

## CONTROLE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO *PLACER* DE MINERAIS PESADOS NA REGIÃO PRAIAL AO NORTE DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DOS PATOS (BUJURU, BRASIL)

Bruno Silva da Fontoura (Eng. Geólogo, FURG) E-mail: runosfontoura@hotmail.com

Adelir José Strieder (Geólogo, UFPel)

Jéssica Stern Behling (Eng. Geóloga, UFPel)

Raquel Silva Wetzel (Eng. Geóloga, UFPel)

Rui S. S. Duarte Jr (Eng. Geólogo, UFPel)

Talita Cabelera da Silva (Eng. Geóloga, UFPel)

Paulo Mendes (Geólogo, HIDROSERV – Hidrogeologia e Geofísica Ltda)

Aureliano A.V Nóbrega 8 (Geólogo, Rio Grande Mineração S/A)

Lauro Julio Calliari 9 (Oceanógrafo, FURG)

**Resumo:** O artigo apresenta e discute o controle estrutural do depósito *placer* de minerais pesados na região praial ao norte da desembocadura da Lagoa dos Patos (Brasil). A investigação foi baseada principalmente utilizando-se do equipamento GPR (Ground Penetrating Radar) e seções de furos de sondagem. As imagens de alta resolução foram também usadas para avaliar o processo de sedimentação, o controle e o desenvolvimento do *placer*. A Planície Costeira do RGS constitui uma ampla área emersa da Bacia de Pelotas, na qual foi formada a partir do barremiano/apitiano, depois da ruptura do Gondwana. A configuração geomórfica e estratigráfica da Planície Costeira do RGS é constituída por um sistema de leques aluviais que ocupam uma faixa contínua ao longo da parte mais interna da planície costeira e quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna/barreira que formaram-se como consequência de alterações do nível do mar do Pleistoceno Médio ao Holoceno. Os depósitos de *placer* estão presentes em áreas entre as barreiras do Pleistoceno Superior (121.5 ka) e do Holoceno (5.6 ka). Estudos com GPR foram feitos perpendicularmente a linha de costa e paralelos as seções de furos de sondagem já obtidos no distrito de Bujuru. Os levantamentos com GPR revelaram que a camada de turfa holocênica identificada nos radar-facies foi deslocada por uma falha normal e arqueada próximo a falha (drag folds). A erosão do bloco rotacionado soerguido junto à linha de praia promove o preenchimento da depressão estrutural por dunas retrogradantes quaternárias cujo deslocamento é controlado pelos ventos vindos de NE.

**Palavras-chave:** Depósito *placer* de minerais pesados, GPR (Ground Penetrating Radar), controle estrutural, Planície Costeira do Rio Grande do Sul

## STRUCTURAL CONTROL OF HEAVY MINERAL PLACER DEPOSITS AT RGS (BRAZIL) COASTAL PLAIN

**Abstract:** This paper aims to present and discuss the structural control of heavy mineral (HM) *placer* deposits in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul State (Brazil). The investigation was mainly based on drill-holes geological sections, and GPR surveys. High resolution images were also used to evaluate the sedimentation process and the *placer* control and formation. The RGS Coastal Plain is the immersed part of the Pelotas Basin, which was developed from Barremian/Aptian on, after Gondwana rupture. The actual geomorphic and stratigraphic configuration of the RGS Coastal Plain is due to a deltaic alluvial plains that occupy a continuous strip along the innermost part of the coastal plain and four separate transgressive/regressive depositional systems of lagoons/barrier type developed as consequence of sea level changes from Middle Pleistocene to Holocene. The HM *placer* deposits are mainly confined to a lagoon area between Upper Pleistocene (121.5 ka) and Holocene (5.6 ka) barriers. Studies with GPR were acquired perpendicular to the shoreline and parallel to drill-hole sections already obtained in Bujuru district. GPR survey sections revealed that a holocenic peat layer equivalent radar-facie underwent normal fault displacement and arcuate close to faults (drag folds). The erosion of the rotated block raised near the beach line promotes the filling of the structural depression by quaternary retrograding dunes whose displacement is controlled by the NE winds.

**Keywords:** Heavy mineral *placer* deposits, GPR (Ground Penetrating Radar), structural control, RGS coastal plain

## 1. INTRODUÇÃO

A Planície Costeira do RGS constitui uma ampla área emersa da Bacia de Pelotas, na qual foi formada a partir do barremiano/apiano, depois da ruptura do *Gondwana*. A Planície Costeira do RGS possui de 20 a 80 km de largura e mais de 600 km de comprimento. A configuração geomórfica e estratigráfica desta região é constituída por um sistema de leques aluviais que ocupam uma faixa contínua ao longo da parte mais interna da planície costeira e quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna/barreira que formaram-se como consequência de alterações do nível do mar do Pleistoceno Médio ao Holoceno (Villwock *et al.*, 1986) “Fig. 1”.

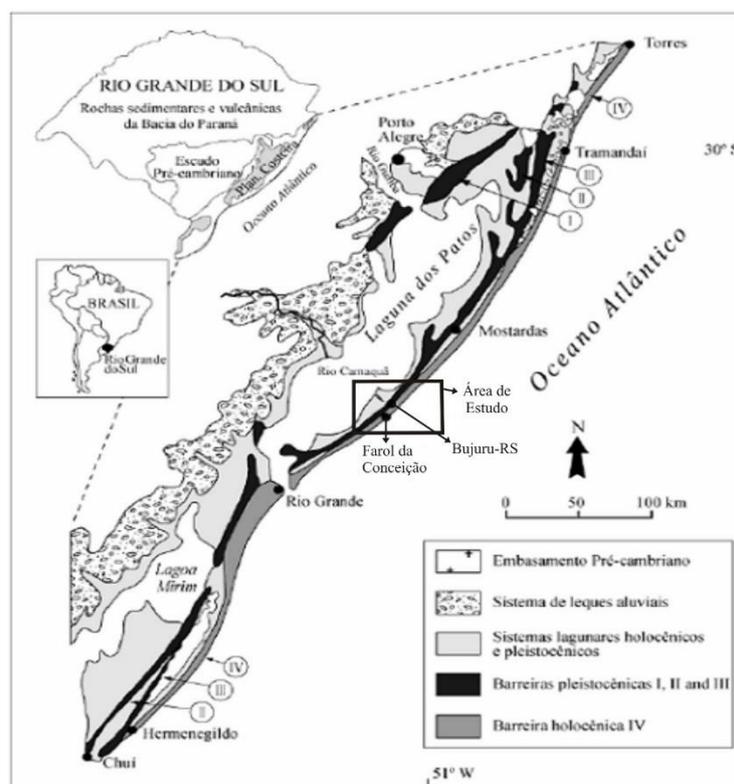


Figura 1. Localização da área de estudo e um esboço da geologia local (Modificado de Dillenburg *et al.*, 2005).

O município de São José do Norte (RGS, Brasil) apresenta uma das maiores ocorrências de minerais pesados no Brasil e que neste momento está sob licença para mineração. O depósito mais importante é o depósito de Bujuru, localizado no distrito de Bujuru “Fig. 1”. O distrito de Bujuru apresenta areias holocênicas (3.5 ka), turfa (1.4 ka) e areias ricas em minerais pesados (<1.0 ka) aflorando na praia e no pós-praia. A camada de turfa demonstrou ser uma excelente radar-facie a fim de caracterizar as unidades estratigráficas e as características estruturais na costa.

Segundo Strieder *et al.* (2015), a região indica a presença de duas importantes falhas gravitacionais denominadas i) Falha da Lagoa do Peixe e ii) Falha de Rio Grande “Fig. 2”. Tais falhas gravitacionais possuem uma geometria lítrica em perfil, e curva em planta. O distrito de Bujuru, portanto, encontra-se na extremidade de ambas falhas, onde os rejeitos são mínimos e tendem a zero.



Figura 2. Mapa mostrando a localização das falhas gravitacionais de Rio Grande e da Lagoa do Peixe (imagem modificada do *Google Earth*).

Os trabalhos com GPR foram desenvolvidos no sentido de investigar essas estruturas deformacionais, bem como avaliar as características observadas por estes autores. As linhas realizadas com o GPR foram adquiridas perpendicularmente à linha de costa e paralelas às seções de furos de sondagem.

Este artigo apresenta e discute como objetivo principal o controle estrutural do depósito *placer* de minerais pesados na região praiada ao norte da desembocadura da Lagoa dos Patos (Bujuru, RS, Brasil). O processo de sedimentação dos minerais pesados é também discutido baseado na análise dos radargramas e das imagens de alta resolução.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os levantamentos com GPR foram realizados perpendicularmente a linha de costa e paralelos às seções dos furos de sondagem para fins de avaliação do depósito *placer* de minerais pesados no distrito de Bujuru (São José do Norte, RS, Brasil).

### 2.1 Parâmetros para o levantamento com GPR

Os levantamentos com GPR foram executados através de duas seções de 3 a 5 km de comprimento cada “Fig. 3”, usando antenas de 50 (RTA) e 100 (*shielded*) MHz que alcançavam uma penetrabilidade máxima de 20 a 23 m. O equipamento utilizado foi um georradar da marca MALA-RAMAC, modelo *Pro-EX System* da empresa MALÁ.



Figura 3. Localização dos perfis de levantamento geofísico no Distrito de Bujuru (São José do Norte, RS) (imagem modificada do *Google Earth*)

## 2.2 Processamento de dados do GPR

Após o levantamento de campo, os dados do GPR foram processados com o *software Reflex-W*. O processamento incluiu os seguintes passos:

- i) Determinar o tempo de corte do *delay time*
- ii) Filtragem de baixas frequências (*dewow*)
- iii) Filtragem *bandpass* (trapezoidal ou *butterworth*)
- iv) Migração ( $v = 0.3$  m/ns) para remover reflexões da superfície na antena sem blindagem
- v) Correção topográfica
- vi) Migração topográfica 3D ( $v = 0.09$  m/ns, velocidade média de acordo com a profundidade da camada superior de turfa no furos de sondagem)
- vii) Filtragem *butterworth*

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A descrição e a análise geológica do depósito de *placer* de Bujuru pode ser encontrada em (Dillenburg et al., 2004). Esses modelos anteriores interpretam que o depósito *placer* de minerais pesados está principalmente confinado na área da laguna entre a barreira III e IV.

Em vista disso, foi criado o modelo geológico para o depósito de *placer* de minerais pesados de Bujuru com o auxílio de seções de furos de sondagem. A observação de algumas seções geológicas construídas com base nas sondagens, as visitas em campo e as informações (verbais) do Geólogo Aureliano Nóbrega sobre alguns resultados aparentemente não compreendidos da modelagem e cubagem dos depósitos minerais no Distrito de Bujuru, fizeram com que as ações fossem definidas no sentido de utilizar método geofísico de prospecção (GPR) para avaliar a continuidade espacial da camada de turfa existente na região.

Três seções geológicas no Distrito Bujuru chamam a atenção. Essas seções correspondem às linhas de sondagem denominadas PB-01, PB-05 e PB-13 respectivamente abaixo “Fig. 4”. Os perfis de sondagem foram executados na direção ESSE – WNW. Esses perfis mostram que a camada de turfa é descontínua, e que pode ser encontrada em diferentes cotas altimétricas.

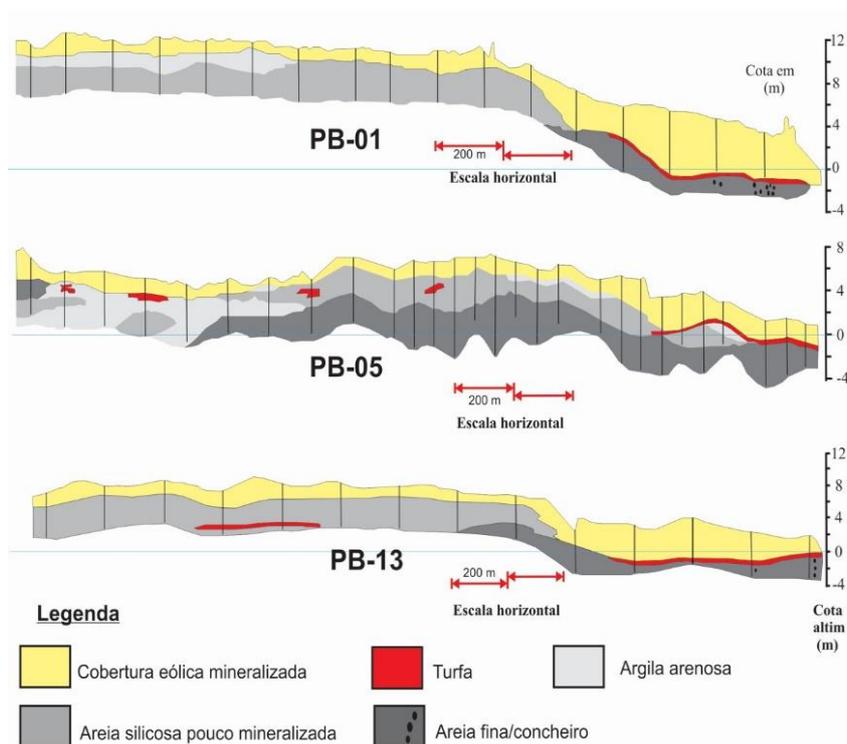


Figura 4. Furos de sondagem do depósito de Bujuru. Autorizada a publicação pela Rio Grande Mineração S.A

### 3.1 Radargramas

A figura 5 apresenta os radargramas para as linhas de levantamento com GPR denominadas PB-01 e PB-013. Ambos radargramas mostram a camada de turfa mergulhando em direção ao continente “Fig. 5a,b” e deslocado por uma falha normal de alto ângulo. A camada guia de turfa visivelmente mergulha em direção ao continente, e é cortada por falhas normais que mergulham ora para o continente, ora em direção à praia. O movimento em cada bloco de falha é também acomodado por dobras de arrasto (*drag folds*) sobre sedimentos não consolidados.

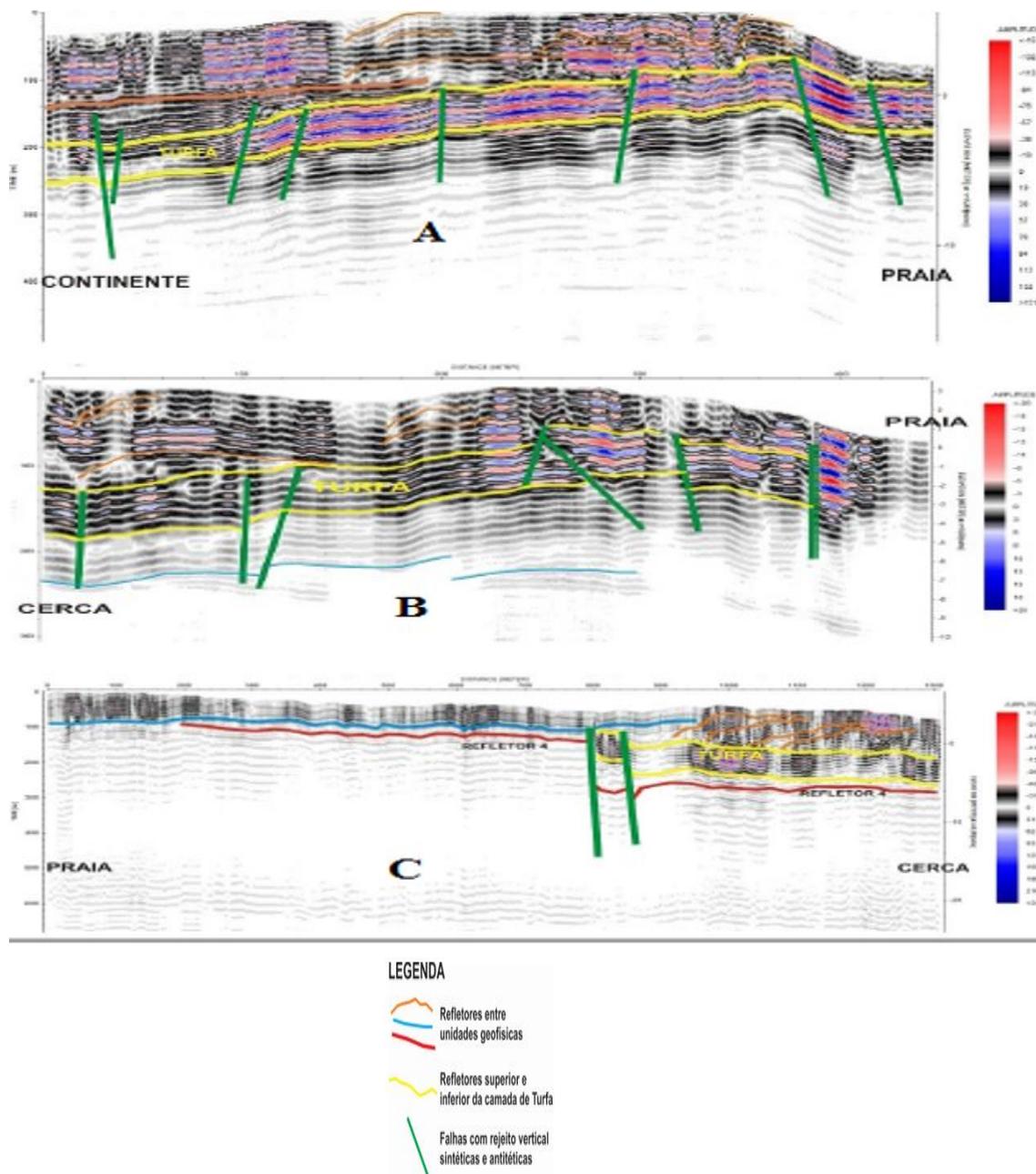


Figura 5. Radargramas dos levantamentos com GPR 50 MHz em Bujuru, RS.

A figura 5a,b mostram que a camada de turfa está inclinada em direção ao continente como resultado do falhamento normal. Na figura 5a, a camada guia de turfa visivelmente mergulha em direção ao continente, e é cortada por falhas normais que mergulham ora para o continente, ora em direção à praia. Além disso, identifica-se o refletor transgressivo cavalgante acima da camada de turfa (linhas em laranja), que marca as dunas gradativamente migrando do litoral (praia) para o interior.

Na figura 5c é possível notar que as linhas refletoras retrogradantes correspondentes às dunas quaternárias e as falhas normais são mais claramente observadas nessa figura. Do mesmo modo, a descontinuidade do radarfacies da camada de turfa no bloco Oeste pode ser identificada. As linhas refletoras do radarfacies superior (dunas) tem continuidade em ambos os blocos e não sugerem ruptura após a sua deposição.

### 3.2 Discussão estrutural e estratigráfica

Conforme discutido no trabalho de Strieder *et al.* (2015), a figura 6 mostra claramente que os sedimentos dos cordões lagunares e das dunas retrogradantes preenchem gradativamente a depressão lagunar. Os cordões

lagunares, provavelmente, foram formados pelo rebaixamento do nível médio do mar após a última glaciação. Os sedimentos eólicos, por outro lado, sobrepõem-se aos sedimentos dos cordões lagunares, como pode ser verificado pelo truncamento que as linhas de limite das dunas exercem sobre as linhas dos cordões.



Figura 6. Imagem em alta resolução do distrito de Estreito (São José do Norte, RS, Brasil) mostrando o modelo de controle estrutural em escala real da região de estudo (imagem modificada do *Google Earth*).

### 3.3 Discussão sobre o controle do depósito placer de minerais pesados

Conforme mostra a figura 7, em escala dos grandes blocos de falha, a rotação promove o abatimento do bloco de teto (*hangingwall*) e a formação de uma depressão estrutural. Porém, na outra extremidade do bloco, há o soerguimento e a formação de um alto estrutural, que pode produzir uma outra escarpa de falha.

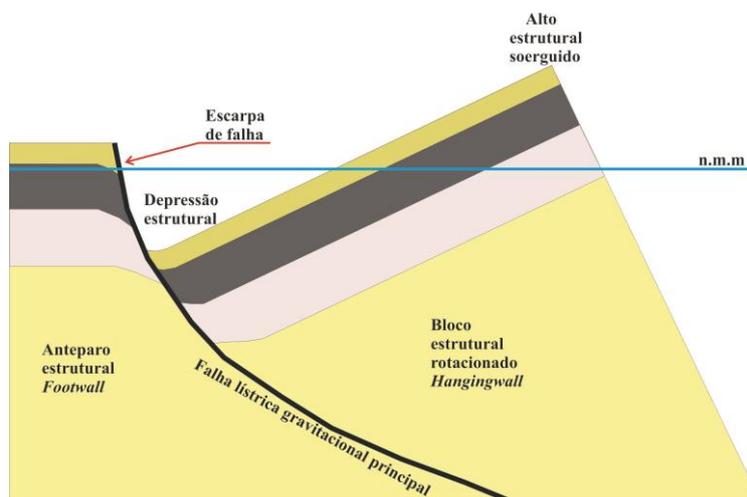


Figura 7. Modelo de controle estrutural dos depósitos *placer* em Bujuru (São José do Norte, RS), evidenciando falha gravitacional, as dobras de arrasto e a rotação de blocos.

Esse modelo estrutural responde pelos extensos alinhamentos geomorfológicos registrados (escarpas de falha listrica principal), pelo basculamento da camada guia de turfa e pelo espessamento da camada arenosa hospedeira dos minerais pesados (camada mineralizada) no limite oeste dos depósitos. A depressão estrutural é ocupada pela Lagoa do Peixe (não completamente preenchida) e pela Lagoa Retiro – Estreito (quase

completamente preenchida). O alto estrutural soerguido encontra-se junto à linha de praia e constitui a fonte dos sedimentos e anteparo estrutural para o estabelecimento do cordão de dunas junto ao litoral.

Os processos geológicos-estruturais que ocorrem no bloco rotacionado são mostrados simplificada e na forma do bloco-diagrama da figura 8. O anteparo estrutural (*footwall*) sofre erosão em duas frentes: i) erosão eólica e formação de pequenas dunas quaternárias, e ii) erosão junto à escarpa das falhas gravitacionais lítricas para formar os cordões lagunares paralelos à direção da falha e preenchimento da depressão lagunar adjacente. O alto estrutural formado pela rotação do bloco na linha de praia, por outro lado, sofre erosão principalmente a partir de ventos NE que sopram na região. Assim, a erosão na porção superior do alto estrutural rotacionado transporta e deposita a areia gradativamente sobre a estrutura basculada, dando origem às dunas retrogradantes que vão gradualmente preenchendo o sistema lagunar.

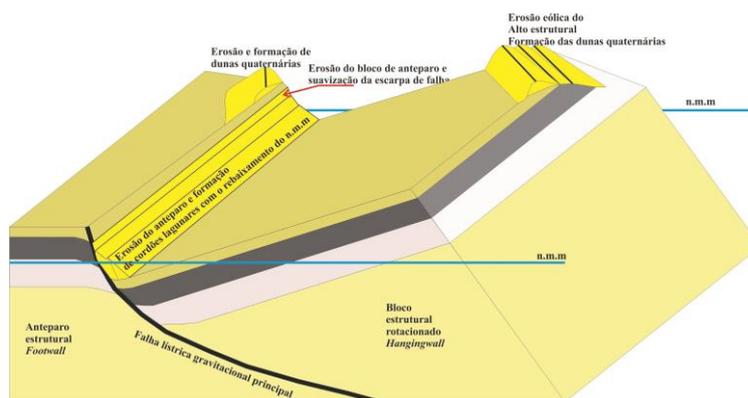


Figura 8. Modelo de controle estrutural do depósito *Placer* em Bujuru-RS, evidenciando os processos que ocorrem no bloco.

#### 4. CONCLUSÕES

Os levantamentos geofísicos (GPR) na região de Bujuru (São José do Norte, RS) mostram que o *placer* dos depósitos de minerais pesados da região são estruturalmente controlados por falhas normais (sintéticas e antitéticas), que causaram dobras de arrasto (*drag folds*) e basculamento sobre a camada guia de turfa. Essa camada de turfa está sotoposta à camada de areia fina a média que contém os minerais pesados (HM) e está mergulhando em direção ao continente (basculamento).

O conjunto de falhas existentes no depósito faz parte de uma estrutura regional que condiciona os sistemas lagunares da Lagoa do Peixe (parcialmente preenchida) e da Lagoa Retiro – Estreito (quase que totalmente preenchida). Esses sistemas lagunares são controlados regionalmente pela Falha de Rio Grande e pela Falha da Lagoa do Peixe.

O depósito de minerais pesados tipo *placer* de Bujuru (RS) resulta da erosão do alto estrutural posicionado junto à linha de praia e formado pela rotação de falha lítrica gravitacional. A erosão eólica promovida pelos ventos vindo de NE forma um sistema de dunas retrogradantes que gradativamente preenche a depressão estrutural (laguna).

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Rio Grande Mineração S/A, e a HIDROSERV – Hidrogeologia e geofísica Ltda pelo apoio durante toda a pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

**DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., BARBOZA E.G.** *Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. Mar. Geol.* 203, 43-56. 2004.

**DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., MARTINS, L.R., BARBOZA, E.G.** *Modificações de Longo Período da Linha de Costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO/IG/UFRGS. p. 9-14. 2005.*

**TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., DILLENBURG, S.R., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A.** *Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. Anais Acad. Bras. Ciênc.* 70, 221-229. 1998.

**STRIEDER, A.J., FONTOURA, B.S., BEHLING, J.S., WETZEL, R.S., DUARTE Jr, R.S.S., SILVA, T.C., MENDES, P., NÓBREGA, A.V.V., NIENCHESKI, L.F.H., CALLIARI, L.J.** *Gravitational tectonics evidences at RGS (Brazil) Coastal Plain using Ground Penetrating Radar. IWAGPR.* 2015.

**VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., HORN FILHO, N.O., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A.** *Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula.* 4, 79-97. 1986.