

O grande incêndio do Santoniano: considerações geológicas e exploratórias

The great Santonian fire: implications for the regional geology and petroleum exploration

Mitsuru Arai | Cecília Cunha Lana | Carla Viviane Araújo | Taíssa Rêgo Menezes

Palavras-chave: Brasil | Cretáceo | Santoniano | palinologia | palinofácies

Keywords: Cretaceous | Brazil | Santonian | palynology | palynofacies

resumo

Suspeita-se que incêndios de grandes proporções ocasionados pelo vulcanismo ocorreram durante o Santoniano, na região correspondente hoje ao Sudeste Brasileiro. Esta suspeita provém do registro sistemático de ocorrências de palinofácies com predominância de matéria orgânica continental carbonizada no Santoniano das bacias de Campos e Santos. O fato mais intrigante nessas palinofácies é a presença de palinomorfos não carbonizados ao lado de matéria orgânica continental totalmente carbonizada, coexis-

tência esta comprovada por meio de amostras laterais e de testemunhos. As análises de palinofácies e petrografia orgânica revelaram ainda a presença abundante de inertinita e a ocorrência generalizada de esferas com vesículas e carbono pirolítico, característico de eventos de altas temperaturas. A hipótese levantada é de que grande parte desta matéria orgânica seria proveniente da vegetação queimada por incêndios recorrentes provocados por vulcanismos explosivos com corridas piroclásticas incendiárias, pelas seguintes razões: (1) a não-carbonização de palinomorfos marinhos autóctones (e.g., dinoflagelados); (2) a grande incidência de vulcanismo no Sudeste Brasileiro no Neocretáceo, notadamente no Santoniano; (3) a grande espessura (centenas de metros) do pacote sedimentar contendo a matéria orgânica continental carbonizada; (4) a presença de palinomorfos terrestres intatos que, embora rara, indicaria uma efêmera instalação da vegetação, o que aponta para o caráter recorrente do evento.

introdução

Neste estudo, lança-se a idéia de que incêndios de grandes proporções ocorreram durante o Santoniano (Neocretáceo), na região correspondente hoje ao Sudeste Brasileiro. Essa suspeita provém das análises de palinologia e de petrografia orgânica que vêm detectando sistematicamente ocorrências de palinofácies com predominância de matéria orgânica continental carbonizada dentro da

Palinozona Cf. *Anacolisidites* sp. (Santoniano superior/médio) das bacias de Campos e Santos (fig. 1).

palinofácies característica

A ocorrência de palinomacerais “queimados” por si só não constitui novidade, pois poderia estar associada ao magmatismo intrusivo, comum em bacias sedimentares. O mais intrigante nessa

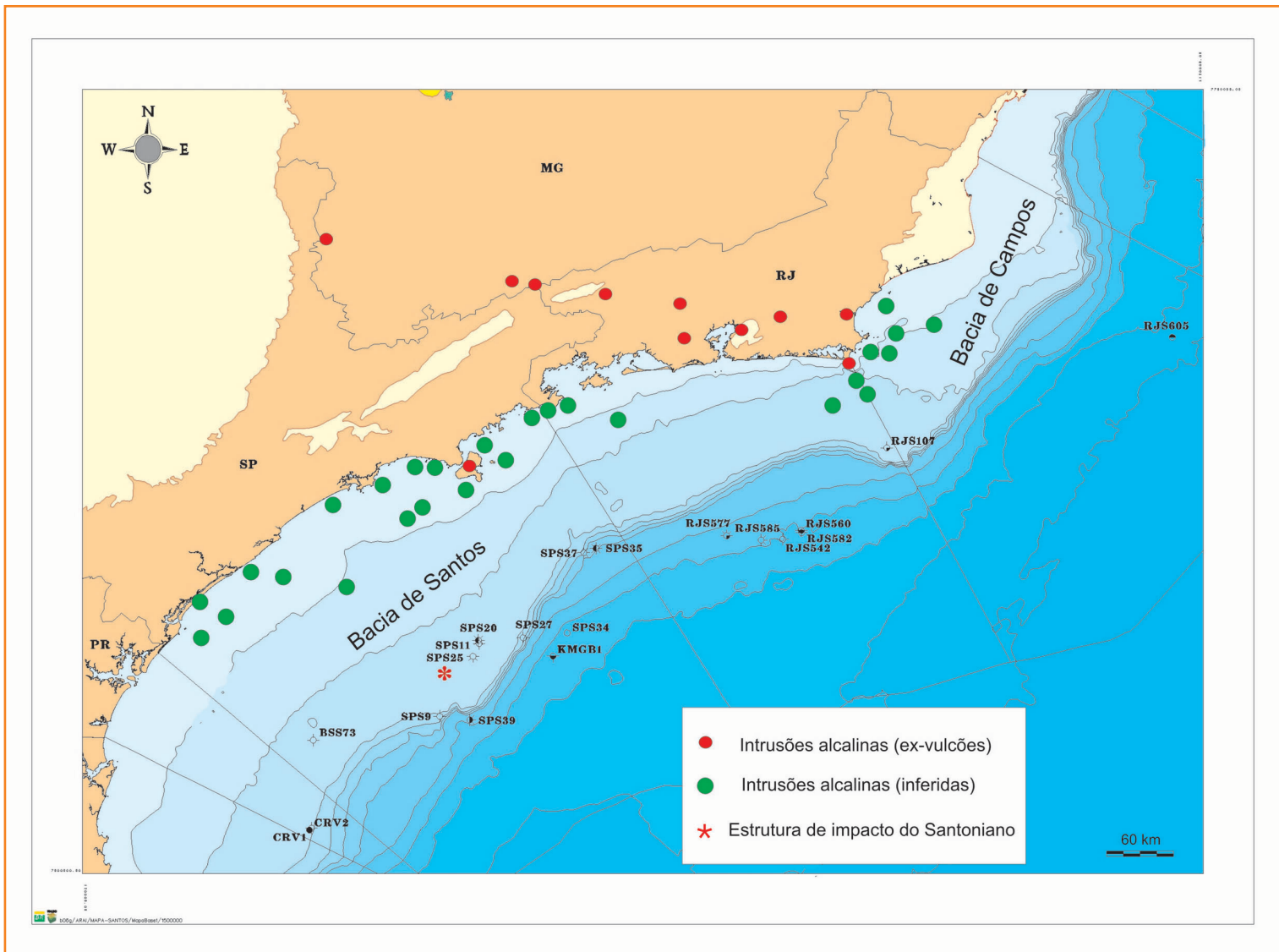


Figura 1 – Mapa da área estudada. Poços submarinos com evidências do incêndio Santoniano estão indicados por suas respectivas siglas (em preto). Círculos vermelhos indicam a localização de corpos intrusivos alcalinos na parte emersa que teriam sido vulcões no passado; círculos verdes indicam os corpos alcalinos inferidos a partir de dados geofísicos (Zalán e Oliveira, 2005); o asterisco vermelho indica a localização da estrutura de impacto do Santoniano (Correia et al. 2005).

Figure 1 – Map of the studied area. The names of offshore wells with evidences of the Santonian fire are indicated in black characters. Red circles represent the locations of known alkaline intrusive bodies (probable former volcanoes); green circles represent the locations of inferred alkaline intrusive bodies (after Zalán and Oliveira, 2005); the red asterisk indicates the site of impact of the Santonian structure (after Correia et al. 2005).

associação de palinofácies do Santoniano é a presença associada de palinomorfos não carbonizados (fig. 2a-c). A princípio, pensava-se que isso era devido à mistura de níveis estratigráficos diferentes, pois os dados iniciais provinham de análises em amostras de calha. Entretanto, análises ulteriores em amostras laterais e de testemunhos comprovaram a bimodalidade (carbonização X carbonificação) existente dentro do mesmo nível estratigráfico, ou seja, admitiu-se efetivamente a coexistência da matéria orgânica carbonificada pela diagênese normal em meio a uma palinofácies com a predominância de matéria orgânica severamente carbonizada (= queimada). A presença de duas populações de partículas com graus de carbonificação diferentes foi também confirmada pela análise de petrografia orgânica. Araújo *et al.* (2002) identificaram partículas com evidências de aquecimento rápido e intenso em amostras que não apresentavam nenhuma outra feição de alta temperatura. Essa observação levou os autores a interpretar a associação como produto da mistura de matéria orgânica afetada termicamente por vulcânicas com matéria orgânica não afetada devido a desabamentos em amostras de calha. Posteriormente, a observação dessa associação em amostra de testemunho (Menezes, 2004) indicou que a mistura de matéria orgânica carbonizada e não carbonizada era resultado de um processo deposicional.

o incêndio e sua causa

Para explicar essa palinofácies *sui generis*, foi aventada a hipótese de que grande parte de seu material fosse proveniente da vegetação queimada por incêndios. Uma das evidências que levam a essa conclusão é o fato de palinomorfos marinhos (dinoflagelados) nunca se encontrarem carbonizados (fig. 2b). Palinomorfos terrestres (esporos e grãos de pólen) não carbonizados também ocorrem (fig. 2a e c), mas são raros e interpretados como derivados de plantas oportunistas, colonizadoras de terras calcinadas. São consideradas duas hipóteses como causa desses incêndios: vulcanismo explosivo com corridas pirolásticas e impacto de corpo extraterrestre.

A segunda hipótese foi apreciada em função da recente descoberta da estrutura provavelmente produzida por um impacto ocorrido no Santoniano (Correia *et al.* 2005). No momento, os dados disponíveis são favoráveis à manutenção da primeira hipótese, pelas seguintes razões: (1) grande incidência de vulcanismo neocretáceo no Sudeste, notadamente no Santoniano (Alves, 2005; Moreira *et al.* 2005; Oreiro *et al.* 2005); (2) grande espessura – algumas centenas de metros – do pacote sedimentar contendo a palinofácies acima descrita, que dificilmente teria sido depositada num único evento; (3) presença de raros palinomorfos terrestres não queimados (fig. 2c) que indicaria uma efêmera instalação da vegetação, o que aponta para o caráter recorrente do evento.

A incidência especialmente maior de vulcanismo explosivo no Santoniano, mais precisamente ao redor de 85 Ma (Sonoki e Garda, 1988), tem uma explicação geodinâmica: foi exatamente nessa época que a pluma mantélica – que hoje se encontra sob a área das Ilhas Trindade e Martim Vaz – teria dado o primeiro golpe vigoroso na região correspondente hoje ao Centro-Sudeste do Brasil (Thompson *et al.* 1998).

As análises de palinofácies e petrografia orgânica reforçam a hipótese do incêndio, revelando a presença abundante de fitoclastos opacos (em luz transmitida) (fig. 2a), inertinita (em luz refletida) (fig. 2i), e a presença de carbono pirolítico (fig. 2e-i) e de esferas com vesículas (fig. 2j-l) (Araújo, 2001; Cerqueira *et al.* 2001; Araújo *et al.* 2002; Araújo e Menezes, 2003; Menezes e Araújo 2004).

A presença de carbono pirolítico e de partículas com textura de coque natural (*natural char*), descritas como esferas com vesículas (tenuisferas e crassisferas) em Araújo *et al.* (2002), foi interpretada como resultado da atividade vulcânica, pois para a formação destas partículas é necessária uma condição especial como o rápido aquecimento sob tempo de residência relativamente curto e alta temperatura.

A identificação de partículas com morfologia típica de processos de combustão em folhelhos e carvões, tais como tenuisferas e crassisferas (fig. 2j-l), tem sido reportada na literatura mais

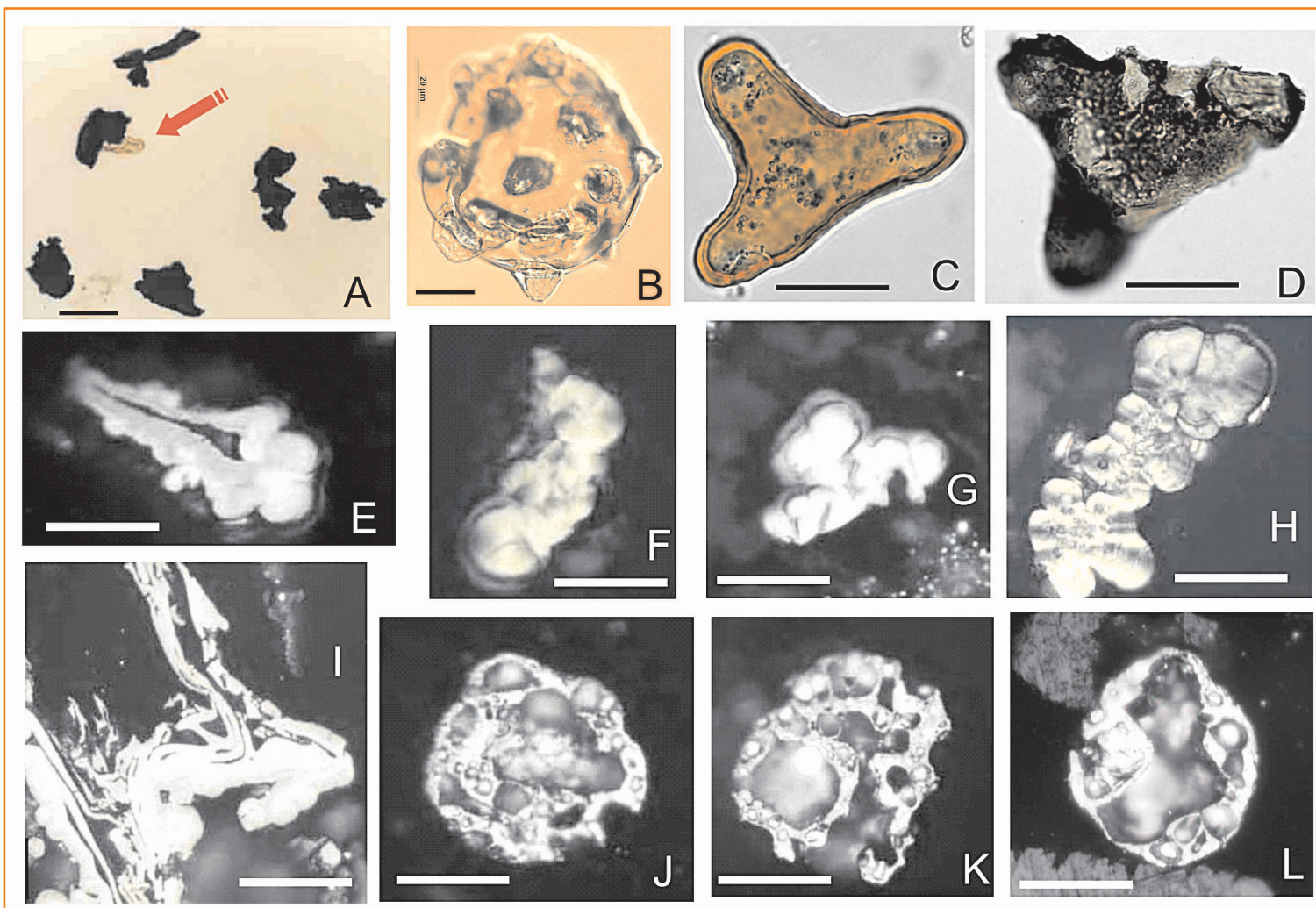


Figura 2 – Palinofácies e palinomorfos.

Escala gráfica = 20 µm.

A – D: Microscopia óptica em luz transmitida.

A - Palinofácies exibindo matéria orgânica carbonizada abundante e raros palinomorfos não queimados (como, por exemplo, o grão de pólen *Equisetosporites*, indicado pela seta vermelha). Poço 4-SPS-35, amostra do testemunho #1 (4 813,7 m).

B - Dinoflagelado *Conosphaeridium striatoconum* encontrado em meio a palinofácies similar (poço 1-RJS-605, amostra de calha de 3 993 m – 4 002 m). Observar o grau de carbonificação do dinoflagelado que é apenas incipiente. OBS.: a amplitude estratigráfica da espécie *Conosphaeridium striatoconum* é Turoniano superior – Santoniano inferior, o que assegura uma idade do estrato hospedeiro não mais nova que o Eossantoniano.

C - Grão de pólen Cf. *Anacolosidites* sp. não afetado pela queima. Poço 1-SPS-39, amostra de calha de 4 239 m (fotomicrografia obtida por Elizabete Pedrão Ferreira).

D - Grão de pólen Cf. *Anacolosidites* sp. chamuscado. Poço 4-SPS-42, amostra de calha de 5 064 m (fotomicrografia obtida por Elizabete Pedrão Ferreira).

E – L: Microscopia óptica em luz branca refletida.

E – H: Carbono pirolítico (E: poço 1-KMGB-1-SPS; F: poço 1-RJS-107; G: poço 3-CRV-1-BSS; H: poço 1-RJS-542).

I – Associação de inertinita e carbono pirolítico (poço 3-CRV-1-BSS).

J – L: Coque natural, morfotipo crassisfera (J: poço 1-RJS-542; K: poço 3-CRV-2-BSS; L: poço 1-SPS-11).

Figure 2 – Palynofacies and palynomorphs.

Scale bar = 20 µm.

A – D: Transmitted light microscopy.

A - Palynofacies showing the predominance of burned organic matter, with rare well preserved palynomorphs (e.g., *Equisetosporites* pollen grain indicated by red arrow). Well 4-SPS-35, Core #1 (4 813.7 m).

B - Dinoflagellate *Conosphaeridium striatoconum* found in the same palynofacies as above (Well 1-RJS-605, cuttings 3 993 m - 4 002 m). Note that the dinoflagellate cyst is not burned. OBS.: *Conosphaeridium striatoconum* ranges stratigraphically from upper Turonian through lower Santonian, so its host stratum is not younger than early Santonian.

C - A well preserved Cf. *Anacolosidites* sp. pollen grain. Well 1-SPS-39, cuttings 4239 m (photomicrograph provided by Elizabete Pedrão Ferreira).

D - Partially burned Cf. *Anacolosidites* sp. pollen grain. Well 4-SPS-42, (photomicrograph provided by Elizabete Pedrão Ferreira).

E – L: Reflected light microscopy.

E – H: Pyrolytic carbon (E: well 1-KMGB-1-SPS; F: well 1-RJS-107; G: well: 3-CRV-1-BSS; H: well 1-RJS-542).

I - Maceral assemblage with inertinite and pyrolytic carbon (well 3-CRV-1-BSS).

J – L: Natural char, crassisphere morphotype (J: well 1-RJS-542; K: well 3-CRV-2-BSS; L: well 1-SPS-11).

recentemente (Bojesen-Koefoed *et al.* 1997; Petersen, 1998). Esses morfotipos (tenuisferas e crassisferas) são normalmente obtidos no processo de combustão de carvão em altos fornos. Entretanto, a observação da ocorrência ocasional dessas partículas em rochas incluindo carvões de várias idades (Carbonífero, Permiano e Jurássico) indicou que as mesmas poderiam ser geradas por processos naturais. Alguns autores acreditam que essas partículas não tenham sido previamente descritas devido a falhas na identificação de suas texturas. A presença de partículas de coque natural (*natural char*) com morfologias de tenuisferas e crassisferas sugere que seu processo de formação tenha origem em incêndios à época do desenvolvimento da cobertura vegetal (*forest fires*). A associação de partículas de coque natural e carbono pirolítico é uma evidência adicional da ocorrência de incêndios que afetariam os tecidos já gelificados, ou seja, o processo teria ocorrido na superfície onde os fragmentos vegetais misturados à lama já estariam em processo de gelificação (*ground fire*, Petersen, 1998).

Em suma, ocorrência abundante de macerais do grupo da inertinita, coque natural (*natural char*), carbono pirolítico, bem como palinóforos carbonizados em amostras do Santoniano da Bacia de Santos é uma forte evidência da ocorrência de incêndios nesta época.

considerações finais

O tema interessa também à exploração petrolífera uma vez que a sismicidade associada ao vulcanismo pode ter favorecido a formação de turbiditos (Caddah *et al.* 1994, 1998; Alves, 2004). Além disso, esse fenômeno pode induzir a uma avaliação errônea do perfil de maturação, devido ao grande aporte de matéria orgânica carbonizada por efeitos não relacionados aos processos de diagênese e maturação da matéria orgânica. A elevada abundância relativa de macerais do grupo da inertinita pode interferir no perfil aparente de maturação, caso medidas de Ro% nestas partículas sejam incorporadas à média calculada. Este fenômeno provocaria um

aumento abrupto da maturação aparente, que, na verdade, não reflete a realidade, pois a formação destas partículas carbonizadas deve-se a um processo anterior à deposição. Portanto, o perfil de maturação condizente com a realidade geológica seria obtido descartando-se os dados provenientes de partículas carbonizadas.

Outra implicação seria a perda da qualidade de reservatórios formados na época do vulcanismo e do incêndio. O aporte de cinzas vulcânicas e de outras vulcanoclásticas introduziria à bacia maior quantidade de íons potencialmente formadores de argilo-minerais obliteradores de porosidade, como a clorita. Além disso, o fato da bacia receber um aporte significativo de matéria orgânica "inertinitizada" poderia resultar na redução da produção precoce de hidrocarbonetos, dando maior chance à cimentação.

agradecimentos

À geóloga Sylvia Couto dos Anjos pelo incentivo primordial para a divulgação deste trabalho; à geóloga Daisy Barbosa Alves pelas inúmeras discussões frutíferas acerca do vulcanismo explosivo e pelo convite para a participação no "Simpósio sobre Magmatismo em Bacias Sedimentares", graças ao qual o trabalho sofreu um amadurecimento significativo; aos geólogos Carlos Manuel de Assis Silva, Cristiano Leite Sombra e Rogério Schiffer de Souza pelas discussões sobre a possível influência de vulcanoclásticas na qualidade de rochas-reservatório.

referências bibliográficas

ALVES, D. B. Sedimentação vulcanoclástica do Cretáceo Superior da Bacia de Campos, Brasil. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá, MG. **Anais...** São Paulo : Sociedade Brasileira de Geologia, 2004. 1 CD-ROM. 2 p.

ALVES, D. B. Sedimentação vulcanoclástica do Cretáceo Superior da Bacia de Campos, Sudeste do Brasil. In : SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais...** Rio

de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo RJ/ES, 2005, p. 3-7.

ARAÚJO, C. V. **Preliminary geochemical evaluation of the 1KMGB0001-SPS well, Santos Basin.** Rio de Janeiro : PETROBRAS. CENPES. PDEP. GE, 2001. 4 f. Relatório interno.

ARAÚJO, C. V.; CONDÉ, V. C.; PENTEADO, H. L. B. **Geopressão, Temperatura e Maturação, Bacia de Santos.** Rio de Janeiro : PETROBRAS. CENPES. PDED. GEO, 2002. Relatório interno.

ARAÚJO, C. V.; MENEZES, T. R. **Maturação e qualidade matéria orgânica do poço 1SPS 0023 SP, Bacia de Santos.** Rio de Janeiro : PETROBRAS. CENPES. PDEP. GEO, 2003. Relatório interno.

BOJESSEN-KOEFOED, J.; PETERSEN, H. I.; SURLYK, F.; VOSGERAU, H. Organic petrography of inertinite-rich mudstones, Jakobsstigen Formation, Upper Jurassic, northeast Greenland : Indications of forest fires and variations in relative sea-level. **International Journal of Coal Geology**, v. 34, n. 3-4, p. 345- 370, Aug. 1997.

CADDAH, L. F. G.; ALVES, D. B.; HANASHIRO, M.; MIZUSAKI, A. M. P. Caracterização e origem do marco "3-Dedos" (Santoniano) da Bacia de Campos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2-4, p. 315-334, abr./dez. 1994.

CADDAH, L. F. G.; ALVES, D. B.; MIZUSAKI, A. M. P. Turbidites associated to bentonites in the Upper Cretaceous of the Campos Basin, offshore Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 115, n. 1-4, p. 175-184, Jan. 1998.

CERQUEIRA, J. R.; ARAÚJO, C. V.; TRINDADE, L. A. F. **Geochemical evaluation of rock samples from 1-HESS-1-RJS well, Santos Basin, Brazil.** Rio de Janeiro : PETROBRAS. CENPES. PDEP. GE, 2001. 10 f. Comunicação Técnica.

CORREIA, G. A.; MENEZES, J. R. C.; BUENO, G. V.; MARQUES, E. J. J. Identificação de uma estrutura de impacto no Cretáceo Superior da Bacia de Santos em sismica de reflexão 3D. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 123-127, nov. 2004/maio 2005.

MENEZES, T. R. **Estudo de Maturação e da Quali-**

dade da Matéria Orgânica dos Poços 1SPS 0031 SP e 1SPS 0009 SP, Bacia de Santos, Brasil. Rio de Janeiro : PETROBRAS. CENPES. PDEP. GE, 2004. Relatório interno.

MENEZES, T. R.; ARAÚJO, C. V. **Estudo de Maturação e da Qualidade da Matéria Orgânica dos Poços 1SPS 0034 SP e 4SPS 0035 SP, 1SPS 0036 SP e 3SPS 0038A SP Bacia de Santos, Brasil.** Rio de Janeiro : PETROBRAS. CENPES. PDEP. GE, 2004. Relatório interno.

MOREIRA, J. L. P.; ESTEVES, C. A.; RODRIGUES, J. J.; VASCONCELOS, C. S. Magmatismo, sedimentação e estratigrafia no norte da Bacia de Santos. In : SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo RJ/ES, 2005, p. 33-38.

OREIRO, S. G.; CUPERTINO, J. A.; SZATMARI, P.; THOMAZ FILHO, A. Estudo sobre o magmatismo no limite entre as bacias de Santos e Campos. In : SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo RJ/ES, 2005, p. 189-194.

PETERSEN, H. I. Morphology, formation and paleo-environment implications of naturally formed char particles in coals and carbonaceous mudstones. **Fuel**, v. 77, n. 11, p. 1177-1183, Sep. 1998.

SONOKI, I. K. ; GARDA, G. M. Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental : compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. **Boletim do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 19, p. 63-85, 1988. (Série Científica).

THOMPSON, R. N.; GIBSON, S. A.; MITCHELL, J. G.; DICKIN, A. P.; LEONARDOS, O. H.; BROD, J. A.; GREENWOOD, J. C. Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil : Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume? **Journal of Petrology**, Oxford, v. 39, n. 8, p. 1493-1526, Aug. 1998.

ZALÁN, P. V.; OLIVEIRA, J. A. B. Origem e evolução estrutural do sistema de riftes cenozóicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 269-300, maio/nov. 2005.

abstract

This paper presents the new idea of a great fire that occurred in the Santonian, in the region that corresponds nowadays to southeast Brazil. This conclusion derives from palynological analyses, which have often reported palynofacies with predominant carbonized terrestrial organic matter in the Santonian of Campos and Santos basins. The most curious aspect of the Santonian palynofacies from the basins of the Brazilian southeastern continental margin is the fact that well preserved palynomorphs coexist with carbonized terrestrial organic matter. In former times it was believed that this feature was due to a mixing of materials coming from different stratigraphic levels, since early observations were based on cutting samples. Recently, however, new data coming from core and sidewall samples confirm the presence of organic matter with different carbonization levels in a same stratum. In order to explain this intriguing palynofacies association, we present the hypothesis that most organic matter comprised by this stratigraphic level was affected by an extensive forest fire. The main evidence to support this assumption is the fact that marine palynomorphs (dinocysts) associated to the carbonized organic matter are never burned. Incendiary volcanic activities, accompanied by pyroclastic flows are suspected to be the main cause for the aforesaid fires in the studied area.

autor principal



Mitsuru Arai

Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)

Gerência de Bioestratigrafia e Paleoecologia

e-mail: arai@petrobras.com.br

Mitsuru Arai nasceu no Japão em 1951, vindo para o Brasil em 1959. Formou-se em Geologia pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo em 1976, ingressando na Petrobras em 1977. No ano de ingresso, trabalhou na Geologia de Subsuperfície, acompanhando a perfuração de poços exploratórios nas bacias de Sergipe, Alagoas, Espírito Santo e Campos. Trabalha na Bioestratigrafia desde 1978, tendo sido lotado no antigo Dexpro, no Depex e, desde 1981, no Cenpes. Trabalhou também com a Geoquímica Orgânica no período de 1982 a 1985. É mestre pela Universidade Federal Fluminense (pós-graduação em Geoquímica) e, atualmente, prepara seu doutoramento na área de Estratigrafia junto à Universidade Federal do Rio Grande do Sul.