

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DE TERMOLUMINESCÊNCIA PARA
CORRELAÇÃO DE FÁCIES EM POÇOS PETROLÍFEROS

Diego Fróes e Souza

Orientador: André Oliveira Sawakuchi
Co-orientador: Carlos Conforti Ferreira Guedes

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011 / 14)

SÃO PAULO
2011

TF
S729
DF.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DE TERMOLUMINESCÊNCIA PARA CORRELAÇÃO DE
FÁCIES EM POÇOS PETROLÍFEROS

Diego Fróes e Souza

Orientador: André Oliveira Sawakuchi
Co-orientador: Carlos Conforti Ferreira Guedes



MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011 / 14)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900030347

SÃO PAULO
2011

TF
S729
JF. a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AValiação da sensibilidade de termoluminescência para correlação de
Fácies em rochas petrolíferas

Diego Ribeiro e Souza



Orientador: André Oliveira Bastiani
Co-orientador: Carlos Antônio Pereira Guedes

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011/14)

SÃO PAULO
2011

Este trabalho tem como objetivo analisar o papel da língua portuguesa e da cultura lusófona no processo de construção da identidade nacional brasileira. A partir de uma abordagem teórica baseada nos estudos de língua e cultura, o texto discute a influência da língua portuguesa na formação da identidade nacional brasileira, bem como a importância da cultura lusófona no processo de construção da identidade nacional brasileira.

Para isso, o trabalho apresenta uma análise da literatura brasileira, com foco na obra de José de Alencar, e discute a importância da língua portuguesa na formação da identidade nacional brasileira, bem como a importância da cultura lusófona no processo de construção da identidade nacional brasileira.

A TL é a propriedade física resultante da ação de uma força externa sobre um corpo, devido à sua aceleração e à inércia inerente. Essa força pode ser exercida em qualquer direção, desde que a aceleração e a inércia sejam não nulas. A TL é uma grandeza física (Gonçalves, 2003).

Foram coletadas, em vários pontos da rede, amostras de água, sedimentos e organismos aquáticos. As amostras de TL foram analisadas por métodos de laboratório, a fim de determinar a concentração de TL em cada amostra. Os resultados foram comparados com os dados de referência para determinar a concentração de TL em cada amostra.

As análises estatísticas dos dados coletados, a partir de 10 amostras, revelaram que a concentração de TL em cada amostra foi significativamente diferente da concentração de TL em cada amostra de referência.

As análises de regressão entre a concentração de TL em cada amostra e a concentração de TL em cada amostra de referência revelaram que a concentração de TL em cada amostra foi significativamente diferente da concentração de TL em cada amostra de referência.

"Ao começar meus estudos
O passo inicial me assustou tanto
E me agradou tanto
(...) que não foi fácil seguir adiante,
pois eu queria ter ficado ali
flanando o tempo todo
cantando aquilo
em cânticos extasiados"
Walt Whitman -1855

RESUMO

Nos sistemas petrolíferos costeiros do Brasil, os estudos restringem-se a métodos geofísicos, e são raras amostras de rocha em poços devido à profundidade em que se encontram. Assim, um dos principais trabalhos para se entender os sistemas petrolíferos é o de correlacionar fácies, pois ele relaciona seções sísmicas e amostragem dos poços. Nesse contexto, este trabalho tem o objetivo de avaliar o uso de análises de termoluminescência (TL) de amostras poliminerálicas como ferramenta de correlação estratigráfica.

Para esta tarefa, foi escolhido o afloramento da Formação Teresina em uma frente de lavra de mineração, em Taguaí (SP). A Formação Teresina é constituída por folhelhos e siltitos escuros intercalados com calcários e arenitos muito finos cinza claros em camadas descontínuas.

A TL é a propriedade física resultante liberação de energia armazenada em um material devido à sua exposição à radiação ionizante. Esta energia fica armazenada em armadilhas de elétrons nos cristais e é liberada na forma de luz a partir de um estímulo térmico (Gün Esen, 2006).

Foram confeccionadas seções colunares, com coleta de amostras, observando a continuidade lateral das camadas. As análises de TL das amostras foram realizadas em laboratório; a dose de radiação aplicada nas amostras foi de 0,7 Gy com taxa de aquecimento 5°C/s, e foram realizadas análises complementares de raios gama naturais em detector de germânio hiperpuro.

As colunas levantadas em campo indicaram a ocorrência de 4 fácies sedimentares: calcários oolíticos, siltitos, arenitos, e silexites nodulares. As análises apresentaram 3 padrões principais de sensibilidade TL: calcários oolíticos, arenitos/siltitos e silexites nodulares.

As análises de raios gama geraram resultados parecidos para silexites e calcários. A sensibilidade TL da fácies calcário oolítico apresentou um pico estável a 246°C que não ocorre nos arenitos e silexites. O método TL demonstrou-se mais eficiente que o gama natural para discriminar as fácies estudadas.

ABSTRACT

In the petroleum systems of Brazilian coastal basins, the studies are restricted to geophysical methods and drilling core samples are rare due to the high depth where the rocks are found. So, the facies correlation is the main task that relates seismic sections and sampling of wells. In this context, this paper aims to evaluate the use of thermoluminescence (TL) properties in polimineralic samples as a tool for stratigraphic correlation.

For this task, we have chosen the Teresina Formation outcropping at the Irmãos Gobbo limestone mining (inland of São Paulo State). The Teresina Formation consists of dark shales, siltstones with thin light gray sandstone in thin discontinuous layers, limestones and silicites. In the literature, most of the studies that use TL applied to geology are focused on the dating of sediments of the Quaternary period. Few studies attempted to apply TL for stratigraphic correlation.

Data from three facies columns were obtained in the field, with systematic sampling collection, focusing in the lateral continuity of the layers for further comparison with TL data. The TL analysis of the samples was carried out at a heating rate of 5°C/s after a gamma radiation dose of 0.7Gy. It was also made an additional analysis of natural gamma rays through a high purity germanium detector, aiming to simulate the natural gamma ray response of the studied facies.

It was observed four main sedimentary facies in the outcrops: oolitic limestones, siltstones, sandstones, and nodular silicites. The TL analysis had three main patterns: oolitic limestone, sandstone/siltstone and nodular silicites, and was therefore useful for distinguishing these facies.. Oolitic limestone facies shows a stable peak at 246°C that does not occur in sandstones and silicites. This peak was associated to the calcite TL peak. The analyses of gamma rays generated similar overall results for nodular silicites and oolitic limestones. The results indicate that the TL method can discriminate calcareous facies more efficiently than the gamma analysis, which is a known method of geophysical analysis, widely applied in oil industry.

ÍNDICE

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1. Introdução	1
2. Objetivos e localização da área.....	1
2.Fundamentação bibliográfica	2
2.1 A Formação Teresina.....	2
2.2 O fenômeno da termoluminescência	5
2.3 Estudos de termoluminescência para correlações estratigráficas.....	6
2.4 Propriedades dos sinais de termoluminescência dos principais minerais da Formação Teresina	6
2.4.1 Quartzo	7
2.4.2 Calcita	8
2.4.4 Argilominerais.....	9
3.Materiais e métodos	10
3.2 Etapa de campo	10
3.3 Etapa de laboratório	10
4. Resultados obtidos.....	11
4.1 Seções Colunares	11
4.2 Análises de termoluminescência	17
4.2.1 Tratamento dos dados.....	17
4.2.2 Fácies Calcário Oolítico	19
4.2.3 Fácies Arenito e Siltito.....	20
4.2.4 Fácies Silexito Nodular.....	21
4.3 Análises de Raios Gama naturais.....	22
5.Discussão	23
6. Conclusão	25
Referências Bibliográficas.....	26
ANEXO I	28

1. Introdução

Nas bacias sedimentares costeiras brasileiras a ausência de afloramentos é um dos principais problemas para se entender e caracterizar seus sistemas petrolíferos. Assim, seus dados restringem-se a métodos indiretos (geofísicos) e amostras de perfuração de poços (testemunhos e amostras de calha). Nesse caso, correlacionar fácies é o principal trabalho que associa os resultados de seções sísmicas, superfícies estratigráficas e ocorrência de camadas guia, além da análise de microfósseis. Portanto, quando não são observadas quaisquer estruturas sedimentares assim ou quando não são observados fósseis, a análise por termoluminescência (TL) pode ser uma potencial ferramenta para se realizar a correlação entre fácies em amostras de poços.

Segundo Sawakuchi *et al.* (2011), a análise da sensibilidade de TL em grãos de quartzo (SiO_2) é uma ferramenta com grande potencial de aplicação na geologia pois sabe-se que está diretamente ligado a estrutura dos cristais, o método tem sido cada vez mais aplicado a diversos problemas geológicos como datações de sedimentos e proveniência sedimentar, e até paleotermometria, (Benoit *et al.*, 2001 *apud* Sawakuchi *et al.* 2011, David *and* Sunta, 1983) porém poucos estudos existem sobre correlação estratigráfica.

A abundância do quartzo na crosta e sua alta estabilidade fazem que ele seja o maior componente de sedimentos clásticos em rochas sedimentares. Nesse contexto, termoluminescência dos grãos de quartzo tem sido bastante estudada nas últimas décadas (McKeever, 1985; Preusser, 2006; Zheng *et al.*, 2009) e sua grande variabilidade quanto à sensibilidade TL é também conhecida (Sawakuchi, 2010). Ademais, também têm sido estudadas propriedades TL em outros minerais, como a calcita, as micas, apesar de ainda existirem relativamente poucos estudos relacionados (Gün Esen., 2006; Calderón *et al.*, 2005).

2. Objetivos e localização da área

Este trabalho tem o objetivo de avaliar o uso de análises de termoluminescência (TL) em amostras poliminerálicas como ferramenta de correlação estratigráfica, comparando-a com outro método de correlação estratigráfica em estudos de geologia, no caso a Análise de Minerais Pesados (AMP). Para tal tarefa, foi escolhido o afloramento da Formação Teresina na frente de lavra da Mineração de Calcário Irmãos Gobbo na região de Taguaí (SP) (Figura 1).

A Formação Teresina compreende argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e esverdeados, ritmicamente intercalados com arenitos muito finos. Apresenta também, devido ao alto grau de alteração, cores diversificadas em tons creme, violáceo, bordô e avermelhado. Comumente ocorrem lentes e concreções carbonáticas, com formas elípticas de comprimentos de

até alguns metros. Estratigraficamente abaixo desta unidade encontram-se as unidades Serra Alta (composta basicamente por folhelhos, argilitos e siltitos) e Irati (folhelhos e argilitos cinza-escuros pirobetuminosos), e acima a unidade de arenitos flúvio-eólicos da Formação Pirambóia.

Mapa de localização da área

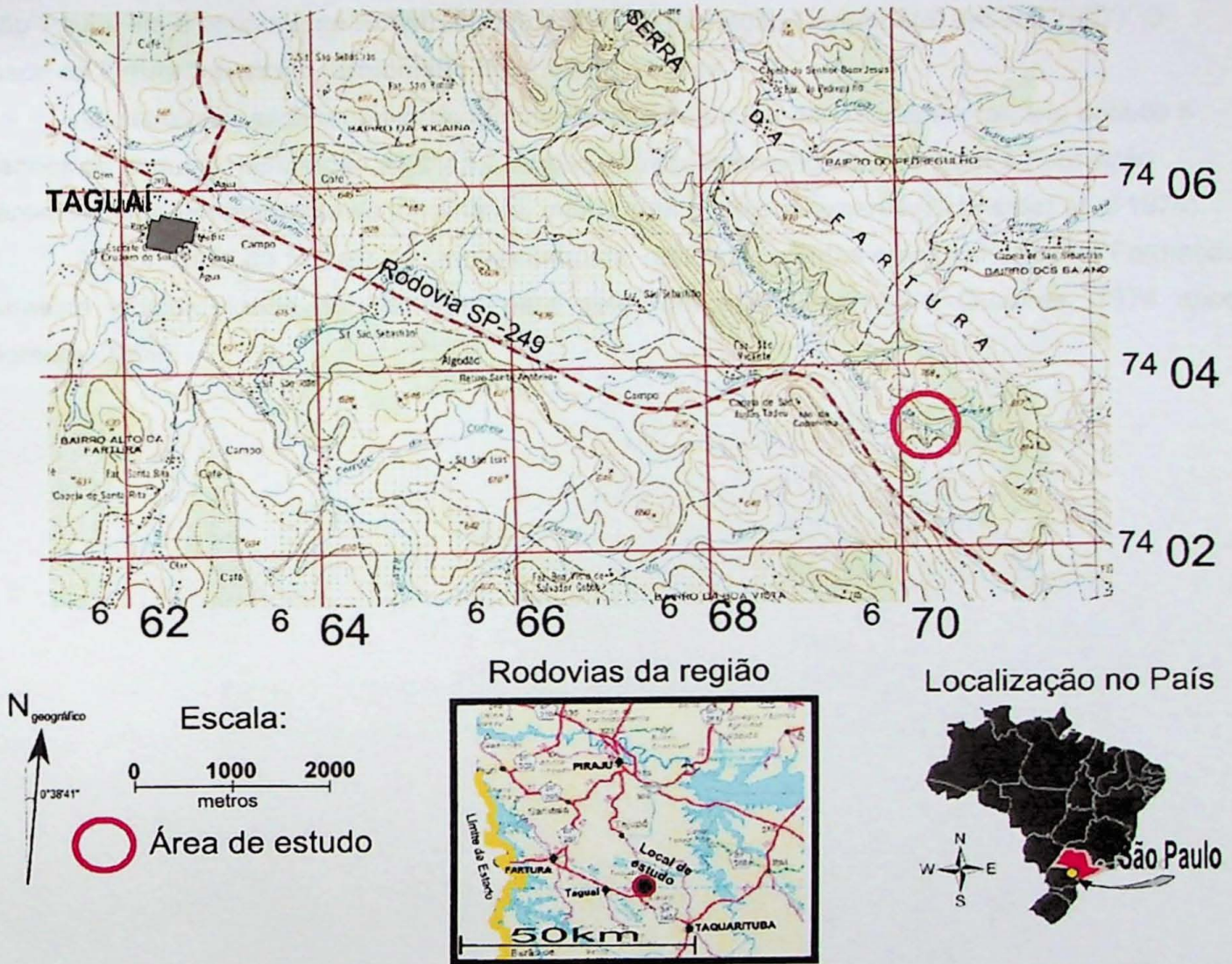


Figura 1: Acessos ao município de Taguaí sobre mapa topográfico (modificado de: IBGE – 1974; Caires, 2005)

2. Fundamentação bibliográfica

2.1 A Formação Teresina

A Formação Teresina está inserida no Grupo Passa Dois, na bacia do Paraná (ver coluna da Figura 2) onde está inserido o sistema petrolífero Irati-Pirambóia. Segundo Schneider 1974, dentre as litofácies que ocorrem na formação Teresina, as mais comuns são constituídas por

folhelhos e siltitos escuros com arenitos muito finos cinza-claro em lâminas ou finas camadas descontínuas, formando fácies do tipo flaser.

Tais fácies de folhelhos e siltitos de coloração cinza-claro intercalam-se, sendo que no terço superior ocorrem calcários, calcários oolíticos e leitos de coquina. Localmente ocorrem estruturas estromatolíticas e oólitos nessas rochas carbontáticas. Ocorrem também camadas descontínuas de arenitos finos e muito finos (Schneider *et al* 1974).

A formação aflora desde o Rio Grande do Sul até o Paraná, sendo que no centro-leste de São Paulo, ela é equivalente litoestratigraficamente a formação Corumbataí (Milani, 2007). O mapa da Figura 3 ilustra a distribuição da unidade na área.

As estruturas sedimentares de laminação tipo *flaser* e a ocorrência de calcário oolítico e bancos de coquina, laminação algálica e fendas de ressecamento caracterizam a Formação Teresina como um ambiente de inframarés, intermarés e até supramarés (Schneider *et al* 1974).

A ocorrência de fósseis de lamelibrânquios, restos de plantas e palinomorfos na Formação Teresina indicam idade neopermiana para esta formação (Daemon e Quadros, 1974 *apud* Nomura, 2009).

Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná

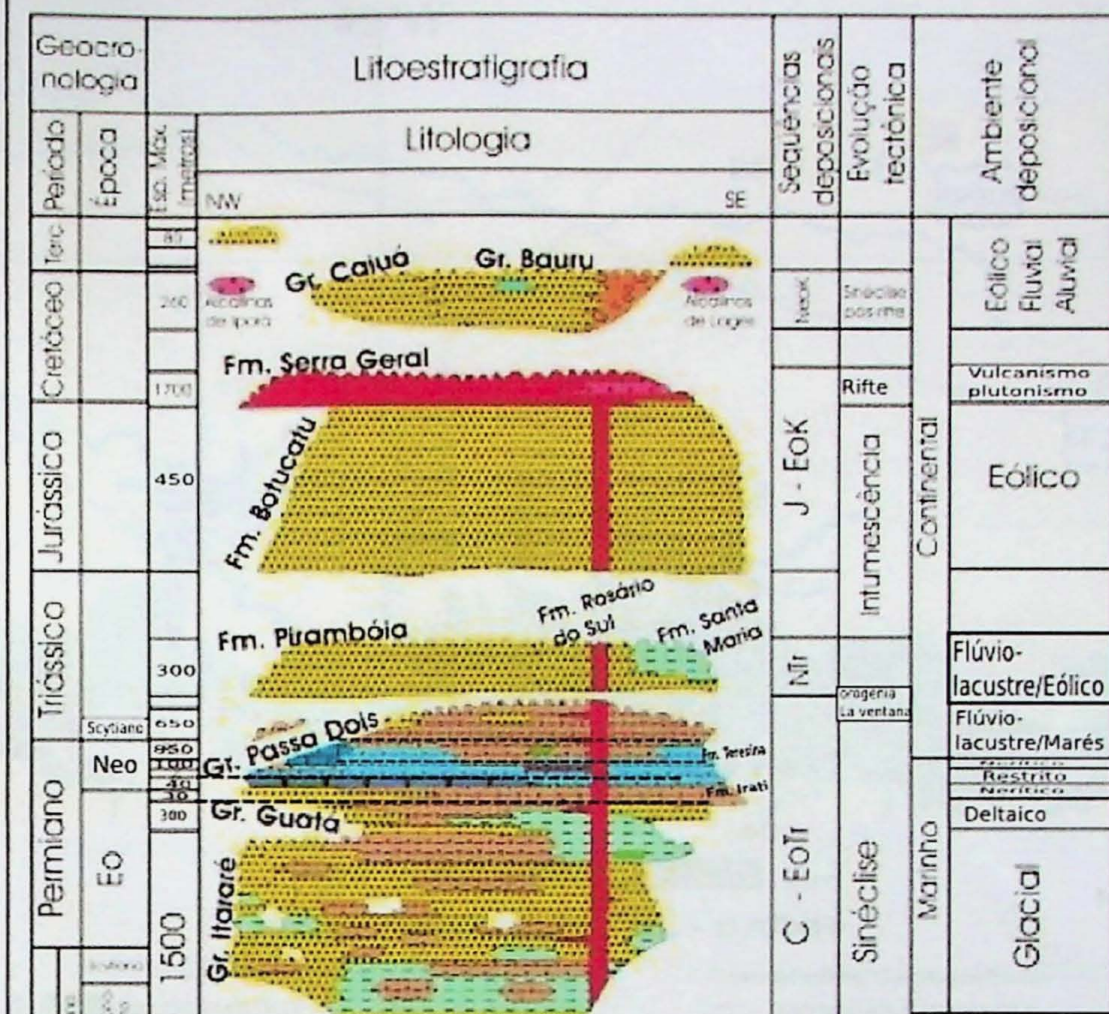
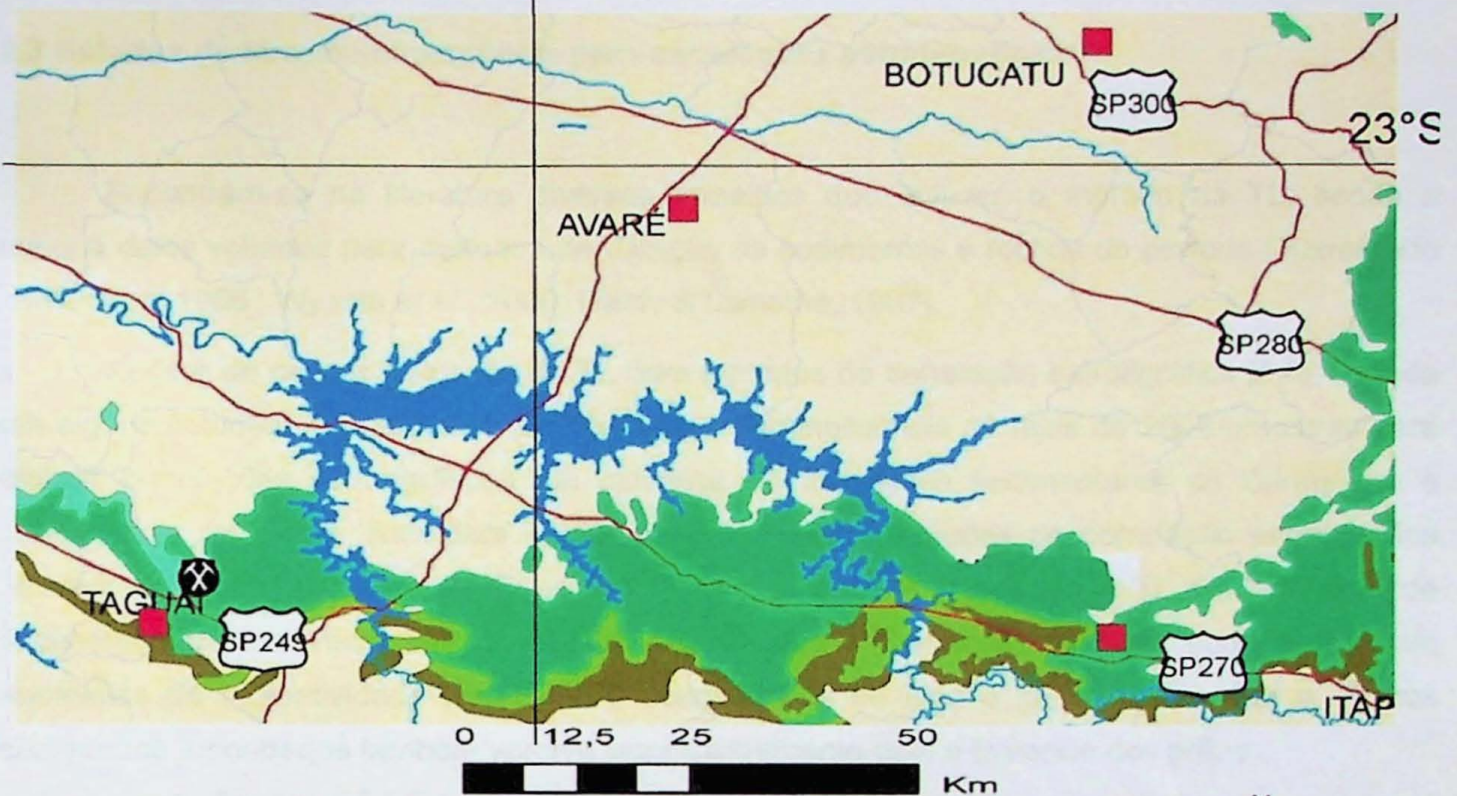


Figura 2: Coluna estratigráfica das unidades superiores da Bacia do Paraná, modificado de: http://www.cprm.gov.br/coluna/coluna_2.htm (acesso- abril/2011)

GEOLOGIA REGIONAL

49°W



DATUM HORIZONTAL - SAD69

LEGENDA:

Permiano

- RIO DO RASTRO
- TERESINA
- SERRA ALTA
- IRATI

Convenções Cartográficas

- ESTRADAS E RODOVIAS
- REDE HIDROGRÁFICA
- CENTROS MUNICIPAIS

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Figura 3: Mapa geológico regional com a formação Teresina realçada em meio a suas unidades vizinhas na região de estudo (modificado de Caires, 2005).

2.2 O fenômeno da termoluminescência

Luminescência é o fenômeno da emissão de luz de um sólido qualquer. Essa emissão de luz é resultado da liberação de uma energia armazenada nesse sólido devido à exposição à radiação ionizante.

A emissão de luz se dá através de um agente estimulante, que pode ser própria luz, ou uma fonte de radiação (alpha, beta ou gama), atrito ou calor. Todos esses estimulantes provocam uma liberação de energia na forma de luz visível. Assim, quando esse estímulo é térmico ocorre a termoluminescência. A capacidade que os cristais têm de armazenar energia está diretamente associada à estrutura cristalina, e é o número de armadilhas na estrutura cristalina que define a quantidade de energia que pode ser acumulada nos cristais. Em análises de TL são realizadas

medições dessa luz emitida pelos materiais quando submetidos a um estímulo térmico, com taxa de aquecimento constante.

2.3 Estudos de termoluminescência para correlações estratigráficas

Encontram-se na literatura diversos trabalhos que utilizam o método da TL, sendo a maioria deles voltados para métodos de datação de sedimentos e rochas do período Quaternário (Hutchison, 1966 ; Wysota *et al.*, 2000; Hardy & Lamothe, 1997).

Apesar de raro, a aplicação da TL para métodos de correlação estratigráfica já foi testada em alguns estudos: Kexue (1986) avaliou a termoluminescência de mais de 2000 amostras para efetuar correlações estratigráficas em calcários de formações sedimentares do Cambriano e Ordoviciano, na China. Saunders (1953) também realizou estudos de correlação estratigráfica através da TL em calcários da Pensilvânia. Bing *et al.* (2005) usaram a TL em amostras de sedimentos de superfície em uma bacia petrolífera e encontraram diversas correlações com anomalias de radioatividade associada a acumulações de óleo e gás, e viram que a TL nos sedimentos amostrados também variava significativamente com o tamanho dos grãos.

Outros estudos usos alternativos da termoluminescência também se destacam; McDougall (1966) testou variações de termoluminescência em torno de um depósito de cobre em rochas vulcânicas com alteração hidrotermal como ferramenta de exploração mineral. Johnson (1960) avaliou variações de TL em diversas conchas de um mesmo período, porém com estruturas cristalinas diferentes (calcita e aragonita), e observou a variação da TL em conchas de diversas espécies de moluscos.

2.4 Propriedades dos sinais de termoluminescência dos principais minerais da Formação Teresina

Para efeito de comparação, são analisadas neste tópico as propriedades básicas de TL dos principais minerais observados nas fácies da Formação Teresina: quartzo (detritico e de cimentação silicosa), calcita (dos oóides e cimentação carbonática) e argilominerais das fácies sedimentares mais finas.

As curvas de TL possuem no eixo das abscissas a temperatura e no das ordenadas a quantidade de fótons emitida pela amostra, o resultado é determinado por picos de liberação de luz.

São dois os fatores básicos que controlam a variabilidade de intensidade e temperatura dos picos de termoluminescência dos minerais em geral, um é a profundidade da armadilha dentro da estrutura atômica, quanto maior, maior a quantidade de energia necessária para mover um elétron aprisionado em uma armadilha cristalina para a camada de valência. O outro é a taxa de aquecimento; a posição exata nas curvas de termoluminescência depende das condições experimentais, principalmente da taxa de aquecimento, por isso os picos são ditos como inconsistentes na literatura. (Preusser *et al.*, 2009).

2.4.1 Quartzo

Segundo o estudo de Hashimoto *et al.*, (1986), onde foram analisados diversos grãos de quartzo de proveniências diversas, a curva representativa do sinal de termoluminescência do quartzo possui três picos (Figura 4) . As amostras foram expostas a uma dose radiação de 8,8 kGy e análise foi realizada dois meses depois da irradiação, com taxa de aquecimento de $5^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$. Os resultados indicam três picos principais; um a 180°C de maior intensidade e dois geralmente de intensidade parecida, em 270°C e 340°C .

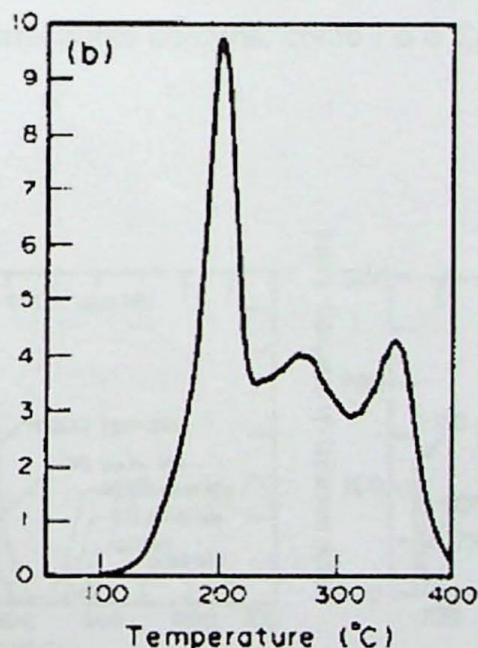


Figura 4: Intensidade de termoluminescência padrão do quartzo, (eixo Y unidade arbitrária), modificado de Hashimoto *et al*, 1986

Estudos cujo tempo entre a análise e a irradiação é menor (horas), indicam também a existência de picos mais instáveis, o estudo David & Sunta, 1985, que utilizou menores doses de radiação (1 μ Gy) mas a uma mesma taxa de aquecimento, mostrou também que existe um pico ainda menor, próximo aos 100°C, que é instável e possui meia-vida de 36 minutos, por isso não aparece no gráfico de Hashimoto *et al* 1986.

2.4.2 Calcita

Segundo Medlin (1969), a maior parte das armadilhas de termoluminescência da calcita são formadas por de impurezas ou pela ausência de algum íon na estrutura cristalina. Dentre as impurezas, as que mais afetam o sinal de termoluminescência são íons de Mn^{++} e Pb^{++} . Sob altas doses de radiação (não especificada) e taxas de aquecimento equivalente a (0,1°K/s) os cristais de calcita cristalizados em laboratório com manganês em diversas concentrações mostraram dois picos principais um a 77°C e 97°C (350° e 370°K), sendo que o de 97°C é ofuscado pelo de 77°. Ocorre ainda outro pico de menor intensidade em uma temperatura maior, a 197°C (470°K) (Figura 5A) e quando há chumbo (Figura 5B) somente nos cristais produzidos em laboratório, nota-se que o pico passa para 27°C e 137°C (300K e 410°K, respectivamente) para diversas concentrações. Outros contaminantes comuns, como Fe e Cu reduzem a intensidade do sinal de termoluminescência.

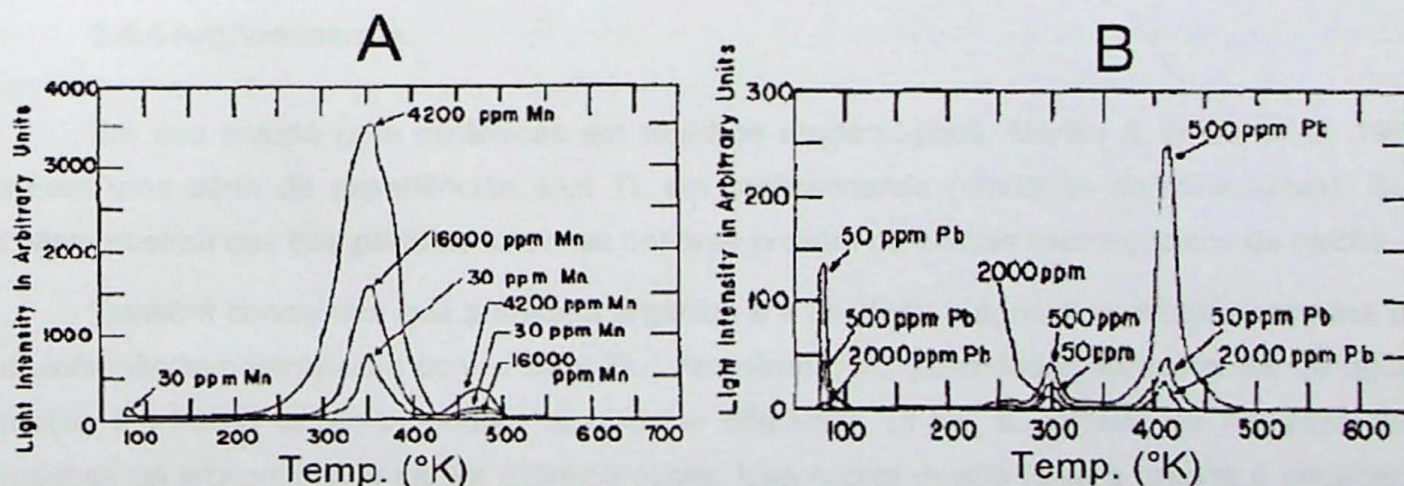


Figura 5: Extraída de Medlin, 1959. Variações na sensibilidade TL com diferentes concentrações de impurezas nos cristais de calcita. A - impurezas de Mn, e B- impurezas de chumbo

Gün Esen (2006), afirma que a taxa de aquecimento é o principal fator que controla a sensibilidade de termoluminescência na calcita. O gráfico da Figura 6 ilustra a variação do comportamento dos picos conforme a variação da taxa de aquecimento em cristais de calcita, ele

indica dois picos maiores nos cristais de calcita, o primeiro em torno dos 100°C que aumenta de temperatura conforme a taxa de aquecimento, e o segundo, estável, entre 250° e 300°C. Outro fator que controla a sensibilidade de TL, com relação a quantidade de luz emitida, é o tempo decorrido entre a irradiação e a estimulação, logo os picos com armadilhas mais rasas e instáveis tendem a dissipar sua energia aprisionada mais rapidamente.

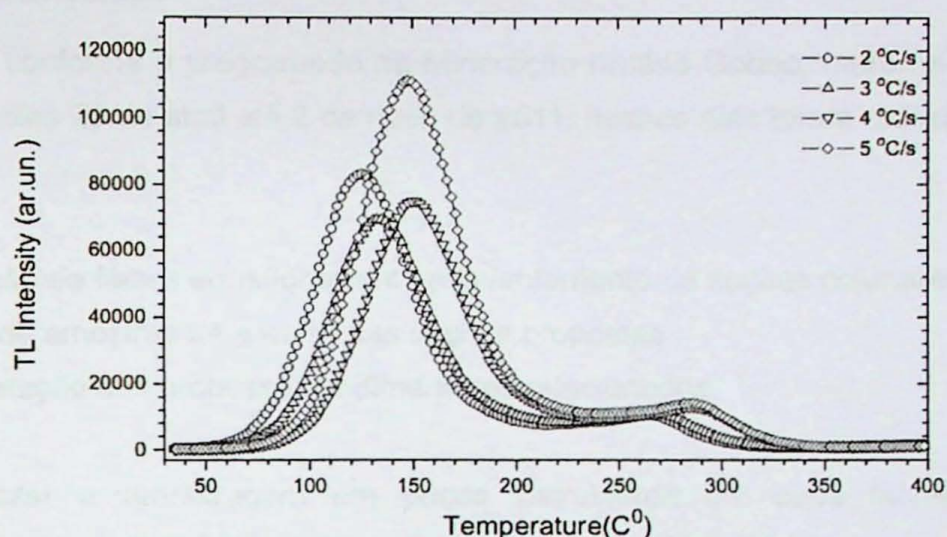


Figura 6: Curva de sensibilidade de termoluminescência que mostra o comportamento sensibilidade de TL da calcita para diferentes taxas de amostragem.(extraído de Gün Esen, 2006).

2.4.4 Argilominerais

Em seu estudo para cerâmicas em registros arqueológicos, Martini & Sibilia et al, 1988 fizeram uma série de experiências com TL em argilominerais (amostras poliminerálicas). Sua análise mostrou que boa parte do sinal nas análises provém de cristais microscópicos de calcita.

Também concluíram que a matéria orgânica e a umidade e água na estrutura cristalina da amostra não tem correlação com o sinal TL. Amostras com quantidades semelhantes de água, quartzo e matéria orgânica podem apresentar diferentes sinais. É comum na natureza que amostras de argilominerais serem poliminerálicas. Isso ocorre devido tanto à grande variedade de minerais dessa classe, e também devido à outros minerais que também ocorrem em menor concentração. A termoluminescência nessas amostras deve ser controlada apenas por minerais, de baixa concentração nessas amostras, como minerais pesados (Martini & Sibilia et al, 1988) e não dos argilominerais em si.

O estudo da termoluminescência em argilominerais é um complexo fenômeno, a amostra pode variar sua massa durante uma análise devido a reações físico-químicas no estado sólido que causa a liberação de gases. Os minerais de maior influência no sinal TL em amostras

poliminerálicas com abundância de argilominerais, são aqueles que possuem maior susceptibilidade magnética que o quartzo, como por exemplo: clorita, rutilo, turmalina, olivina, biotita, muscovita (Martini & Sibilía *et al*, 1988).

3. Materiais e métodos

3.2 Etapa de campo

Ocorreu conforme o programado na Mineração Irmãos Gobbo, município de Taguaí (SP), no período dos dias 29 de abril até 2 de maio de 2011; nesses dias foram realizadas as seguintes atividades:

- Descrição de fácies em afloramento e levantamento de seções colunares
- Coleta de amostras de a partir das seções propostas
- Interpretação dos processos sedimentares relacionados.

Para simular a amostragem em poços petrolíferos em cada fácies observadas as sistematicamente coletadas amostras, sendo ao menos uma amostra de cada fácies observada, representando integralmente as sessões coletadas. Nesse caso a AMP foi considerada inviável para esta aplicação principalmente por não haver volume suficiente de amostras para que haja uma boa quantidade de minerais pesados para confeccionar as lâminas. Também por existir uma grande quantidade de amostras e uma longa etapa laboratorial extensa, tornando ainda mais difícil e complexa a análise, e foi considerada inviável para poços profundos. Portanto, diferentemente do projeto inicial, essas análises não foram realizadas.

3.3 Etapa de laboratório

As amostras foram preparadas no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências e as análises TL foram realizada no Laboratório de Dosimetria do Instituto de Física da USP, sob auxílio da Dra. Nancy Kuniko Umisedo.

Para a preparação das amostras, foram realizados os seguintes procedimentos:

- Moagem das amostras
- Peneiramento na fração 0,125-0,250mm a úmido
- Tratamento térmico, na ausência de luz, das alíquotas poliminerálicas a 420° C por 15 minutos para eliminação do sinal TL natural.

-Irradiação das alíquotas (Cobalto-60) na ausência de luz, a uma distância de 27cm da fonte, com energia inicial de 15635 mCi durante 1hora e 30 minutos. A dose de radiação calculada foi de 0,70353 Gy.

-Medidas TL das alíquotas irradiadas, na ausência de luz: as medidas foram analisadas com taxa de aquecimento 5°C/s e taxa de integração 0,5/segundo até 400°C

- Determinação de intensidades TL por meio do *software TL Tools*.

Para cada amostra foram analisadas cinco alíquotas de mesma massa, onde cada resultado tem 5 curvas superpostas, que permitiram avaliar se variações na composição química podem gerar resultados distintos em amostras poliminerálicas. Foram confeccionadas curvas de crescimento TL (temperatura *versus* intensidade) a partir de amostras previamente submetidas a dose de radiação ionizante (radiação gama). O equipamento utilizado foi um leitor de termoluminescência por contagem de fótons, com taxa de aquecimento de alíquotas a 5°C/s.

As análises TL foram feitas em amostras poliminerálicas de rocha total somente (em vez de isolar os grãos de quartzo), pois foi considerado a mais pertinente para simular amostras de calha de poços petrolíferos, que geralmente são pulverizadas (ou fracionadas em uma determinada granulação) e misturadas durante o processo de transporte do material até a boca do poço. Dessa forma, é possível avaliar a viabilidade do uso da termoluminescência para caracterização de uma assinatura da rocha. O uso de amostras poliminerálicas também viabiliza o uso de rochas com baixo teor de quartzo como siltito e calcários, abundantes nas amostras coletadas.

Foram também realizadas análises complementares de raios gama naturais no detector de Germânio hiperpuro do Instituto de Geociências: foram analisadas 100g de quatro amostras (TA-I-1, TA-III-01, TA-III-9 e TA-I-5), durante 24 horas cada, para comparação com os resultados de TL. Estas análises simulam dados obtidos por perfilagem de raios gama naturais, método mais utilizado para correlação estratigráfica em poços petrolíferos.

4. Resultados obtidos

4.1 Seções Colunares

Na etapa de campo foram confeccionadas três seções colunares denominadas TA-I, TA-II e TA-III (Figuras 10, 11 e 12) e foram coletadas amostras de cada fácies sistematicamente, que estão descritas a seguir. As colunas TA-I e TA-II estão a uma distância de aproximadamente 170m, e TA-II e TA-III a uma distância de 40m uma da outra. Como as colunas foram confeccionadas em uma frente de lavra de mineração, foi possível observar a continuidade lateral das camadas ao longo do caminharmento.

Na base da coluna TA-I ocorre um calcário oolítico com cimentação carbonática e nódulos de sílex de diâmetro centimétrico a decimétricos (Figuras 7 e 8). Essa camada apresenta espessura mínima de 2,2m e está representada nas colunas TA-II e TA-III. Nas colunas TA-II e TA-III, os nódulos de sílex aparecem alongados no sentido da estratificação. Esta fácies possui boa seleção granulométrica em todas as colunas, além de ser homogênea lateralmente. Essas características, comuns em rochas reservatório, se somadas a ausência de cimentação, podem indicar boa porosidade e permeabilidade.



Figuras 7 e 8:– Fácies calcário oolítico, à esquerda concreção de sílex centimétrica acompanhando estratificação cruzada, e à direita concreção de sílex acompanhando estratificação cruzada.

Ocorre também uma brecha bioclástica (TA-II-0) silicificada abaixo do calcário oolítico na coluna TA-II, repleta de fósseis de troncos e folhas.

A camada de calcário também apresenta, como é observado na camada TA-III, estratificações cruzadas que indicam variações na paleocorrente, de N46°/10° (rumo do mergulho) para N108°/22°. Sobre a camada de calcário ocorre um arenito siltoso com cimentação carbonática que possui granodecrescência ascendente (observado na coluna TA-I). Este arenito apresenta na parte superior laminação plano-paralela incipiente e também pode representar uma rocha reservatório, porém com permoporosidade menor que a do calcário devido à baixa seleção granulométrica e sua matriz siltosa transitando para rochas selantes no trecho superior.

Acima desse arenito com matriz carbonática, ocorre um arenito de fino, também siltoso, porém sem matriz carbonática, intercalado com finas camadas de siltito. Estruturas heterolíticas são comuns nessa fácies. Para o sistema petrolífero, a ocorrência dessas estruturas com níveis pelíticos as caracterizam como rocha selante. Fácies de siltito semelhante se repetem nas porções superiores da coluna TA-II e também apresentam fácies de calcário oolítico, semelhante ao da base, porém de menor espessura.



Figura 8: Arenito siltoso, mal selecionado, com estruturas heterolíticas

Há também no trecho superior uma camada de silexito, composta basicamente por nódulos de sílica e com matriz arenosa, que ocorre próximo ao topo das colunas TA-I e TA-III. A camada apresenta espessura decimétrica constante ao longo do afloramento, sendo uma boa camada guia (Figura 9).



Figura 9: Silexito nodular com nódulos centimétricos de sílica.

Coluna TA-I

utm: 670095
7403000 zona 22K

Legenda

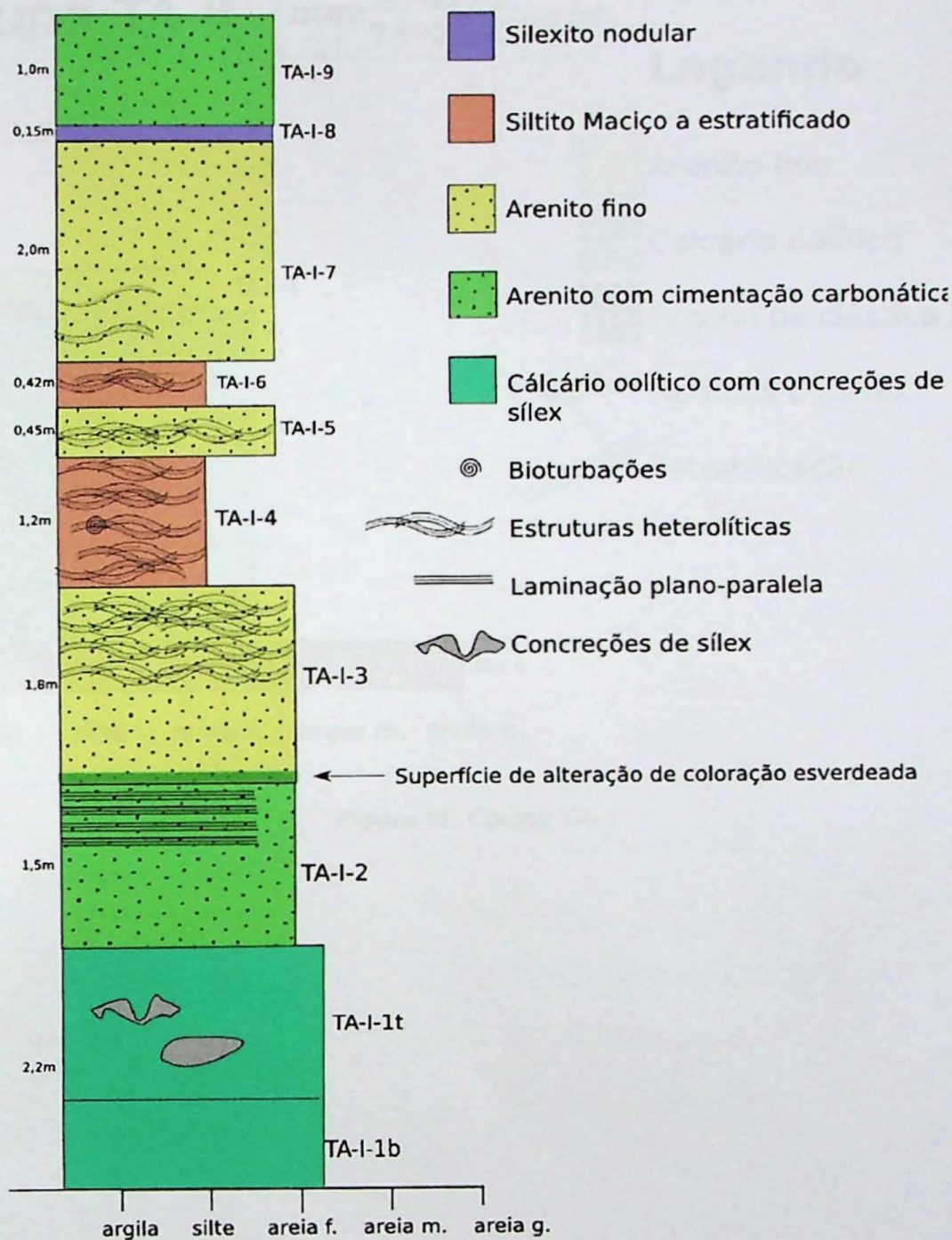


Figura 10: Coluna TA-I - a oeste do afloramento.

Coluna TA-II

utm: 670271
7402980 zona 22k

Legenda



Arenito fino



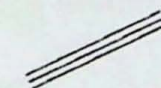
Calcário oolítico



Brecha bioclástica silicificada



Nódulos de sílex



Estratificação

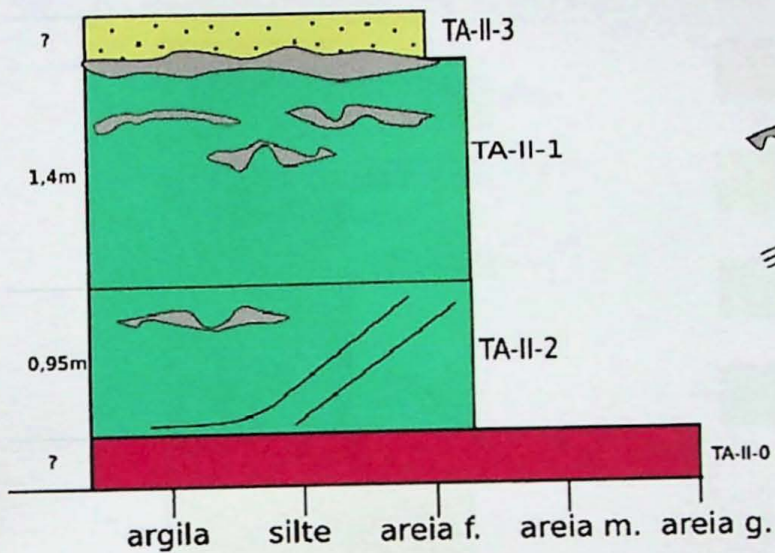


Figura 11: Coluna TA-II.

Coluna TA-III

utm: 670313
7402994 zona 22k

Legenda

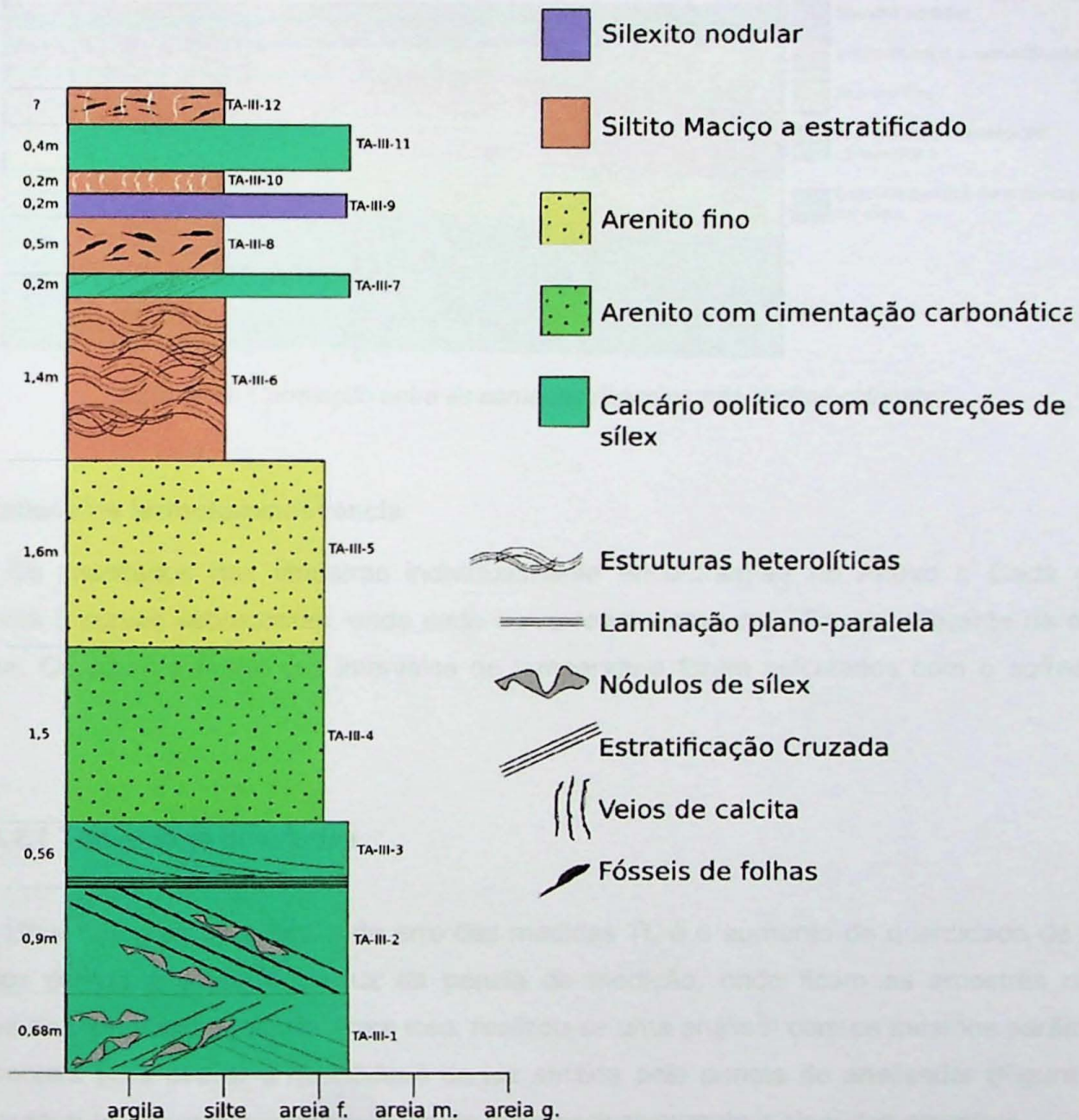


Figura 12: Coluna TA-III. Seção colunar a leste

Na Figura 13 foi realizada a correlação entre as camadas observadas em campo, para efeito de síntese. É importante realçar que as camadas de calcário do trecho superior passam por um acunhamento (*pinch out*) para oeste até desaparecerem. Os pontos marcados com

interrogação indicam onde não foi possível observar a continuidade lateral. As litofácies de arenito siltoso e siltitos são análogas e a granulação aumenta para oeste.

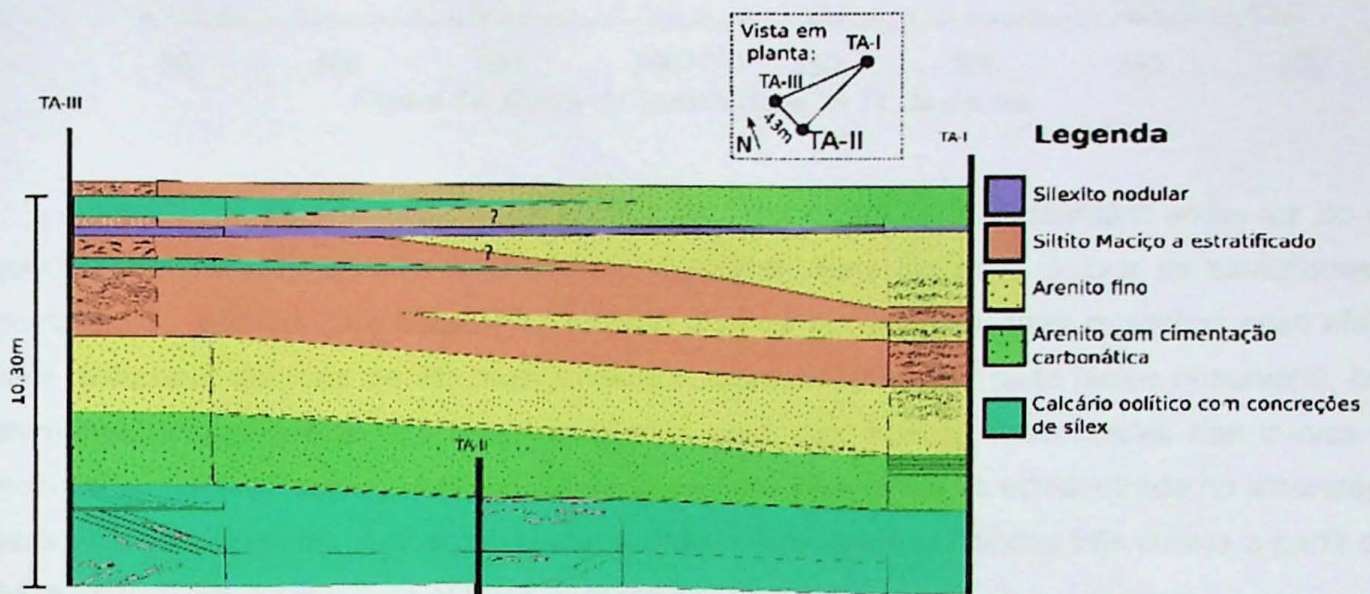


Figura 13: Correlação entre as camadas descritas nas seções colunares.

4.2 Análises de termoluminescência

Os resultados das amostras individualmente encontram-se no Anexo I. Cada gráfico apresenta 5 curvas sobrepostas, onde cada curva representa uma alíquota diferente da mesma amostra. Os picos e áreas dos intervalos de temperatura foram calculados com o *software TL tools*.

4.2.1 Tratamento dos dados

Uma das principais fontes de erro das medidas TL é o aumento da quantidade de fótons captados devido à emissão de luz da panela de medição, onde ficam as amostras durante análises de termoluminescência. Para isso, realizou-se uma análise, com os mesmos parâmetros, sem amostra para avaliar a quantidade de luz emitida pela panela do analisador (Figura 14) e assim subtraí-la das outras análises a fim de obter exclusivamente o sinal das amostras.

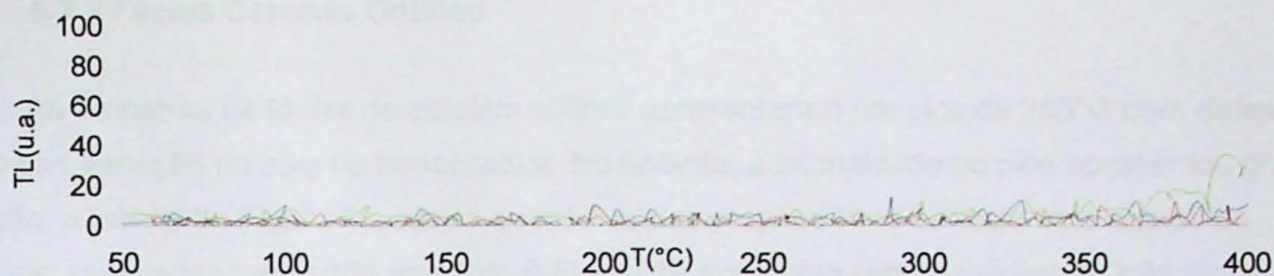


Figura 14: Curva de Sensibilidade de TL da panela

Outra fonte de erro provém da própria amostra analisada que também emite luz ao ser aquecida mesmo sem ter sido irradiada artificialmente. Esta luz pode derivar de esvaziamento incompleto da amostra pelo tratamento térmico anterior à irradiação. Para minimizar esse efeito, foram realizadas análises de algumas amostras, representativas de cada fácies observada, com tratamento térmico e que não foram irradiadas para que fossem descontadas das curvas de amostras irradiadas, restando apenas os picos gerados pela radiação administrada no laboratório. Essas análises foram denominadas curvas padrão. Foram confeccionadas três curvas a partir dos principais padrões de resposta obtidos (Figuras 15, 16 e 17).

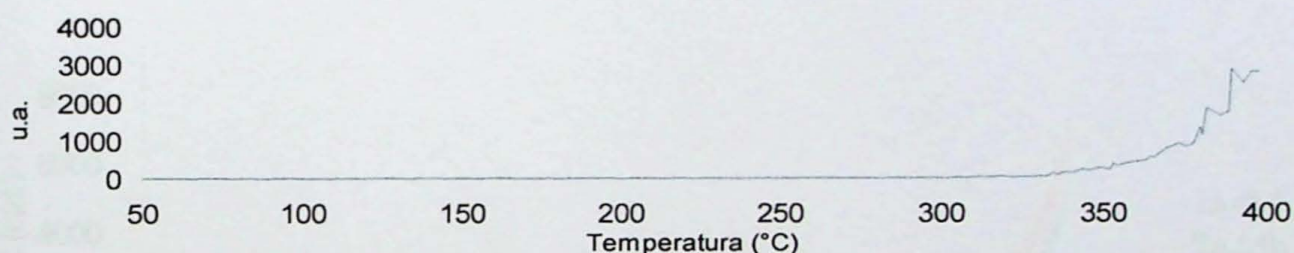


Figura 15 - Padrão do silexito Nodular: amostra TA-I-8.

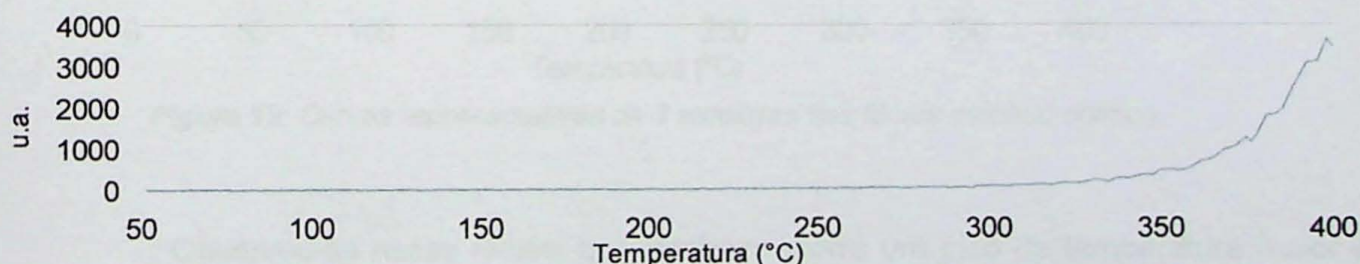


Figura 16 - Curva Padrão do calcário oolítico amostra TA-III-3

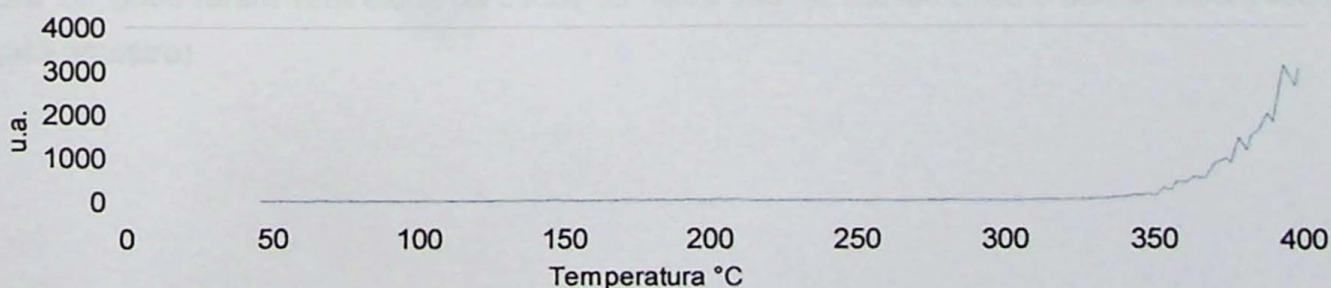


Figura 17: Curva padrão arenitos e siltitos, amostra TA-III-9

4.2.2 Fácies Calcário Oolítico

As amostras da fácies de calcário oolítico apresentaram um pico de 245°C bem definido, com baixa variação no eixo da temperatura. No entanto, a intensidade do pico apresentou grande variação, a tabela da Figura 18, ilustra as médias das propriedades de cada uma das cinco alíquotas analisadas para cada amostra. A Figura 19 apresenta curvas médias de três amostras analisadas, onde cada curva representa a média de cinco alíquotas analisadas.

Amostra	Temperatura pico (°C)	TL do pico (cps)	Integral (área da curva)
TA-III-7	248,21	486,75	7.715
TA-III-1	246,482	1163,2	18.320
TA-I-1B	247,946	1537,2	25.820
TA-II-2	250,26	953,2	15.320
TA-II-1	241,744	1033,6	17.014
TA-III-3B	245,042	678	10.766
TA-III-3T	241,77	847	13.110
Média	245,92	956,99	15.437,86
desvio padrão	3,26	340,61	5852,09

Figura 18- Dados das curvas de TL das amostras irradiadas– calcário oolítico.

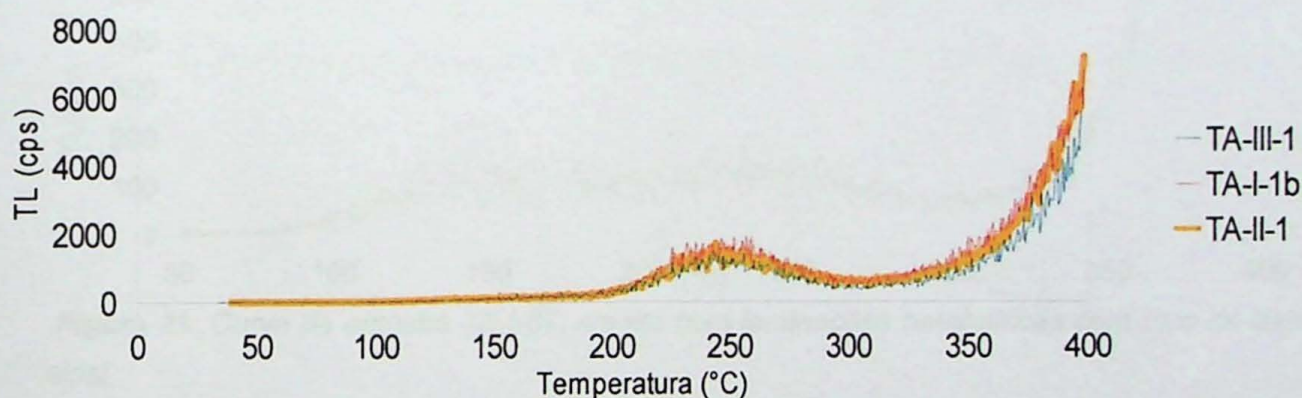


Figura 19: Curvas representativas de 3 amostras das fácies calcário oolítico.

Observou-se nessa fácies, que também ocorre um pico de temperatura maior em algumas amostras. Entretanto ele não pôde ser bem delimitado, pois ocorre em temperaturas próximas a 400° (além da capacidade do aparelho). Entretanto, ele pode ser notado na curva da Figura 20, onde foram subtraídos os dados da curva padrão (nesse caso o padrão escolhido foi a própria amostra).

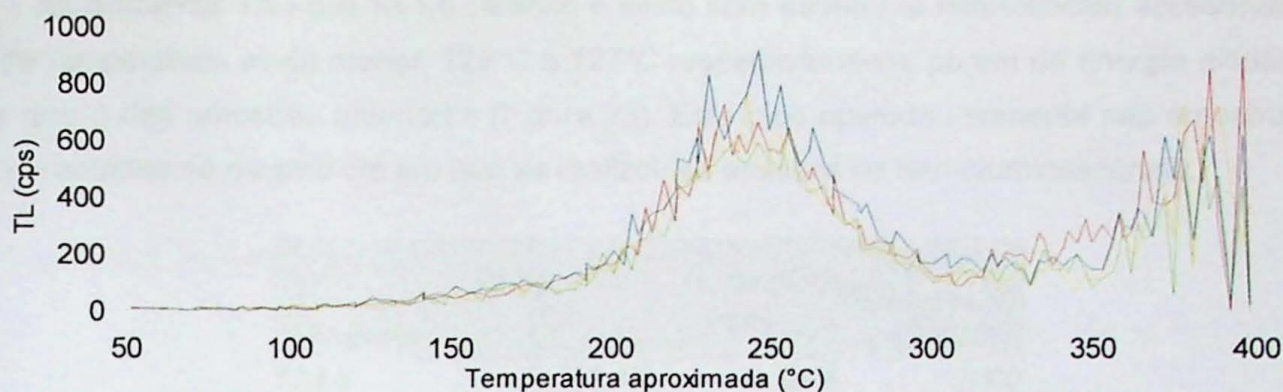


Figura 20: Curva representativa da fácies calcário subtraída da curva padrão: amostra TA-II-3B.

4.2.3 Fácies Arenito e Siltito

As fácies de arenito apresentaram baixo sinal de termoluminescência. No entanto, pode-se inferir dois picos; um a temperatura de 151°C, com desvio padrão igual a 6,39°C (Figura 22) e o outro pico, a 210°C aproximadamente, porém com desvio padrão de 4°C (vide Anexo). Apesar da baixa intensidade desses picos eles aparecem em quase todas as amostras analisadas (Figura 21).

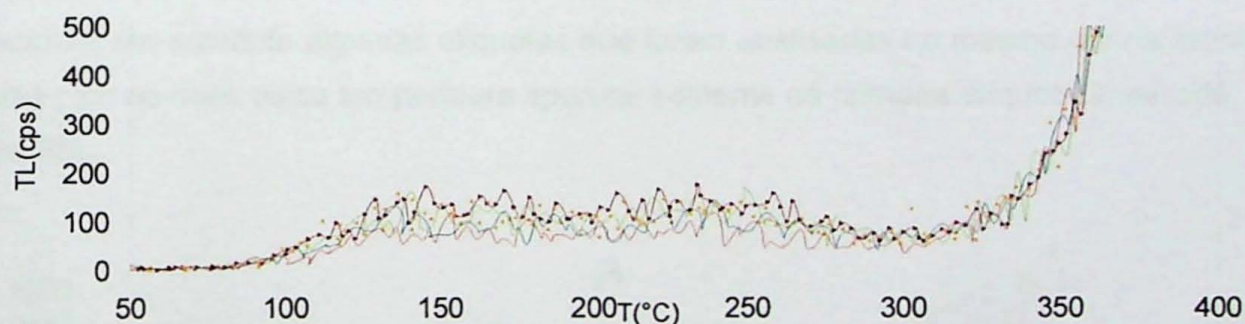


Figura 21: Curva da amostra TA-I-5T, arenito com laminações heterolíticas com pico de baixo sinal

Amostra	Temp. Pico (°C)	TL do pico (cps)	Integral (de 50 até 180°C)
TA-I-4B	142,026	48,2	1562
TA-I-6T	157,102	30,8	536,2
TA-I-5t	150,5	100,8	1478
TA-I-7	143,108	48	673,4
TA-I-2b	155,93	37,33	472,33
Média	151,66	54,23	789,98
Desvio padrão	6,39	31,84	466,29

Figura 22: Características do pico de 150°C dos arenitos e siltitos

As amostras TA-I-5 e TA-I-6 (arenito e siltito com estruturas heterolíticas) apresentam um pico de temperatura ainda menor, 122°C a 127°C respectivamente, porém de energia nitidamente maior que o das amostras anteriores (Figura 23). Este pico apareceu somente nas amostras que foram irradiadas no mesmo dia em que se realizou as análises de termoluminescência.

Amostra	Temp. Pico (°C)	TL do pico (cps)	Integral (intervalo 50 até 180°C)
TA-I-5	122,43	243	3300
TA-I-6	127,72	71	2680

Figura 23: características do pico de 122°C, dos arenitos e siltitos.

4.2.4 Fácies Silexito Nodular

As amostras de silexito apresentaram um resultado diferente das outras amostras. Há um pico de ~350°C, que só é possível visualizá-lo subtraindo sua curva padrão (Figura 24A). Observa-se também que há um sinal de termoluminescência de menor intensidade (Figura 24B). Os diferentes padrões podem ser resultado da soma de diversos picos de baixa temperatura que apareceram em somente algumas alíquotas que foram analisadas no mesmo dia da irradiação. O primeiro pico de mais baixa temperatura aparece somente na primeira alíquota analisada, ~122°C (Figura 25).

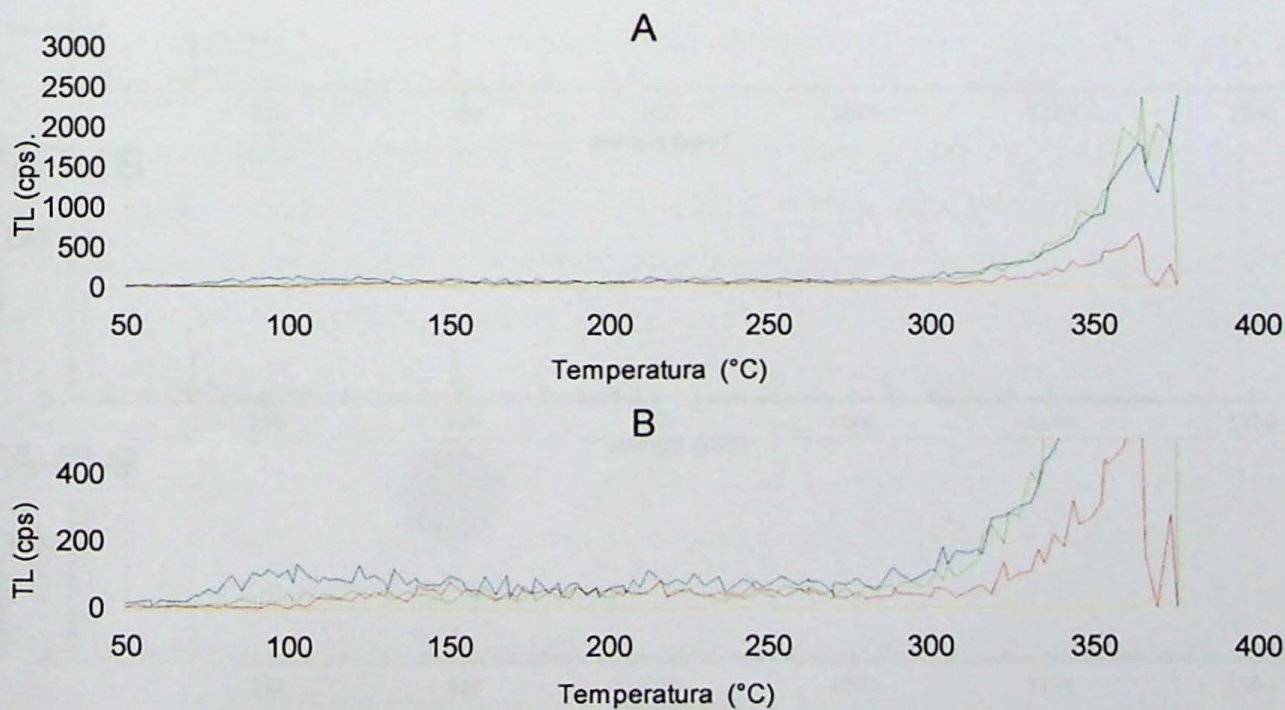


Figura 24 - A Curvas sensibilidade TL da amostra TA-I-8 subtraída do background B- Idem, em menor escala

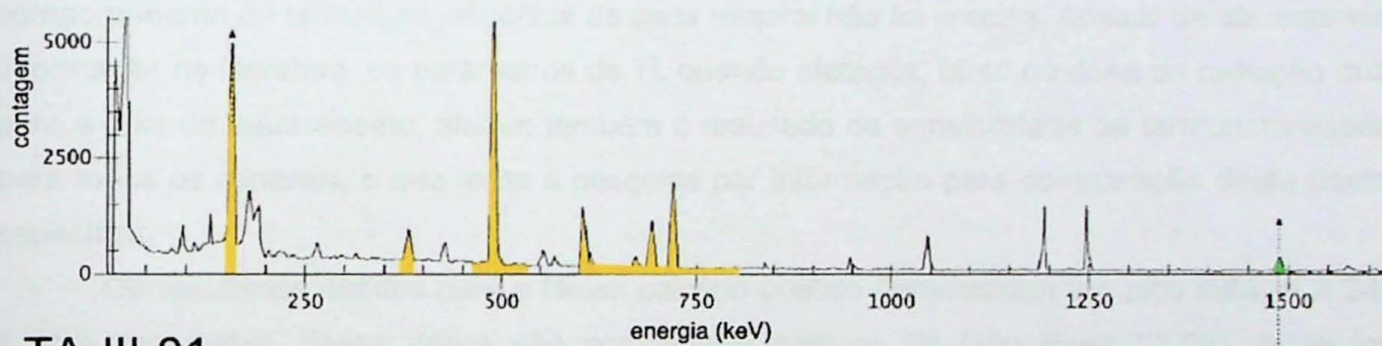
Amostra	Temp. Pico (°C)	TL do pico (cps)	Integral (intervalo 50 até 180°C)
TA-I-8	122,7	89	1920

Figura 25: Dados da amostra de silexito nodular

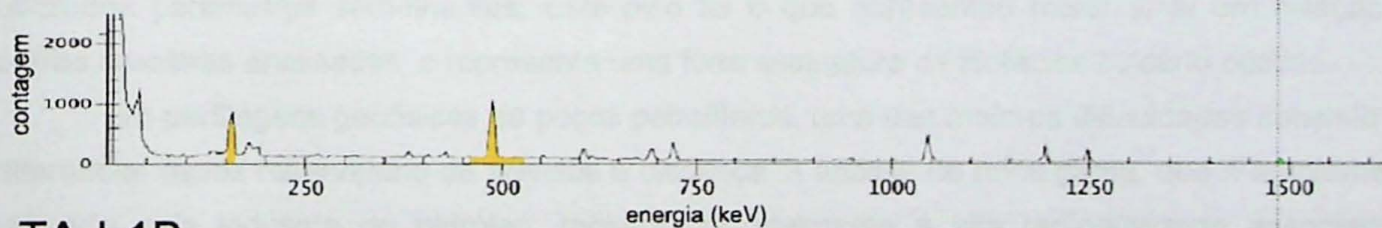
4.3 Análises de Raios Gama naturais

Os resultados das análises das amostras em detector de raios gama estão expressos na Figura 26. O pico de 1460 keV equivale ao ^{40}K , e a amostra arenito com heterolíticas obteve maior sinal de radioatividade, e foi a única que apresentou teor significativo de K40. Foi observado também que as fácies de silexito nodular (TA-III-9) e calcário oolítico (TA-III-01 e TA-I-1B) obtiveram respostas similares.

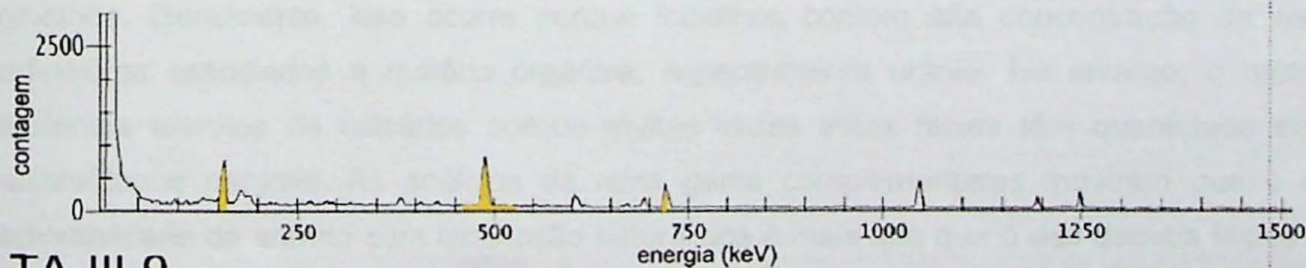
TA-I-5T



TA-III-01



TA-I-1B



TA-III-9

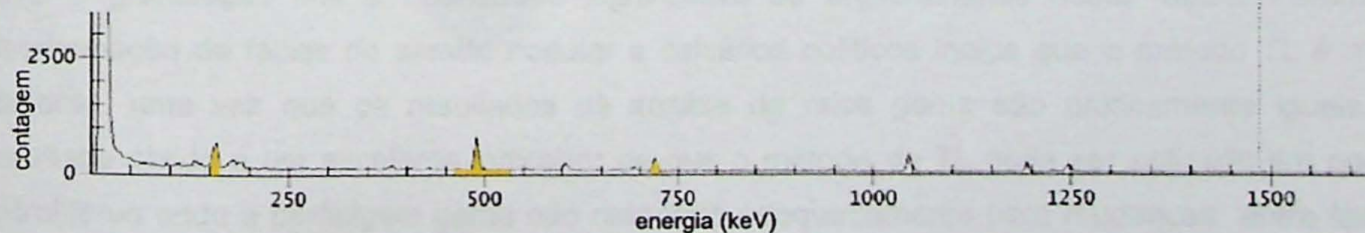


Figura 26: Resultados das análises de raios gama realizadas em quatro amostras de 100g.. Fácies: TA-I-5T, arenito com heterolíticas; TA-III-01 calcário oolítico; TA-I-1B calcário oolítico; e TA-III-9, silexito nodular.

Os picos em destaque da Figura 24 correspondem aos elementos que fazem parte do espectro nas análises em poços petrolíferos (U, Th e K). Nas perfilagens gama convencional de poços petrolíferos, esses resultados são somados em um pico único.

5. Discussão

Foi excluído do projeto o teste com análise de minerais pesados, pois constatou-se que o tamanho e a quantidade de amostras a torna inviável para este tipo de aplicação. A separação de grãos de quartzo para análises TL seria também inviável devido à baixa concentração desse mineral em grande parte das amostras.

Houve também dificuldade em se estabelecer uma curva representativa dos minerais mais abundantes na formação Teresina a partir da bibliografia. A ideia de fazer uma prévia sobre o comportamento de termoluminescência de cada mineral não foi precisa. Apesar da abundância de informação na literatura, os parâmetros de TL quando afetados, tanto da dose de radiação quanto para a taxa de aquecimento, afetam também o resultado da sensibilidade de termoluminescência para todos os minerais, o que torna a pesquisa por informação para comparação direta bastante específica.

Os resultados obtidos para a fácies calcário oolítico demonstram um pico estável a 246°C e com erro baixo. Esses dados são compatíveis com os de Gün Esen (2006), onde foram utilizados parâmetros semelhantes. Este pico foi o que apresentou maior sinal em relação às outras amostras analisadas e representa uma forte assinatura da litofácies calcário oolítico.

Em perfilagens geofísicas de poços petrolíferos, uma das maiores dificuldades consiste em diferenciar fácies reservatório de arenitos e calcários. A análise de raios gama, que é amplamente utilizada pela indústria do petróleo, registra principalmente a alta radioatividade associada a folhelhos. Geralmente, isso ocorre porque folhelhos contém alta concentração de elementos radioativos associados a matéria orgânica, especialmente urânio. No entanto, o método não diferencia arenitos de calcários porque muitas vezes estas fácies têm quantidade similar de radioisótopos naturais. As análises de raios gama complementares mostram que o sinal da radioatividade do arenito com laminação heterolítica é mais alto que o das demais fácies. Isso se deve à granulação fina e quantidade significativa de argilominerais nesta fácies. Porém, a discriminação de fácies de silexito nodular e calcários oolíticos indica que o método TL é mais eficiente, uma vez que os resultados da análise de raios gama são praticamente iguais. O resultado obtido é um excelente indicador de que o método da TL pode ser aplicado em poços petrolíferos onde a perfilagem gama não responde adequadamente para mudanças entre fácies silicosas e carbonáticas.

O resultado obtido para a TL da fácies calcário oolítico também indica que existe um pico ainda em temperatura superior, em torno dos 400°C. Este pico parece distorcido devido à imprecisão do eixo da temperatura na subtração, mas que é identificado. Este pico deve ser o correspondente ao terceiro pico do calcário conforme indicado em Medlin (1959), mas cuja temperatura não pode se adequar devido a diferença na taxa de aquecimento.

Apesar de apresentarem sinal baixo, as amostras de arenito fino e siltito apresentaram um pico proeminente de mesma temperatura que a calcita, no entanto, com magnitude menor e abertura alta da curva, indicando provavelmente uma sobreposição de picos pequenos. Este sinal pode estar relacionado tanto a ocorrência de minerais diversos em baixa concentração, em meio aos argilominerais, quanto a interferência da calcita em concentrações baixas nas unidades pelíticas, como afirma Martini & Sibilila *et al.* (1988)., Além disso, o alto desvio padrão, de $\pm 6^\circ\text{C}$, também realça essa fraca precisão dos picos. Essa sobreposição de picos pequenos forma uma curva característica que se repete e pode ser considerada também uma assinatura das duas fácies sedimentares, pois ambas possuem baixo sinal TL para os arenitos e siltitos. Esse fato ocorre devido a composição química semelhante de cada fácies (arenito siltoso/ siltito arenoso), sendo as variações entre elas somente de ordem granulométrica.

Observou-se também que as respostas de termoluminescência obtiveram melhores resultados no dia em que as amostras foram irradiadas. As análises realizadas dias depois da irradiação apresentaram picos com sinal de termoluminescência nitidamente mais fracos. É possível observar esse efeito na curva das fácies arenito e siltito. As análises realizadas dois dias após a irradiação já quase não apresentaram sinal. A curva da fácies silexito nodular também deve estar sendo controlada por esse fator. No entanto, não foi registrado a hora em que essas amostras foram analisadas.

Quanto ao silexito nodular, um pico de alta temperatura, (aproximadamente 350°C) deve corresponder ao pico estável de maior temperatura do quartzo, como é referido na revisão bibliográfica (Hashimoto *et al.*, 1986).

Os picos de baixa temperatura ($\sim 122^\circ\text{C}$) são instáveis e aparecem também nos arenitos, siltitos e nos silexitos. Este pico deve corresponder ao pico instável do quartzo, que apesar de estar com temperatura ligeiramente acima do esperado (110°C), é compatível com a litologia observada. O aumento da temperatura desse pico pode ser explicado pois como a dose de radiação é baixa, e há uma menor quantidade de radiação acumulada é necessário mais energia para mover o elétron preso nas trapas (Gün Esen, 2006). Já o pico instável da calcita, para esta taxa de aquecimento, estaria em temperaturas mais altas, igual ou maior que 150°C.

A principal fonte de interferência nas análises foi o comportamento da curva quando em altas temperaturas, que pode omitir os picos mais altos que 350°C. Esse comportamento ocorre mesmo com as amostras não irradiadas (Figuras 15, 16 e 17) e não ocorre com a panela do

analisador sem amostra (Figura 14). O erro, portanto, não provém da luminescência da panela do analisador. Essa curva deve ser luz natural gerada por minerais que apresentam incandescência a menos de 400°C. Uma possível forma de eliminar essa fonte desse erro seria testar as amostras substituindo o agente estimulante térmico para um estimulante óptico, por exemplo (luminescência opticamente estimulada), ou também, identificar e remover esses minerais com tratamento químico.

6. Conclusão

A partir da análise dos resultados obtidos, foi possível concluir:

- Quanto à sensibilidade TL, foi possível distinguir três padrões principais: o do calcário oolítico, do silexito nodular e o dos arenitos e siltitos com estruturas heterolíticas. Essas observações de variações entre os sinais TL entre as fácies constituem um excelente exemplo da aplicação do método para correlação estratigráfica.
- O calcário oolítico apresenta assinatura TL consistente, com baixo desvio padrão e com pelo menos 1 pico bem definido a 250°C, que deve estar associado a abundância de calcita.
- O pico de 250°C também deve ser um bom indicador da ocorrência de calcita não só nas fácies calcárias. Este pico deve ser bom indicador de cimentação carbonática em outras litologias, pois ele foi observado, ainda que em menor escala e com desvio padrão alto, em diversas curvas TL de arenitos e siltitos.
- Os picos de baixa temperatura são mais instáveis. O pico mais proeminente observado nas amostras de silito e arenito, (~122°C) deve ser reflexo da ocorrência de quartzo, mesmo que em pequena quantidade. Para comprovar esta hipótese seria necessário, em estudos posteriores, como análises petrográficas para correlacionar o teor de quartzo com o sinal de termoluminescência.
- O sinal de luminescência natural de amostras constituem uma importante fonte de interferência no resultado, pois omitem os picos de maior temperatura. Esse sinal pode ser eliminado com tratamento térmico adequado, aumentando o tempo de aquecimento.
- Os espectros de raios gama, apesar de eficientes para diferenciar alguns litotipos, restringem-se em discriminar amostras com alta quantidade de material radioativo. Amostras com sinal parecido podem ocorrer frequentemente em perfilagens geofísicas de poço, como foi observado para as fácies calcário oolítico e silexitos nodulares, as quais são diferenciadas somente pelas curvas TL.

Referências Bibliográficas

- Benoit, P.H., Hartmetz, C.P., Batchelor, J.D., Symes, S.J.K., Sears, D.W.G., 2001. The induced thermoluminescence and thermal history of plagioclase feldspars. *American Mineralogist*, **86**: 780-789.
- Bing L., Zhang F., Weiyan Z., Jianming P., Haiyan J., e Bihao W., 2005 The use of natural thermoluminescence in oil and gas exploration of surface sediments in the eastern part of the South China. *Marine Geology & Quaternary Geology*, **25**(3):103-112
- Caires E.T. 2005. Tratamento Espacial de Dados Paleontológicos do Subgrupo Irati no Estado de São Paulo. Monografia de Conclusão de Curso, IGE-Unicamp, 59 p.
- Calderón, T. Beneitez, P. Alvarez ,M.A. Millán, A. 2005. Thermoluminescence Dating Of Archaeological Materials Rich In Calcium Carbonate: A New Approach. *Scientific Heritage*, **1**:1.
- David, M., Sunta, C.M., 1983. Thermoluminescence of quartz e part X: pre-dose sensitization used to evaluate the crystallization temperature. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*. **21**: 659-660.
- Gün Esen. 2006. Investigation of Thermoluminescence Properties of Calcite (CaCO₃). Master Thesis in Engineering Physics, University of Gaziantep, 65p.
- Hardy F., Lamothe M. 1997. Quaternary basin analysis using infrared stimulated Luminescence on borehole cores and cuttings. *Quaternary Science Reviews*, **16**: 417 a 426,
- Hashimoto, T. Yokosaka, K. & Habuki. 1986. Emission properties of thermoluminescence from natural quartz-blue and red TL response to absorbed dose. *Nucl. Tracks*, **11**: 229–235.
- Hutchison, C. S. 1966. Dating tectonism in the Indonesian-Thai-Malayan Orogen by thermoluminescence. *Geological Society of America Bulletin* , **79**, p. 375-386.
- IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA 1974. Mapas topográficos do Estado de São Paulo, folha Sarutaiá: SF-22-Z-D-I-3, escala 1:50.000.
- Johnson N. M. Thermoluminescence in biogenic calcium carbonate,1960. *Journal of sedimentary petrology*, **30 (2)**: 305 - 313.
- Kexue D. 1986. Thermoluminescence of the Cambrian and Ordovician limestones from eastern Hebei and western Zhejiang, China. *Scientia Geologica Sinica* , **4**: 388 - 396
- Krebs, A. S. J. 2002. Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da área correspondente à bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC. Tese Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Medlin. W. L. 1959. Thermoluminescent Properties of Calcite. *Journal of Chemical Physics*. **30**, 451
- Milani J. E. Melo J. H. G., Souza P. A., Fernandes L. A. França A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro* **15**:2, p. 265-287

- Martini M. & Sibila E., Calderón T., Di Renzo F. 1988. Spurious Thermoluminescence In Archaeological Ceramics: A Study Of Affecting Factors. *Nucl. Tracks Radiat. Mean.*, **14 1/2**: 339-342.
- McDougall, D. J. 1966. A study of the distribution of thermoluminescence around an ore deposit. *Economic Geology*, **61**: 1090-1103
- Nomura S. F. 2009. Caracterização de ocorrência de hidrocarbonetos da formação Teresina, Bacia do Paraná no estado de SP. Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências Universidade de São Paulo. 53p.
- McKeever S.W. S. 1985. *Thermoluminescence of solids*. Cambridge. Cambridge Solid State Science Series, Cambridge, 84 – 5028. 373 p.
- Preusser, F., Ramseyer, K., Schlüchter, C., 2006. Characterization of low OSL intensity quartz from the New Zealand Alps. *Radiation Measurements* **41**: 871-877.
- Saunders D. F., 1953 , Thermoluminescence and Surface Correlation of Limestones. *Donald F. AAPG Bulletin* ,**37**: 20-47
- Schneider R. L., Muhlmann H., Tommasi E., Medeiros, R. A.; Daemon R. F. Nogueira A. A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: SBG, *Congresso Brasileiro de Geologia*, 28, Anais, **1**: 41-64.
- Sawakuchi, A. O. Blair M. W., DeWitt R., Faleiros F. M., Hyppolito T. , Guedes C. C. F., 2010 Thermal history versus sedimentary history: OSL sensitivity of quartz grains extracted from rocks and sediments. *Quaternary Geochronology* **6**, 261-272. .
- Sawakuchi², A.O. DeWitt, R. Faleiros, F.M., 2011. Correlation between thermoluminescence sensitivity and crystallization temperatures. *Radiation Measurements*, **46**:51-58
- Wysota, W. A. Chruścińska, K. R. Lankauf, K. Przeglęta, H. L. Oczkowski and J. Szymańska. 2000. Chronostratigraphy of the Vistulian Deposits in the Southern Part of the Lower Vistula Region (North Poland) in the Light of Thermoluminescence Dating. *Geologos*, **5**:123-134.
- Zheng, C.X., Zhou, L.P., Qin, J.T., 2009. Difference luminescence sensitivity of coarse-grained quartz from deserts of Northern China. *Radiation Measurements*, **44**: 534-537.

ANEXO I

TABLE 1

Year	Population	Urban	Rural	Total
1990	1,200,000	600,000	600,000	1,200,000
2000	1,500,000	750,000	750,000	1,500,000
2010	1,800,000	900,000	900,000	1,800,000
2020	2,100,000	1,050,000	1,050,000	2,100,000

Source: Author's calculations.



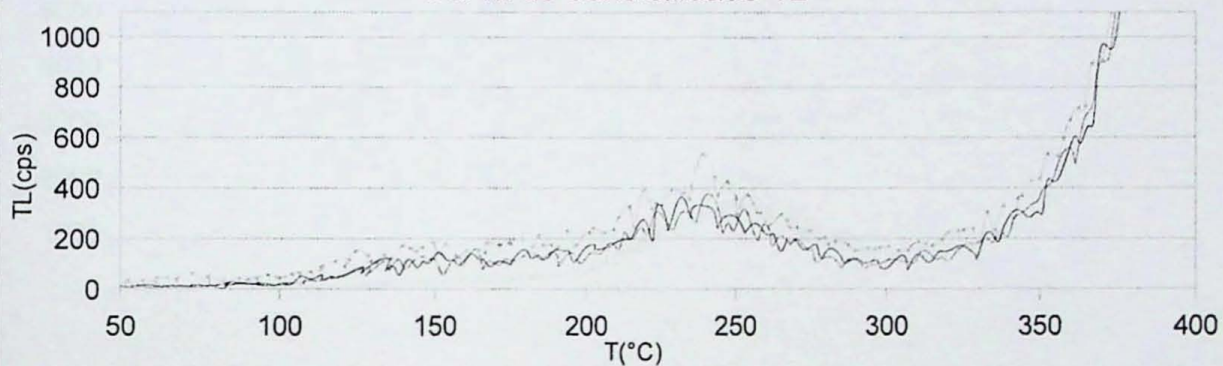
Source: Author's calculations.



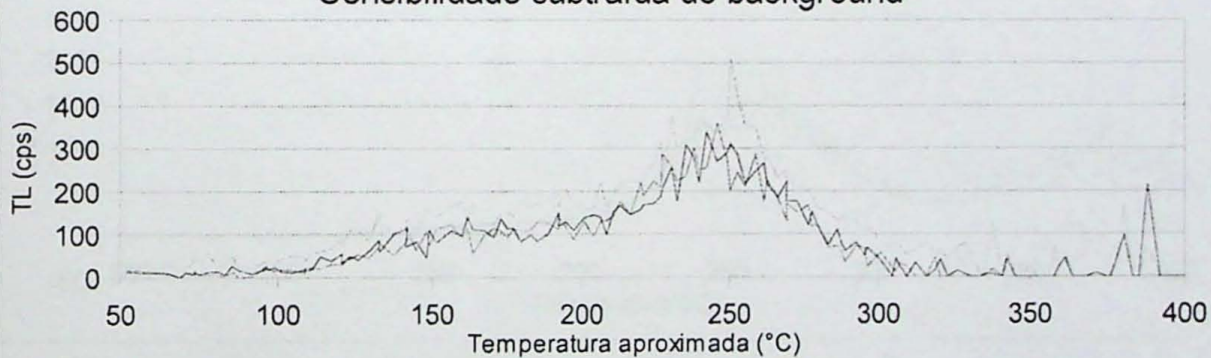
TA-1-0

Pico 1	Temp. Pico (°C)	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	234,05	314,00	6,40E+003	4,98
Alíquota 2	239,60	307,00	6,17E+003	4,98
Alíquota 3	238,74	441,00	9,27E+003	4,98
Médias	237,46	354,00	7280,00	4,98

Curva de sensibilidade TL



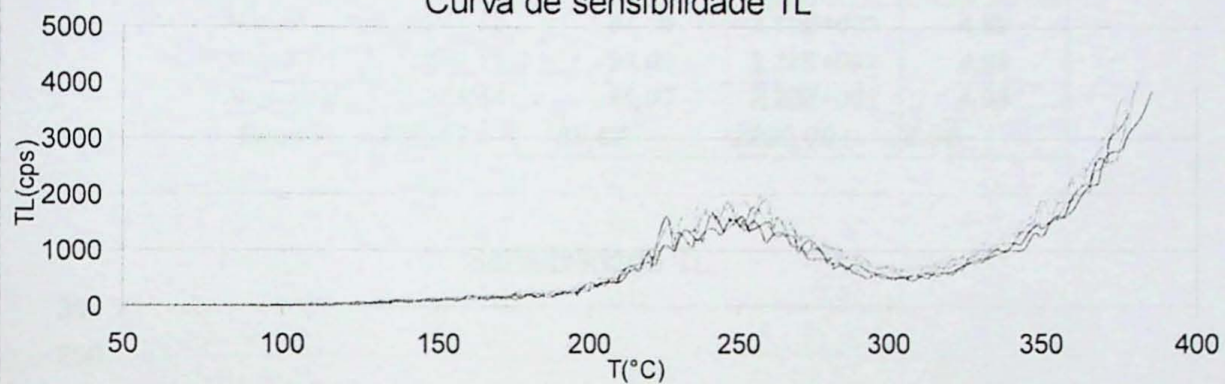
Sensibilidade subtraída do background



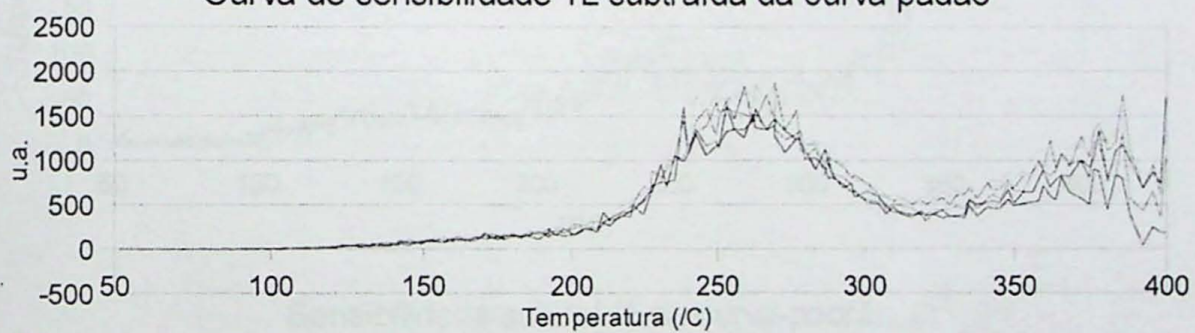
TA-1-1

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	249,13	1454,00	24000,00	4,96
Alíquota 2	249,07	1534,00	26500,00	4,99
Alíquota 3	248,56	1747,00	29300,00	4,98
Alíquota 4	249,65	1559,00	26200,00	5,00
Alíquota 5	243,32	1392,00	23100,00	4,98
Médias	247,95	1537,20	25820,00	4,98

Curva de sensibilidade TL



Curva de sensibilidade TL subtraída da curva padrão

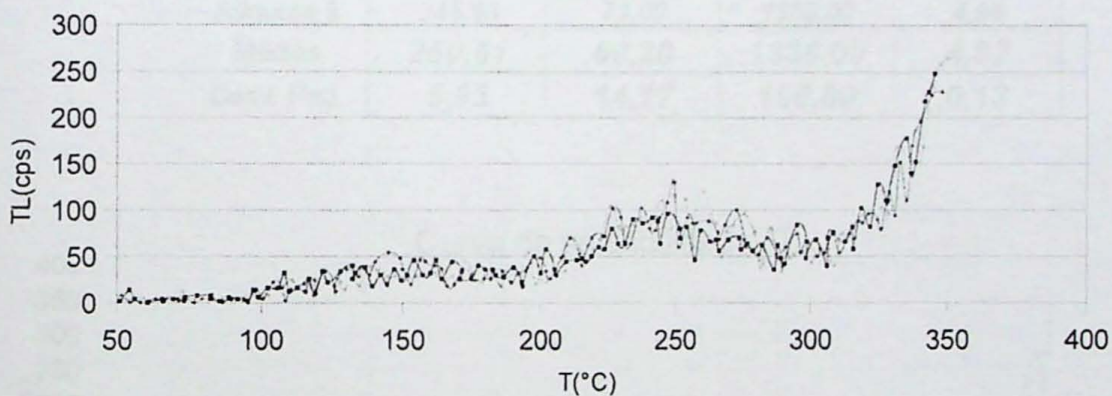


TA-I-2B

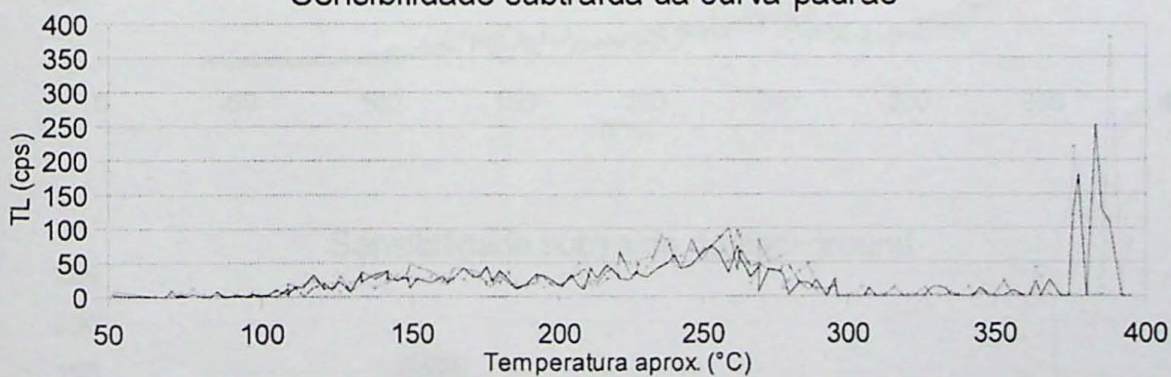
Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	157,26	39,00	5,04E+002	4,97
Alíquota 2	147,65	45,00	4,83E+002	5,01
Alíquota 3	162,88	28,00	4,30E+002	4,96
Médias	155,93	37,33	472,33	4,98

Pico 2	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	271,86	64,00	2,18E+003	4,99
Alíquota 2	250,15	98,00	2,32E+003	4,99
Alíquota 3	253,54	95,00	2,25E+003	4,98
Médias	258,52	85,67	2250,00	4,98

Sensibilidade TL



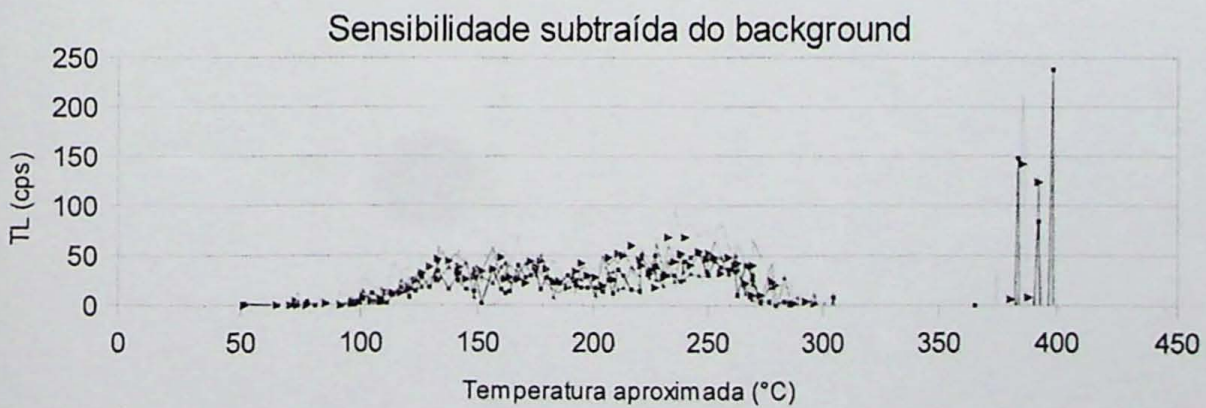
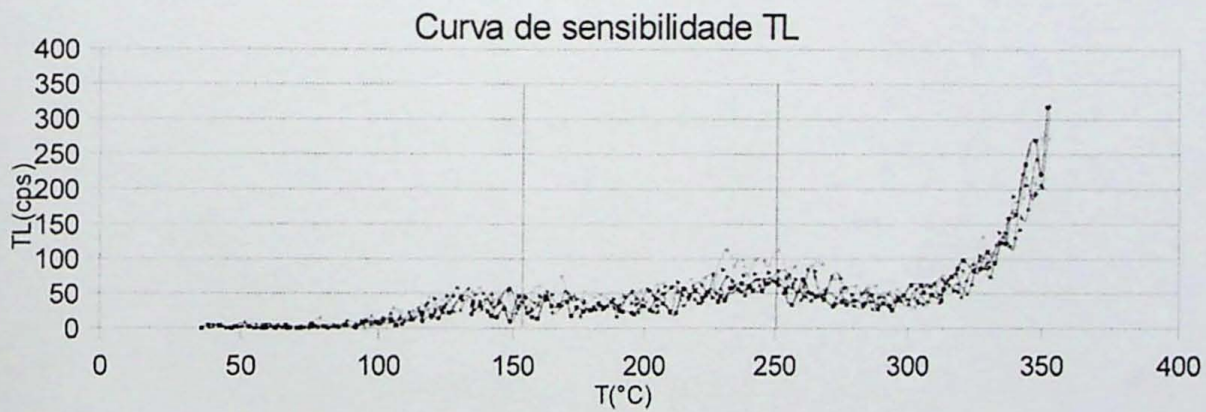
Sensibilidade subtraída da curva-padrão



TA-I-3

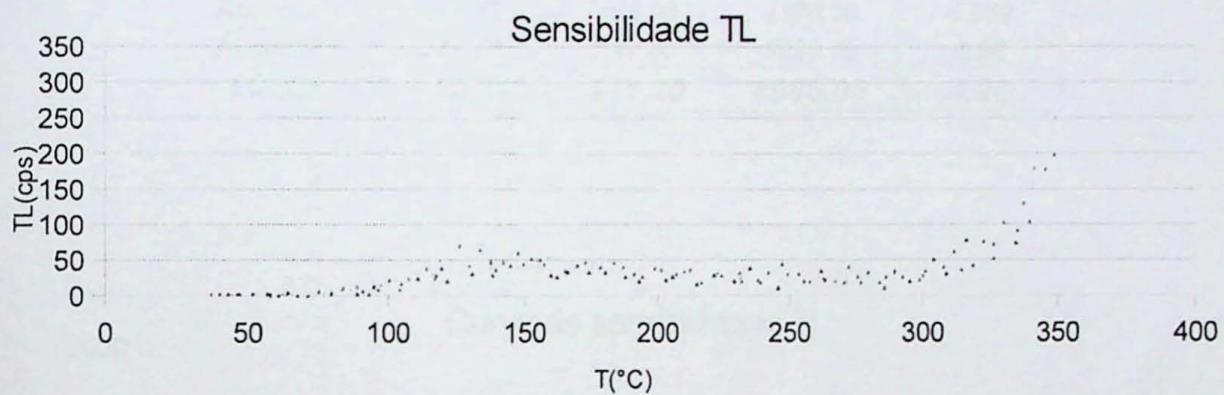
Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
	257,18	50,00	1140,00	4,94
Alíquota 1	251,49	70,00	1290,00	4,99
Alíquota 2	243,26	89,00	1660,00	4,70
Alíquota 3	255,18	64,00	1240,00	4,99
Alíquota 4	245,93	73,00	1350,00	4,96
Médias	250,61	69,20	1336,00	4,92
desv pad.	5,93	14,17	196,80	0,13

Pico 2	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
	257,18	50,00	1140,00	4,94
Alíquota 1	251,49	70,00	1290,00	4,99
Alíquota 2	243,26	89,00	1660,00	4,70
Alíquota 3	255,18	64,00	1240,00	4,99
Alíquota 4	245,93	73,00	1350,00	4,96
Alíquota 5	245,93	73,00	1350,00	4,96
Médias	250,61	69,20	1336,00	4,92
Desv. Pad.	5,93	14,17	196,80	0,13



TA-I-4

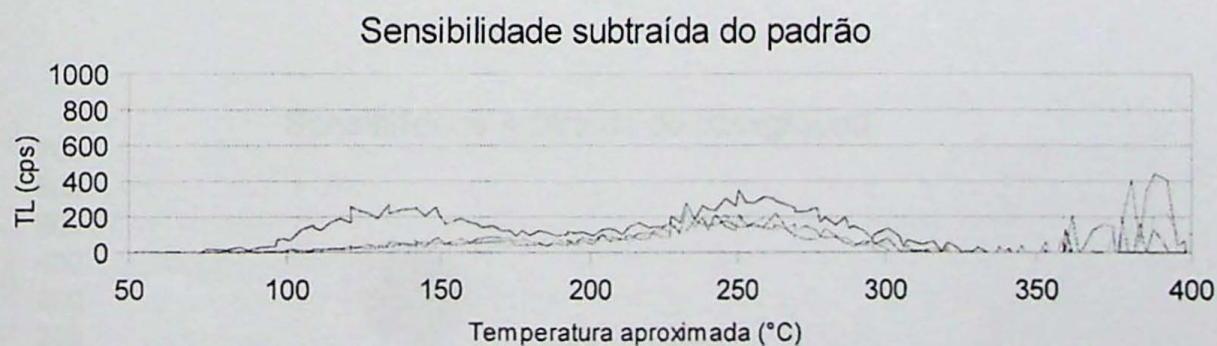
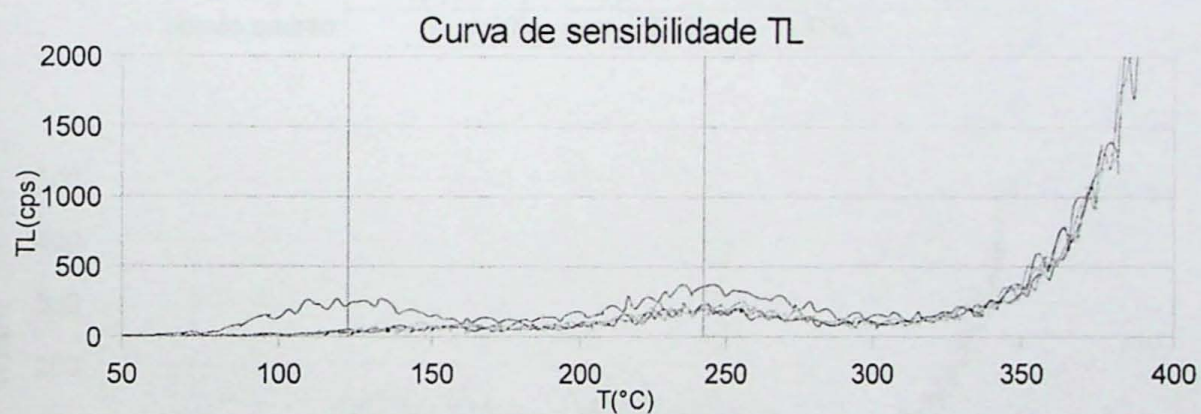
Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	149,89	55,00	1,58E+003	4,97
Alíquota 2	143,01	54,00	1,90E+003	4,98
Alíquota 3	134,19	53,00	1,69E+003	4,98
Alíquota 4	138,49	38,00	1,37E+003	4,98
Alíquota 5	144,55	41,00	1,27E+003	4,98
Médias	142,03	48,20	1562,00	4,98



TA-I-5

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	122,43	243,00	3310,00	4,99

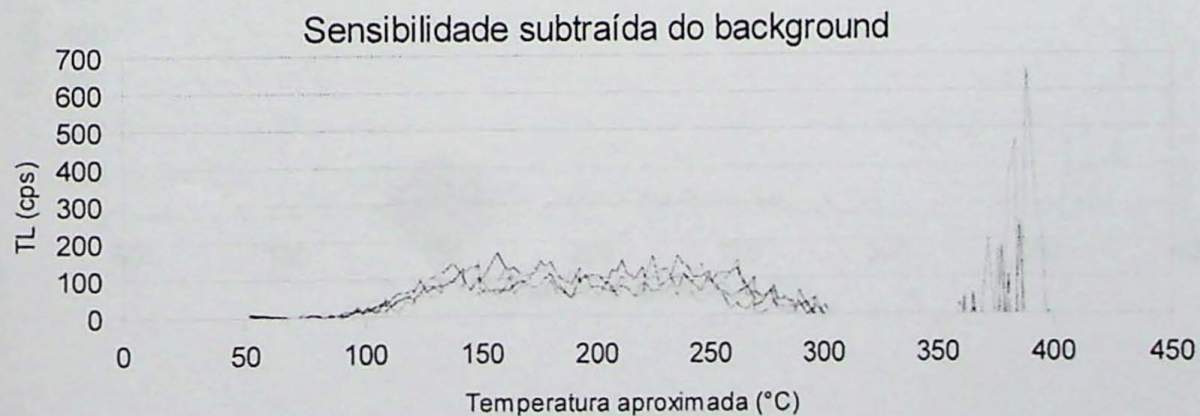
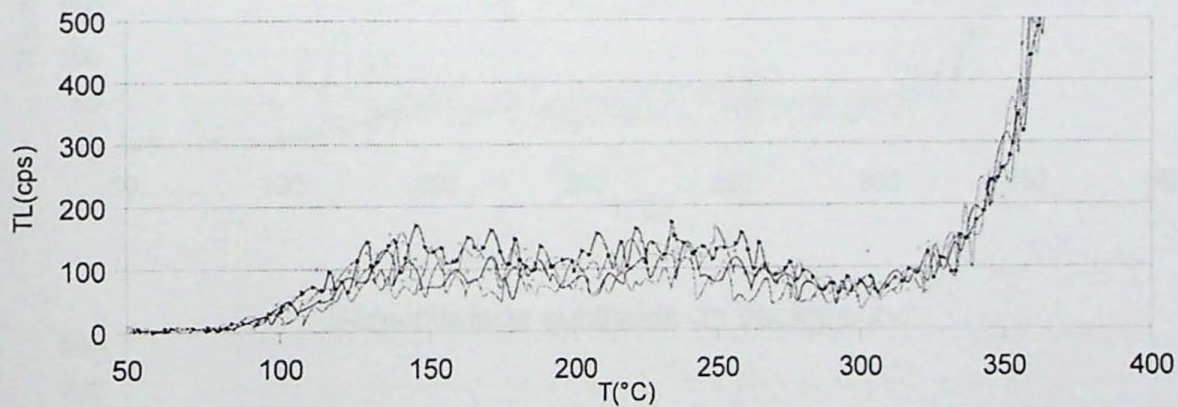
Pico 2	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	238,45	308,00	8990,00	4,992
Alíquota 2	243,23	178,00	3750,00	4,986
Alíquota 3	244,87	198,00	4050,00	4,989
Alíquota 4	242,72	185,00	4320,00	4,969
Alíquota 5	241,76	187,00	3820,00	4,96
Médias	242,21	211,20	4986,00	4,96



TA-I-5 (topo)

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	145,26	81,00	1,28E+003	4,95
Alíquota 2	157,43	81,00	1,05E+003	4,96
Alíquota 3	145,03	113,00	1,68E+003	4,93
Alíquota 4	150,02	108,00	1,53E+003	4,97
Alíquota 5	154,76	121,00	1,85E+003	4,98
Médias	150,50	100,80	1478,00	4,96

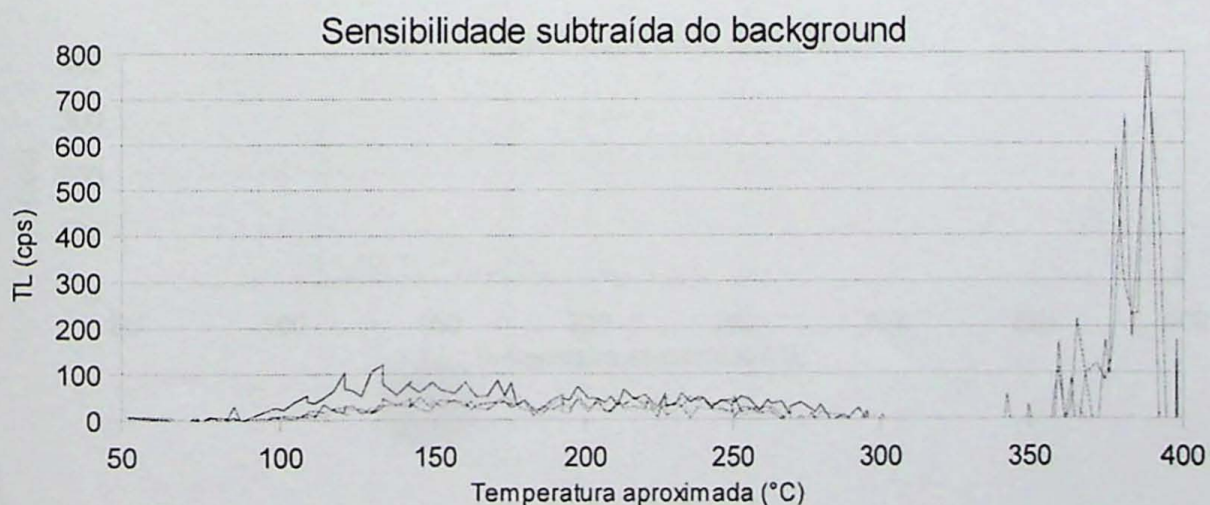
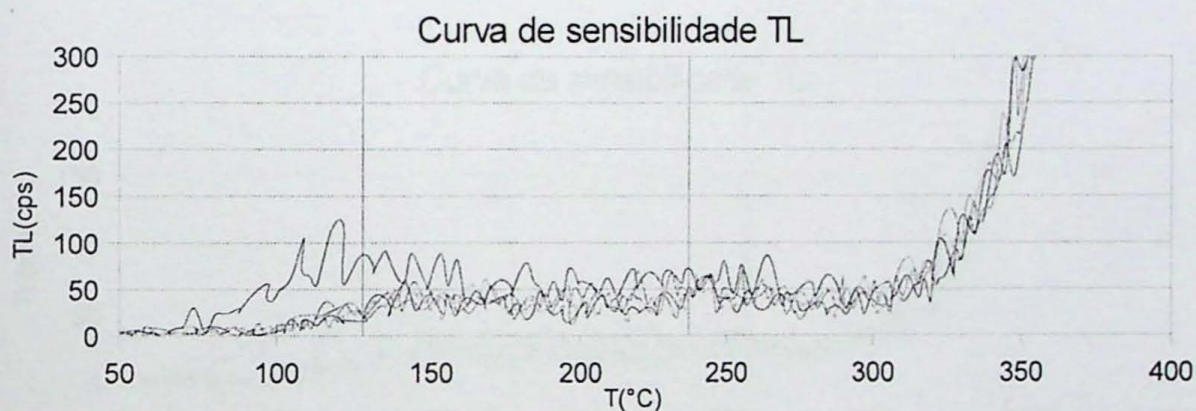
Pico 2	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 2	232,75	82,00	1570,00	4,958
Alíquota 3	231,91	123,00	2320,00	4,992
Alíquota 4	239,79	116,00	2360,00	4,980
Alíquota 5	232,76	150,00	2680,00	4,98
Médias	234,30	117,75	2232,50	4,98
desvio padrão	3,7	28,0	470,1	



TA-I-6 (base)

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Aliquota 1	127,72	71,00	2,68E+003	4,99
Médias	127,72	71,00	2680,00	4,99

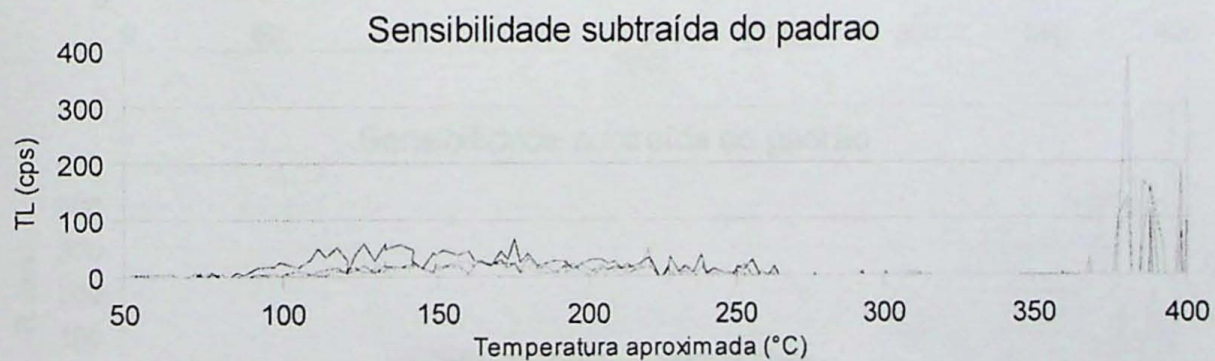
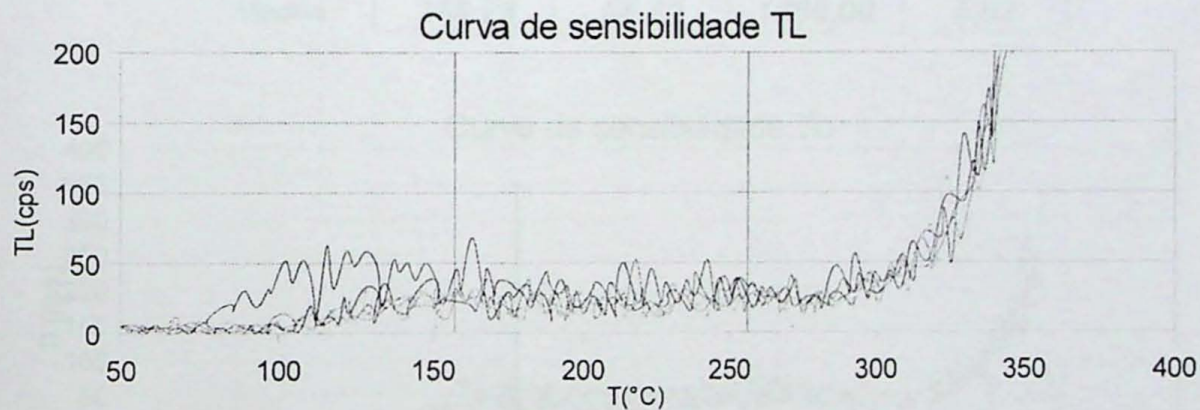
Pico 2	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Aliquota 1	237,83	59,00	1580,00	5,008
Aliquota 2	256,42	52,00	1630,00	4,958
Aliquota 3	224,99	31,00	1490,00	4,985
Aliquota 4	245,64	46,00	1550,00	4,973
Aliquota 5	220,09	26,00	1350,00	4,98
Médias	236,99	42,80	1520,00	4,98



TA-I-6(topo)

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	141,53	45,00	8,82E+002	4,93
Alíquota 2	171,60	28,00	4,55E+002	4,95
Alíquota 3	157,30	24,00	3,74E+002	4,97
Alíquota 4	165,40	25,00	3,80E+002	4,99
Alíquota 5	149,68	32,00	5,90E+002	4,99
Médias	157,10	30,80	536,20	4,96

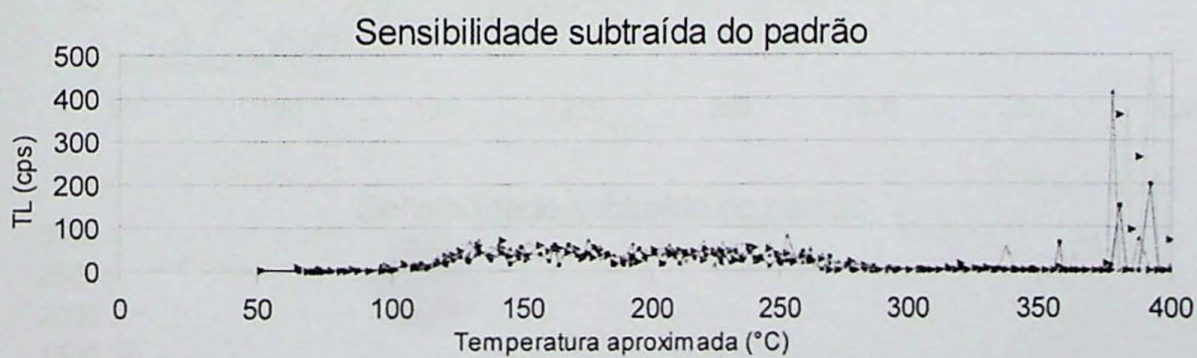
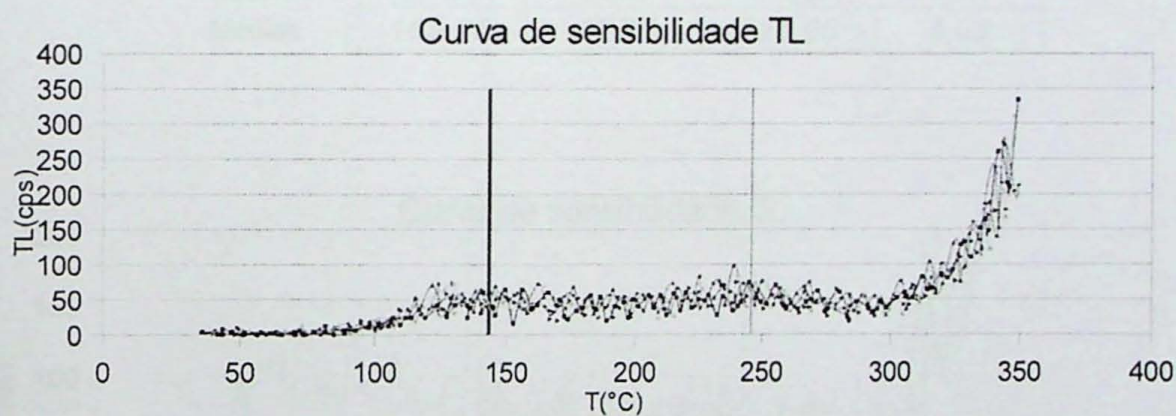
Pico 2	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	266,35	27,00	710,00	4,941
Alíquota 3	244,27	42,00	836,00	4,987
Alíquota 5	258,10	32,00	510,00	5,01
Médias	256,24	33,67	685,33	5,01



TA-I-7

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	152,28	46,00	5,87E+002	4,97
Alíquota 2	137,04	39,00	6,87E+002	4,99
Alíquota 3	141,33	46,00	6,78E+002	4,97
Alíquota 4	150,82	56,00	7,66E+002	4,92
Alíquota 5	134,07	53,00	6,49E+002	4,95
Médias	143,11	48,00	673,40	4,96

Pico 2	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	248,47	54,00	1190,00	4,996
Alíquota 2	245,74	55,00	1410,00	4,960
Alíquota 3	243,80	62,00	1200,00	4,959
Alíquota 4	240,84	61,00	1310,00	4,989
Alíquota 5	249,79	50,00	1220,00	5,02
Médias	245,73	56,40	1266,00	5,02

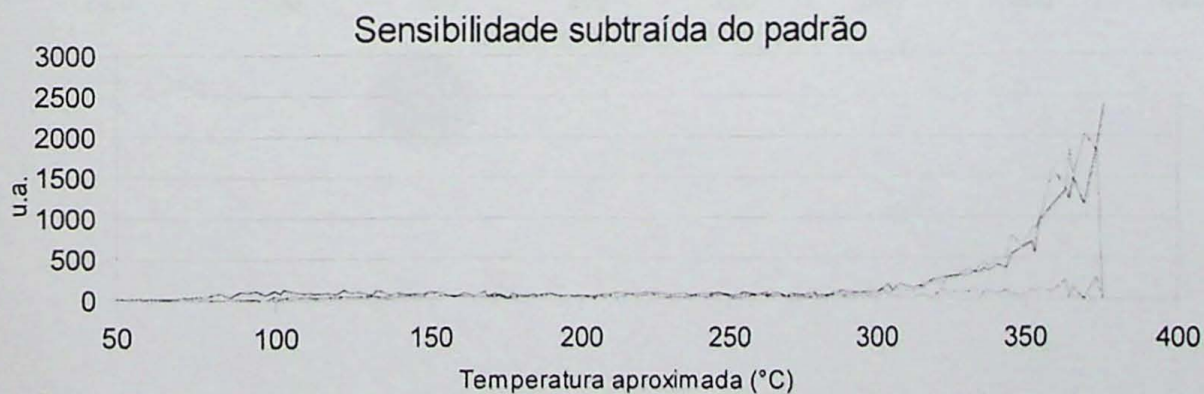
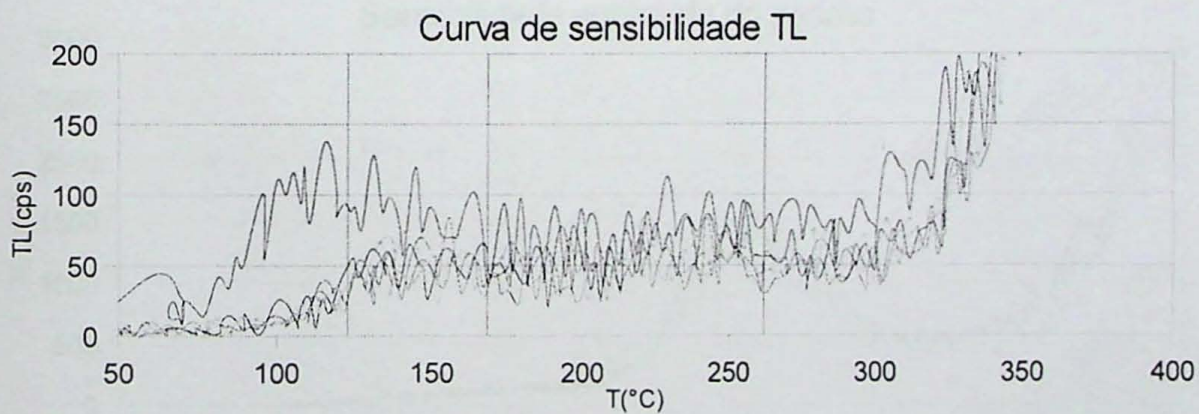


TA-I-8

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	122,70	89,00	1920,00	5,09

Pico 2	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	283,38	73,00	1620,00	4,831
Alíquota 2	244,01	55,00	1150,00	4,972
Alíquota 3	274,74	65,00	1200,00	4,985
Alíquota 4	257,53	43,00	1050,00	4,950
Alíquota 5	250,79	73,00	1340,00	4,99
	262,09	61,80	1272,00	4,99

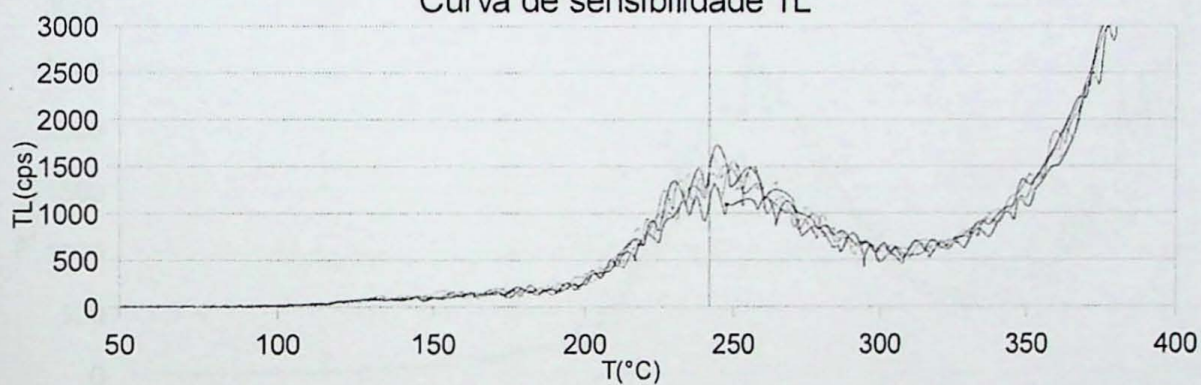
Pico 3	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 2	160,72	58,00	894,00	4,994
Alíquota 3	152,98	39,00	883,00	4,996
Alíquota 4	167,39	44,00	762,00	4,972
Alíquota 5	191,94	50,00	941,00	4,956
Médias	168,26	47,75	870,00	4,98



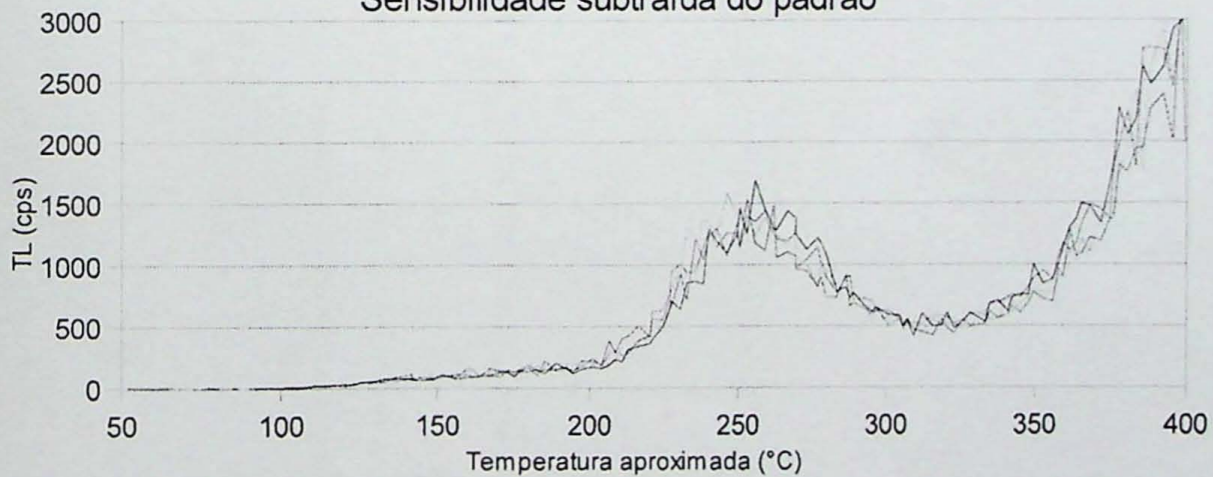
TA-II-1

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	246,59	1440,00	2,26E+004	4,99
Alíquota 2	250,14	1267,00	2,11E+004	4,98
Alíquota 3	245,90	1008,00	1,72E+004	4,98
Alíquota 4	245,62	1402,00	2,23E+004	4,97
Alíquota 5	220,47	51,00	1,87E+003	4,98
Médias	241,74	1033,60	17014,00	4,98

Curva de sensibilidade TL



Sensibilidade subtraída do padrão



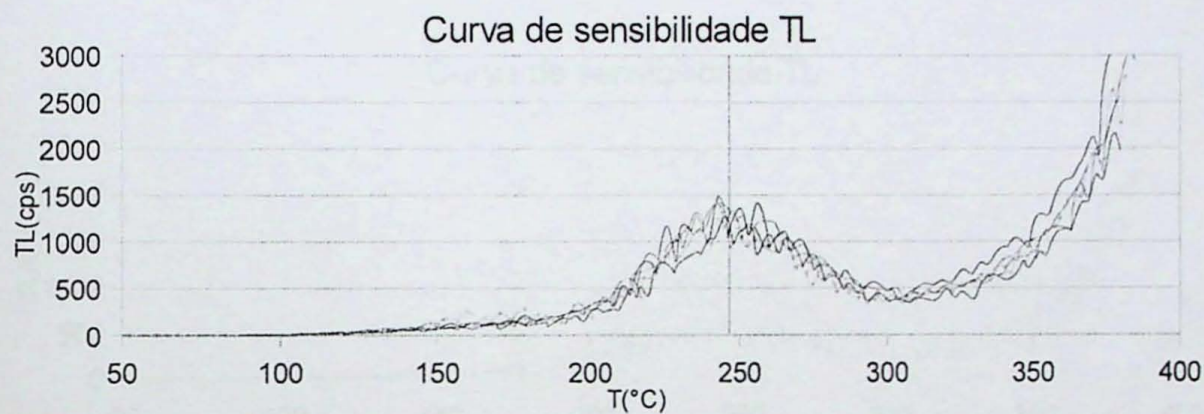
TA-II-2

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	249,21	1021,00	1,62E+004	4,98
Alíquota 2	252,84	916,00	1,50E+004	4,98
Alíquota 3	244,69	1074,00	1,69E+004	5,00
Alíquota 4	251,57	856,00	1,41E+004	4,97
Alíquota 5	252,99	899,00	1,44E+004	4,98
Médias	250,26	953,20	15320,00	4,98



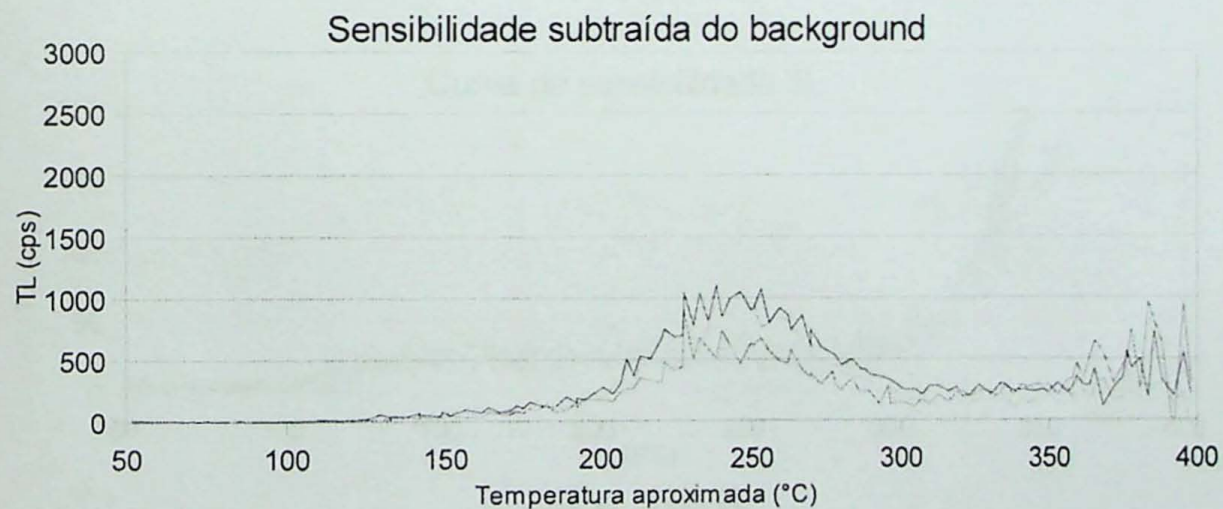
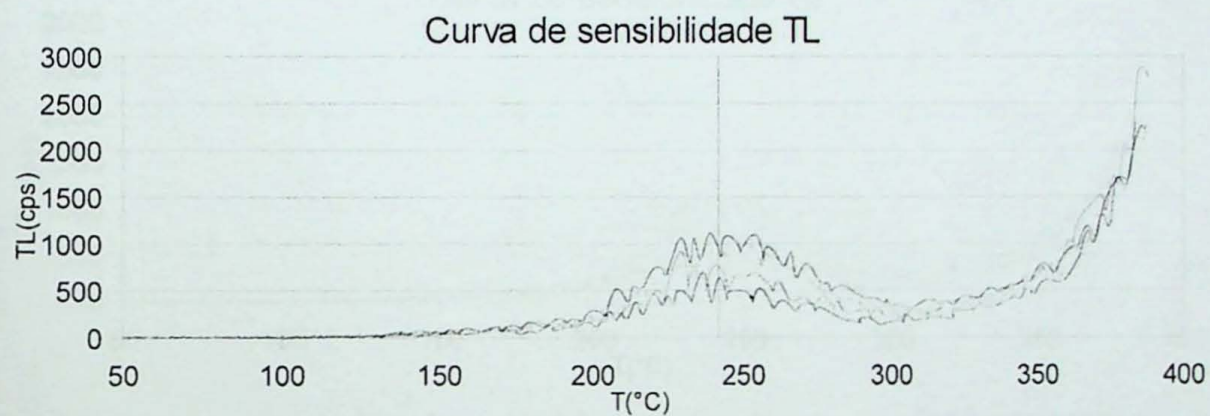
TA-III-1

Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	249,69	1058,00	1,64E+004	4,98
Alíquota 2	246,08	1315,00	1,99E+004	4,99
Alíquota 3	245,90	1008,00	1,72E+004	4,98
Alíquota 4	243,59	1273,00	1,87E+004	4,98
Alíquota 5	247,15	1162,00	1,94E+004	4,96
Médias	246,48	1163,20	18320,00	4,98



TA-III-2

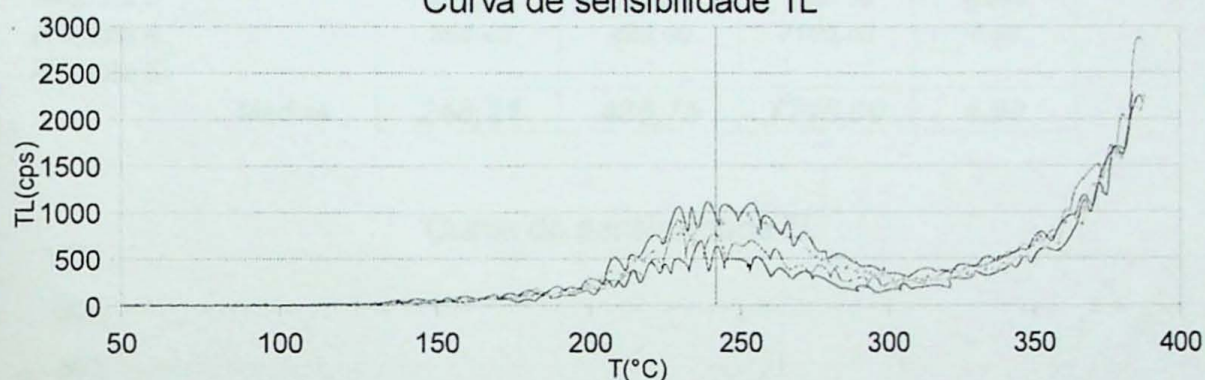
Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	243,61	961,00	1,59E+004	4,99
Alíquota 2	246,19	1178,00	1,75E+004	4,98
Alíquota 3	246,70	968,00	1,40E+004	4,99
Alíquota 4	233,46	587,00	1,02E+004	4,97
Alíquota 5	238,89	541,00	7,95E+003	4,97
Médias	241,77	847,00	13110,00	4,98



TA-III-3

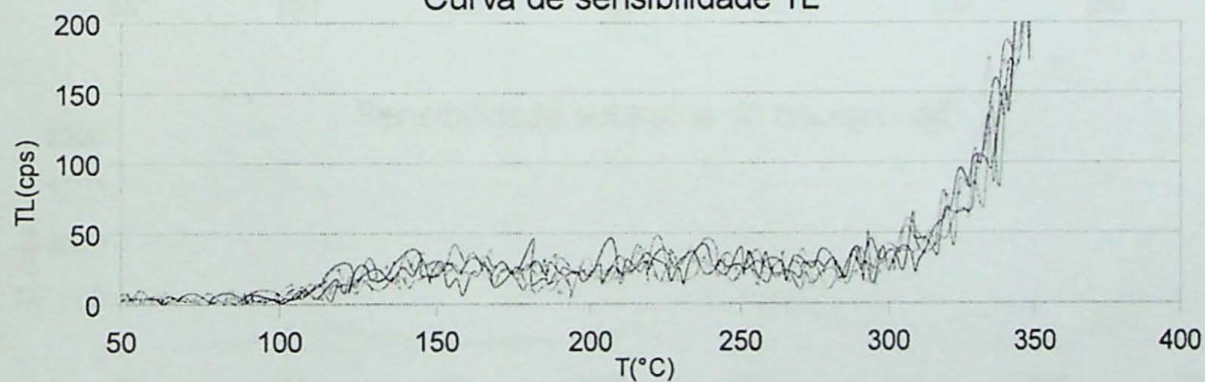
Pico 1	Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1	243,61	961,00	1,59E+004	4,99
Alíquota 2	246,19	1178,00	1,75E+004	4,98
Alíquota 3	246,70	968,00	1,40E+004	4,99
Alíquota 4	233,46	587,00	1,02E+004	4,97
Alíquota 5	238,89	541,00	7,95E+003	4,97
Médias	241,77	847,00	13110,00	4,98

Curva de sensibilidade TL



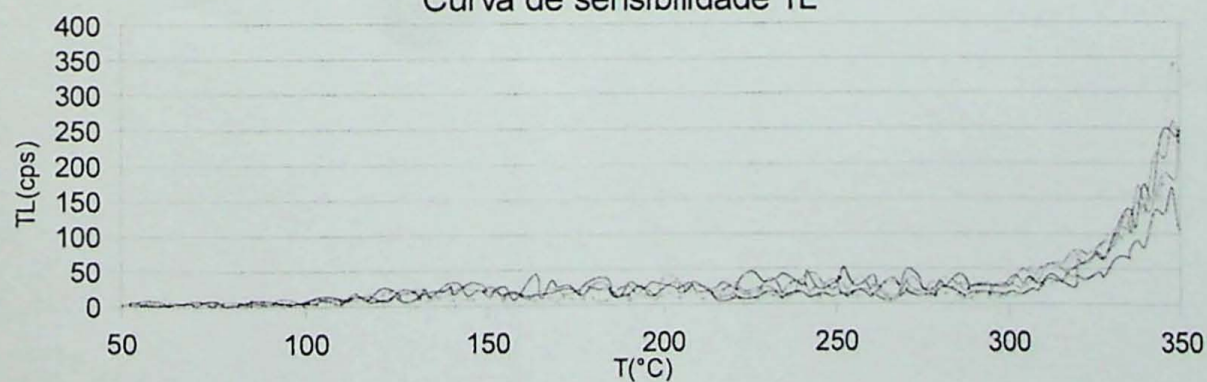
TA-III-4

Curva de sensibilidade TL



TA-III-5

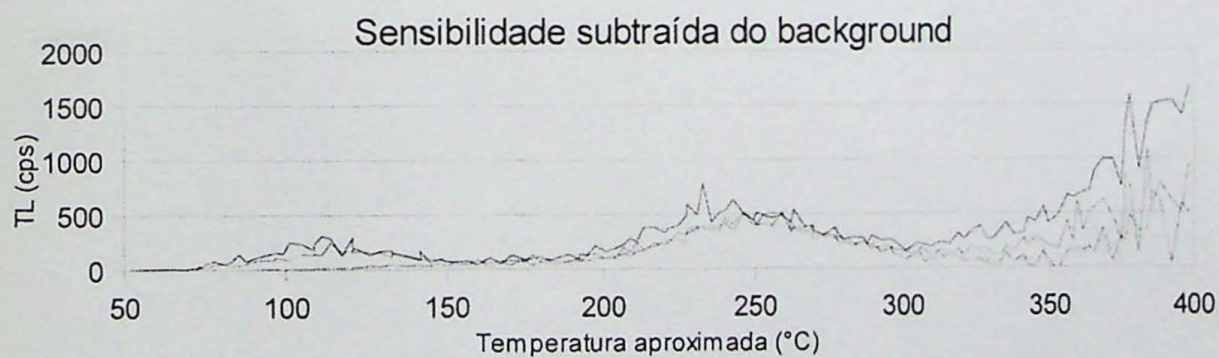
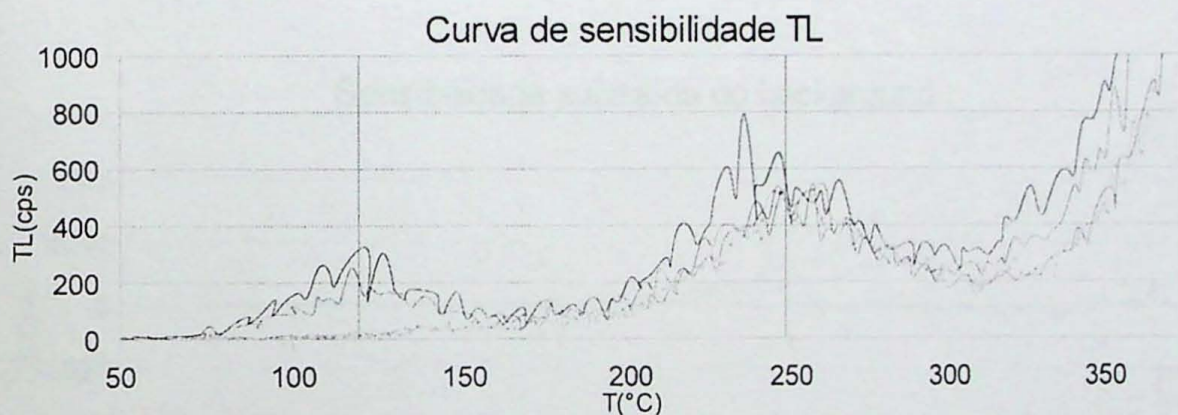
Curva de sensibilidade TL



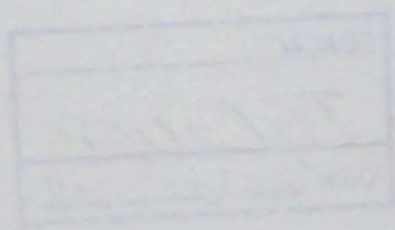
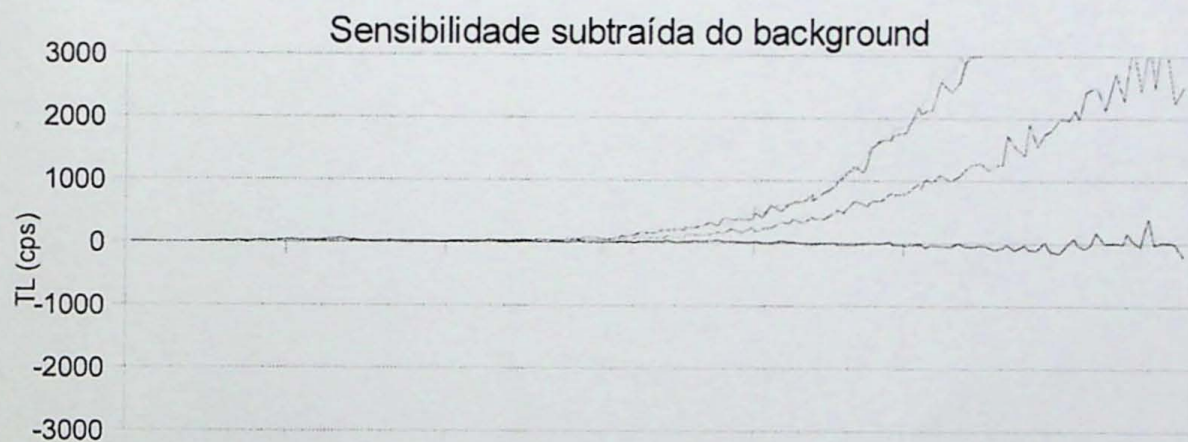
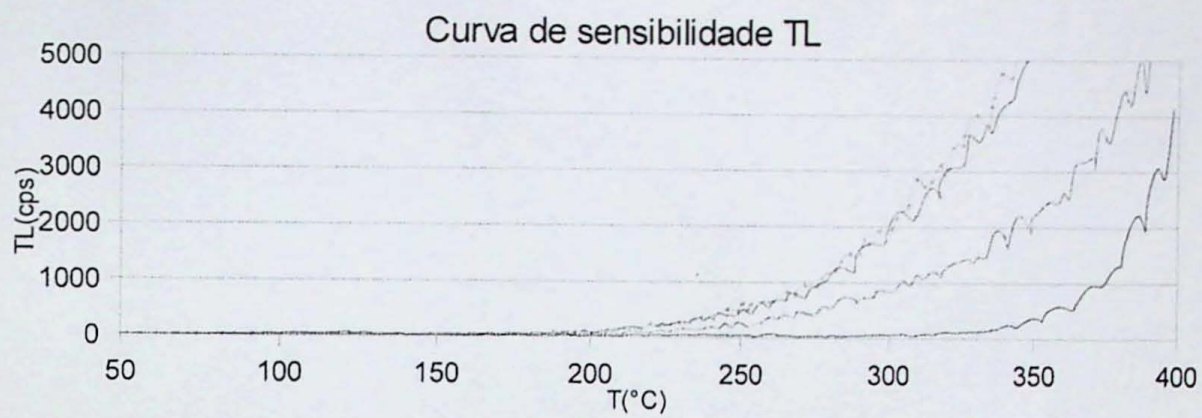
TA-III-7

Pico 1		Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1		120,34	235,00	2,72E+003	4,97
Alíquota 2		117,74	181,00	2,09E+003	4,93
Médias		119,04	208,00	2405,00	4,95

Pico 2		Temp. Pico	TL do pico	Intensidade total	Taxa de aquec.(°C/s)
Alíquota 1		237,90	537,00	9450,00	4,976
Alíquota 2		249,35	456,00	7290,00	5,003
Alíquota 3		251,19	469,00	7020,00	4,948
Alíquota 4		254,40	485,00	7100,00	4,98
Alíquota 5					
Médias		248,21	486,75	7715,00	4,98



TA-III-9



8-11-AT

INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

DOAÇÃO
<i>TGC-USP</i>
Data: <i>02/02/12</i>

