

# LAMINAÇÃO SECUNDÁRIA EM SEDIMENTOS ESCORREGADOS: UM EXEMPLO DO PLEISTOCENO DA BACIA DE CAMPOS

## SECONDARY LAMINATION IN SLUMPED BEDS: AN EXAMPLE FROM CAMPOS BASIN PLEISTOCENE SEDIMENTS

Luiz Fernando Guimarães Caddah<sup>1</sup>,  
Renato Oscar Kowsmann<sup>2</sup> e Adriano  
Roessler Viana<sup>3</sup>

Entre outubro de 1991 e março de 1992, foi realizada uma campanha de investigação geológico-geotécnica no talude da Bacia de Campos, envolvendo vários órgãos da PETROBRÁS (SEGEN/GEINP, CENPES/DIPREX, CENPES/DIVEX E DEPEX/DESUD), e utilizando as facilidades do navio de sondagem geotécnica Bucentaur. Durante a campanha, foram efetuados seis furos geotécnicos com perfilagem por cone-penetrômetro e dois geológicos com testemunhagem contínua, ao longo de um perfil *dip* na área de Campo de Marlim. Os furos geológico GL13 e geotécnico GT32, aqui enfocados, se situam, respectivamente, nas isóbatas de 955 e 1 030 m, e atingiram 123 e 149 m no subfundo (fig. 1).

No furo GL13, foram descritos intervalos com intensa deformação por dobramento convoluto (depósitos de escorregamento ou *slump* (Caddah *et al.* 1992). Estes depósitos são formados por lamelas siliciclásticas (< 8% de CaCO<sub>3</sub>) de cor cinza-esverdeada, bandeadas e laminadas por cor e granulometria, e com inclinações variáveis (até 70°). As variações de cor (5G 4/1, 5G 3/1, 5G 2/1 (Geological Society of America, 1980) das camadas e lâminas refletem variações granulométricas (laminações arenosas e níveis de lama com diferentes siltosidades) somadas a variações no teor de sulfetos disseminados (foto 1). Quanto menos silticas, mais argilosas e pobres em sulfetos, mais claras são as bandas do sedimento (5G 4/1). Em termos composicionais e granulométricos, estes depósitos são

semelhantes aos sedimentos normais (não-deformados), que diferem apenas pela maior preservação da fábrica original (bioturbação, acamamento, etc.). Além do mergulho variado e exagerado (a inclinação média do talude nesta região é de apenas 2°), outras estruturas como truncamentos, charneiras de dobras, estiramento de traços fósseis e de intercalações arenosas atestam a deformação nos depósitos de escorregamento (foto 1). Nestes depósitos, foram também observadas fraturas e falhas de pequeno rejeito cortando o bandeamento inclinado. As fraturas ocorrem tanto em pares conjugados como em grupos (*enxames*), e se tornam bem mais freqüentes na seção logo abaixo dos depósitos de escorregamento (fig. 2 - fácies Lhf).

O principal intervalo com depósitos de escorregamento ocorre no furo GL13, entre 6 e 65 m (fig. 2 - fácies DE), e corresponde, sismicamente, a uma zona de reflexões caóticas (Kowsmann *et al.* 1993). Nas porções inferior e superior deste intervalo, a estrutura predominante é o bandeamento com orientação variada, que sugere uma geometria de dobra do tipo recumbente. Na porção central, no entanto, observa-se intensa laminação com orientação subhorizontal, marcada pela maior nitidez dos contatos quando comparada com os sedimentos normais (não-deformados) (comparar as fotos 1 e 2). A intensidade da laminação diminui gradativamente em direção à base deste intervalo laminado, que totaliza cerca de 20 m.

O perfil geotécnico de resistência ao cisalhamento não-drenado (Su), obtido por meio de cone-penetrômetro e aferido por ensaios triaxiais (UU) de laboratório, dá uma boa estimativa do grau de consolidação (ou adensamento) do sedimento. Nos furos geotécnicos, os depósitos de escorregamento apresentaram valores anômalos de resistência, superiores àqueles previstos pelo *trend* normal de consolidação por compactação. A zona central do depósito de escorregamento, onde no furo GL13 a laminação é mais intensa, corresponde no furo geotécnico GT32, correlato, aos valores mais elevados de resistência Su (fig. 2).

Segundo Farrel e Eaton (1987), a deformação dos sedimentos durante o escorregamento se inicia com o predomínio do cisalhamento puro responsável pela formação de dobras com plano axial de alto ângulo. A intensificação da deformação promove a rotação progressiva do plano axial das dobras, até este se tornar subparalelo à superfície basal de escorregamento, quando passa então a predominar o cisalhamento simples. Num estágio mais avançado, devido a migração de água em direção ao topo da massa em escorregamento, ocorre a recuperação da resistência ao cisalhamento da porção inferior, enquanto a porção superior permanece em movimento. Este movimento diferencial dá origem a uma zona com cisalhamento simples mais intenso.

1-E & P BC/GEXP/GELAB, Av. Elias Agostinho, 665, Imbetiba, CEP 27913-350, Macaé, RJ, Brasil.

2-Setor de Estratigrafia (SESTRA), Divisão de Exploração (DIVEX), Centro de Pesquisas (CENPES), Cidade Universitária, Quadra 7, Ilha do Fundão, CEP 21949-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

3-E & P BC/GEXP/GEDMAR, Av. Elias Agostinho, 665, Imbetiba, CEP 27913-350, Macaé, RJ, Brasil.

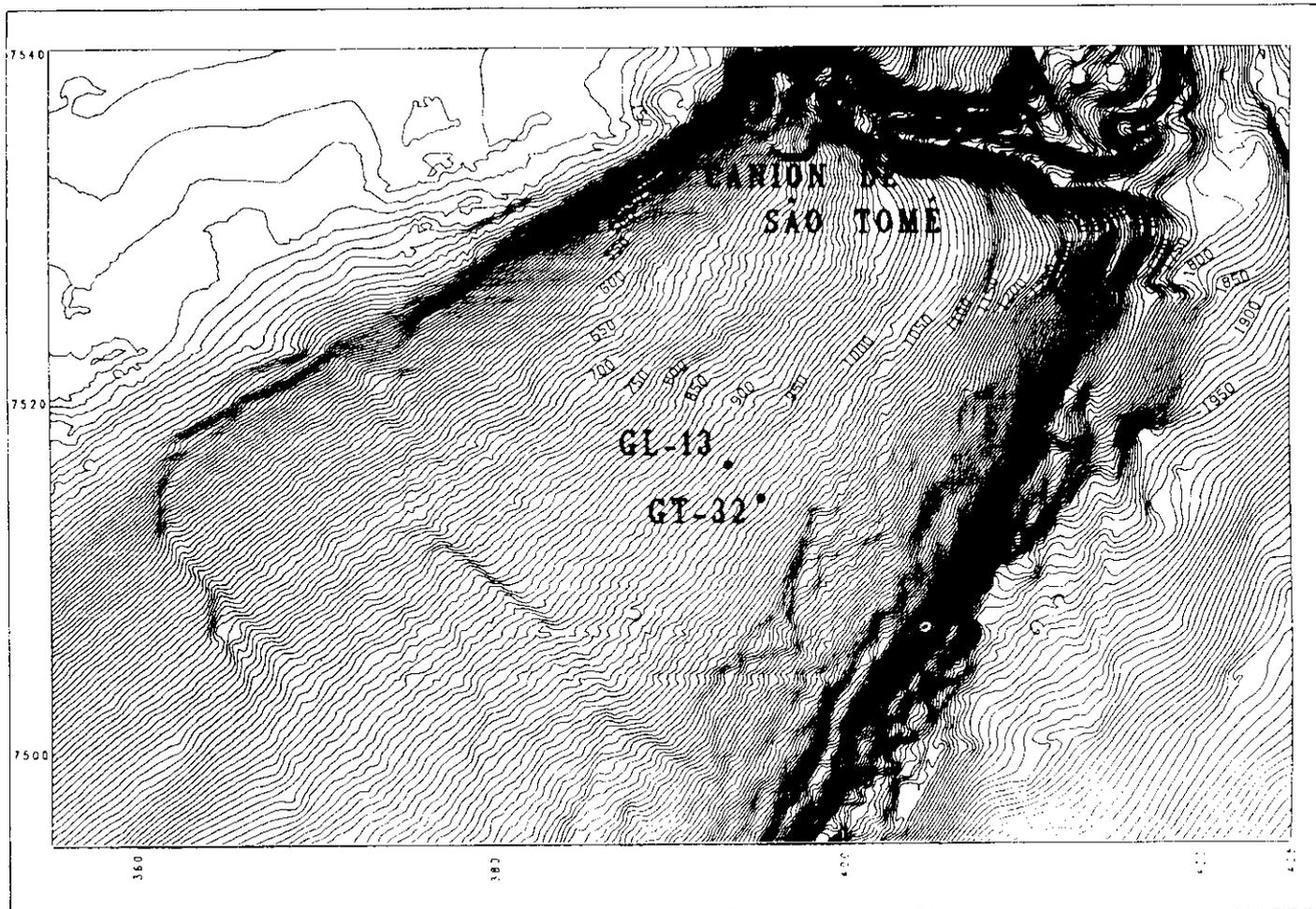


Fig. 1 - Localização dos furos geológico (GL13) e geotécnico (GT32) na área do Campo de Marlim.  
 Fig. 1 - Location of geological (GL13) and geotechnical (GT32) boreholes in the area of the Marlim Field.

Algumas das estruturas presentes no depósito de escorregamento amostrado no furo GL13 podem ser interpretadas à luz dos estágios deformacionais estabelecidos por Farrel e Eaton (1987). As dobras com plano axial de baixo ângulo (recumbentes), que assinalam a fase inicial de cisalhamento simples, encontram-se congeladas no topo e na base do depósito (fig. 2). Estas dobras, provavelmente, abrangiam também o intervalo central que se tornou posteriormente intensamente laminado. Já esta zona laminada teria se formado numa fase subsequente pela intensificação do cisalhamento simples provocada pelo movimento diferencial entre o topo e a base da massa em escorregamento. Os valores anormalmente elevados de resistência  $S_u$  na zona laminada (fig. 2) atestam que o processo de expulsão de água (adensamento) foi mais efetivo nesta zona. A laminação em si seria o resultado do forte estiramento de estruturas originalmente presentes (bioturbação e acamamento), da reorientação das partículas do sedimento, reforçada pela expulsão de águas mais efetiva na zona laminada, e da própria segregação granulométrica provocada pelo cisalhamento de um sedimento originalmente

heterogêneo.

Maltman (1987), conduzindo experimentos de laboratório em sedimentos lamosos, verificou que a espessura da zona afetada por cisalhamento simples é diretamente proporcional ao conteúdo de água do sedimento. No furo GL13, a espessura da zona envolvida no cisalhamento atingiu 1/3 da espessura total do depósito de escorregamento, devido ao elevado conteúdo de água no sedimento original. Isto é compatível com os valores de porosidade (69%) e umidade (82,6%) medidos em amostra do furo GT32, localizada a 1 m do fundo do mar.

Em testemunhos de seções mais antigas da Bacia de Campos (Oligo-mioceno e Eoceno), folhelhos e siltitos com intensa laminação, freqüentemente inclinada e contorcida, são comuns nas fácies caóticas formadas por sedimentos escorregados, que gradam a diamictitos devido à brechação (foto 3). Os dados coligidos neste estudo corroboram a interpretação de que este tipo de laminação observada em rochas pelíticas é secundária, formada pela deformação de heterogeneidade originalmente presente no sedimento.

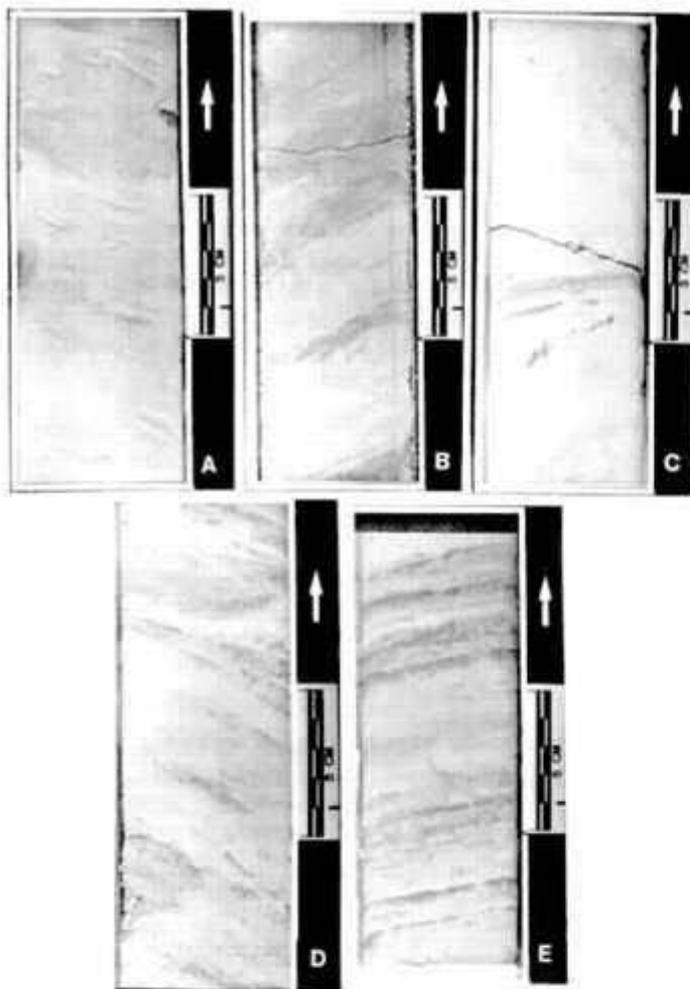


Foto 1 - Depósito de escorregamento - Notar aumento progressivo da deformação de A para E. A - estiramento dos traços fósseis; B - estiramento dos traços fósseis e melhor definição do bandejamento; C - truncamento entre intervalos com diferentes inclinações; D - estiramento de intercalações arenosas; E - desenvolvimento de intensa laminação com níveis arenosos descontínuos. Notar na foto E microfaturas com inclinação aproximada de 45°. A - GL13, intervalo 12,12 a 12,27 m; B - GL10, intervalo 59,61 a 59,76 m; C - GL13, intervalo 53,45 a 53,60 m; D - GL13, intervalo 13,43 a 13,58 m; E - GL13, intervalo 18,85 a 19,00 m.

Photo 1 - Slumped beds - Notice the deformation progressively increasing from A to E. A - stretching of the trace fossils; B - stretching of the trace fossils and bedding easily perceptible; C - truncation of intervals with different dips; D - stretching of interbedded sandy layers; E - development of intense lamination with discontinuous sandy bedding. Notice in photo E microfractures with dips around 45°. A - GL13, interval 12.12 to 12.27 m; B - GL10, interval 59.61 to 59.76 m; C - GL13, interval 53.45 to 53.60 m; D - GL13, interval 13.43 to 13.58 m; E - GL13, interval 18.85 to 19.00 m.

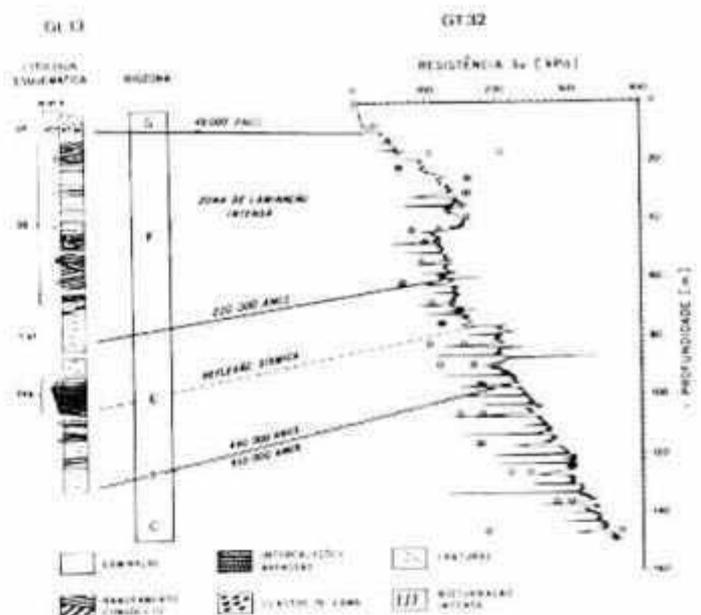


Fig. 2 - Correlação entre os furos geológico (GL13) e geotécnico (GT32), salientando a relação entre o intervalo com intensa laminação e o de resistência  $S_u$  anormalmente elevada (Kowsmann *et al* 1993). Coluna litológica segundo Caddah *et al* (1992). Bioestratigrafia por Antunes (1992b) e Grassi (1993), segundo biozoneamento de nanofósseis calcários desenvolvidos por Antunes (1992a). Perfil de resistência ao cisalhamento não-drenada ( $S_u$ ) gerada por Costa *et al* (1992). DE - depósito de escorregamento; DF - depósito de fluxo de detritos; TFA - turbiditos finamente acamados; Lhf - lama homogênea fraturada; O - ensaio triaxial (UU).

Fig. 2 - Correlation between geological (GL13) and geotechnical (GT32) boreholes, highlighting the association of the interval presenting intense lamination with that of anomalously high  $S_u$  shear strength (Kowsmann *et al* 1993). Lithologic column after Caddah *et al* (1992). Biostratigraphy by Antunes (1992b) and Grassi (1993), after Antunes (1992a) calcareous nannofossil biozonation. Undrained shear strength ( $S_u$ ) log by Costa *et al* (1992). DE - slumped beds; DF - debris flow deposit; TFA - thin bedded turbidites; Lhf - fractured homogeneous mud; O - triaxial test (UU).

## AGRADECIMENTOS

A Sidney P. Rostirolla, pelas discussões e indicação de referências bibliográficas. A Alvaro Maia da Costa e Cláudio dos S. Amaral, pela tutoria no uso dos dados geotécnicos. A Nilo C. Azambuja e Marco A. S. Moraes, pelas sugestões e revisão crítica do texto. Aos técnicos do Laboratório de Geologia do DEPEX/DESUD, pelo auxílio durante a abertura e descrição dos testemunhos.

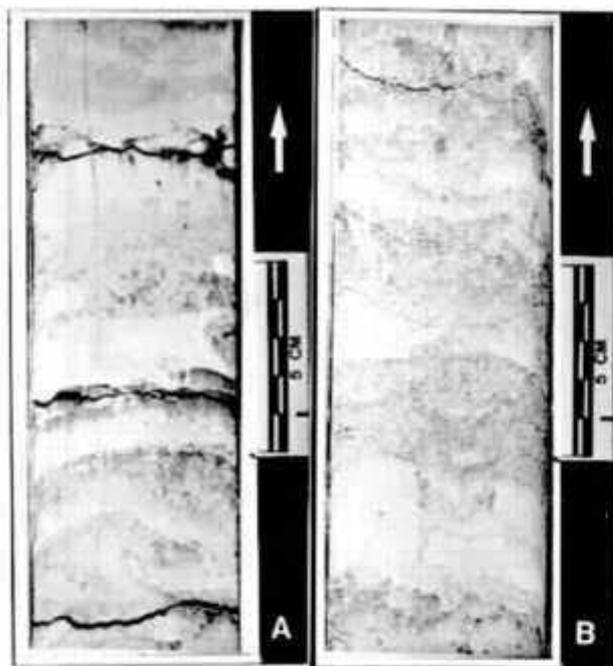


Foto 2 - Sedimentos não-deformados. A - Lama silítica intensamente bioturbada, GL10, intervalo 53.04 a 53.21 m. B - Lama com intercalações arenosas, GL13 intervalo 48.75 a 48.90 m.

Photo 2 - Undeformed sediments. A - Intensely bioturbated silty mud, GL10, interval 53.04 to 53.21 m. B - Mud with interbedded sand, GL13, interval 48.75 to 48.90 m.



Foto 3 - Fácies caótica com intensa laminação formada pela deformação de outras estruturas (traços fósseis e acamamento original). Eoceno, poço 1-RJS-90, intervalo 2.883,7 a 2.883,8 m.

Photo 3 - Chaotic facies with intense lamination produced by deformation of structures such as trace fossils and original bedding. Eocene, 1-RJS-90 well, interval 2.883.7 to 2.883.8 m.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, R. L. *Bioestratigrafia da seção quaternária da Bacia de Campos com base em nanofósseis calcários: uma hipótese de trabalho*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. DIVEX, 1992a, 52p. Relatório CENPES, 1202)
- ANTUNES, R. L. *Investigações bioestratigráficas e paleoambientais de amostras dos furos BU-91-GL-10 e BU-91-GL-13, Bacia de Campos (área de Marlim): um estudo com base em nanofósseis calcários*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. DIVEX, 1992b, 43p. (Relatório CENPES, 673-S-14753)
- CADDAH, L. F. G. et al. *Análise sedimentológica dos furos geológicos BU-91-GL-10, BU-91-GL-13 (Marlim) e BU-91-GL-05 (Albacora)*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. DESUD. DIREP, 1992. 56p. (Comunicação técnica, 6)
- COSTA, A. M. et al. *Relatório interpretativo dos dados geomecânicos de bordo, obtidos em águas profundas na campanha de investigação geotécnica realizada pelo navio M/S Bucentaur*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. DIPREX, 1992. Relatório interno.
- FARREL, S. G., EATON, S. Slump strain in the Tertiary of Cyprus and the Spanish Pyrenees: definition of palaeoslopes and models of soft-sediment deformation. In: JONES, M. E., PRESTON, R. M. F. (Eds.) *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks*. [S.l.]: [s.n.], 1987. p. 181-196. (Geological Society of Special Publications, 29)
- GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. ROCK-color chart. Tulsa, 1980.
- GRASSI, A. *Resultado de investigações biocronoestratigráficas em amostras do furo geotécnico BU-91-GT-32 (área de Marlim)*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. DESUD. DIREP, 1993. 3p. Relatório interno.
- KOWSMANN, R. O. et al. *Correlação de dados geológicos com perfis geotécnicos de resistência (Su) no talude de Marlim, Bacia de Campos*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. DIVEX, 1993. Relatório interno.
- MALTMAN, A. Shear zones in argillaceous sediments: an experimental study. In: JONES, M. E., PRESTON, R. M. F. (Eds.) *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks*. [S.l.]: [s.n.], 1987. p. 77-87. (Geological Society of Special Publications, 29).