CICLOESTRATIGRAFIA DO EOPERMIANO - ESTUDO DE CASO NO GRUPO ITARARÉ, BACIA DO PARANÁ (PARTE 1): UMA METODOLOGIA PARA PREPARAÇÃO DE DADOS DE PERFIL E ROCHA

JOSÉ GUILHERME RODRIGUES DA SILVA¹, NILO CHAGAS DE AZAMBUJA FILHO²

Abstract *CYCLOSTRATIGRAPHY OF LOWER PERMIAN – CASE STUDY IN ITARARÉ GROUP, PARANÁ BASIN (PART I): A METHODOLOGY FOR LOG AND ROCK DATA PREPARATION* This study presents a methodology of data preparation for cyclostratigraphic analysis, using core and gamma ray log data from two wells drilled by CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) to coal research, one in Santa Catarina state (7-RL-04-SC) and other in Rio Grande do Sul state (IB-93-RS). The wells sampled rocks from Lower Permian Itararé Group, Paraná Basin, originally deposited in glacial, periglacial and marine environments. The distance between the original locations of the cores (about 380 km) made it possible to test, afterward (Cyclostratigraphy of Lower Permian – Case Study in Itararé Group, Paraná Basin (PART II), in this same publication), the astronomic forcing in different locations of the basin. Two methods of data sampling were used, according to data scale and the possible forcing: the gamma ray logs were digitized and sampled at 1 cm intervals, in order to test the presence of orbital forcing (20,000 to 400,000 years) or other forcing phenomena (3,000 to 10,000 years), and the cores were scanned in the intervals with rhythmites and transformed in gray scale data sampled equally (0.2538 mm), in order to search for annual to millenarian cycles. The process of core data preparation before scanning required a detailed elimination of small fractures and sedimentary structures as ripples, to avoid distortions in the final results.

Keywords: cyclostratigraphy, Itararé Group, Lower Permian.

Resumo Este trabalho apresenta uma metodologia de preparação de dados para análise cicloestratigráfica. Foram utilizados testemunhos e perfis de raios gama de dois poços que amostraram rochas do Grupo Itararé, Eopermiano da Bacia do Paraná, originalmente depositadas em ambiente glacial, periglacial e marinho. Os poços, um em Santa Catarina (7-RL-04-SC) e outro no Rio Grande do Sul (IB-93-RS), foram perfurados pela CPRM para pesquisa de carvão mineral e a distância entre eles (cerca de 380 km) possibilitou testar, posteriormente (Cicloestratigrafia do Eopermiano – Estudo de caso no Grupo Itararé, Bacia do Paraná (Parte II), nesta mesma edição), a influência da indução astronômica em localidades distintas da bacia. Dois métodos de amostragem foram utilizados, de acordo com a escala dos dados e com a possível indução: os perfis de raios gama foram digitalizados e amostrados em intervalos de 1 cm, para testar a presença dos ciclos orbitais na escala de 20 mil a 400 mil anos, ou outros fenômenos indutores na escala de 3 mil a 10 mil anos, e os testemunhos foram escaneados nos intervalos com ritmitos e transformados em dados em escala de cinza equiespaçados (0,2538 mm), objetivando a busca por ciclos anuais a milenares. A preparação dos dados dos testemunhos para a digitalização no *scanner* necessitou de um tratamento minucioso de eliminação, nas imagens, de pequenas fraturas e estruturas sedimentares, tais como ripples, para que as mesmas não comprometessem o resultado final.

Palavras-chave: cicloestratigrafia, Grupo Itararé, Eopermiano.

INTRODUÇÃO Dados litológicos ou derivados de rochas (geoquímicos, abundância de fósseis, etc.) podem ser convertidos em valores numéricos a partir da codificação ou da subdivisão em pequenos intervalos para os quais são calculadas porcentagens, permitindo assim a análise através de séries temporais (Schwarzacher, 1987; Cottle, 1989; Azambuja Filho, 1990). A mesma conversão pode ser realizada a partir de dados de perfis elétricos, onde a grandeza medida é a distância entre os picos de amplitude (espessura das variações litológicas) na curva do perfil. Outra forma de transformar informações litológicas em valores numéricos é a utilização do *scanner*. Escanear um trecho de testemunho significa transformar as diferenças de coloração e espessura das camadas em dados digitais, ou seja, valores numéricos (Shaaf & Thurow 1994, Pike & Kemp 1996). Esses dois últimos métodos foram utilizados na obtenção dos dados desse estudo, representando, porém, escalas de trabalho distintas: os perfis tendem a mostrar as mudanças de larga escala, relacionadas às variações relativas do nível do mar. Os testemunhos, além dessas, registram também variações climáticas de mais alta frequência. Trabalhar nas duas escalas possibilita a identificação de forma mais completa dos mecanismos de indução externa atuaram na sedimentação. Esse artigo e o denominado “Cicloestratigrafia do Eopermiano – Estudo de caso

no Grupo Itararé, Bacia do Paraná (Parte II): evidências de indução astronômica (orbital e solar) no clima e na sedimentação” (a partir daqui denominado CEGI-2), nessa mesma publicação, são o resultado do estudo da influência desses mecanismos nas oscilações e variações cíclicas climáticas e dos efeitos das últimas na sedimentação (Silva 2001).

Foram escolhidos dois testemunhos com registros expressivos de ritmitos e folhelhos das rochas do Grupo Itararé, provenientes de dois poços perfurados pela Superintendência Regional do Rio Grande do Sul da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) para a exploração de carvão mineral. Os poços foram selecionados também por suas posições geográficas distantes (aproximadamente 380 km), para tentar observar a indução astronômica em locações distintas da bacia. A localização dos testemunhos se encontra na figura 1. São eles:

7-RL-04-SC (Projeto Rio Laranjeiras número 4), perfurado em 1979 em Anitápolis, Santa Catarina. Coordenadas UTM = 6919350 m; 673620 m. Folha SG-22-Z-C-VI. Possui 191 m de rochas do Grupo Itararé.

IB-93-RS (Projeto Irui-Butiá número 93), perfurado em 1981 em Butiá, Rio Grande do Sul. Coordenadas UTM = 6667000

1 - PETROBRAS – E&P Exploração e Produção - UN-Bacia do Espírito Santo - Av. Fernando Ferrari, 845 UFES – Goiabeiras - 29060-973 - Vitória, ES, Brasil jguilherme@petrobras.com.br

2 - PETROBRAS – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Av. Jequitibá, 950 – Cidade Universitária - Ilha do Fundão 21941-598 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil niloazambuja@petrobras.com.br

m; 389000 m. Folha SH-22-Y-B-I. Possui 71 m de rochas do Grupo Itararé.

GRUPO ITARARÉ As rochas do Grupo Itararé (Gordon 1947 apud França & Potter 1988), nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, possuem idade Eopermiana (Daemon & Quadros 1970, Cazzulo-Klepzig *et al.* 1980, Marques-Toigo *et al.* 1989, Lopes *et al.* 1991, Marques-Toigo 1991, Dias 1993a, Dias 1993b, Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig 1993), representando deposição em ambiente glacial, periglacial e marinho (Castro 1980, Tomazelli & Soliani Jr. 1982, Aboarrage & Lopes 1986 apud Lopes 1995, Marques-Toigo *et al.* 1989, Machado 1989, Castro 1991, Castro e Schneider 1993, Canuto 1993, Dias 1993a, Dias 1993c, Machado 1994, Castro 1995, Lopes 1995, Holz 1995a, Holz 1995b, Santos *et al.* 1996, Silveira, 2000).

ANÁLISES QUANTITATIVAS DE CICLOS SEDIMENTARES As variações periódicas da órbita da Terra ao redor do Sol foram quantificadas primeiramente por Milankovitch em 1941. Os ciclos induzidos por essas variações atualmente são denominados de Ciclos de Milankovitch, e eles têm três prin-

cipais componentes relacionados a aspectos da órbita e inclinação do eixo da Terra, o que afeta a recepção e distribuição do calor oriundo do Sol: excentricidade, obliquidade e precessão. A órbita da Terra ao redor do Sol é elíptica e possui duas principais variações da sua órbita as quais possuem periodicidades de aproximadamente 413 Ka e 100 Ka. A obliquidade, ou seja a variação do grau de inclinação do eixo da terra em relação a sua órbita ao redor do Sol tem uma periodicidade de aproximadamente 41 Ka. A precessão dos equinócios muda progressivamente a medida em que as estações mudam em função da posição relativa da órbita da Terra ao redor do Sol, possui duas principais periodicidades 19 Ka e 23 Ka. Segundo Matthews and Frohlich (1991), devido à interferência desses ciclos, estima-se que possam ser gerados ciclos climáticos de longo período os quais poderiam atingir algo em torno de 2.4 Ma. Maiores detalhes serão discutidos mais adiante neste artigo.

No Rio Grande do Sul, a borda do Escudo Rio-Grandense é cortada por várias sub-bacias, interpretadas como paleovales ou paleofiorde (Aboarrage & Lopes 1986 apud Lopes 1995, Holz 1995a, Santos *et al.* 1996), preenchidas pelas rochas do Grupo Itararé, que se alargam em direção à Bacia do Paraná. Suas dimensões variam de centenas de metros a poucos quilômetros até depressões de 90 quilômetros de largura por 160 metros de profundidade (Santos *et al.* 1996), preenchidas por seqüências de fácies de fluxo de detritos (nos flancos e no fundo dos vales) interdigitadas com fácies fluviais e lacustrinas. Um desses paleovales é denominado Leão, onde se localiza o poço IB-93-RS, utilizado nesse trabalho (Dias 1993a, Lopes 1995, Holz 1995a, Santos *et al.* 1996, Silveira 2000) (figura 1).

Quanto à região sudeste de Santa Catarina, foi dividida em províncias por Castro (1991), seguindo as características deposicionais presentes no Eopermiano, sendo denominada província de Alfredo Wagner aquela onde se localiza o poço 7-RL-04-SC (figura 1), a qual teria agido como um centro de glaciação ativo, devido à permanência das condições glaciais. Os sedimentos do Grupo Itararé na região estão representados, na base, por camadas delgadas de tilitos de alojamento, depositados sobre uma superfície erosiva esculpida pelo gelo, sobrepostas por varvitos e diamictitos de fluxo. Esses últimos diminuem gradualmente de espessura, sendo cobertos por folhelhos marinhos. Acima, ocorrem arenitos de leques de lavagem subaquosos, recobertos por diamictitos, arenitos e siltitos capeados por varvitos, folhelhos e siltitos. Essa associação indica que o nível relativo do mar variou de acordo com o avanço e recuo das condições glaciais (Machado 1989, Castro 1991, Castro e Schneider 1993, Canuto 1993, Castro 1995, Santos *et al.* 1996). Segundo Machado (1989), Castro (1991) e Santos *et al.* (1996), essas seqüências depositaram-se em reentrâncias ou *inlets* costeiros isolados, em certos períodos, pelas oscilações do nível do mar.

METODOLOGIA Uma série temporal de sedimentos ou rochas sedimentares pode ser construída a partir de uma amostragem contínua, coletada a intervalos iguais (Schwarzacher, 1987). O intervalo de amostragem (IA) em espessura, segundo a teoria da amostragem (Weedon 1991, Chatfield 1989), deve ser tal que o comprimento de onda de interesse, ou seja, a menor espessura amostrada, contenha pelo menos dois intervalos de amostragem.

Imagens digitais são formadas por porções, ou celas, que formam uma matriz com endereços cartesianos X e Y definidos, com origem no canto superior esquerdo. Cada cela recebe o nome de pixel e possui um atributo numérico denominado número digital que corresponde à média da intensidade de energia refletida ou emitida pela imagem no pixel (Rossetti 1996). Adquirindo-se uma imagem amostrada em 8 bits, os valores do número digital para cada pixel representam diferentes tons de

Figura 1 – Mapas de localização e de isópacas. Mapa superior: contexto geológico onde se insere o testemunho 7-RL-04-SC, na unidade superior do Grupo Itararé, em Santa Catarina, segundo Castro (1991), e as províncias definidas por esse autor: RS=Rio do Sul; I-AW=Itaporanga-Alfredo Wagner; A=Anitápolis; AW=Alfredo Wagner; LM=Lauro Miller. Mapa inferior: região dos paleovales de Capané, Leão e Leão-Mariana Pimentel, preenchidos por rochas do Grupo Itararé (Lopes 1995). O poço IB-93-RS está inserido no contexto geológico do paleovale Leão.

cinza, variando entre 0 e 255 (256 valores, sendo 0 correspondente a branco e 255 a preto).

É necessário, portanto, que a dimensão de cada pixel seja compatível com a amostragem que se deseja fazer, ou seja, no mínimo, a metade da dimensão da menor camada observada. Da mesma forma, os atributos da rocha precisam ser levados em conta. No caso dos ritmitos estudados, formados por intercalações de siltito e folhelho, as variações de coloração se encontram na faixa do espectro de tons de cinza, perfeitamente reproduzíveis na escala de 0 a 255.

Dados dos testemunhos A premissa básica para a escolha dos testemunhos foi a presença de ritmitos, de forma a possibilitar o teste da ocorrência de alguma periodicidade, fosse ela anual (varvitos), como sugere grande parte da literatura sobre o Grupo Itararé, ou outra periodicidade qualquer. Os trechos de testemunho trabalhados possuem espessura total de ritmitos compatível com o objetivo do trabalho. Outro fator impositivo foi a ausência de estruturas sedimentares que implicassem em variação na espessura de cada lâmina rítmica individualmente (por exemplo, ondulações) e na conseqüente distorção dos resultados. Conseqüentemente, o topo das lâminas dos ritmitos foi considerado praticamente plano para distâncias laterais consideráveis, relativas ao contexto do ambiente em que foram depositados. As profundidades apresentadas no texto são as medidas originalmente, pela CPRM, quando da amostragem dos testemunhos.

DESCRIÇÃO DOS TESTEMUNHOS A análise por séries temporais dos dois poços, descrita em artigo nessa mesma revista (CEGI-2), foi feita utilizando-se os perfis elétricos e os trechos dos testemunhos. O estudo foi dividido, então, em duas escalas de trabalho distintas: uma maior, a dos testemunhos, e outra menor, a dos perfis, sendo que descrições mais detalhadas resumem-se aos trechos de testemunho escaneados e utilizados para a análise (290,08 a 290,46 m para o testemunho IB-93-RS e de 525,47 a 526,70 m para o testemunho 7-RL-04-SC).

Para o poço IB-93-RS foram feitas também descrições simplificadas de toda a seção, desde a base até a profundidade de 290,82 m.

Testemunho do poço 7-RL-04-SC O intervalo escaneado do poço em questão (525,47 a 526,7 m) possui uma espessura total de 1,23 m, sendo formado por pares de lâminas alternadas de siltito cinza claro e folhelho cinza escuro, caracterizando uma

seqüência rítmica (Einsele *et al.* 1991) (figura 2). O contato entre as lâminas de siltito e folhelho é abrupto. Não foram obser-

Figura 3 – Fotomicrografia mostrando um clasto pingado de arenito pouco litificado intrabacinal, amoldado e suavemente estirado devido à compactação. Notar a chuva de detritos na base da lâmina de siltito (C).

Figura 4 – Fotomicrografia do interior de um clasto pingado. Detalhe do grão (M) de microclínio (230 mm). Nicóis cruzados.

Figura 2 – Fotografia de parte do testemunho 7-RL-04-SC. Pode-se ver a ritmicidade dos pares de lâminas de siltito e folhelho formando feixes. Nota-se as ripples unidirecionais e alguns clastos pingados.

Figura 5 – Fotomicrografia (topo para a direita). Nota-se a passagem abrupta das lâminas de siltito (claras) para as de folhelho e a extinção conjunta dos argilominerais nos folhelhos: preservação da orientação original de deposição. Nicóis cruzados.

Figura 6 – Agregados framboidais de pirita (P) disseminados em lâmina de siltito. A lâmina mostra também intraclastos de matéria orgânica (M) e uma fratura preenchida por carbonato. Luz oblíqua (fibra ótica).

Figura 7 – Pirita framboidal disseminada brilhando em luz oblíqua.

vadas bioturbações.

A espessura das lâminas de siltito varia entre 0,1 e 0,5 cm, chegando a até 1,1 cm, e a das lâminas de folhelho de 0,1 a 0,2 cm de espessura média. As lâminas de siltito apresentam internamente ripples unidirecionais com parte do foreset preservado (figura 2). A base de cada lâmina é marcada por uma fina deposição de chuva de detritos provenientes de icebergs (figura 3).

Os pares se agrupam em feixes assimétricos de três a sete pares, de espessura crescente para o topo, os quais se agrupam em feixes assimétricos maiores de até trinta pares, com as mesmas características (figura 2). Da base até o topo do intervalo escaneado existem aproximadamente 413 pares. Observa-se uma grande quantidade de clastos pingados nos ritmitos, cuja granulometria varia de areia fina a seixo. Lâminas petrográficas mostraram que esses clastos são formados predominantemente por quartzos facetados e arenitos intrabaciais pouco litificados (figura 3).

Os clastos de arenitos intrabaciais mostram contato gradacional com as lâminas do ritmito e se amoldaram com a compactação, sendo formados por grãos de quartzo, plagioclásio, alguns microclínios e por intraclastos de matéria orgânica lenhosa, rochas graníticas e folhelhos. A presença dos plagioclásios e microclínios com pouca ou nenhuma alteração caracteriza o clima seco glacial, com pouco intemperismo químico (figura 4).

As lâminas de folhelho apresentam extinção conjunta na lâmina petrográfica, caracterizando a preservação da orientação original da deposição (fissilidade primária) (figura 5).

Agregados framboidais de pirita, disseminados e na escala de micrômetros, são comuns (figuras 6 e 7). Ramos & Formoso (1975) comentaram que o grau de diagênese parece não ser elevado nas rochas do Grupo Itararé. Os frambóides de pirita corroboram esse fato, pois são formados durante as fases iniciais da diagênese (em contraste com piritas euédricas, das fases posteriores), sob condições anóxicas, pela redução do sulfato de águas marinhas ou salobras pela ação de bactérias anaeróbicas (Raiswell 1982, Postma 1982, Bloch & Krouse 1992). Geram-se normalmente em sedimentos finos com conteúdo significativo de matéria orgânica, onde a água contida nos poros está em conexão de difusão livre com a água acima da coluna sedimentar (Postma 1982). Concentrações de sulfato dissolvido em água doce são, em média, muitas centenas de vezes menores, que na água salgada, sendo rápida e totalmente consumidas em

profundidades de poucos centímetros de sedimento, restando pouca pirita e muita matéria orgânica. Logo, contrastando com sedimentos marinhos, nos sedimentos de água doce o sulfato é o principal controlador da formação de pirita (Berner 1984). Portanto, a grande quantidade de pirita framboidal dos ritmitos indica que a deposição se deu em ambiente marinho ou de águas salobras.

No meio do intervalo escaneado existe uma pequena falha de rejeito quase imperceptível. Isso obrigou a divisão do intervalo para a análise em duas partes, mas não representou problema, pois ambas continham espessura suficiente para satisfazer as premissas para uma análise cicloestratigráfica.

Acima do intervalo estudado as lâminas dos pares diminuem de espessura, gradando para um folhelho laminado. O restante da seção do 7-RL-04-SC está descrito na figura 8, juntamente com o perfil de raios gama.

Testemunho do poço IB-93-RS O testemunho apresenta, na base, um diamictito de aproximadamente 25 m de espessura e matriz de granulação areia fina a média, em contato discordante com um granito a K-feldspato, representando a base do Grupo Itararé. Possui clastos milimétricos a centimétricos, chegando a decimétricos, imersos na matriz, na maior parte de composição granítica. Clastos de folhelho são menos comuns, aumentando de proporção para o topo. Acima do diamictito ocorre um arenito grosso, de cerca de 1 m de espessura, com lâminas internas milimétricas de siltito, deformado por dobras convolutas, evidenciando escorregamento.

A partir de 334 m inicia-se uma sucessão de depósitos rítmicos com gradação normal, o primeiro de arenito muito fino e folhelho e os demais, até a profundidade de 290 m, formados por pares de siltitos laminados e folhelhos.

A passagem das camadas de siltito para folhelhos é gradual, sendo difícil reconhecer seus limites. A espessura das camadas dos siltitos varia de decímetros a metros e dos folhelhos de milímetros a centímetros. Esses ritmitos, como os do 7-RL-04-SC, podem ser classificados como pertencendo a uma sequência rítmica (Einsele *et al.* 1991).

As camadas de siltito são marcadas na base por pequenas estruturas de carga, ocasionais clastos pingados milimétricos a submilimétricos e evidências de erosão. Raras ondulações ocorrem no topo de lâminas milimétricas de arenito muito fino internas aos siltitos, na base da seção, mostrando gradação normal ou ripples unidirecionais, onde a parte inferior dos foresets foi preservada. Bioturbações no plano da base das camadas tornam-se freqüentes à medida que a espessura diminui para o topo da

Figura 8 – Perfil de raios gama e descrição litológica do poço 7-RL-04-SC

Figura 9 – Trecho do intervalo escaneado do testemunho IB-93-RS.

Figura 10 – Fotomicrografia: lâminas milimétricas de siltito (claras), com gradação normal, e de folhelho. Notar a grande quantidade de clastos pingados de quartzo facetado.

seção, diferenciando o ambiente de deposição desses ritmitos daqueles do 7-RL-04-SC e sugerindo águas mais oxigenadas, com maior conteúdo de nutrientes.

A espessura dos pares torna-se cada vez menor para o topo do testemunho, até tornar-se milimétrica. O intervalo escaneado (290,08 a 290,46 m) faz parte dessa intercalação milimétrica (figura 9). Toda a seção do IB-93-RS até a profundidade de 290,46 m apresenta cerca de 561 pares. Especificamente no intervalo escaneado pode-se observar que os pares se agrupam em feixes de três, sete e até mais de vinte pares, com espessura crescente para o topo.

Lâminas petrográficas evidenciam vários clastos pingados submilimétricos, depositados principalmente na base das lâminas de siltito (figura 10), eventualmente formando lâminas de chuva de detritos. São constituídos, na maioria, por quartzo facetado e, subordinadamente, intraclastos de arenito intraformacional, onde se reconhecem grãos de plagioclásio pouco alterados (figura 11).

Os ritmitos descritos podem ser classificados como turbiditos. Sua sequência de empilhamento, com camadas diminuindo de espessura para o topo e raras ondulações, na base do testemunho, mimetizando as características petrográficas e faciológicas ao

longo da seção, caracteriza um distanciamento gradativo da área fonte, ou subida do nível de base, com os turbiditos tornando-se mais distais e formados por fluxos de baixa densidade.

Depósitos bem semelhantes, a nordeste da área em estudo, foram classificados por Holz (1995a) como "turbiditos distais com granulometria muito fina e fraco componente trativo, não permitindo o desenvolvimento de ondulações", tendo sido formados em lagos de influência glacial, sem contato direto com o gelo.

Machado (1994) identificou no paleovale de Candiota (RS) ritmitos com características semelhantes. Classificou-os como de aspecto várvido, lateralmente correlacionáveis a ritmitos de granulação grossa com estruturas de tração e suspensão. Esses

últimos, segundo o autor, seriam depósitos de frentes de deltas de desembocadura de correntes *outwash*, sedimentados em pequenos lagos glaciais confinados, correspondendo aos depósitos proximais dos ritmitos várvidos.

As interpretações dadas por Machado (1994) e Holz (1995a) para o ambiente deposicional dos ritmitos estudados por eles assemelham-se à interpretação feita por Aboarrage & Lopes (1986, *apud* Lopes, 1995) e por Dias (1993a e 1993c) para o paleovale Leão, em cujo contexto geológico está inserido o testemunho IB-93-RS. Segundo esses autores, o ambiente de deposição dos ritmitos seria o de um fiorde.

O perfil de raios gama e a descrição geral do testemunho IB-93-RS estão representados na figura 12.

Figura 11 – Fotomicrografia: grão de plagioclásio, muito pouco alterado, constituindo de clasto pingado de arenito. Nicóis cruzados.

UTILIZAÇÃO DO SCANNER Para a digitalização dos testemunhos foi utilizado um *scanner* Hewlett Packard® (Scanjet IIcx®), ligado a um computador CAF®. O *scanner* é gerenciado com o programa Desk ScanII®, versão 2.0 (figuras 12 e 13).

Devido às dimensões, os testemunhos foram cobertos por uma caixa de papelão de 32,5 X 2,4 cm, forrada com feltro de cor preta, em substituição à tampa do *scanner*, para minimizar a perda de energia luminosa. As bordas do aparelho também foram forradas com feltro preto. Dessa forma, a luminosidade praticamente não variou entre a aquisição de uma imagem e outra.

Antes do posicionamento no *scanner*, as amostras foram cuidadosamente lavadas e secadas, para evitar falsas cores na imagem.

A fragilidade do testemunho do poço 7-RL-04-SC possibilitou apenas a digitalização de um comprimento de 1,21 m, que teve de ser dividido em dois (81 cm e 40 cm) devido à pequena falha, anteriormente citada, o que não representou problema na análise posterior (CEGI-2, nesta publicação).

O testemunho do poço IB-93-RS foi digitalizado em um

Figura 12 – Perfil de raios gama e descrição litológica do poço IB-93-RS

Figura 13 – Aparelhagem utilizada para escanear os testemunhos. Notar o trecho de testemunho (T) sobre o scanner e o feltro preto, no fundo da caixa de papelão (C) e sobre o aparelho.

Figura 14 – Scanner coberto com a caixa de papelão. Notar o feltro preto nas laterais do aparelho, impedindo a entrada de luz.

comprimento de 8,32 m, dividido em três partes. As duas primeiras (290,82 a 296,54 m e 296,60 a 298,82 m) foram separadas devido a uma pequena perda na recuperação durante a perfuração do poço (6 cm). A terceira parte foi escolhida de um trecho 36 cm acima, com 38 cm de comprimento. Como a maior parte da seção do Grupo Itararé nesse poço é formada por uma seqüência rítmica, optou-se por utilizar apenas esse último trecho na análise espectral, que possui laminação milimétrica. As fácies rítmicas próximas à base do testemunho, como foi visto, são semelhantes às das porções superiores, de forma que, sendo as últimas representativas do conjunto em termos da ciclicidade, tornou-se desnecessário utilizar toda a seção, sendo seu conteúdo intrínseco em tempo maior devido às menores taxas de acumulação. Além disso, suas características estacionárias são favoráveis à posterior análise espectral (Weedon 1991).

No *scanner*, as amostras foram dispostas de forma que as lâminas ficassem em posição horizontal, para o tratamento posterior dos dados. Esse cuidado foi importante, pois, durante a perfuração, a sonda pode desviar da orientação vertical, o que aconteceu no caso do poço 7-RL-04-SC.

O objetivo da digitalização é registrar as variações nas tonalidades de cinza da rocha. Portanto, o número de clastos pingados no testemunho 7-RL-04-SC poderia imprimir ruído nos dados. Além disso, a forma cilíndrica dos testemunhos provoca o escurecimento das laterais em relação ao centro durante a iluminação e uma distorção na imagem. Para minimizar esses efeitos, a área efetivamente digitalizada foi correspondente ao comprimento total e à porção central de cada uma das amostras, tomando-se a precaução de evitar os clastos pingados (figura 15).

A resolução da imagem foi escolhida de acordo com a menor espessura das lâminas. Os atributos do *scanner* no momento do imageamento foram:

- ⇒ Modo de fotografia preto e branco (8 bits)
- ⇒ Resolução: 100 X 100 pixels por polegada = 3,94 pixels por milímetro
- ⇒ Luz = 207; sombra = 129; brilho = 188; controle = 198

Como a resolução foi de 3,94 pixels (pontos) a cada milímetro, o intervalo de amostragem (IA) utilizado foi de 1 mm / 3,94 pontos, ou seja, igual a 0,2538 mm.

De acordo com a teoria da amostragem, a frequência máxima detectável, ou frequência de Nyquist, foi: $fN = 1/(2.IA) \Rightarrow fN = 1,97$.

Figura 15 – Trecho do testemunho do poço 7-RL-04-SC, mostrando a área a ser escaneada, em branco.

Tabela 1 – Dados dos trechos digitalizados do testemunho 7-RL-04-SC.

POÇO 7-RL-04-SC							
PROFUNDIDADE (m)		ESPESSURA (cm)	MATRIZ				
			Largura	Comprimento	Largura	Comprimento	
		(cm)	(pixels / mm)				
525,47 525,87	525,47 a 525,54	6,9	0,7	6,9	27	271	
	525,54 a 525,66	12,4	1,0	12,4	3	488	
	525,66 a 525,78	11,6	1,1	11,6	43	456	
	525,78 a 525,87	8,9	0,7	8,9	27	350	
Trecho com falha							
526,00 a 526,70	525,89 a 526,00	11,15	0,61	11,15	24	439	
	526,00 a 526,12	11,1	0,74	11,1	29	437	
	526,12 a 526,25	13,31	0,53	13,31	21	524	
	526,25 a 526,40	14,63	1,09	14,63	43	576	
	526,40 a 526,50	9,68	0,61	9,68	24	381	
	526,50 a 526,70	20,35	1,04	20,35	41	801	

Tabela 2 – Dados do trecho digitalizado e utilizado posteriormente para a análise espectral do testemunho IB-93-RS.

POÇO IB-93-RS							
PROFUNDIDADE (m)	ESPESSURA (cm)	MATRIZ					
		Largura	Comprimento		Largura	Comprimento	
		(cm)		(pixels / mm)			
290,08 a 290,46	290,08 a 290,10	1,93	1,6	1,93	63	76	
	290,10 a 290,14	4,01	1,63	4,01	64	158	
	290,14 a 290,25	10,82	1,6	10,82	63	426	
	290,25 a 290,36	11,07	1,63	11,07	64	436	
	290,36 a 290,46	10,16	1,57	10,16	62	400	

As dimensões de cada um dos arquivos de imagem, após a digitalização, é dada pelas relações abaixo, obtendo-se, ao final, uma matriz para cada imagem:

3,94 pixels X largura em milímetros = largura em pixels

3,94 pixels X comprimento em milímetros = comprimento em pixels

As tabelas 1 e 2 listam a profundidade, a espessura e a matriz de largura versus comprimento de cada trecho digitalizado, para ambos os testemunhos.

TRATAMENTO DOS DADOS DOS TESTEMUNHOS

Após a digitalização, as imagens foram salvas com extensão .raw, com o programa Photoshop®, da Adobe®, sendo em seguida convertidas em arquivos numéricos do tipo ASCII através do programa Rawtab (processável em DOS), criado na Universidade Federal de Santa Maria.

Os dados foram então importados para o programa Excel®, da Microsoft®. Como os testemunhos foram escaneados de forma que as lâminas ficassem em posição horizontal, obteve-se uma matriz (tabelas 1 e 2) em que os valores das linhas representavam os tons de cinza dentro de uma mesma lâmina e os valores das colunas mostravam as variações dos tons de cinza no sentido do comprimento da amostra.

A largura e o comprimento de cada matriz de uma dada imagem, são, portanto, iguais ao número total de pixels nessas dimensões. Por exemplo, uma imagem cujas dimensões são 27 X 271 pixels, após a conversão transforma-se em uma matriz de 27 colunas (largura da imagem) por 271 linhas (comprimento da imagem). A tabela 3 apresenta um exemplo para as profundidades entre 525,47 e 525,54 m do testemunho 7-RL-04-SC (ver tabela 1).

Dadas essas informações, vemos que uma média dos valores de cada linha da tabela representa a média dos valores de tons de cinza para uma determinada porção de uma lâmina da rocha. O cálculo dessa média é importante, pois minimiza os efeitos de grãos pingados de tamanho areia e de outros “ruídos” na imagem, como arranhões, que implicam na variação da cor da amostra. A média dos valores da escala de cinza para cada linha está representada na coluna da direita da tabela 3.

A partir dessas médias foram gerados gráficos Escala de Cinza versus Profundidade para todos os trechos escaneados. O testemunho do poço 7-RL-04-SC, sendo o mais frágil, continha algumas pequenas fraturas que, mesmo após o cálculo da média, ainda provocaram alterações no gráfico de escala de cinza (figura 16). Além disso, as lâminas de siltito desse testemunho contêm *ripples* internas, unidirecionais, que foram amostradas e tornaram-se visíveis no gráfico. Tais *ripples* poderiam implicar em ruídos de altíssima frequência durante a posterior análise dos dados. Essas feições tiveram que ser eliminadas.

Com o auxílio de uma lupa binocular, visualizando-se tanto a amostra quanto o gráfico correspondente em escala real, foi feita a localização dessas feições no gráfico. Após a identificação, procedeu-se à sua eliminação considerando-se o valor médio de tom de cinza em relação aos valores laterais mais próximos. Como resultado, as formas ficaram mais suavizadas do que as serrilhadas anteriores (figura 17). Schaaf & Thurow (1994) indicam a eliminação das perturbações através de métodos semelhantes. O testemunho do poço IB-93-RS não apresentou esse tipo de problema.

Passou-se então à junção dos trechos imageados. No momento da utilização do *scanner*, nem sempre foi possível digitalizar o comprimento exato da amostra. Dessa forma, alguns milímetros do fundo da caixa de papelão foram digitalizados junto com certas amostras. Esses detalhes também foram elimi-

Figura 16 – Gráfico de escala de cinza de um dos trechos escaneados do testemunho do poço 7-RL-04-SC, entre 526,4 e 526,25 m de profundidade, mostrando foresets (F), fraturas (FR), arranhões (A) e uma porção do fundo da caixa de papelão (C) antes da eliminação.

nados com o auxílio da lupa binocular.

Feito isso, como resultado final foi possível unir os intervalos escaneados em tabelas únicas no Excel®, três no total, correspondentes aos três intervalos inteiros referenciados nas tabelas 1 e 2, dois do 7-RL-04-SC e um do IB-93-RS, a saber:

a-) poço 7-RL-04-SC = 525,47 a 525,87 m e 525,89 a 526,70 m (figura 18);

b-) poço IB-93-RS = 290,08 a 290,46 m (figura 19).

Dados dos perfis de raios gama Os perfis de raios gama dos dois poços foram obtidos através de cópias heliográficas, com a permissão da CPRM. Como ambos são analógicos, houve necessidade de digitalizá-los.

DIGITALIZAÇÃO DOS PERFIS DE RAIOS GAMA

Primeiramente os perfis foram copiados com o *scanner*, utilizando-se então o programa Surfer® (*Surface Mapping System*, da Golden Software, Inc.) para digitalizar, na tela do computador, os picos de amplitude das curvas. Durante esse procedimento, as distâncias entre os picos foram transformadas em profundidades reais de perfuração. Os dados foram então gravados sob a forma de arquivo ASCII.

Como a distância entre os picos é variável, essa técnica de digitalização não fornece dados com espaçamento igual, condição obrigatória para a construção de uma série temporal (Schwarzacher, 1987) e para a posterior análise de ciclicidade. Sendo assim, os dados foram equidistanciados.

Tratamento dos dados dos perfis de raios gama A reamostragem dos dados para valores equidistantes foi feita no programa Matlab® (versão 5 Beta). Como a escala dos perfis era diferente (7-RL-04-SC, 1:500 e IB-93-RS, 1:100), o intervalo de amostragem escolhido foi de 1 cm para ambos os perfis, pois os valores numéricos de profundidade dos picos, após a digitalização no Surfer®, eram bastante aleatórios, variando na casa de unidades de centímetro. O único valor de amostragem factível para a intercalação era o de 1 cm. Os dados reamostrados foram, então, importados para o programa Excel®. A tabela 4 contém,

Tabela 3 – Profundidades, espessuras (baseadas no incremento do intervalo de amostragem de 0,2538 mm) e valores da escala de cinza para o trecho entre 525,47 e 525,54 m do testemunho do poço 7-RL-04-SC. A coluna MÉDIAS apresenta a média dos valores da escala de cinza para cada linha da tabela. Estão representados apenas o início e o final da tabela, a qual, completa, possui 271 linhas.

PROF. (m)	COMPR. (mm)	MATRIZ DOS VALORES DA ESCALA DE CINZA (0 = PRETO E 255 = BRANCO)																																MÉDIAS	
525,4700	0,2538	56	56	63	56	56	63	56	56	56	56	56	56	56	56	63	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	57,03704
525,4703	0,5076	56	79	79	73	79	79	79	73	73	73	73	73	84	84	84	79	84	84	84	84	79	84	79	84	73	73	68							77,62963
525,4705	0,7614	56	63	101	97	101	97	97	97	93	101	101	106	101	101	106	101	97	106	101	101	101	101	101	93	101	93	93							96,55556
525,4708	1,0152	88	88	88	106	106	106	101	101	101	101	106	106	106	106	106	106	109	113	113	109	109	109	109	106	106	106	101							104,1481
525,4710	1,2690	97	101	101	97	109	113	120	116	113	109	106	116	113	120	116	116	116	120	120	120	120	109	113	113	113	113	109							112,1852
525,4713	1,5228	109	106	109	106	97	109	116	124	124	129	116	113	120	120	124	129	129	129	116	116	116	124	120	113	113	109	113							116,6296
525,4715	1,7766	113	113	113	106	109	101	129	137	129	133	137	124	116	120	124	124	140	137	116	109	113	124	133	120	120	120	116							121,3333
525,4718	2,0304	120	120	120	113	116	129	116	143	143	137	140	137	137	137	133	133	129	137	140	133	120	124	116	113	120	120	120							127,6296
525,4720	2,2842	120	129	133	124	113	113	116	109	149	140	133	133	129	129	133	133	129	133	137	143	140	137	133	124	116	116	113							128,037
525,4723	2,5380	109	113	116	113	109	106	106	106	106	140	140	137	129	129	124	137	137	129	133	133	137	133	133	133	133	124	124							124,7778
525,4725	2,7918	116	120	116	120	120	116	116	113	109	109	133	133	129	124	124	124	133	140	140	143	149	137	140	143	133	129	124							127,1481
525,4728	3,0456	124	120	120	120	120	120	116	129	120	116	116	140	143	149	133	133	137	129	129	120	124	120	124	120	124	129	129							126,0741
525,4730	3,2994	124	120	120	120	116	116	120	116	120	113	113	109	140	124	116	113	133	137	124	120	124	109	109	106	116	120	109							118,7778
525,5368	67,0032	97	101	106	106	101	106	106	101	106	106	101	124	129	133	124	129	109	113	106	106	116	101	106	109	116	106	101						109,8148	
525,5370	67,2570	106	113	113	106	109	106	101	113	106	109	101	101	116	129	109	106	106	113	124	124	116	109	106	113	109	109	116							110,7037
525,5373	67,5108	109	109	116	116	109	106	97	97	106	101	101	101	106	113	116	116	116	113	116	109	109	120	113	113	109	109	106							109,3333
525,5375	67,7646	101	109	106	106	109	109	106	106	109	109	109	109	109	109	124	120	129	106	106	116	109	109	106	106	109	109	109							109,7778
525,5378	68,0184	113	109	113	106	113	113	106	113	116	116	116	113	120	129	124	101	106	109	101	113	129	133	124	116	113	109	113							114,3333
525,5380	68,2722	116	120	124	124	124	120	116	106	116	124	129	124	124	129	124	116	101	109	106	106	109	120	116	106	113	113	106							116,3333
525,5383	68,5260	106	109	106	109	113	109	113	120	124	120	109	106	106	106	106	101	106	97	106	113	109	106	101	106	97	101	113							108,0741
525,5386	68,7798	109	106	109	116	113	129	124	113	113	106	106	113	101	116	120	109	113	106	106	101	120	116	101	101	109	109	120							111,2963

Figura 17 – Gráfico de escala de cinza para o mesmo trecho escaneado do poço 7-RL-04-SC mostrado na figura 16, após as correções.

como exemplo, um intervalo do perfil de raios gama do poço IB-93-RS, sem e com reamostragem.

O poço 7-RL-04-SC perfurou algumas camadas de diabásios mesozóicos. Os picos referentes a essas camadas iriam causar ruídos quando da análise de ciclicidade. Logo, houve a necessidade de eliminá-las do perfil.

As figuras 20 e 21 mostram os perfis de raios gama de ambos os poços após todo o tratamento. Notar que, no caso do poço 7-RL-04-SC, a eliminação das camadas de diabásio acarretou mudanças nas profundidades originais, de modo que o perfil após o tratamento teve suas profundidades modificadas a partir de 481,25 m, que é a profundidade da primeira camada de diabásio. Sendo assim, para correlacionar os trechos escaneados do testemunho com o perfil desse último poço é necessário fazer uma correção de 5,98 m e começar a correlação em 520,36 m, o novo topo do intervalo escaneado do testemunho.

Tratamento dos dados dos perfis de raios gama A reamostragem dos dados para valores equidistantes foi feita no programa Matlab® (versão 5 Beta). Como a escala dos perfis era diferente (7-RL-04-SC, 1:500 e IB-93-RS, 1:100), o intervalo de amostragem escolhido foi de 1 cm para ambos os perfis, pois os valores numéricos de profundidade dos picos, após a digitalização no Surfer®, eram bastante aleatórios, variando na casa de unidades de centímetro. O único valor de amostragem factível para a intercalação era o de 1 cm. Os dados reamostrados foram, então, importados para o programa Excel®. A tabela 4 contém, como exemplo, um intervalo do perfil de raios gama do poço IB-93-RS, sem e com reamostragem.

O poço 7-RL-04-SC perfurou algumas camadas de diabásios mesozóicos. Os picos referentes a essas camadas iriam causar ruídos quando da análise de ciclicidade. Logo, houve a necessidade de eliminá-las do perfil.

As figuras 20 e 21 mostram os perfis de raios gama de ambos

Figura 18 – Correlação entre os intervalos escaneados e o gráfico de escala de cinza do poço 7-RL-04-SC, após as correções. Notar o espaço entre os dois intervalos devido a pequena falha mencionada no texto.

Figura 19 – Correlação entre o trecho escaneado do poço IB-93-RS e o respectivo gráfico de escala de cinza.

os poços após todo o tratamento. Notar que, no caso do poço 7-RL-04-SC, a eliminação das camadas de diabásio acarretou mudanças nas profundidades originais, de modo que o perfil após o tratamento teve suas profundidades modificadas a partir de 481,25 m, que é a profundidade da primeira camada de diabásio. Sendo assim, para correlacionar os trechos escaneados do testemunho com o perfil desse último poço é necessário fazer uma correção de 5,98 m e começar a correlação em 520,36 m, o

Figura 20 – À direita, perfil de raios gama e descrição litológica do poço 7-RL-04-SC, após a interpolação e a eliminação das camadas de diabásio. À esquerda, perfil de raios gama do mesmo poço, aumentado para melhor apreciação. Comparar com a figura 8.

Tabela 4 – Valores do perfil de raios gama do poço IB-93-RS. As duas colunas da esquerda apresentam, respectivamente, os valores de profundidade e de raios gama após a digitalização no programa Surfer®, antes da reamostragem. As duas colunas da direita exibem um trecho da curva reamostrada com intervalo de 1 cm, correspondente ao intervalo em negrito nas colunas à esquerda.

DADOS DO PERFIL DE RAIOS GAMA DIGITALIZADOS		DADOS DO PERFIL DE RAIOS GAMA APÓS REAMOSTRAGEM	
Profundidade	Valores gama	Profundidade	Valores gama
280,06	63,16	280,06	63,16
280,16	57,6	280,07	62,604
280,336	64,16	280,08	62,048
280,616	56,08	280,09	61,492
280,716	59,88	280,1	60,936
280,768	59,12	280,11	60,38
280,892	67,72	280,12	59,824
281,096	59,88	280,13	59,268
281,196	63,16	280,14	58,712
281,576	51,76	280,15	58,156
281,728	54,8	280,16	57,6

Figura 21 – Perfil de raios gama do poço IB-93-RS, após a interpolação. Comparar com a figura 12.

novo topo do intervalo escaneado do testemunho.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES Os ritmitos de Santa Catarina têm sido descritos como depositados em lagos glaciais, portanto em ambientes de água doce, por vários autores (Marques-Toigo *et al.*, 1989; Machado, 1989; Castro, 1991 e 1995; Castro & Schneider, 1993; Santos *et al.*, 1996). Porém, a presença dos agregados framboidais de pirita nos ritmitos do testemunho 7-RL-04SC acrescenta novos dados à questão, demonstrando que os mesmos foram depositados em água salgada ou salobra. A existência de *Botryococcus* reforça a sedimentação em ambiente misto (Marques-Toigo *et al.* 1989). Uma interpretação possível seria a de Santos *et al.* (1996), segundo quais os ritmitos foram depositados em um *inlet* costeiro isolado pelas oscilações do nível relativo do mar. Como mostram as evidências, essas oscilações provavelmente ocorriam com grande frequência.

A interpretação dos ritmitos como originalmente depositados em lagos glaciais também encontra argumento no limite abrupto entre as lâminas de siltito e de folhelho, característica comum em varvitos, onde a estratificação da água do lago, devida à diferença na temperatura, provoca a sedimentação dos grossos, no caso o silte, no verão, e das argilas no inverno, quando a temperatura da água se homogeneiza e a água perde a estratificação. Contatos abruptos dessa natureza normalmente ocorrem pela ausência de flocculação dos finos, que, em água salgada ou salobra, decantariam logo após os mais grossos, formando depósitos com gradação normal.

Análises realizadas no laboratório de difratometria de raios X da UFRGS mostraram que os minerais dos ritmitos são illita, clorita, ortoclásio, albita, microclínio, quartzo e moscovita. Segundo Ramos & Formoso (1975), a área fonte, o clima e o relevo seriam os responsáveis pela presença da illita, da clorita e dos feldspatos, abundantes tanto nas rochas do Grupo Itararé quanto nas cristalinhas do embasamento. Chamley (1989) reportou que as argilas dos tilitos e varvitos da Nova Inglaterra, no leste do Canadá, são ricas em illita e clorita, normalmente encontradas na área fonte dos sedimentos. Segundo esse autor, a flocculação de argilominerais acontece durante o transporte do continente para o mar, quando experimentam mudanças de salinidade, pH e outras características físico-químicas, passando do ambiente continental, depletado em íons dissolvidos, para o ambiente marinho, quimicamente mais concentrado. Illitas e cloritas apresentam maior dificuldade de flocculação porque têm muita carga superficial, em comparação com as caulinitas, por exemplo, aumentando a repulsão e tornando mais difícil a flocculação. Como os ritmitos se depositaram em ambiente de águas mistas, é possível que a flocculação fosse inibida e só ocorresse nas porções mais abertas da bacia.

Em relação às duas escalas utilizadas no trabalho, a dos perfis de raios gama e a dos testemunhos, conforme comentado anteriormente, elas concernem a escalas de análise diferentes. Perfis de raios gama digitais costumam trabalhar com amostragens da ordem de, no mínimo, 20 cm, não registrando variações menores que esta espessura nas rochas. Existem hoje perfis de raios gama de alta resolução, mas que contemplam amostragens de até 1,5 cm. Estas resoluções correspondem aos limites físicos das ferramentas de perfilagem. Portanto, os eventos geológicos de menor espessura ficam sempre suavizados e o perfil tende a responder com a média dos valores de argilosidade da rocha perfilada. No caso de um ritmito, o perfil responde como siltito ou folhelho, dependendo da variação de espessura das lâminas. Os perfis empregados neste estudo eram analógicos e foram digitalizados para que as análises pudessem ser realizadas. A amostragem mínima possível, pelos motivos já citados, foi a de 1 cm, correspondente à menor distância entre picos nos perfis originais, ou seja, à menor variação detectada por eles originalmente. Deve-se, logo, ter em mente a escala de trabalho antes de decidir sobre o método de amostragem.

No que concerne aos trechos escaneados dos testemunhos, a utilização do *scanner* e da escala de cinza tem sido relativamente utilizada por outros autores. Dos primeiros a usar essa metodologia, Ripepe *et al.* (1991), estudando a ciclicidade dos varvitos eocênicos submilimétricos da Formação *Green River* (EUA), produziram réplicas de acetato de 3 a 4 cm de comprimento a partir de um testemunho, as quais digitalizaram e converteram em valores numéricos da escala de cinza. Em outro estudo, Schaaf & Thurow (1994 e 1997) escanearam dois testemunhos (60 e 100 m), amostrados pelo *Ocean Drilling Program* (ODP) na Bacia de Santa Bárbara, Califórnia (EUA), em intervalos de 20 a 30 cm, obtendo arquivos contínuos na escala de cinza. Com a transformada rápida de Fourier, interpretaram ciclicidades nas escalas de séculos e anos, anteriormente não observáveis. Jaminski *et al.* (1998) analisaram as variações climáticas do Devoniano da Bacia Central Appalachian (EUA) da mesma forma, através da conversão da litologia para valores da escala de tons de cinza. Porém, trabalharam com folhelhos, não obtendo, portanto, contrastes de cor diretamente da rocha. Fizeram então radiografias dos testemunhos, as quais digitalizaram com um *scanner*, obtendo um registro das variações na composição a partir das diferenças de densidade entre porções mais ricas em matéria orgânica, carbonatos ou siliciclásticos. Von Rad *et al.* (1999) utilizaram essa mesma metodologia para estudar a ciclicidade de varves do Holoceno do Mar da Arábia. De forma semelhante à metodologia descrita nesse artigo, também escanearam diretamente o testemunho.

Portanto, a técnica de transformar dados litológicos em valores de tons de cinza tem sido utilizada com sucesso. É uma metodologia de fácil aplicação, permitindo a aquisição de dados para análise cicloestratigráfica de maneira confiável e eficaz. Isso ficou demonstrado pela exatidão entre os valores dos gráficos de escala de cinza obtidos para os dois poços e as lâminas de siltito e folhelho dos intervalos escaneados, possibilitando desde a visualização de lâminas individuais submilimétricas até os foresets das pequenas ripples dos siltitos.

Duas sugestões para trabalhos futuros seriam: a análise de outros poços da Bacia do Paraná, de forma a testar a eficiência do método e a existência de evidências de deposição em ambiente marinho ou salobra nos ritmitos de outras posições da Bacia; e o teste do método em seqüências de rochas não apenas siliciclásticas, com acamamento rítmico sub-centimétrico, como, por exemplo, evaporitos, rochas carbonatadas, ou rochas depositadas em ambiente tipo *playa-lake*. O sinal climático nestas rochas é muito evidente e, no caso das carbonatadas, a grande presença de fósseis pode oferecer a ocasião para um bom detalhamento do tempo e do ambiente de deposição de cada par ou grupo de camadas presente nos ritmitos.

Finalizando, os métodos apresentados auxiliam a eficiência da cicloestratigrafia como ferramenta de análise e refinamento cronoestratigráfico. Como afirmaram Schaaf & Thurow (1994 e 1997), a análise de imagens digitais terá no futuro um papel fundamental na descrição e na interpretação de testemunhos e amostras de rocha.

Agradecimentos À PETROBRAS pela oportunidade de fazer este estudo. À CPRM pela cessão dos dados de poços e suas descrições. Ao Prof. Dr. Luis Fernando De Ros pelo auxílio na descrição das lâminas petrográficas e pelas explanações a respeito dos argilominerais e dos frambóides de pirita. Ao geofísico Fernando S. Rodrigues, pelo auxílio com o programa Matlab®. Aos colegas da pós-graduação da UFRGS, pela descrição em conjunto do testemunho do poço 7-RL-04-SC. Ao colega Saulo Ferreira Santos, pelos originais de sua descrição desse testemunho e pelas discussões sobre o mesmo. E à colega Ariane da Silveira, pelas discussões e colaboração durante a descrição do testemunho do poço IB-93-RS, na UNISINOS.

Referências

- Azambuja Filho, Nilo Chagas de. 1990. *The Oligo-Miocene turbidites and associated facies of the Campos Basin, offshore Brazil*. London, United Kingdom. 456p. PhD Thesis, University of London.
- Berner, Robert A. 1984. Sedimentary pyrite formation: an update. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.48, p. 605-615.
- Bloch, John & Krouse, H. Roy. 1992. Sulfide diagenesis and sedimentation in the Albian Harmon Member, Western Canada. *The of Sedimentary Petrology*, v.62, n. 2, p. 235-249, March.
- Canuto, José Roberto. 1993. *Facies e ambientes de sedimentação da Formação Rio do Sul (Permiano), Bacia do Paraná, na região de Rio do Sul, Estado de Santa Catarina*. São Paulo, 164p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Castro, Joel Carneiro de. 1980. Fácies, ambientes e seqüências deposicionais das formações Rio do Sul e Rio Bonito, leste de Santa Catarina. In: SBG, Cong. Bras. Geol, 31, Balneário de Camburiu. *Anais*, v.1, p. 283-299.
- Castro, Joel Carneiro de. 1991. *A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Mb. Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná*. Rio Claro, 147p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Castro, Joel Carneiro de. 1995. Ciclos ou seqüências no arcabouço cronoestratigráfico da sucessão Itararé (Formação Taciba) – Rio Bonito (Membro Triunfo), Bacia do Paraná. In: Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 2, Porto Alegre. *Boletim de Resumos Expandidos*, p. 66-70.
- Castro, Joel Carneiro de & Schneider, Ruben L. 1993. Cronoestratigrafia e evolução paleogeográfica da sucessão Itararé-Rio Bonito (Membro Triunfo), SE da Bacia do Paraná. In: Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1, Rio Claro. *Boletim de Resumos*, p. 37-38.
- Cazzulo-Klepzig, Miriam; Guerra-Sommer, Margot & Marques-Toigo, Marleni. 1980. Estudo macro e microflorístico do Grupo Itararé (Bacia do Paraná), Rio Grande do Sul. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 31., Balneário de Camboriú, *Anais*, v.5, p. 3027-3040.
- Chamley, Hervé. 1989. *Clay sedimentology*. Berlin: Springer-Verlag. 623 p.
- Chatfield, C. 1989. *The analysis of time series – an introduction*. London: Chapman and Hall. 241p.
- Cottle, R. A. 1989. Orbitally mediated cycles from the Turonian of southern England: their potential for high-resolution stratigraphic correlation. *Terra Nova*, v.1, n. 5, p. 426-436.
- Daemon, Roberto Ferreira & Quadros, Luis Padilha de. 1970. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: SBG, Cong. Brás. Geol., 24., Brasília, *Anais*, p. 359-412.
- Dias, Maria Elice Rosa. 1993a. *Palinologia do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 227p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Dias, Maria Elice Rosa. 1993b. Palinologia do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul, Permiano da Bacia do Paraná, Brasil. In: SBP, Cong. Brás. Paleo., 13, São Leopoldo. *Boletim de Resumos*. São Leopoldo: CPRM, p. 63.
- Dias, Maria Elice Rosa. 1993c. Associações microflorísticas dos paleovales do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul, Permiano da Bacia do Paraná, Brasil. *Pesquisas*, v.20, n. 2, p. 132-140.
- Einsele, Gerhard; Ricken, Werner & Seilacher, Adolf. 1991. Cycles and events in stratigraphy - basic concepts and terms. In: Einsele, Gerhard; Ricken, Werner & Seilacher, Adolf. (ed.). *Cycles and events in stratigraphy*. Berlin: Springer-Verlag. p. 1-19.
- França, Almério Barros. & Potter, Paul E. 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobras*, v.2, n. 2/4, p. 147-191, abril/dezembro.
- Guerra-Sommer, Margot & Cazzulo-Klepzig, Miriam. 1993. Biostratigraphy of the Southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana Sequence: a preliminary palaeobotanical approach. In: Congrès International de la Stratigraphie et Géologie du Carbonifère et Permian, 12, Buenos Aires. *Compte Rendu*, v.2, p. 61-72.
- Holz, Michael. 1995a. *O intervalo gonduânico basal (Eo-Permiano) da Bacia do Paraná na região nordeste do Rio Grande do Sul - um exercício de estratigrafia*. Porto Alegre, 256 p., 2 volumes. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Holz, Michael. 1995b. Proposta de arcabouço cronoestratigráfico de terceira ordem para o pacote eo-permiano da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 2, Porto Alegre. *Boletim de Resumos Expandidos*, p. 91-97.
- Jaminski, J.; Algeo, T.; Maynard, B. & Hower, J. C. 1998. Climatic origin of dm-scale compositional cyclicity in the Cleveland Member of the Ohio Shale (Upper Devonian), Central Appalachian Basin U.S.A. In: Schieber, J. (ed.). 1998. *Recent progress in shale research*. New York: Schweizerbart'sche. p. 217-242.
- Lopes, Ricardo da Cunha. 1995. *Arcabouço aloestratigráfico para o intervalo "Rio Bonito-Palermo" (Eopermiano da Bacia do Paraná), entre Butiá e São Sepé, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 254p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Lopes, Ricardo da Cunha; Holz, Michael; Piccoli, A. E. M.; Dias-Fabrizio, Maria E.; Cazzulo-Klepzig, Miriam; Marques-Toigo, Marleni & Guerra-Sommer, Margot. 1991. Stratigraphical revision of the Itararé Group (Lower Permian), Parana Basin, southern Brazil. In: International Congress on Carboniferous and Permian Geology and Stratigraphy, 12, Buenos Aires. *Abstracts*.
- Machado, Luís Cláudio Ribeiro. 1989. *Fácies e arcabouço estratigráfico do Grupo Itararé em Alfredo Wagner (SC) – Sedimentação periglacial*. Ouro Preto, 164p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Machado, Marco Antônio Pinheiro. 1994. *O degelo final permiano e o seu registro geológico na borda sudeste da Bacia do Paraná (Paleovale de Candiota – RS)*. Porto Alegre, 165p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Marques-Toigo, Marleni. 1991. Palynobiostratigraphy of the Southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana Sequence. In: Ulbrich, H. & Rocha Campos, A. C. (ed.). *Gondwana Seven*, São Paulo, 1991. *Proceedings*. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo., p. 503-515.

- Marques-Toigo, Marleni; Dias-Fabrizio, Maria E.; Guerra-Sommer, Margot; Cazzulo-Klepzig, Miriam. & Piccoli, A. E. M. 1989. Afloramentos da área de Trombudo Central, Permiano inferior, Santa Catarina: palinologia, icnologia e sedimentologia. In: SBP, Cong. Bras. Paleo., 11, Curitiba. *Anais*, v.1, p. 125-150.
- Pike, Jennifer & Kemp, Alan E. 1996. Preparation and analysis techniques for studies of laminated sediments. In: Kemp, Alan E. (ed.). 1996. *Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments*. London: The Geological Society. p. 37-48.
- Postma, Dieke. 1982. Pyrite and siderite formation in brackish and freshwater swamp sediments. *American Journal of Science*, v.282, p. 1151-1183, October.
- Raiswell, R. 1982. Pyrite texture, isotopic composition and the availability of iron. *American Journal of Science*, v.282, p. 1244-1263, October.
- Ramos, Adriano Nunes & Formoso, Milton Luiz Laquintinie. 1975. Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná. *Ciência, Técnica e Petróleo*, n.9. Petrobras/Cenpes/Dintep. Rio de Janeiro.
- Ripepe, M. 1991. Albian pelagic rhythms (Piobbico core). *Journal of Sedimentary Petrology*, v.61, n. 7, p. 1164-1172, December.
- Rossetti, Enio Luiz. 1996. *Estratigrafia de seqüências de alta resolução obtida com imageamento de linhas sísmicas na fase rift da Bacia Potiguar (Eocretáceo)*. Porto Alegre, 151p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Santos, P. R. dos; Rocha-Campos, A. C. & Canuto, J. R. 1996. Patterns of late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, v.125, p. 165-184.
- Schaaf, Michael & Thürow, Jürgen. 1994. A fast and easy method to derive highest-resolution time-series datasets from drillcores and rock samples. *Sedimentary Geology*, v.94, p. 1-10.
- Schaaf, Michael & Thürow, Jürgen. 1997. Tracing short cycles in long records: the study of inter-annual to inter-centennial climate change from long sediment records, examples from the Santa Barbara Basin. *Journal of the Geological Society*, v.154, p. 613-622, London.
- Schwarzacher, W. 1987. The analysis and interpretation of stratification cycles. *Paleoceanography*, v.2, n. 1, p. 79-95, February.
- Silva, José Guilherme Rodrigues da. 2001. *Estudo de cicloestratigrafia nos depósitos eopermianos do Grupo Itararé, Bacia do Paraná, nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, baseado em dados de testemunho e de perfis de raios gama*. Porto Alegre, 228p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Silveira, Ariane Santos da. 2000. *Estratigrafia de seqüências e evolução paleoambiental da sucessão permiana (Sakmariano-Eokazamiano) da Bacia do Paraná, entre Rio Pardo e Mariana Pimentel*. Porto Alegre, 131p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Tomazelli, Luiz José & Soliani Jr., Enio. 1982. Evidências de atividade glacial no Paleozóico Superior do Rio Grande do Sul, Brasil. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 32, Salvador. *Anais*, v.4, p. 1378-1391.
- Von Rad, Ulrich; Schaaf, Michael; Michels, Klaus H.; Schulz, Hartmut; Berger, Wolfgang H. & Sirocko, Frank. 1999. A 5000-yr record of climate change in varved sediments from the oxygen minimum zone off Pakistan, Northeastern Arabian Sea. *Quaternary Research*, v.51, p. 39-53.
- Weedon, G. P. 1991. The spectral analysis of stratigraphic time series. In: Einsele, Gerhard; Werner, Ricken & Seilacher, Adolf. (ed.). 1991. *Cycles and events in stratigraphy*. Berlin: Springer-Verlag. p. 840-854.