shkabarnya, G.N. 2017. Geophysical survey of deep alluvial gold in terms of Bolotisty Deposit. *Eurasian Mining*. 2: 3–7.
- Sandmeier, K.J. 2017. Reflexw Manual, version 8.5. Disponível em <www.sandmeier-geo.de>. Acessado em: 12 junho 2017.
- Sharma, P.V. 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press, 495p.
- Souza, L.A.P. 2006. *Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas*. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 311p.
- Veiga, A.T.C. & Barros, J.G.C. 1991. Genetic-exploratory model of alluvial gold of the Brazilian Amazon. In: *SYMPOSIUM ON ALLUVIAL GOLD PLACERS*, 1991, La Paz. Anais do International Symposium on Alluvial Gold Placers, La Paz, p. 217 – 229.
- Whiteley, R.J. 1971. Geophysical exploration for buried river channels in the Gulgong Goldfields. *ASEG Bulletin*, 2(3):7-19.
- Wu, X. & Wu, R.S. 2008. Seismic Wave Propagation. In: Havelico, D.; Kuwano, S. & Vorlander, M. *Handbook of Signal Processing in Acoustics*, Springer, p. 1535–1544.