



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA TÉRMICA DAS INTRUSIVAS ÍGNEAS NO PRINCIPAL HORIZONTE POTENCIALMENTE GERADOR DA BACIA DO PARANÁ: FORMAÇÃO IRATI

I.V.A.F. de Souza¹, J.G. Mendonça Filho², T.R. Menezes³

¹ Departamento de Geologia, IGEO, CCMN, UFRJ, igorviegas@gmail.com

² Departamento de Geologia, IGEO, CCMN, UFRJ, graciano@geologia.ufrj.br

³ Fundação COPPETEC, CENPES/PETROBRAS, taissar.FUNDACAO_PADRE@petrobras.com.br

Resumo – A Formação Irati é considerada uma das mais importantes seqüências potencialmente geradoras de hidrocarbonetos da Bacia do Paraná, sendo constituída por folhelhos e carbonatos ricos em matéria orgânica geradora de óleo. Esta formação apresenta-se, em condições normais de soterramento, imatura ou matura/supermatura quando termicamente influenciadas por intrusivas ígneas. O objetivo principal deste trabalho é analisar o comportamento dos parâmetros organopetrográficos e organogeoquímicos nas zonas afetadas termicamente por corpos ígneos, determinado o perfil de evolução térmica e caracterizando o processo de geração de hidrocarbonetos. Para tanto, foram analisadas 104 amostras da Formação Irati situadas nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Goiás. Os resultados demonstram que a sucessão sedimentar analisada apresenta qualidade e quantidade adequadas de matéria orgânica para geração de quantidades significativas de petróleo. O fator limitante, no processo natural de geração, foi o efeito térmico, que neste caso, em parte, foi fornecido por intrusivas ígneas. A presença de hidrocarbonetos migrados foi evidenciada devido à ausência de correlação entre os parâmetros ópticos e moleculares de evolução térmica. Já a espessura da seção afetada pelo efeito térmico de intrusivas ígneas depende da espessura da intrusiva, temperatura de intrusão, profundidade em que ocorreu a intrusão e, provavelmente, a condutividade térmica.

Palavras-Chave: Formação Irati; Potencial de Geração; Processo de Geração; Intrusivas Ígneas

Abstract – The Irati Formation is considered one of the most important potentially generating sequences of hydrocarbons from Paraná basin, consisting by shales and carbonates rich in oil prone organic matter. These sequences present, in normal conditions of burial, a low degree of thermal maturity or a high degree of thermal maturity when thermally altered under local influence of igneous intrusions. This study aiming the petrographical and geochemical parameters characterization in zones thermally affected by igneous bodies, in order to determining the thermal profile and characterizing the process of hydrocarbons generation. For this, have been analyzed 104 samples from Irati Formation located in the state of Rio Grande do Sul, Paraná and Goiás. The datas shown that the analysed samples present adequate quality and quantity of organic matter for generation of significant amounts of oil. The limitante factor in the natural process of generation was the thermal effect, that in this case, in part, it was supplied by igneous intrusions. The presence of migrated hydrocarbons was evidenced due a lack of relationship among optical and molecular thermal parameters. The thickness of the section affected by igneous intrusions depend the thickness, temperature and depth of intrusion and thermal conductivity.

Keywords: Irati Formation; Generating potential; Generating process; Igneous intrusions

1. Introdução

A Bacia do Paraná é uma extensa bacia intracratônica de idade Paleozóica-Mesozóica que apresenta potencial para acumulações econômicas de hidrocarbonetos. Os principais estudos são realizados no prospecto Irati-Rio Bonito-Pirambóia, para acumulação de óleo e no prospecto Ponta Grossa-Itararé, para acumulação de gás e condensado.

Dados de análises geoquímicas indicam que a Formação Irati é a mais propícia a apresentar rochas geradoras de petróleo na Bacia do Paraná, além de possuir correlação geoquímica com todas as ocorrências de óleo conhecidas, em superfície e subsuperfície. Essa formação é constituída por folhelhos e carbonatos ricos em matéria orgânica potencialmente geradora de óleo, que se encontram, em condições normais de soterramento, imaturas e maduras/supermaturos quando influenciadas termicamente por intrusivas ígneas (diques e/ou sills).

O objetivo principal deste trabalho é analisar o comportamento dos parâmetros organopetrográficos (Índice de coloração de esporos – ICE, poder refletor da vitrinite - %Ro e composição orgânica) e organogeoquímicos (Carbono Orgânico Total – COT, pirólise *Rock-Eval* e biomarcadores) em zonas afetadas termicamente por corpos ígneos, fornecendo dados sobre qualidade, quantidade e estágio de evolução térmica da matéria orgânica para a determinação do potencial de geração e caracterização do processo de geração de hidrocarbonetos. Para tanto, foram analisadas 104 amostras de três regiões da Bacia do Paraná (Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás). Este trabalho possui grande relevância para a indústria petrolífera, pois a Formação Irati ainda carece de estudos mais conclusivos no que se refere ao estágio de evolução térmica da matéria orgânica e falta ainda conhecimento sobre o processo de geração de petróleo por influência térmica de intrusivas ígneas. Esta carência de estudos se mostra mais contundente, sobretudo, na porção setentrional da Bacia do Paraná.

2. Material de Estudo

Os dados estratigráficos foram obtidos através de amostras coletadas de dois testemunhos de sondagem, localizados nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, e em afloramentos no Estado de Goiás, buscando a melhor representação das seções analisadas, visando à obtenção dos melhores resultados, para alcançar os objetivos propostos por este trabalho.

O testemunho RN 16/96 foi cedido pelo Núcleo de Exploração da Bacia do Paraná NEXPAR-PETROBRAS (Projeto SIX), localizado a sudeste do Estado do Paraná (Rio Negro). Já o testemunho 5-CA-73-RS-19, foi cedido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), realizado nos projetos *Carvão no Rio Grande do Sul, fronteira oeste Bagé-São Gabriel e Grande Candiotá*, que se encontram sumarizados no Projeto Borda Leste (DNPM/CPRM), localizado no Município Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul. As amostras coletadas do perfil estratigráfico, localizado no Município de Perolândia (na Pedreira Sucal), no estado de Goiás, foram obtidas através do Projeto CNPq/CTPETRO 2001/2002 – UnB/UFRJ intitulado “*Estudo da influência térmica das intrusões ígneas no principal horizonte potencialmente gerador da porção setentrional na bacia do Paraná: Formação Irati*”.

3. Métodos de Estudo

As análises organopetrográficas foram realizadas em microscopia de luz branca transmitida, luz branca refletida fluorescência, e forneceram dados sobre maturação térmica (ICE, %Ro) e qualidade da matéria orgânica (tipo de querogênio e grau de preservação). Já as análises geoquímicas (COT, biomarcadores e pirólise *Rock-Eval*) fornecem dados sobre a quantidade de matéria orgânica, maturação térmica, potencial de geração e indícios de óleo.

4. Resultados e Discussões

4.1. Qualidade da Matéria Orgânica

As amostras analisadas apresentam excelente qualidade de matéria orgânica para geração de petróleo, com predomínio do querogênio Tipo II/I. Na Figura 1, no geral, as amostras apresentam o predomínio de matéria orgânica amorfa com coloração de fluorescência amarela a laranja claro. Em menores proporções ocorrem esporomorfos com coloração de fluorescência amarela claro ao amarelo alaranjado e matéria orgânica lenhosa. Nas amostras coletadas no Estado de Goiás foi observada a ocorrência de betume (óleo) no intervalo de 4,5-12,7m evidenciando a presença de hidrocarbonetos. As amostras afetadas termicamente por intrusivas ígneas apresentam coloração de fluorescência marrom escuro e partículas sem fluorescência devido ao efeito térmico.



Figura 1 - Diagramas Ternários mostrando a composição orgânica das amostras analisadas.

4.2. Maturação Térmica

A Figura 2 apresenta os resultados de ICE, Ro%, COT, pirólise *Rock-eval* e a Figura 3 os resultados de ICE, COT, parâmetros da pirólise *Rock-eval* e biomarcadores das amostras coletadas no Estado do Paraná. Estes resultados indicam a presença das zonas imatura, madura e supermadura. Cabe ressaltar, que na zona supermadura (ICE 8 a 10) os resultados de biomarcadores indicam um baixo grau de evolução térmica para os extratos, sugerindo a presença de hidrocarbonetos líquidos migrados, provavelmente oriundos da zona madura situada estratigraficamente abaixo da zona supermadura (Mendonça Filho, 1994).

A Figura 4 apresenta os resultados de ICE, Ro%, COT, pirólise *Rock-eval* e a Figura 5 os resultados de ICE, COT, parâmetros da pirólise *Rock-eval* e biomarcadores das amostras coletadas no Estado do Rio Grande do Sul. De acordo com os parâmetros de maturação térmica, as amostras encontram-se na zona supermadura. Os resultados de biomarcadores também revelam a presença de hidrocarbonetos migrados, pelos mesmos motivos observados nas amostras localizadas na zona supermadura do Estado Paraná.

A Figura 6 mostra o perfil de evolução térmica das amostras coletadas no Estado de Goiás, sendo possível constatar a presença das zonas supermadura e imatura/madura.

4.3. Caracterização da Presença de Hidrocarbonetos

A caracterização da presença de hidrocarbonetos foi realizada com base na correlação dos resultados de COT e da pirólise *Rock-Eval*.

No Estado do Paraná, as amostras situadas dentro da zona supermadura, estão divididas em três seções de acordo com suas características geoquímicas. A zona supermadura apresenta teores de COT variando de 0,98 a 17,34% (média = 5,6% e desvio padrão = 4,38%). A variação dos valores de COT ao longo da zona supermadura provavelmente está relacionada à presença de acumulação de petróleo, de conversão e eliminação de hidrocarbonetos e de carbono orgânico residual. A seção 1, que ocorre acumulação de hidrocarbonetos, caracteriza-se por elevados valores de COT de S1 (hidrocarbonetos presentes na amostra), de S2 (potencial de geração), de IH (índice de hidrogênio) e de IP (índice de produção/razão de transformação). A seção 2 onde ocorre conversão e eliminação de hidrocarbonetos possui baixos valores de COT, S1, S2, IH e elevados valores de IP. A seção 3 onde ocorre à formação de carbono orgânico residual possui elevados valores de COT e IP e baixos valores de S1, S2 e IH.

Na zona madura os valores de COT são inferiores a 4% apresentam. Esses valores de COT e os valores dos parâmetros da pirólise *Rock-Eval* sugerem que esta porção da seção estudada passou pelos processos de geração e migração de hidrocarbonetos.

A zona imatura apresenta baixos valores de COT (0,54 a 0,75%), com exceção da amostra que apresenta COT de 3,24%. As amostras com baixos teores de COT apresentam o predomínio de matéria orgânica lenhosa (querogênio tipo III), enquanto que a amostra com COT de 3,24% apresenta um predomínio de querogênio Tipo II (matéria orgânica liptinitica).

As amostras coletadas no Estado do Rio Grande do Sul estão na zona supermadura e caracteriza-se por valores de COT entre 0,62 a 2,95% e baixos valores de S1, S2 e IH e elevados valores de IP. A Figura 4 mostra os valores de COT, S1, S2, IH e IP, das amostras coletadas no Estado do Rio Grande do Sul, variando com a profundidade. Esses resultados geoquímicos evidenciam a conversão e eliminação do carbono orgânico, provavelmente, na forma de hidrocarbonetos, ocorrida sob a influência local de intrusivas ígneas. Entretanto, possui uma baixa quantidade de hidrocarbonetos migrados, confirmados pelos biomarcadores. Os elevados valores de IP, para as amostras analisadas, podem ser um reflexo do estágio mais elevado de evolução térmica em que se encontram tais amostras ou ser consequência dos valores pouco significativos dos picos S1 e S2 da pirólise *Rock-Eval* (Mendonça Filho, 1994).

As análises geoquímicas não foram realizadas nas amostras coletadas no Estado de Goiás. Entretanto, a presença de hidrocarbonetos pode ser constatada através da análise microscópica. Na Figura 7, as fotomicrografias A, B, C e D mostram a presença de óleo provavelmente produzido pelo efeito térmico da intrusiva ígnea. As

fotomicrografias E e F mostram a presença de betume sólido (betuminita?) formado provavelmente pela transformação microbológica da matéria orgânica (característica singenética).

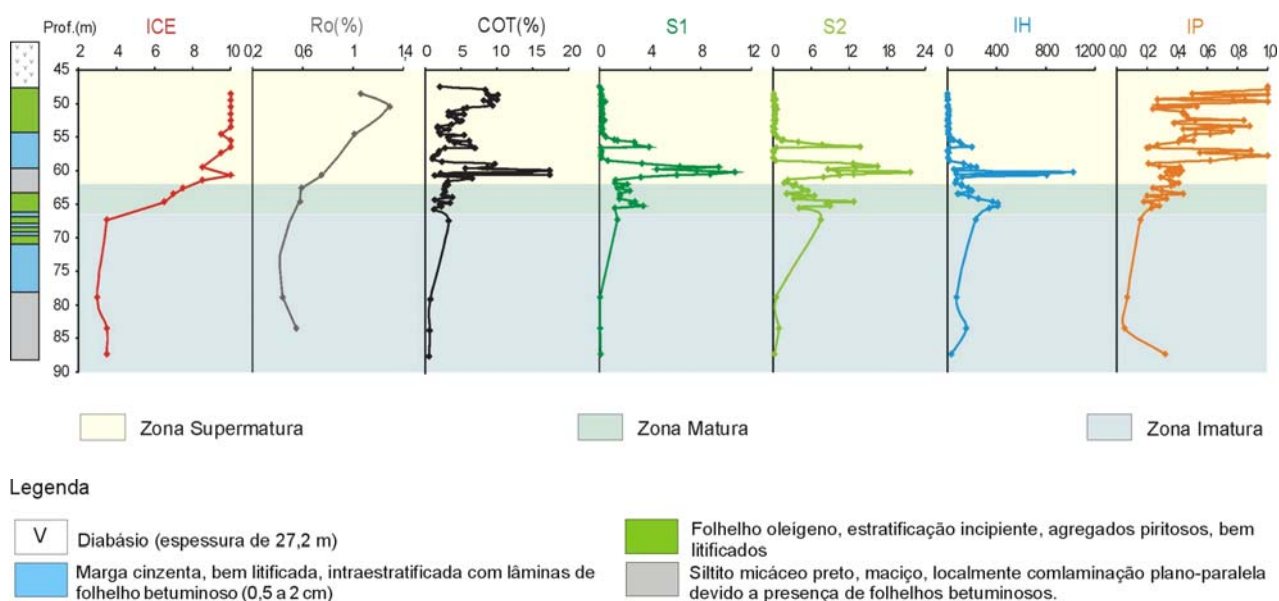


Figura 2 - Correlação entre os parâmetros organopetrográficos e organoquímicos das amostras do Estado do Paraná.

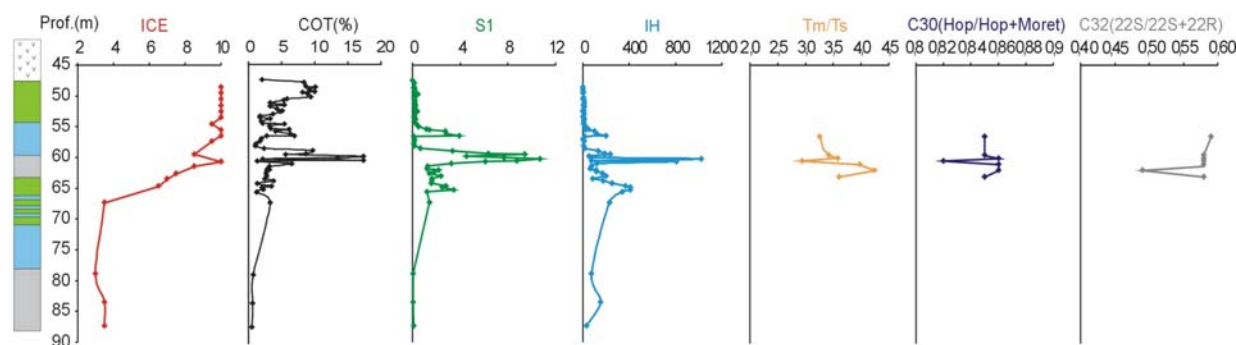


Figura 3 – Correlação entre os parâmetros organopetrográficos, organoquímicos e os moleculares das amostras do Estado do Paraná.

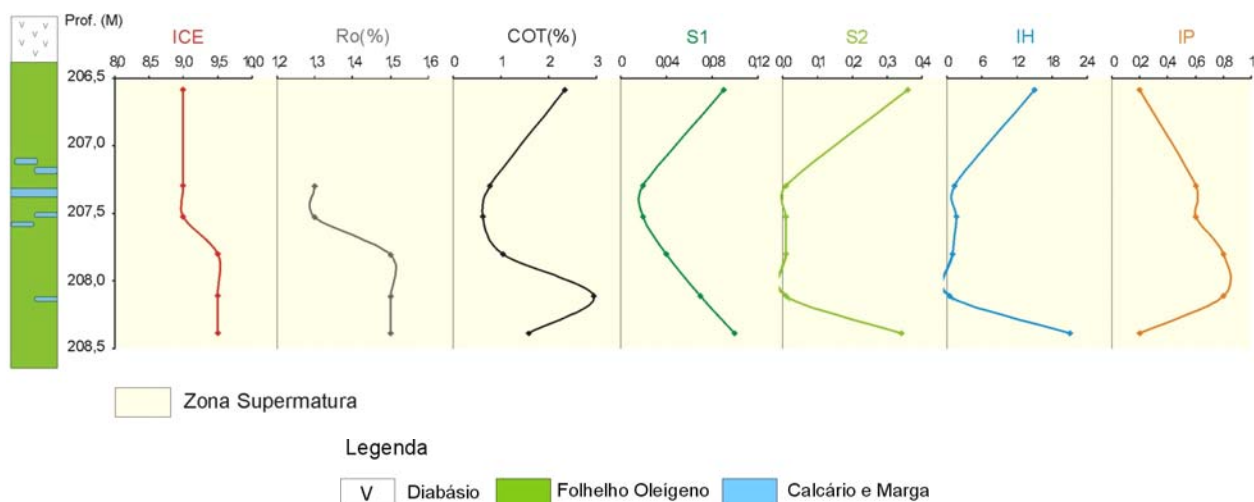


Figura 4 - Correlação entre os parâmetros organopetrográficos e organoquímicos das amostras do Estado do Rio Grande do Sul.

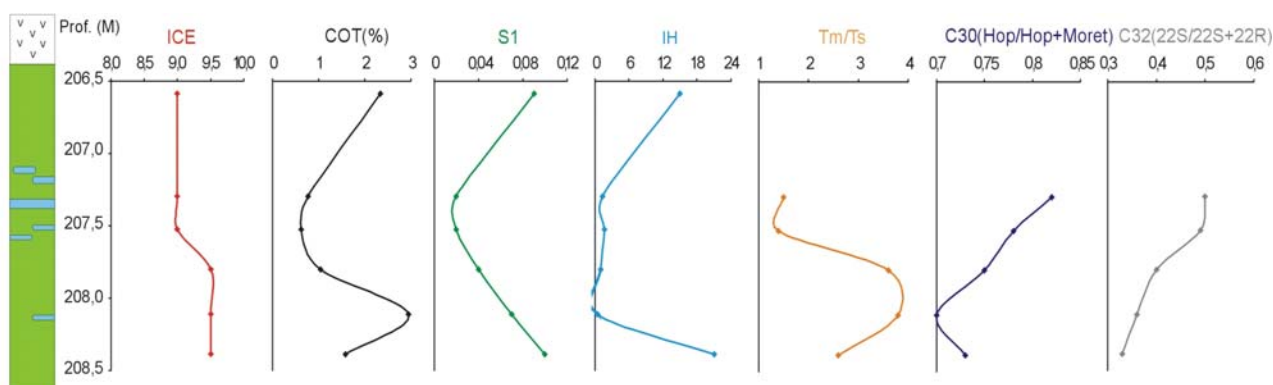


Figura 5 - Correlação entre os parâmetros organopetrográficos, organogeoquímicos e moleculares das amostras do Estado do Rio Grande do Sul.

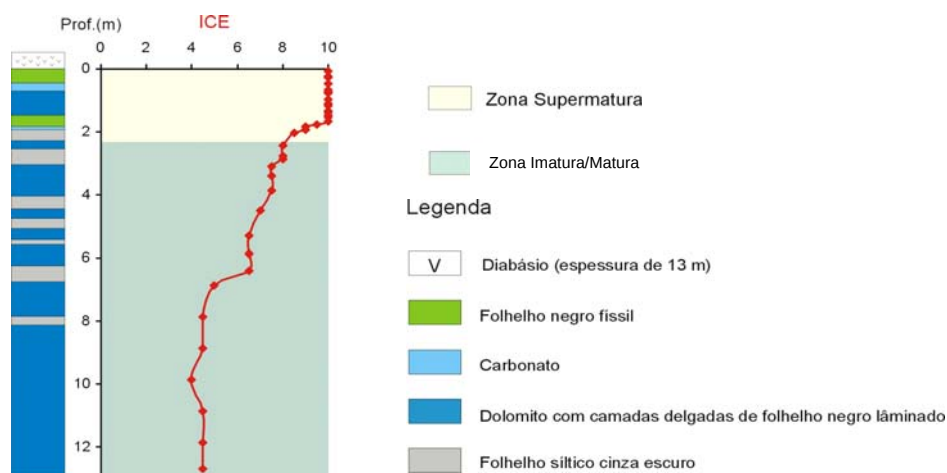


Figura 6 - Perfil de Evolução térmica das amostras coletadas no Estado de Goiás

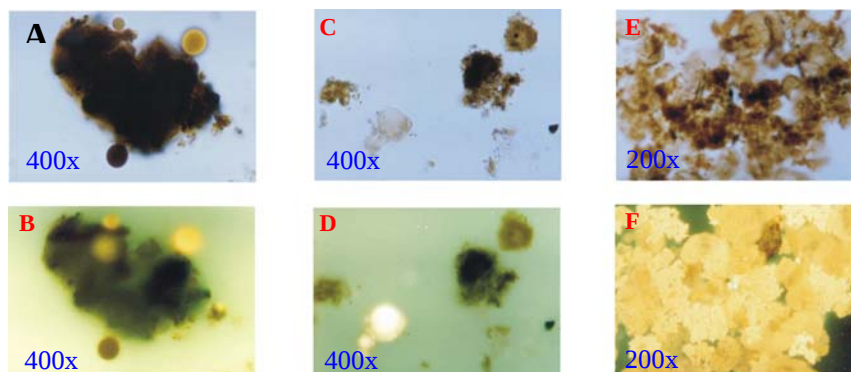


Figura 7 – Betume (A,C e E – luz branca transmitida, B, D e F – fluorescência)

4.4. Influência Térmica das Intrusivas Ígneas

Com base nos dados obtidos, observou-se a ocorrência do processo de geração de hidrocarbonetos por influência local de intrusivas ígneas. Com os parâmetros de maturação térmica (ICE e Ro%) foi possível determinar a espessura da Formação Irati afetada pelo efeito térmico da intrusiva ígnea. O testemunho RN 16/96, apresenta uma intrusiva ígnea com espessura de 27,2 m que afeta termicamente 18,6 m de espessura da Formação Irati, dos quais 14,4 m foram caracterizados como zona supermatura e 4,2 m foram caracterizados como zona madura. A razão *espessura afetada termicamente por espessura da intrusiva ígnea* é de 0,68, a razão *espessura da zona madura por espessura da intrusiva ígnea* é de 0,15 e a razão *espessura da zona supermatura por espessura da intrusiva ígnea* é de 0,53. No perfil realizado no Estado de Goiás, a espessura da intrusiva ígnea é de 13 m e a espessura da zona supermatura é de 2,4 m. Com a amostragem, realizada neste perfil (Suc), não foi detectado a presença da zona imatura, devido à impossibilidade técnica. A razão *zona supermatura por espessura da intrusiva ígnea* é de 0,18.

Com os resultados obtidos nos dois estados, não é possível determinar uma relação direta entre a espessura da intrusiva ígnea e a espessura termicamente afetada, além de não ocorrer uma relação entre a espessura da intrusiva ígnea com a espessura das zonas matura e supermatura, pois a região supermatura, no testemunho realizado no Paraná, é bem maior que a matura, ocorrendo o oposto, no perfil realizado no Estado de Goiás.

Dos Anjos & Guimarães (2003) observaram na Pedreira Sucal, nas rochas carbonáticas no contato com a intrusiva ígnea, a ocorrência de serpentina, que por sua vez diminui a quantidade com o aumento da distância, dando lugar ao aparecimento de talco. Estes dois minerais têm uma composição química semelhante, sendo assim a estabilidade pode estar relacionada com a disponibilidade de sílica no sistema, uma vez que ambos podem ser estáveis a temperaturas inferiores a 800°C (Deer *et al.*, 1966). Vasconcelos *et al.* (2003) observaram a presença de sanidina nas rochas encaixantes dos sills localizados no Estado do Paraná, caracterizando a ocorrência da fácies sanidinito que possui temperaturas superiores a 900°C. Através destas constatações foi evidenciada a diferença de temperatura das intrusões ocorridas no Estado do Paraná e no Estado de Goiás, com uma diferença de no mínimo 100°C.

Através destas interpretações foi possível constatar que a influência térmica não depende unicamente da espessura da intrusiva ígnea, mas depende, também, de outros fatores: temperatura de intrusão do corpo ígneo, profundidade em que ocorreu a intrusão e, provavelmente, a condutividade térmica da rocha encaixante (composição mineralógica, composição orgânica, permeabilidade, porosidade e fluidos presentes) que explicaria as diferenças que ocorreram nos dois estados, pois a região supermatura, no testemunho realizado no Paraná, é bem maior que a matura, ocorrendo o oposto no perfil realizado no Estado de Goiás. Os fatores que influenciam no tamanho da zona afetada termicamente, também agem sobre as razões de influência térmica, por isso as razões são maiores no Estado do Paraná, devido a maior temperatura de intrusão da rocha ígnea, exceto a razão zona matura por tamanho da intrusiva ígnea, que no Estado de Goiás é mais elevada, devido, provavelmente, a diferença litológica da rocha encaixante, pois neste afloramento estudado, ocorre um predomínio de carbonatos e dolomitos.

5. Conclusões

As amostras da Formação Irati, analisadas através das técnicas organopetrográficas e organogeoquímicas, apresentam qualidade e quantidade adequadas de matéria orgânica para geração de hidrocarbonetos. O fator limitante, no processo natural de geração, foi o efeito térmico, que neste caso, em parte fornecido pelas intrusivas ígneas (diques e/ou sills). No Estado do Paraná ocorre as três zonas de maturação (supermatura, matura e imatura). A variação dos valores de COT ao longo da zona supermatura, nas amostras coletadas neste estado, provavelmente está relacionada à presença de acumulação de petróleo, de conversão e eliminação de hidrocarbonetos e ocorrência de carbono orgânico residual. Já as amostras coletadas no Estado do Rio Grande do Sul, foram caracterizadas como supermaturs. Os resultados geoquímicos dessas amostras sugerem a ocorrência de conversão e eliminação de hidrocarbonetos nesta seção. No Estado de Goiás foi constatada a ocorrência das zonas supermatura e matura. A discordância entre os parâmetros petrográficos e moleculares, referentes ao estágio de evolução térmica, e as análises de pirólise *Rock-Eval* indicam a presença de hidrocarbonetos migrados nas seções situadas nos estados do Paraná e do Rio Grande do Sul. No Estado de Goiás, a evidência de hidrocarbonetos foi constatada pelas análises organopetrográficas (presença de gotas de óleo – betume). A influência térmica sofrida pelas amostras da Formação Irati em contato com corpos ígneos não depende unicamente da espessura da intrusiva ígnea, mas depende, também, de outros fatores: temperatura de intrusão do corpo ígneo, profundidade em que ocorreu a intrusão e, provavelmente, a condutividade térmica da rocha encaixante, os quais explicariam as diferenças que ocorreram nos resultados das áreas estudadas.

Levando em consideração o tamanho da Bacia do Paraná (1.400.000 km²), a espessura da Formação Irati (alguns centímetros a 240 m), o grande número de intrusões ígneas ocorridas durante o magmatismo Serra Geral e a ocorrência do processo de geração de petróleo por influência térmica de intrusivas ígneas, é possível afirmar que ocorreu a geração de quantidades significativas de petróleo nesta bacia.

6. Referências Bibliográficas

- DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J. An introduction to the rock forming minerals. London. Longmans, Green and Co., 559p, 1966.
- DOS ANJOS, C.W.D., GUIMARÃES, E.M. Evidências de Metamorfismo de Contato nas Rochas da Formação Irati, em Goiás. In: IX Congresso Brasileiro de Geoquímica, Belém, PA. *Anais...*p.587-589, 2003.
- MENDONÇA FILHO, J.G. Estudo Petrográfico e Organogeoquímico de amostras de folhelhos da Formação Irati, Permiano Superior da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 248 pp, 1994.
- PADULA, V.T. Oil-Shale of Permian Irati Formation, Brazil. AAPG Bull., 53(3):591-602, 1969.
- VASCONCELOS, E.M.G., PETERSOHN, E., BARBOSA, M.A.D., VANZELA, G.A., MANCINI, F., PINESE, J.P.P., CÂNDIDO, A.G. Estudo Petrográfico e Geoquímico de Sills Encaixados nas Rochas Sedimentares da Formação Irati no Estado do PR. In: IX Congresso Brasileiro de Geoquímica, Belém, PA. *Anais...*p. 642-644, 2003.