

## Modelo Gamaespectrométrico Análogo da Formação Ponta Grossa (Bacia do Paraná)

Francisco José Fonseca Ferreira, LPGA/UFPR; Ary Gustavo Candido, Petrobras; Sidnei Pires Rostirolla, LABAP/UFPR

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

In analogue modelling, ground gamma-ray spectrometric data of the Devonian Ponta Grossa Formation (Paraná Basin) allowed for a better understanding of the spatial distribution of lithotypes. Correlations based on gamma-ray values obtained from deep well logging could be improved. Ground values, spaced 50 cm in sandstones and 100 cm in shales, were taken along four sections. The sections were 30, 250, 12, and 16 meters thickness, respectively. The results of the first section showed that both ground and deep values reflect the gradual clay enrichment trend noticed along the transition beds between Furnas and Ponta Grossa formations. Along the second section total organic carbon values are in direct relation to ground and deep gamma-ray data. In the third section a clear decrease of intensity was observed in sandy layers. In the last section, which is characterized by higher sand-fraction content, showed a gamma-ray signature compatible with the coarsening upward observed in well data. In this context, a massive clayey interval was defined by high gamma-ray values in both investigation levels. Ground gamma-ray spectrometry combined with detailed outcrop descriptions and deep source data proved to be useful in the establishment of analogue models for the Ponta Grossa Formation in the Paraná Basin.

### Introdução

Os perfis de raios gama constituem uma das ferramentas mais empregadas na análise estratigráfica, pois permitem caracterizar e correlacionar várias superfícies, identificar a natureza e a distribuição lateral e vertical de camadas, e, principalmente, delineiam as tendências de granocrescência e de granodecrescência das rochas sedimentares. Na perspectiva de modelos análogos, o trabalho mostra a aplicação da gamaespectrometria em afloramentos da Formação Ponta Grossa (Devoniano da Bacia do Paraná) e estabelece correlações aos dados de poços profundos da bacia. O estudo pormenorizado de afloramentos forneceu subsídios para aprimorar o conhecimento de estratos equivalentes em subsuperfície (normalmente carente de dados petrofísicos diretos), como a Formação Ponta Grossa, que ocorre em profundidades superiores a 3.500 metros nos tratos mais profundos da Bacia do Paraná.

### Localização dos Perfis Gamaespectrométricos

As medidas de superfície, espaçadas de 50 cm nos arenitos e 100 cm nos folhelhos, foram adquiridas em quatro seções: Arapoti, Jaguariaíva, Tibagi e Ponta Grossa (Fig. 1), com extensões respectivas de 30, 12, 250 e 16 metros.

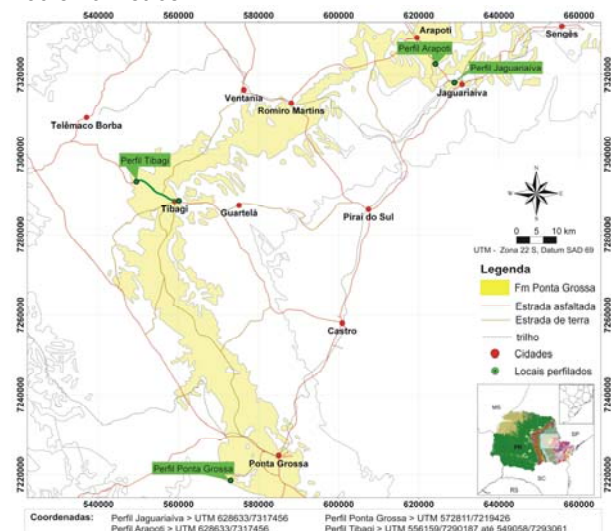


Figura 1 – Mapa de localização dos perfis Arapoti, Jaguariaíva, Tibagi e Ponta Grossa.

### Métodos

Os dados de superfície (50 cm nos arenitos e 100 cm nos folhelhos) foram coletados por dois gamaespectrômetros, GRS-500 e GS-512, cujas características são descritas em Candido et al. (2009). As leituras em contagens por segundo (cps) foram adquiridas com tempos de integração de 10 s e 120 s, respectivamente pelos GRS-500 e GS-512. Apenas o GS-512 foi calibrado (veja procedimentos em Becegato & Ferreira 2005), permitindo leituras da contagem total (CT) em ppm de urânio equivalente (Ueq), potássio (K) em % e equivalentes de urânio (eU) e tório (eTh) em ppm.

Originalmente os perfis de poços foram disponibilizados para a pesquisa na forma analógica, os quais continham rasuras e imperfeições que dificultam as interpretações. Assim sendo, foi necessário uma avaliação crítica seguida de digitalização e vetorização dos perfis. Tais processos permitiram editar topo e base de unidades, refinar segmentos originalmente ilegíveis, medir as espessuras de intervalos, etc. Como as soleiras de diabásio (Formação Serra Geral, Cretáceo Inferior), não integram a seqüência deposicional original da Formação Ponta Grossa, foi conveniente removê-las para facilitar a visualização, a correlação e a interpretação conjunta dos perfis dos poços. Considerando que os dados de

radiação gama dos poços estudados foram apenas registrados no canal da contagem total (intervalo de amostragem de 20-30 cm) e expressos por contagens por segundo em unidades API, a correlação aos dados de superfície foi feita apenas para o referido canal (ppm de Ueq para os dados de superfície e unidades API para os dados de subsuperfície).

**Resultados e Discussão**

**Perfil Arapoti**

Os arenitos costeiros do topo da Formação Furnas e dos folhelhos da base da Formação Ponta Grossa, bem caracterizados em superfície e subsuperfície, foram denominados Camadas de Transição por Petri (1948), as quais suportaram a interpretação de uma passagem gradativa das referidas unidades (e.g. Lange & Petri 1967; Soares et al. 1978; Soares 1992; Milani 1997). Contudo, Bigarella & Salamuni (1967) postularam uma discordância entre as formações Furnas e Ponta Grossa. Zalán et al. (1987) resgataram tal proposta e sugeriram um hiato de cerca de 10 Ma entre as citadas formações. A Figura 2 (localização na Fig. 1) mostra os perfis gamaespectrométrico e granulométrico de campo, em correspondência ao análogo do poço 2-TB-1-SP, na qual as Camadas de Transição denotam clara tendência de incremento da fração argila em direção ao topo (granodecrescência ascendente), até se confundir com a base do Membro Jaguariaíva, horizonte homogêneo de folhelhos ricos em matéria orgânica com intercalações escassas e subordinadas de lâminas ou lentes de arenitos muito finos e siltitos.

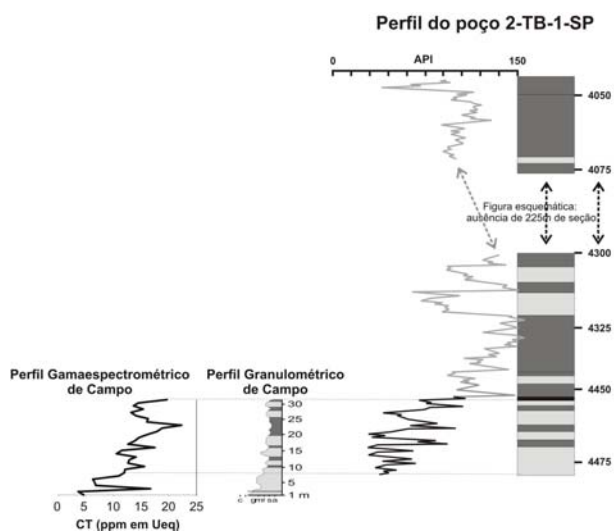


Figura 2 - Comparação dos perfis gamaespectrométrico de superfície (esquerda), granulométrico (centro) e do poço 2-TB-1-SP (direita) indicando as camadas de transição.

**Perfil Jaguariaíva**

Os resultados obtidos no perfil Jaguariaíva, apesar de seus 12 metros de espessura, são significativos, uma vez que as variações litológicas são similares às dos demais perfis da Formação Ponta Grossa. Além disso, houve coerência entre as respostas gamaespectrométricas medidas e esperadas para cada camada e litotipo. A Figura 3 (localização na Fig. 1) mostra o afloramento do perfil Jaguariaíva com sobreposição das curvas da contagem total obtidas pelos dois gamaespectrômetros (GS-512 e GRS-500), onde é possível notar com clareza a diminuição das intensidades nas camadas arenosas (setas vermelhas) e a queda abrupta dos valores a partir do contato dos arenitos basais do Grupo Itararé (linha vermelha tracejada).

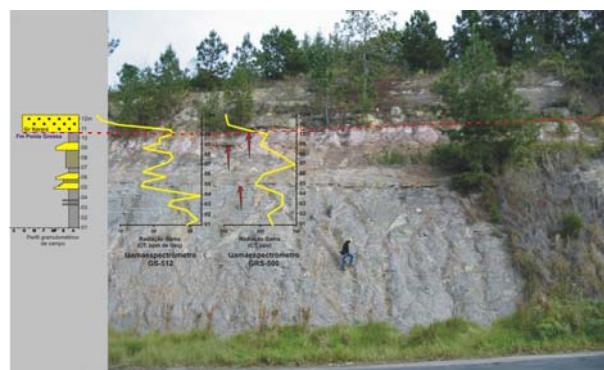


Figura 3 - Comparação das respostas do GS-512 e do GRS-500 no perfil Jaguariaíva.

**Perfil Tibagi**

No perfil Tibagi (250 metros de espessura, localização na Fig. 1), cujos dados foram obtidos apenas com o GS-512, foi possível observar todas as respostas esperadas da radiação gama para o intervalo amostrado. Das quatro variáveis (CT, K, eU e eTh), a contagem total (CT), talvez pela sua larga faixa energética, revelou-se mais precisa e coerente com a análise estratigráfica pretendida. Para verificar tal constatação, foram elaborados perfis comparativos e gráficos de correlação dos dados em concentrações e cps (Fig. 4). Nota-se na Figura 4 que o índice de correlação no canal do urânio é relativamente baixo ( $R^2 \approx 0,75$ ), em correspondência a uma dispersão significativa, o que pode refletir problemas de calibração instrumental, mobilidade/dispersão do U, ou mesmo desequilíbrio radioativo. Por outro lado, os índices de correlação das demais variáveis foram considerados satisfatórios ( $K \approx 0,9$ ;  $eTh \approx 1,0$ ;  $CT = 1,0$ ). Uma vez averiguada a precisão das leituras, efetuou-se à comparação dos perfis gamaespectrométrico e granulométrico. Como se pode observar na Figura 5 (localização na Fig. 1) o resultado é coerente, pois as camadas de folhelho do perfil granulométrico mostram picos de elevada radioatividade (setas cheias), enquanto níveis arenosos coincidem com baixos valores (setas tracejadas).

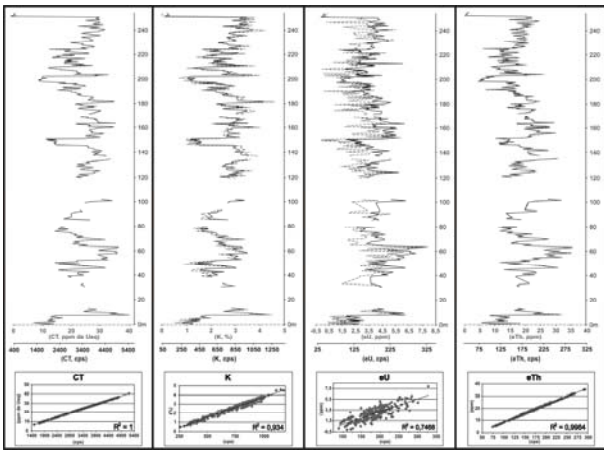


Figura 4 - Perfis gamaespectrométricos e gráficos de correlação (concentrações linhas cheias versus cps linhas tracejadas) dos canais CT, K, eU e eTh na seção Tibagi.

Outro bom resultado foi derivado da comparação dos perfis gamaespectrométrico e de carbono orgânico total (COT), obtido por Bergamaschi (1999) na mesma seção (Fig. 6). Níveis estratigráficos com elevados teores de COT estariam relacionados a intervalos de preservação de matéria orgânica, reflexo de grande volume de deposição deste material e conseqüente redução de oxigênio (ambiente propício para retenção de U), que segundo o autor representariam superfícies de inundação máxima (SIM). Por fim, foram cotejados os perfis gamaespectrométricos de superfície e os de poços profundos que atravessaram a Formação Ponta Grossa. Os resultados apresentados na Figura 7 (localização na Fig. 1) foram coerentes, uma vez que tendências similares (indicadas pelas setas) foram constatadas, as quais são representativas do empilhamento sedimentar e por isso são importantes para o entendimento da evolução estratigráfica da formação.

**Perfil Ponta Grossa**

Os resultados gamaespectrométricos do perfil Ponta Grossa (16 metros de espessura, localização na Fig. 1) se harmonizaram tanto às litologias dos afloramentos, quanto ao perfil Tibagi (Figs. 6 e 7) e aos dados de subsuperfície, como se observa na Figura 8. O perfil de campo se refere à fácies de barra de desembocadura deltaica do Membro Tibagi (Candido 2007), composto por arenitos e pelitos intercalados, pouco bioturbados, formando um empilhamento, cuja tendência de incremento da fração areia em relação ao topo (granocrescência ascendente), é claramente refletida pelos dados de radiação gama (Fig. 8). Na base (A, Fig. 8), ocorrem siltitos argilosos micáceos que gradam para níveis arenosos no topo. A superfície acima dos níveis arenosos é caracterizada por marcas onduladas, sobre as quais se depositaram filmes argilosos de um centímetro de espessura (B, Fig. 8). Progressivamente, os níveis arenosos predominam, alcançando 20-40 cm de espessura, com base erosiva sobre as argilas (C, Fig. 8) e topo composto por material pelítico. No ápice da seção

os arenitos não denotam mais intercalações argilas e apresentam estratificação cruzada de pequeno porte e ótima maturidade mineralógica e textural (D, E, F, Fig. 8).

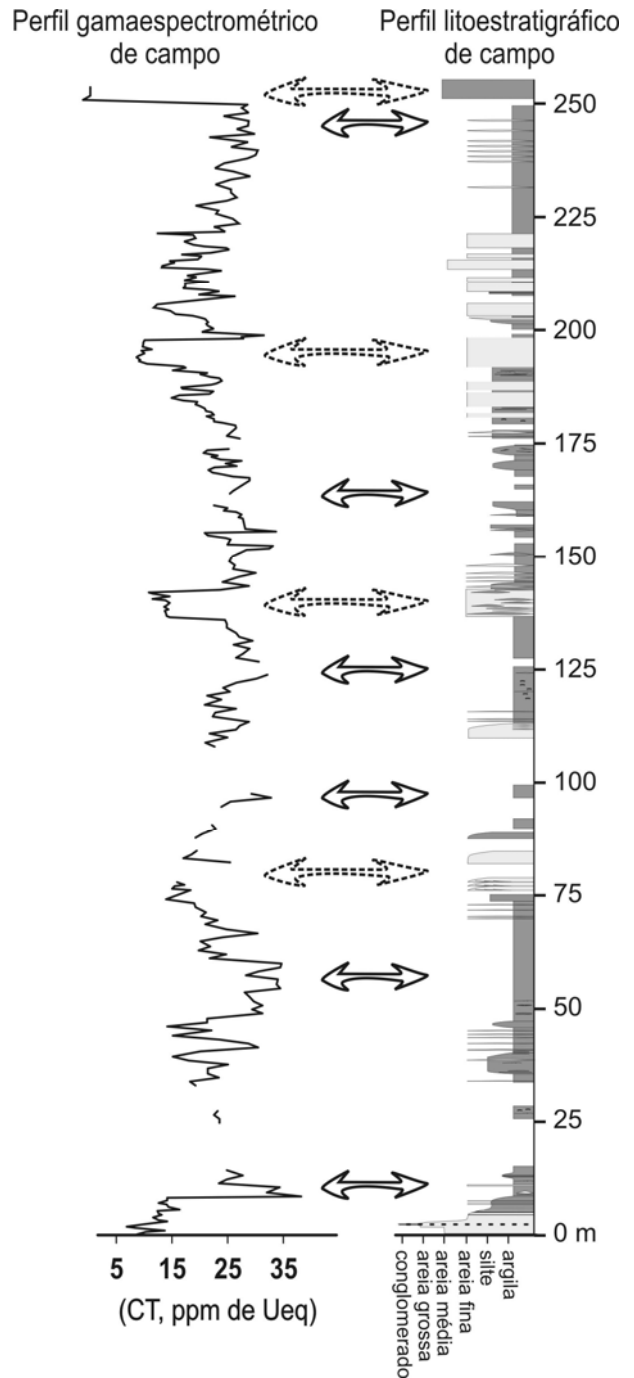


Figura 5 - Perfis gamaespectrométrico (esquerda) e litoestratigráfico (direita) da seção Tibagi indicando as respostas geofísicas de níveis argilosos (setas cheias) e arenosos (setas tracejadas).

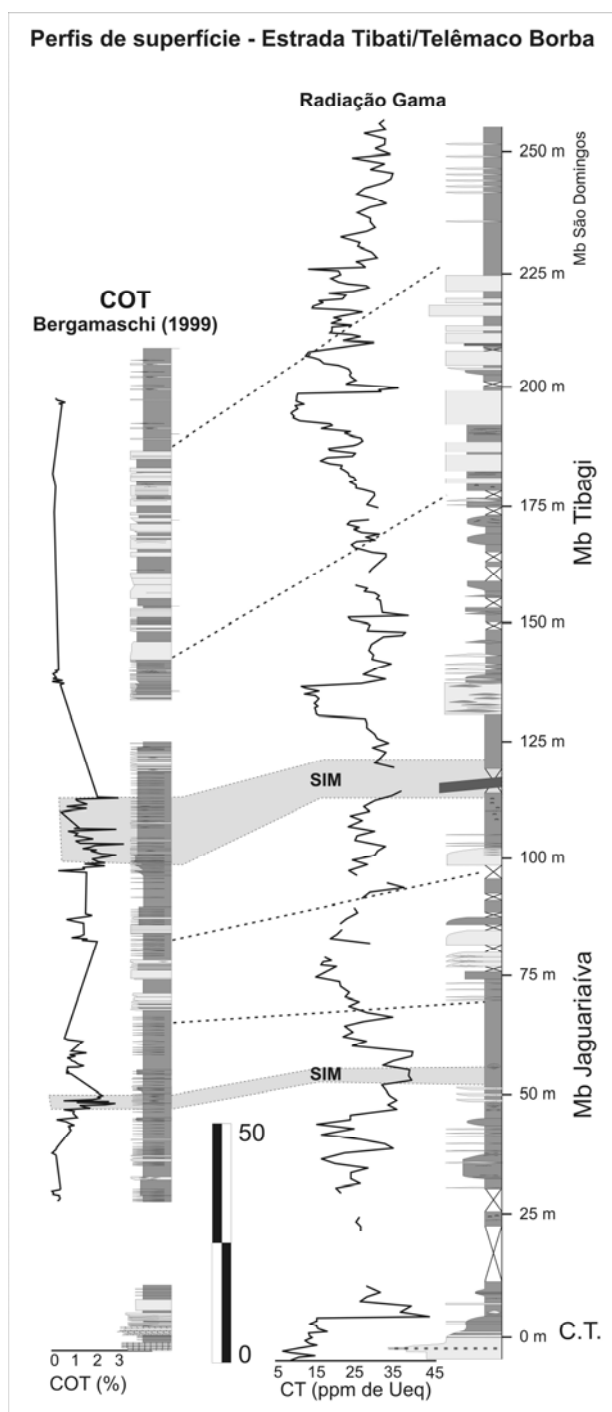


Figura 6 - Comparação dos perfis de carbono orgânico total (COT de Bergamaschi 1999, esquerda) e gamaespectrométrico (Tibagi, direita), indicando as superfícies de inundação máxima (SIM).

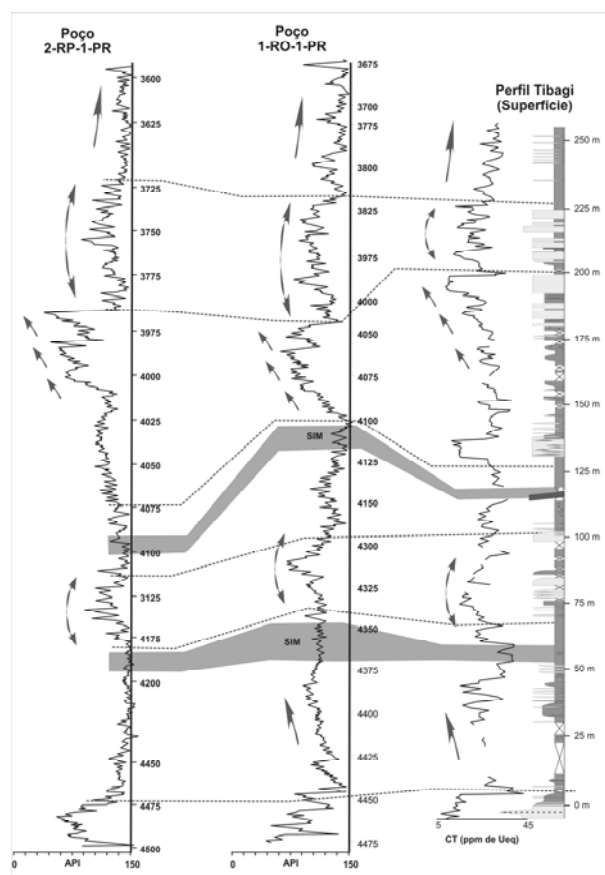


Figura 7 - Comparação do perfil Tibagi (superfície) e de poços profundos. Notar a boa correspondência das tendências indicadas pelas setas (SIM = superfície de inundação máxima).

**Conclusões**

As principais conclusões podem ser assim resumidas: (i) a tendência de incremento gradativo da fração argila (granodecrescência ascendente) nas Camadas de Transição do perfil Arapoti, foi observada nos perfis de raios gama em superfície e subsuperfície; (ii) no Membro Jaguariáiva, os teores de carbono orgânico total (COT), relacionados às superfícies de inundação máxima (SIM), guardaram relação direta com o incremento da radiação gama registrada em superfície; (iii) no perfil Tibagi se constatou boa correspondência dos dados gamaespectrométricos de superfície e a respectiva seção granulométrica ao longo dos 250 metros de exposição dos membros Jaguariáiva, Tibagi e São Domingos da Formação Ponta Grossa; (iv) ainda no perfil Tibagi se percebeu nítidas relações dos dados anteriores com as tendências gamaespectrométricas derivadas de poços profundos; (v) o Membro Tibagi, claramente mais arenoso, explicitou no perfil Ponta Grossa assinatura dos raios gama compatível a um padrão granocrescente ascendente, o qual, por sua vez, se harmonizou com segmento correspondente do perfil Tibagi e deste com os poços profundos. (vi) o Membro São Domingos, representativo de possante intervalo pelítico da Forma -



ção Ponta Grossa, foi também bem caracterizado através de altas contagens; (vii) finalmente as medidas de radiação gama de superfície, associadas à descrição pormenorizada de afloramentos e a dados de poços profundos, se revelaram adequadas para o estabelecimento de modelos análogos da Formação Ponta Grossa na Bacia do Paraná.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) pelo financiamento da pesquisa e pela Bolsa de Mestrado concedida ao segundo autor (AGC). Agradecem também aos colegas Midori Fatori Deguchi, Fabio Gomes Machado e Thais Borba Santos pelo auxílio na aquisição dos dados de campo. F.J.F. Ferreira e S.P. Rostirolla agradecem ao CNPq pelas respectivas bolsas de Produtividade em Pesquisa.

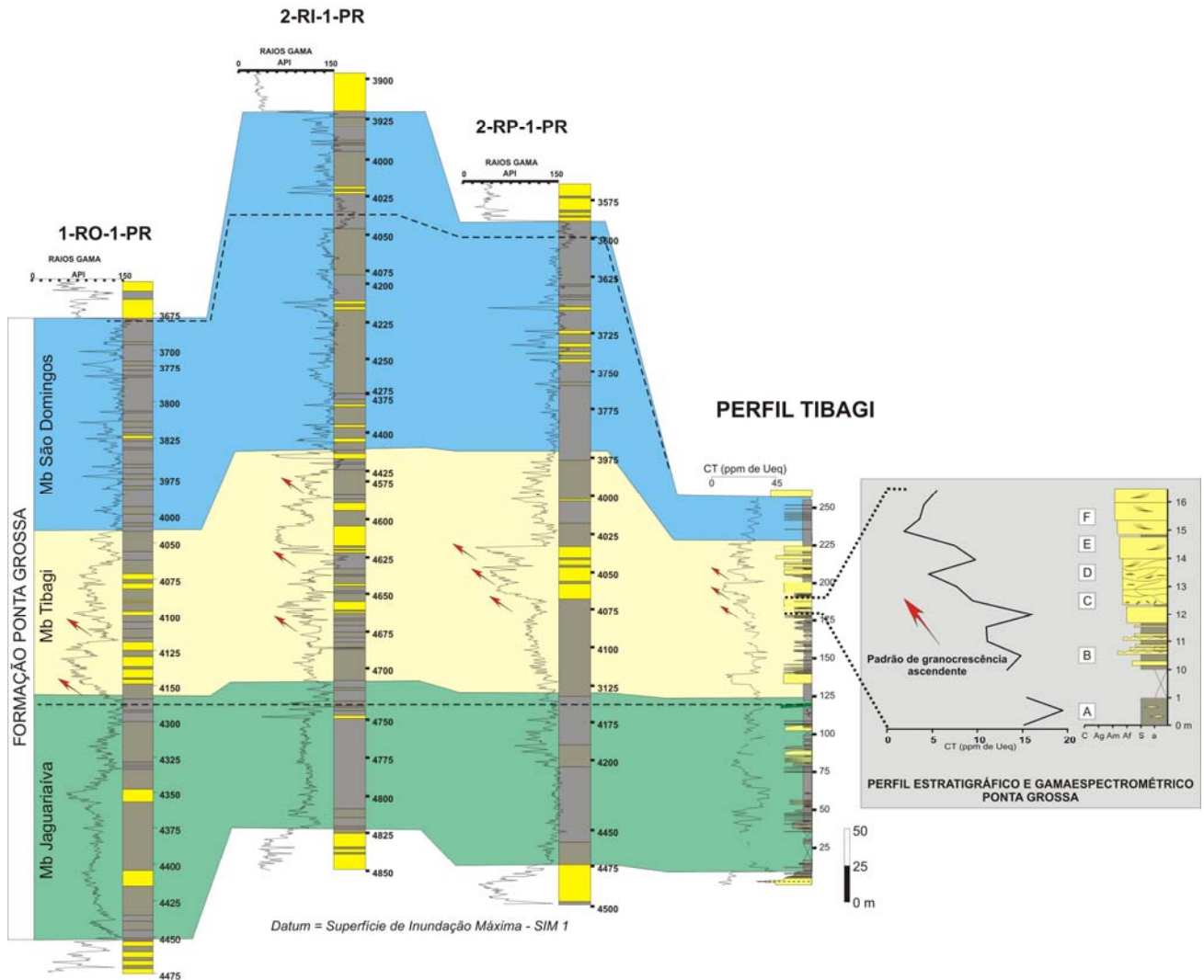


Figura 8 - Perfil gamaespectrométrico Ponta Grossa (direita) indicando granocrescência ascendente (seta vermelha) e sua correlação com os perfis Tibagi e de poços profundos (esquerda).

**Referências**

- Becegato, V. A., e F.J.F. Ferreira,** 2005, Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro, 23, 371-405.
- Bergamaschi, S.,** 1999, Análise estratigráfica do Siluro-Devoniano (formações Furnas e Ponta Grossa) da sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 167p.
- Bigarella, J.J, and R. Salamuni,** 1967, Some paleogeographic features of the Brazilian Devonian. In: Bigarella JJ (ed). *Problems in Brazilian Devonian Geology*. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, 21/22, 133-151.
- Candido, A.G.,** 2007, Análise do potencial de ocorrências de reservatórios devonianos na porção profunda da Bacia do Paraná baseada na caracterização estratigráfica do Membro Tibagi, Formação Ponta Grossa. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória), UFPR, Curitiba, 124 p.
- Candido, A. G., F.J.F. Ferreira, e S.P. Rostirolla,** 2009, Correlação gamaespectrométrica de afloramentos e poços: Estudo de caso na Formação Ponta Grossa (Bacia do Paraná, Brasil). *Revista Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro (submetido).
- Lange, F.W., and S. Petri,** 1967, The Devonian of the Paraná Basin. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, 21/22, 5-55.
- Milani, E.J.,** 1997, Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2 v.
- Petri, S.,** 1948, Contribuição ao estudo do Devoniano Paranaense. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, 125p. (Brasil, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Boletim 129).
- Soares, P.C., P.M.B., Landim and V.J. Fúlfaro,** 1978, Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. *Geological Society of America Bulletin*, Boulder, 89, 181-191.
- Soares, P.C.,** 1992, Tectônica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná: controles. Tese (Professor Titular), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 148p.
- Zalán, P.V., S. Wolff, J.C.J. Conceição, M.A.M. Astolfi, I.S. Vieira, V.T. Appi e A.O. Zanotto,** 1987, Tectônica e ppi e A.O. Zanotto, 1987, Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: *Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*, 3, Curitiba. Atas... SBG, 1, 441-473.