



Trabalho de Conclusão de Curso

**Gamaespectrometria de afloramentos dos
municípios de Porto Feliz e Tietê/SP,
localizados no Grupo Tubarão,
Bacia do Paraná**

**Orientador: Prof. Dr. Emilson Pereira Leite
Aluna: Roberta Tomi Mori**

Departamento de Geologia e Recursos Naturais
Instituto de Geociências
Universidade Estadual de Campinas

Campinas
Novembro de 2012



Trabalho de Conclusão de Curso

Gamaespectrometria de afloramentos dos municípios de Porto Feliz e Tietê/SP, localizados no Grupo Tubarão, Bacia do Paraná

Roberta Tomi Mori

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia, apresentado ao Instituto de Geociências - UNICAMP, sob a orientação do Prof. Dr. Emilson Pereira Leite, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso no ano letivo de 2012.

Campinas
Novembro de 2012

*Dedico este trabalho aos meus
avós, por serem meu exemplo de
vida e por estarem sempre comigo,
mesmo que de lá de cima.*

*“É preciso força pra sonhar e perceber que a
estrada vai além do que se vê...”
(Los Hermanos)*

*“So take the photographs and still frames in your mind
Hang it on a shelf of good health and good time
Tattoos of memories and dead skin on trial
For what it's worth it was worth all the while
It's something unpredictable but in the end it's right
I hope you had the time of your life”
(Green Day)*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Prof. Dr. Emilson Pereira Leite pela oportunidade oferecida desde à Iniciação Científica e pelo apoio e ajuda durante todo esse trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Alexandre Campane Vidal por ter me ajudado todas as muitas vezes em que o procurei.

À FAPESP pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (Processo nº 2011/03832-1).

Aos colegas Aline, Nathalia e Rodrigo por terem me ajudado com vários dados e materiais.

Aos meus pais por sempre terem acreditado em mim, me incentivando e apoiando, tornando assim possível a realização desse sonho.

À minha irmã por sempre me motivar e acalmar, não importa em qual situação.

Aos meus amigos 08's por terem me proporcionado as melhores viagens de campo que alguém pode ter feito.

Aos meus amigos Naia, Júlia, Taís, Felipe, Pé, Mika, Verô, Júlio, Pira e Mindinho por nunca terem me deixado sozinha e por terem se tornado minha família durante esses 5 anos.

E por fim, ao meu namorado Rafael por sempre estarao meu lado, mesmo quando longe, e por me apoiar em todas as decisões, fáceis ou difíceis, da minha vida.

Sumário

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS.....	6
CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	6
3.1.1 Bacia do Paraná	6
3.1.2 Estratigrafia do Grupo Tubarão.....	9
3.1.3 Grupo Itararé	12
3.2 GAMAESPECTROMETRIA.....	14
CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS	19
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5.1 Primeira etapa – Descrição geológica.....	23
5.1.1 Afloramento no Parque das Monções – Porto Feliz/SP	23
5.1.2 Afloramento no município de Tietê/SP	33
5.2 Segunda Etapa – Coleta de dados gamaespectrométricos	45
5.2.1 Afloramento no Parque das Monções – Porto Feliz/SP	46
5.2.2 Afloramento de Tietê/SP	52
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	57
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
CAPÍTULO 8 – ANEXOS.....	63

RESUMO

Este trabalho visou a coleta e interpretação de dados gamespectrométricos nos afloramentos de rochas do Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, existentes nos municípios de Porto Feliz/SP e Tietê/SP, afloramentos esses que apresentam características de rocha reservatório de água. Os dados coletados foram analisados e interpretados com base nas informações geológicas descritas em campo e naquelas documentadas na literatura. O principal objetivo é auxiliar no estabelecimento de correlações estratigráficas em subsuperfície (já que com os perfis de raios gama é possível estabelecer uma correlação entre as litologias através da similaridade das medidas obtidas em cada litologia, em cada perfil), uma vez que a similaridade entre fácies sedimentares distintas e a fraca correlação lateral entre os limites das seqüências tornam essa tarefa difícil sem a utilização de dados gamaespectrométricos em afloramentos análogos. No afloramento de Porto Feliz (constituído, em sua maioria, por arenito com presença de sedimentos finos), as medidas gamaespectrométricas foram, no geral, decrescentes no sentido da base para o topo dos perfis e diretamente proporcionais ao conteúdo de sedimentos finos nas litologias. No afloramento de Tietê (constituído em sua totalidade por arenito), as medidas foram decrescentes no sentido do topo para a base dos perfis e os altos valores gamaespectrométricos foram explicados pela variação do teor de feldspato rico em potássio, já que essas medidas não acompanharam a variação da granulometria, como ocorreu no afloramento de Porto Feliz. Desta forma, esse trabalho exemplifica uma aplicação da gamespectrometria na distinção entre folhelhos e arenitos e também na determinação do tipo de feldspato presente na rocha (se potássico ou não). Espera-se que os resultados contribuam com interpretações estratigráficas em perfis de poços próximos das áreas de coleta dos perfis gamaespectrométricos de superfície.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Os raios gama são ondas eletromagnéticas emitidas após a emissão de partículas α e β ou após a captura de um elétron da camada eletrônica mais interna do átomo (captura K). A capacidade de penetração dos raios gama nos materiais é muito maior do que a das partículas provenientes do decaimento radioativo e, portanto, os equipamentos convencionais detectam somente os raios gama. Estes, ao passarem por um cristal sintético, geralmente composto de iodeto de sódio ativado por Tálcio (neste trabalho, óxido de germanato de bismuto), emite uma cintilação (fótons de luz) que é detectada por uma célula fotoelétrica. A medição desta cintilação é conhecida como cintilometria. A célula fotoelétrica transforma os fótons em impulsos elétricos, os quais são amplificados por um fotomultiplicador, registrados por um amperímetro e convertidos em contagens por segundo (cps ou cpm). Os cintilômetros fornecem a contagem total da radiação gama dentro de uma faixa de energia pré-determinada (Figura 1). Os gamaespectrômetros, por sua vez, são baseados nos mesmos princípios, porém são preparados para subdividir o espectro de energia em faixas menores (janelas) dentre as quais três delas são utilizadas para discriminar as contagens provenientes dos três elementos principais. A gamaespectrometria consiste na coleta das medidas das concentrações destes elementos e é a partir dessas medidas que este trabalho foi elaborado. Os dados estudados e apresentados foram obtidos por um gamaespectrômetro em afloramentos localizados nos municípios de Porto Feliz/SP e Tietê/SP (figuras 2 e 3).

Relatório de Iniciação Científica

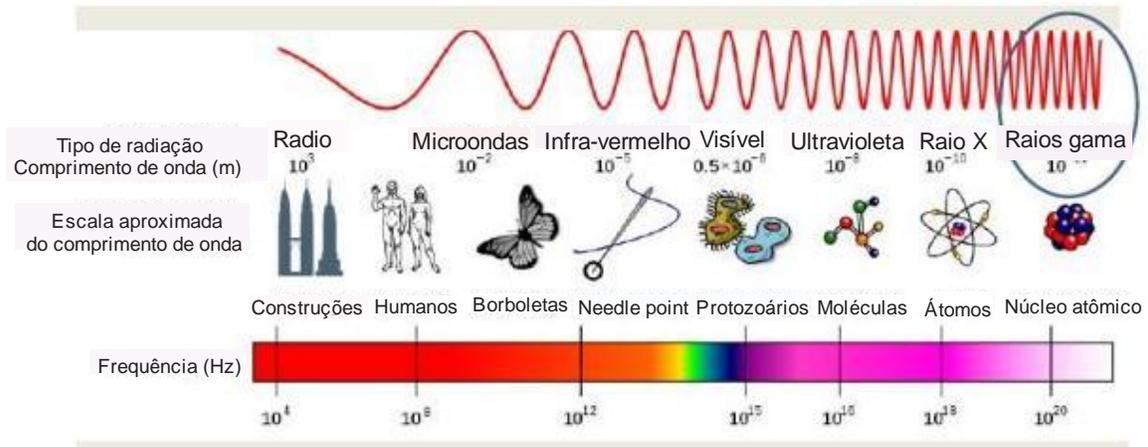


Figura 1. Espectro Eletromagnético com a janela de raios gama (adaptado de EM_Spectrum3-new.jpg, que é uma imagem da NASA).

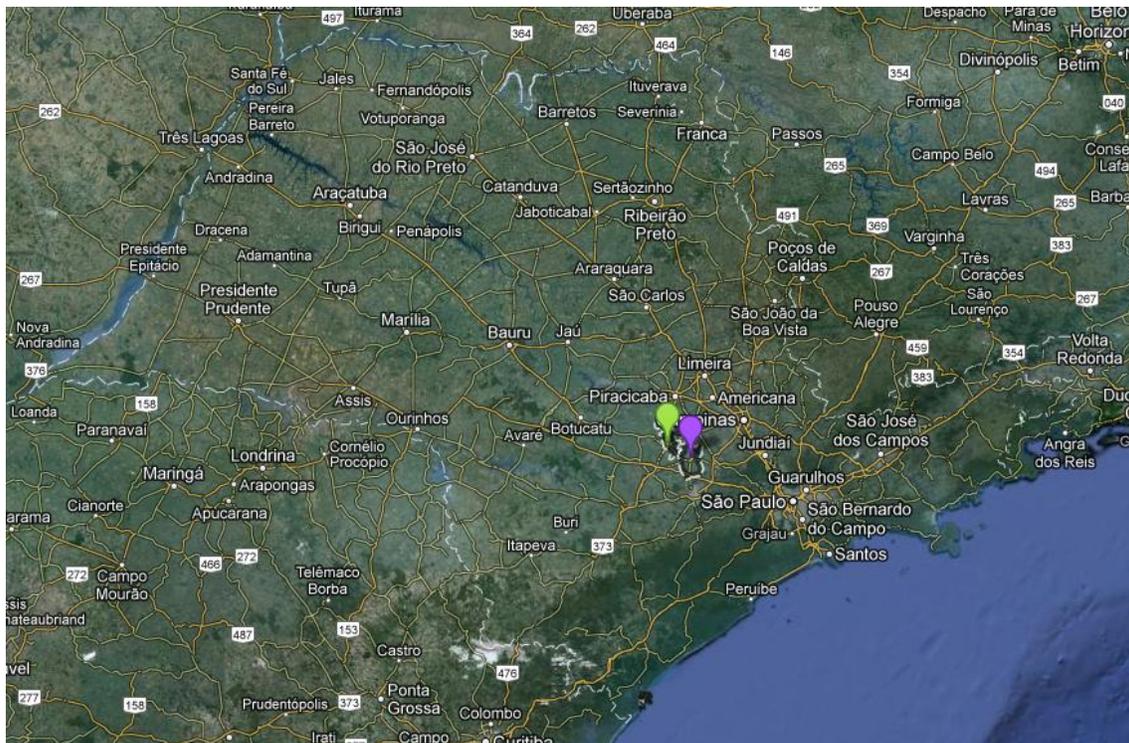


Figura 2. Municípios de Porto Feliz (em roxo) e de Tietê (em verde), localizados no estado de São Paulo.

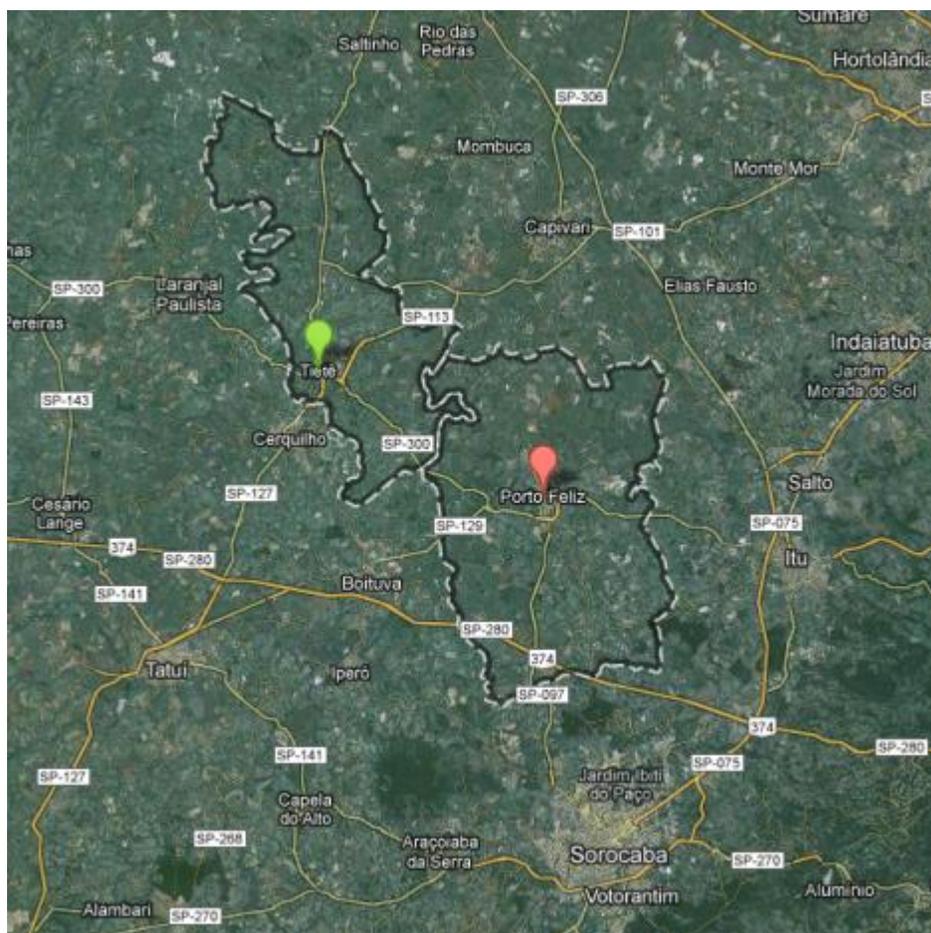


Figura 3. Localização dos municípios estudados: Tietê e Porto Feliz.

Um dos atributos físicos medidos para a construção de perfis geofísicos são as medições espontâneas de raios gama emitidas pelo decaimento radioativo dos elementos U^{238} , Th^{232} e K^{40} contidos nas rochas. Esses elementos são os principais responsáveis pela radioatividade natural terrestre. Os elementos radioativos U, Th e K tendem a se concentrar nos sedimentos mais finos (silte e argila). Então, quanto maior a concentração desses elementos no perfil de raio gama, mais argilosa é a litologia referente a esses dados. Quando as concentrações dos elementos radioativos são baixas, as litologias associadas geralmente são arenitos ou rochas carbonáticas, com a exceção dos arenitos arcóseos (os quais possuem um alta concentração de K) que apresentam valores mais altos de raios gama. Além disso, os perfis de raio gama são utilizados para a correlação entre perfis de poços para a delimitação das litologias através da análise das curvas dos perfis, associando os picos e os intervalos de valores mais

baixos (Sanchetta, 2010). As identificações das litologias são importantes no cálculo do volume de argila e na identificação de rochas reservatório e não-reservatório.

A perfilagem geofísica possui mais precisão que um testemunho de furo de sondagem quanto à profundidade onde se encontra a litologia, por exemplo, pois essas amostras de testemunhos não apresentam exatamente as profundidades às quais estão associadas. Isso ocorre devido à presença de litologias friáveis e à baixa recuperação dos testemunhos, o que dificulta a relação da profundidade estimada com a profundidade real que a amostra se encontra no poço. A perfilagem geofísica fornece um registro praticamente contínuo de parâmetros geofísicos obtidos ao longo da parede de um poço. Esses parâmetros são relacionados à profundidade das informações obtidas dos mesmos. Com a utilização dos perfis geofísicos (perfilagem gamaespectrométrica, sísmica e de densidade, por exemplo), é possível estimar a quantidade de água ou hidrocarbonetos em um reservatório, pois os parâmetros geofísicos possibilitam uma estimativa dos atributos físicos das rochas. Além disso, segundo Ellis & Singer (2008), tais perfis podem auxiliar na determinação de sequências estratigráficas e na análise mais detalhada das fácies de uma formação.

Com a perfilagem gamaespectrométrica em afloramentos, é possível registrar pequenas variações litológicas por meio de medições das concentrações dos elementos K, Th e U, sendo assim uma técnica muito eficiente para a caracterização objetiva e quantitativa de litofácies e limites estratigráficos (Slattet *et al.*, 1992, 2000; Aigner *et al.*, 1995).

A gamaespectrometria de poços pode ser aplicada na correlação de poços para uma análise estratigráfica, pois com ela pode-se correlacionar superfícies de contato e discordâncias, caracterizar o comportamento vertical e lateral das unidades litológicas (como granocrescência/granodecrescência) (e.g. Svendsen & Hartley, 2001). Além disso, com essa ferramenta, é possível melhorar os modelos de litofácies já existentes em subsuperfície, elaborados através de perfis geofísicos de poços e testemunhos de rochas (Martini *et al.*, 2002; Evans

et al., 2007). Isso torna a gamaespectrometria de poços e de superfície potencialmente útil na caracterização de rochas reservatórios (Ballin *et al.*, 1997; Dalrymple, 2001; Pringle *et al.*, 2004), pois as medidas gamaespectrométricas variam de acordo com a granulometria da rocha e, conseqüentemente, com o teor de porosidade dela, e com a presença ou não de água ou óleo na rocha. Contudo, a similaridade de fácies existentes entre diferentes unidades e a fraca correlação lateral entre os limites das sequências estratigráficas aflorantes fazem com que exista uma grande dificuldade ao se tentar estabelecer correlações individuais sem o uso da gamaespectrometria.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é obter informações geológicas através de dados geofísicos de afloramentos próximos às localizações dos poços onde foram coletados perfis geofísicos dentro da área de estudo, o Grupo Tubarão, no sentido de contribuir com a elaboração e a calibração de modelos quantitativos do reservatório fluvial.

O Grupo Tubarão (localizado na figura 2) é formado por rochas sedimentares neopaleozóicas da base da Bacia do Paraná, subdividido entre Subgrupo Itararé, constituído por sedimentos depositados em condições glaciais, e a porção superior, composta por sedimentos pós-glaciais correspondentes à Formação Tatuí. Neste trabalho, foram coletados dados de campo, como descrições macroscópicas e medições de emissão de raios gama dos perfis, os quais foram analisados e correlacionados.

Os levantamentos gamaespectrométricos foram realizados em dois afloramentos próximos entre si, na parte centro-sul do estado de São Paulo, na região de Sorocaba/SP. O primeiro afloramento está situado no Parque das Monções, localizado na região central do município de Porto Feliz. O segundo está localizado no município de Tietê, ao lado da rodovia SP-127, próximo ao cruzamento com a rodovia SP-300.

CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é a coleta de dados gamaespectrométricos em afloramentos sedimentares do Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, localizado na porção central do Estado de São Paulo, no sentido de auxiliar no estabelecimento de correlações entre os perfis de poços da área de estudo, visando contribuir com a elaboração e calibração de modelos quantitativos do reservatório fluvial, no qual os afloramentos estudados estão contidos.

Para atingir este objetivo, as metas principais do projeto são:

- (i) Coletar os dados gamaespectrométricos nos afloramentos sedimentares próximos aos poços;
- (ii) Elaborar perfis das concentrações dos elementos K, Th e U;
- (iii) Analisar os padrões de variação nas concentrações desses elementos e na contagem total e as correlações existentes entre os perfis, utilizando as informações geológicas disponíveis.

CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica situada no centro-leste da América do Sul com aproximadamente 1.600.000 km², dos quais 1.000.000 km² estão localizados na parte meridional do Brasil (Milani, 2004), mas que também possui partes em outros países como Argentina, Paraguai e Uruguai.

Na parte brasileira, os registros sedimentares de dois terços dessa bacia são representados por rochas continentais a marinhas e rochas vulcânicas basálticas, com idades que variam do Ordoviciano até o Terciário. Nesses registros são destacados períodos glaciais que ocorreram durante o Permo-Carbonífero, os quais são correspondentes aos sedimentos do (Sub)Grupo Itararé.

O preenchimento da Bacia do Paraná (rochas sedimentares e vulcânicas) retrata a superposição de pacotes depositados, os quais são consequência da dinâmica de placas que conduziu a evolução do Gondwana (Zálanet *al.*, 1990). A evolução dessa bacia é resultado de ciclos transgressivos – regressivos intercalados com descontinuidades regionais.

Milani (1997) e Milaniet *al.* (1998) dividiram o preenchimento da bacia em um conjunto de seis ciclos tectonossedimentares de segunda ordem (os quais estão representados na figura 4 denominados supersequências) limitadas por descontinuidades regionais, com base nos conceitos de Estratigrafia de Sequências de Vailet *al.* (1997). Tais discordâncias regionais, denominadas de Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I, representam um intervalo na sedimentação e períodos nos quais ocorreu erosão e correspondem a unidades mesozóicas continentais e aos derrames de lava.

A Bacia do Paraná tem limites erosivos ou tectônicos. Ela se desenvolveu totalmente sobre a crosta continental, na plataforma Sul-Americana. Seu embasamento é constituído por vários núcleos cratônicos rodeados por vários cinturões móveis orogênicos formados durante o Ciclo Brasileiro (Zalán et *al.*, 1990) (figura 5). Neste ciclo, houve um período de estabilização tectônica após eventos metamórficos e magmáticos, o que está relacionado com a evolução dessa bacia (700 – 450 Ma, Almeida & Hasui, 1984).

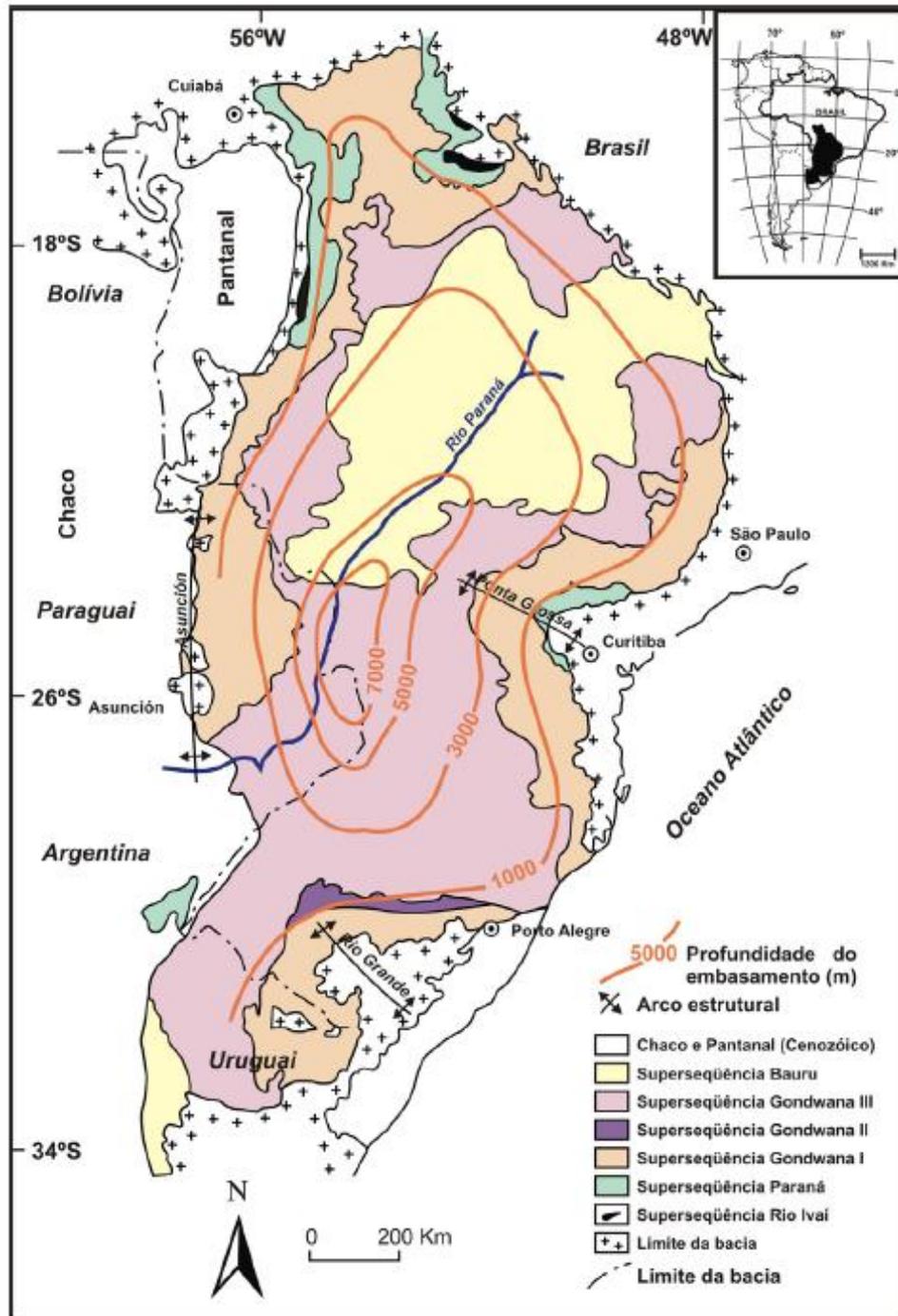


Figura 4. Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná mostrando as seis superseqüências tectono-sedimentares, com referências geográficas e profundidade do embasamento, Extraído de Milani (1997).

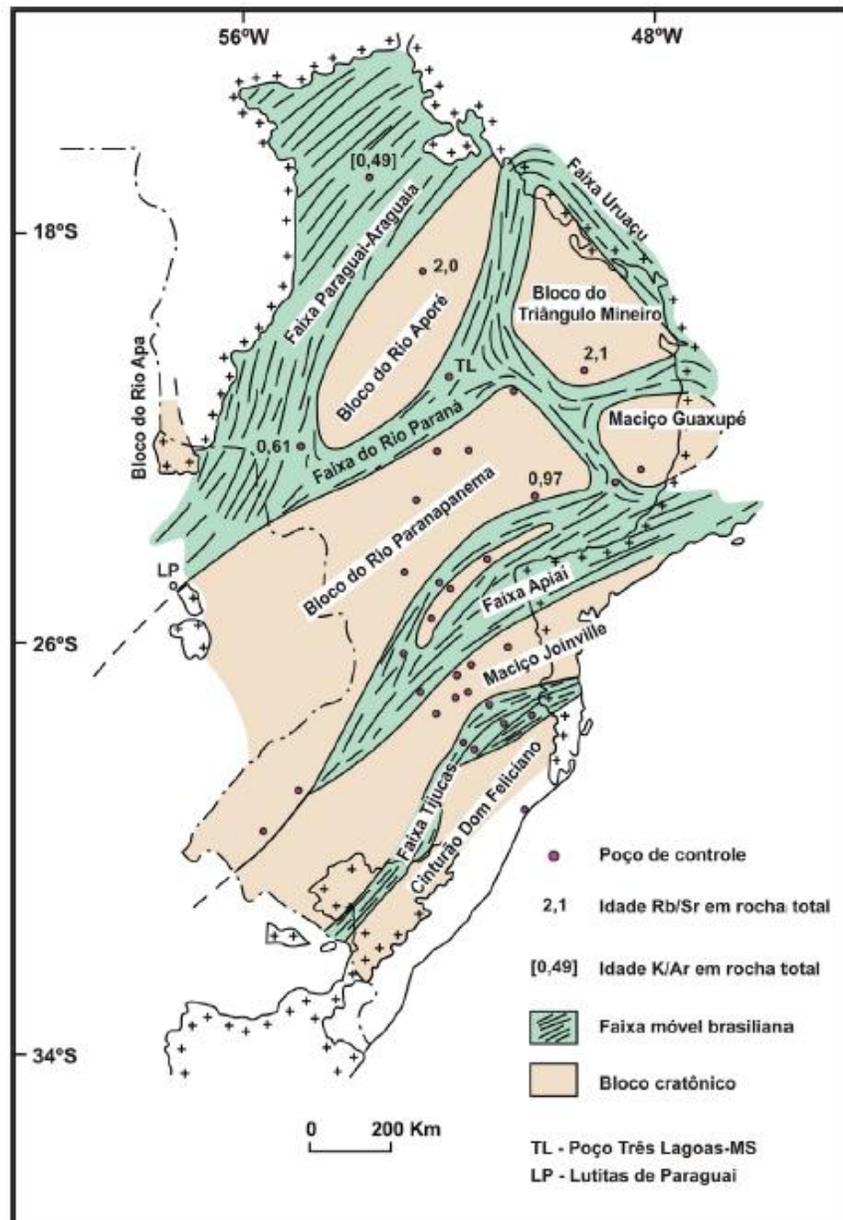


Figura 5. Arcabouço tectônico do embasamento da Bacia do Paraná, baseado em dados litológicos de poços, aeromagnetometria e gravimetria e dados de subsuperfície (mapas geológicos diversos). Extraído de Milani (1997).

3.1.2 Estratigrafia do Grupo Tubarão

O Grupo Tubarão, constituído por rochas de idade Permo-Carbonífera, está inserido na Bacia do Paraná e aflora no estado de São Paulo. É composto de sedimentos neopaleozóicos e é subdividido em duas partes: uma parte inferior constituída por rochas do Grupo Itararé e da Formação Aquidauana (diamictitos

provenientes de complexos glaciais), e outra parte superior constituída pela Formação Tatuí (rochas de origem pós-glacial).

Num contexto regional, analisando-se a Bacia do Paraná, o Grupo Tubarão possui uma estratigrafia dividida em Grupo Itararé, na parte basal, e Grupo Guatá, no topo (França & Potter (1989)).

O Grupo Itararé (figura 7) é subdividido em três formações no estado de São Paulo, definidas através de ciclos deposicionais decorrentes de mudanças climáticas e do nível do mar (figura 6), cada uma composta por arenitos na parte basal, com diamictitos sobrepostos. Na parte inferior encontra-se a Formação Lagoa Azul, com intercalações de arenitos com siltitos e folhelhos (Membro Cuiabá Paulista) e corpos compostos por siltitos intercalados com lamitoseixosos e arenitos na parte sobreposta ao membro anterior (Membro Tarabaí). Na parte intermediária encontra-se a Formação Campo Mourão, com arenitos em sua base sobreposta por uma sequência granodecrescente ascendente e, no topo, lamitoseixosos. Na parte superior encontra-se a Formação Taciba, com arenitos cinzas, maciços com granulometria grossa a média, com intercalações com siltitosbioturbados na parte basal, no Membro Rio Segredo e, na parte superior a esse membro, há lamitoseixosos com raros corpos arenosos, no Membro Chapéu do Sol.

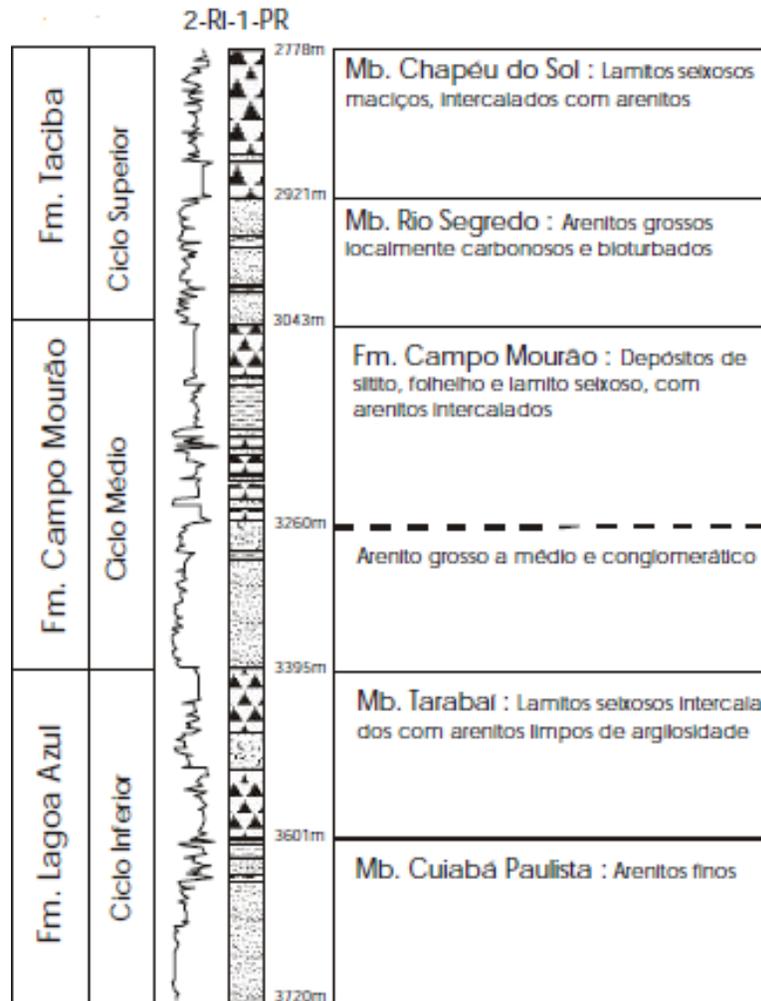


Figura 6. Estratigrafia do Grupo Itararé segundo França & Potter (1989).

O Grupo Guatá, que é sobreposto ao Grupo Itararé, é constituído por arenitos deltaicos da Formação Rio Bonito e siltitos das Formações Palermo e Tatuí.

No estado de São Paulo, o Grupo Itararé é a unidade com maior espessura. Segundo o França & Potter (1989), esse Grupo é dividido em unidades inferior, média e superior, nas quais a inferior e superior são predominantemente arenosas, enquanto que a média é composta por sedimentos mais finos.

A Formação Aquidauana é constituída por duas litologias: uma formada por arenitos muito finos a grossos e outra areno-lamítica.

A Formação Tatuí é dividida em duas unidades: a inferior composta por siltitos e arenitos marrom-avermelhados muito finos e a superior por siltitos de cores claras intercalados com corpos acanalados de arenitos.

Além de todas essas unidades, o Grupo Tubarão é cortado por intrusões de diabásio em vários pontos.

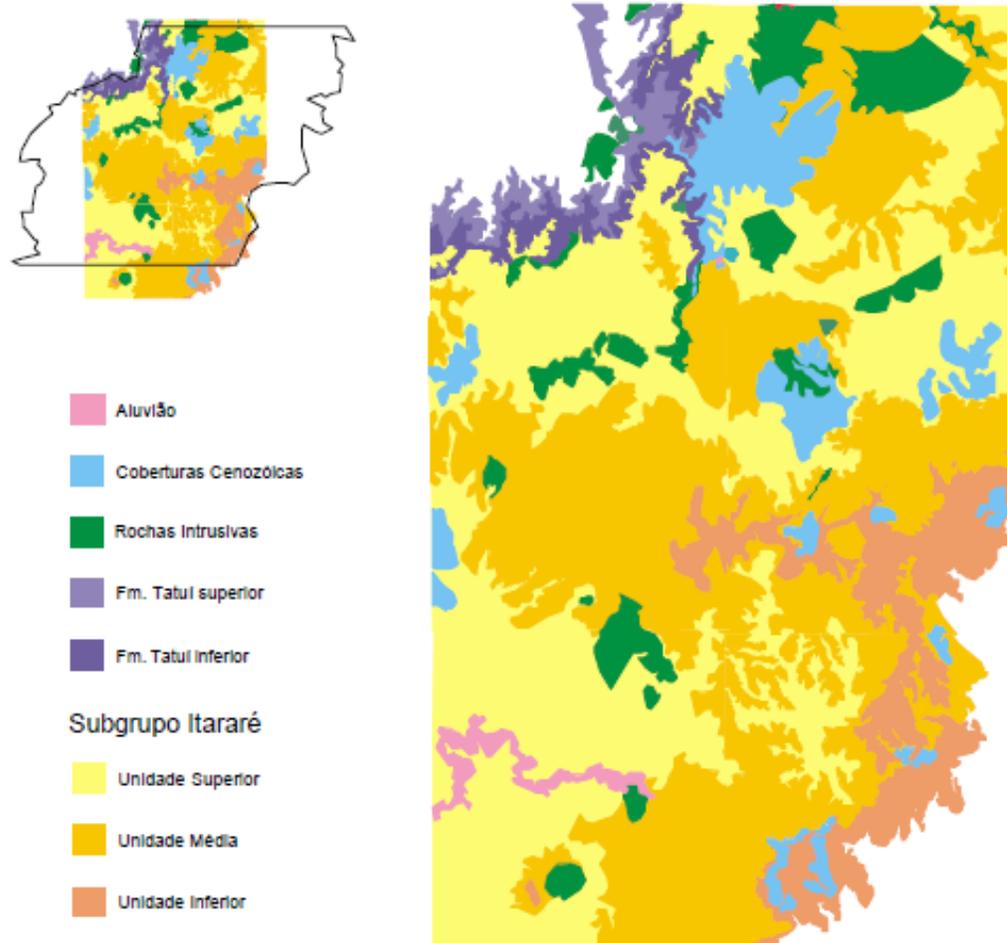


Figura 7. Mapa litoestratigráfico do Subgrupo Itararé cobrindo a área de estudo (modificado do DAEE – UNESP 1981-c).

3.1.3 Grupo Itararé

O Grupo Itararé está situado na base da sequência Permo-Carbonífera da borda leste da Bacia do Paraná e seu registro sedimentar é resultado de avanços e recuos sucessivos de geleiras durante o período de glaciação no paleocontinente Gondwana.

Com cerca de 1.500 metros próximo ao depocentro, apresenta a maior espessura entre as unidades da Bacia do Paraná e se sobrepõe a um hiato posterior aos estratos devonianos da Supersequência Paraná e rochas do embasamento Pré-Cambriano/Eopaleozóico. Na parte superior, se apresenta em

forma de depósitos deltaicos do Grupo Guatá, com contato discordante em alguns pontos da bacia.

Há uma grande complexidade faciológica no Subgrupo Itararé, que é constituído por conglomerados, arenitos, diamictitos, ritmitos e folhelhos com clastos caídos de icebergs. A deposição dos sedimentos desse subgrupo (que foi influenciada pela glaciação permocarbonífera e pela tectônica ativa) ocorreu em paleoambientes deposicionais fluvio-deltaicos a marinhos plataformais. Durante essa deposição, o Gondwana se deslocava afastando-se do pólo Sul, o que fazia com que seu clima passasse de glacial a temperado.

Em 1878 iniciaram-se os estudos sobre os depósitos sedimentares glaciais da sucessão Permo-Carbonífera da Bacia do Paraná. Oliveira (1927) definiu a Série Itararé como sendo todos os depósitos que sofreram influência glacial na região sul de São Paulo e norte do Paraná, distinguindo-os dos depósitos da Série Tubarão. Posteriormente, Leinz (1937) propôs um ambiente deposicional para o Subgrupo Itararé, no qual a sedimentação predominante era terrestre e os depósitos eram de arenitos flúvio-glaciais. Mais tarde, Gordon (1947) desenvolveu uma subdivisão litoestratigráfica da unidade Itararé, de acordo com a identificação de camadas marinhas fossilíferas no estado do Paraná. Em tal subdivisão, a Série Tubarão foi dividida nos Grupos Itararé e Guatá.

Depois desses estudos, surgiram várias outras subdivisões para o Subgrupo Itararé. Segundo Petri (1964) e Rocha-Campos (1967), as rochas do Subgrupo Itararé juntamente com as do Subgrupo Guatá formariam a coluna litoestratigráfica do Grupo Tubarão. Schneider (1974) promoveu formalmente a unidade Itararé à categoria de grupo, após realizar mapeamento pela Petrobrás na região centro-norte de Santa Catarina e sul do Paraná, dando origem às Formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul. Outros autores também propuseram uma subdivisão do Grupo Itararé para o Estado de São Paulo.

3.1.3.1 Caracterização de fácies presentes no Grupo Itararé

Segundo Eyles *et al.* (1993), os sedimentos do Subgrupo Itararé são divididos em quatro grupos principais:

-Diamictitos: pobremente selecionados, com mistura de clastosdecimétricos e centimétricos (em sua maioria arredondados de composição polimítica) imersos em matriz arenosa e/ou lamítica (Gama Jr & Perinotto, 1992), com textura maciça ou estrutura variavelmente estratificada. Os que apresentam estrutura maciça são comuns nos Membros Chapéu do Sol e Formação Taciba. Os estratificados possuem intercalações de diamictitosiltíticos e argilosos.

-Conglomerados: associados com os diamictitos ou com arenitos gradacionais;

-Arenitos: com granulometria variando de fina a grossa, encontra-se arenitos maciços, gradacionais e deformados. Há ocorrência de laminações cruzadas, horizontais e fácies bioturbadas. As fácies de arenitos são as seguintes: arenitos maciços (com granulometria variando de muito fina a muito grossa), arenitos gradacionais (com camadas gradacionais apresentando granodecrescência ascendente), arenitos deformados (com estruturas distorcidas e dobradas), arenitos com laminação cruzada (com granulometria variando de fina a média), arenitos laminados horizontalmente (encontrados em associação com arenitos maciços e com laminações cruzadas) e arenitos bioturbados.

-Sedimentos de granulação fina: composto por silte e argila, podendo ser maciços ou laminados.

Segundo Caetano-Chang (1984), há a presença de fácies glácio-continentais na parte basal do Subgrupo Itararé na região sul do estado de São Paulo, que correspondem a depósitos de ingressão marinha e, no topo dessa unidade, há depósitos formados sob a influência glacial de deposição deltaica.

E, por fim, ainda segundo Eyles *et al.* (1993), o processo predominante foi o de ressedimentação através de corrente de turbidez nessa área e, os sedimentos glaciais seriam provenientes do degelo de icebergs.

3.2 GAMAESPECTROMETRIA

A radiação está presente tanto no interior da Terra como em sua superfície e até mesmo na atmosfera. Na geologia, a radioatividade natural é importante

para várias finalidades, como para detecção de certos elementos radioativos (como urânio e tório), para a identificação de ocorrências de alterações hidrotermais (como alteração potássica, a qual é muito rica no elemento radioativo potássio) e, conseqüentemente, de jazidas minerais, para a caracterização de litotipos, para a análise do equilíbrio químico de águas (a partir do comportamento de elementos radioativos, quando os mesmos estão presentes nessas águas), para a identificação da origem e da mistura de águas, para a geocronologia e para a perfilagem de poços (fornecendo dados para interpretações de litotipos, porosidade, contato entre gás-líquido e de profundidades e espessuras de camadas).

A gamaespectrometria detecta a radiação proveniente da matéria e se baseia nos princípios de geofísica nuclear: alguns elementos químicos com núcleos instáveis sofrem transformação espontânea, denominada decaimento radioativo, a qual libera energia sob a forma de radiação. Há 3 tipos de decaimento: com liberação da partícula α (alfa - carregada positivamente, composta por dois nêutrons e dois prótons, muito ionizantes, mas pouco penetrantes), com liberação da partícula β (beta - carregada negativamente, mais penetrantes e menos ionizantes que α) e com liberação da partícula γ (gama - ondas eletromagnéticas muito mais penetrativas, que não são desviadas por campos elétricos e magnéticos por não apresentarem carga elétrica) (figura 8). Esse último tipo é o de interesse para o método da gamaespectrometria.

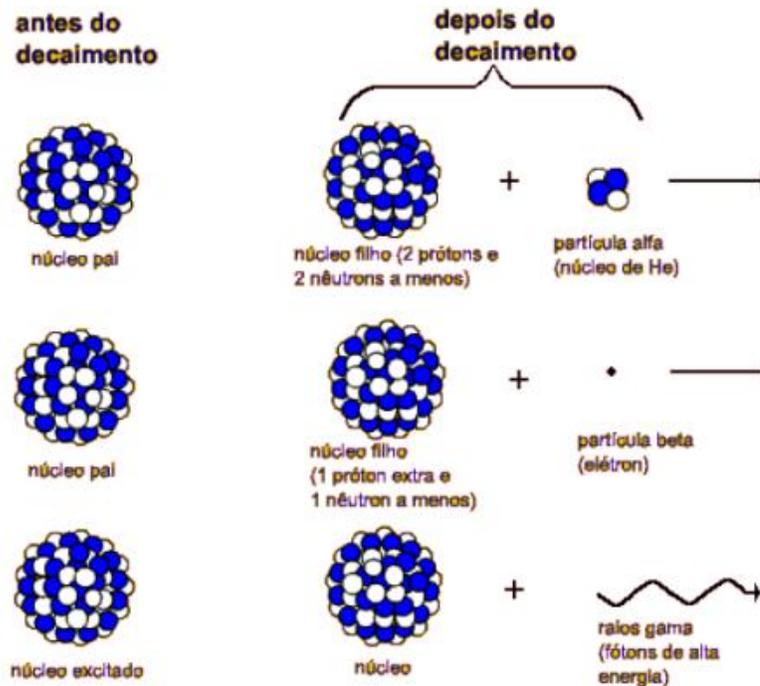


Figura 8. Tipos de radiação¹.

Os elementos que ocorrem como fonte natural de radiação gama nas rochas são:

- o potássio (K) (tabela 1): com apenas um isótopo radiotativo, o ^{40}K , representa apenas 0,012% do potássio natural. A energia do fóton de raio gama desse isótopo é de 1,46 MeV. É a fonte mais abundante da natureza, embora seja muito mais fraca que U e Th;

Tabela 1. Principais dados do elemento K.

Concentração média na crosta terrestre	2,5%
Rochas com maiores teores	Ígneas ácidas e pegmatitos, rochas vulcânicas alteradas, depósitos salinos em sedimentos
Minerais com maiores teores	Feldspato potássico, leucita, nefelina, biotita, muscovita, sericita, flogopita, ortoclásio, microclínio, alanita, silvita, carnalita
Meia vida	10^9 anos

1, <http://www.if.ufrgs.br/cref/radio/capitulo1.htm> acessado em 19/12/12.

- o urânio (U) (tabela 2): seus isótopos ^{235}U e ^{238}U ocorrem naturalmente e suas séries de decaimento terminam em ^{207}Pb e ^{206}Pb , respectivamente. A meia-vida do isótopo ^{235}U é de $7,13 \times 10^8$ anos e a do ^{238}U é de $4,47 \times 10^9$ anos. A energia utilizada para gamaespectrometria do ^{238}U é do radioisótopo de sua série, ^{214}Bi , de 1,765 MeV. Já o ^{235}U possui uma energia muito baixa para ser medida por gamaespectrometria;

Tabela 2. Principais dados do elemento U.

Concentração média na crosta terrestre	2ppm a 4ppm
Rochas com maiores teores	Granitos, pegmatitos, depósitos em veios de Ag, Pb, Cu, arenitos, folhelhos, fosforitas, rochas associadas a uraninita
Minerais com maiores teores	Zircão, esfeno, apatita, xenotímio, monazita e ortita, uraninita e carnotita, gumita
Isótopos naturais	99,3% de ^{238}U , 0,72% de ^{235}U e 0,006% de ^{234}U
Meia vida	10^8 a 10^9 anos

- o tório (Th) (tabela 3): ocorre naturalmente como ^{232}Th , cuja série termina no ^{208}Pb . A energia utilizada para realizar as medidas de gamaespectrometria é a do ^{208}Tl , radioisótopo de sua série, de 2,614 MeV.

Tabela 3. Principais dados do elemento Th.

Concentração média na crosta terrestre	8ppm a 12 ppm
Rochas com maiores teores	Granitos, pegmatitos, gnaisses, placeres
Minerais com maiores teores	Zircão, esfeno, epidoto, apatita e ortita, monazita, tiorianita, torita, uranotorita
Meia vida	10^{10} anos

De acordo com Ellis & Singer (2008), a detecção dos raios gama ocorre, de uma maneira simplificada, em duas etapas: na primeira, os raios gama (em contato com o detector) são parcial ou totalmente convertidos em radiação ionizante (elétrons), onde ocorrem os três tipos de interação e, na segunda, a energia dos elétrons é transformada em sinais.

Para a detecção da radiação são utilizados dois tipos de instrumentos: os cintilômetros, os quais medem a energia ou a contagem total de radiação, e os gamaespectrômetros, os quais medem a energia e quantificam os radioisótopos, de acordo com as respectivas janelas de detecção (as contagens por segundo são convertidas em concentrações) (figura 9).

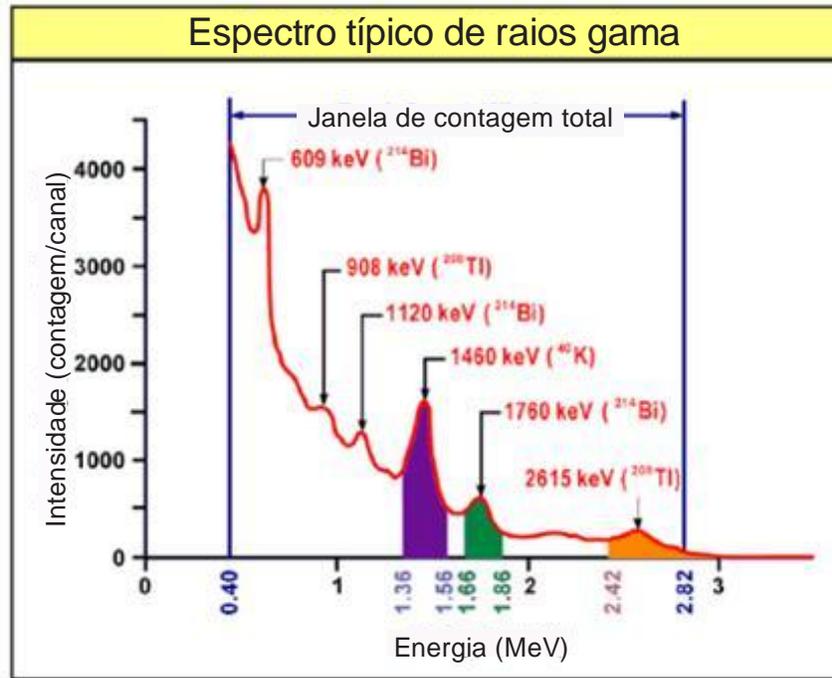


Figura 9. Espectro típico de raios gama².

A gamaespectrometria mede as contagens/concentrações da contagem total (CT), de potássio (K), de urânio (eU) e de tório (eTh) em rochas, em sedimentos e em solos através da detecção dos raios gama emitidos durante o decaimento radioativo natural desses elementos (Ferreira *et al.*, 2010, Telford *et al.*, 1990) (figura 11). A gamaespectrometria de afloramentos e de poços pode ser utilizada para correlacionar estratos, identificar os tipos litológicos (figura 13) e estimar o volume de folhelhos (Ellis & Singer, 2008).

As tabelas 4, 5 e 6 mostram as concentrações médias dos elementos radioativos nos três tipos de rochas: ígneas (tabela 4), sedimentares (tabela 5) e metamórficas (tabela 6).

2. (modificado de <http://williamson-labs.com/lto/cbr-tech.htm>, acessado em 19/12/12).

Tabela 4. Conteúdo médio dos elementos K, Th e U e razão Th/U para rochas magmáticas (Mares *at al.*, 1984).

Rochas	SiO ₂ %	% K	U ppm	Th ppm	Th/U
Ácidas	60 a 75	3,34	3,5	18,0	5,1
Intermediárias	52 a 60	2,31	1,8	7,0	4,0
Básicas	40 a 52	0,83	0,5	3,0	6,0
Ultrabásicas	<40	0,03	0,00	0,005	1,7

Tabela 5. Conteúdo médio dos elementos K, Th e U e razão Th/U para rochas sedimentares (Mares *at al.*, 1984).

Rochas	% K	U ppm	Th ppm	Th/U
Folhelho, argila	2,7	4,0	11,0	2,8
Arenito	1,2	3,0	10,0	3,3
Calcáreo	0,3	1,4	1,8	1,3
Arcósio			5,0	
Grauvaca			7,0	

Tabela 6. Conteúdo médio dos elementos K, Th e U e razão Th/U para rochas metamórficas (Mares *at al.*, 1984).

Rochas	% K	U ppm	Th ppm	Th/U
Gnaisse	2,0	1,6	8,0	5,0
Anfibolito	0,7	1,0	4,0	4,0
Mármore	0,4	1,1	1,8	1,6

CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS

Numa primeira etapa, foi realizado um trabalho de campo nos dois afloramentos estudados e feita uma descrição geológica de vários perfis verticais nesses afloramentos, descrevendo as principais características de cada camada encontrada como espessura, granulometria, grau de seleção, composição

mineralógica, coloração, porosidade, arredondamento dos grãos e demais estruturas presentes.

Na segunda etapa, foram realizadas medidas de emissão de raios gama a cada 0,3 metros ao longo de perfis verticais estabelecidos em cada afloramento. Nos dois afloramentos foram estabelecidos 7 perfis para a coleta das medidas. Em Porto Feliz, todos os perfis fazem parte da mesma porção do afloramento, enquanto que em Tietê, quatro perfis se localizam em uma porção do afloramento de um lado da rodovia e os outros três, do outro lado dela. Porém, para o afloramento de Tietê foram coletadas amostras para a confecção de lâminas delgadas, o que não pôde ser feito para o afloramento de Porto Feliz devido a este estar localizado no interior de um parque municipal, não sendo autorizada a retirada de amostras. Com a análise de tais lâminas, pôde-se confirmar algumas características descritas macroscopicamente e também obter informações adicionais, as quais auxiliaram no entendimento das características do afloramento como um todo. Para a análise dos resultados, as medidas foram normalizadas para valores entre zero e um, para um melhor entendimento das comparações entre os parâmetros.

O gamaespectrômetro utilizado foi do modelo RS-230 (figura 10), pertencente ao Instituto de Geociências da Unicamp, Departamento de Geologia e Recursos Naturais. Esse aparelho possui um cristal de detecção composto por óxido de germanato de bismuto (BGO), o qual possui uma sensibilidade cerca de três vezes maior que a sensibilidade do cristal de iodeto de sódio, presente na maioria dos gamaespectrômetros. A calibração de tal aparelho foi feita de acordo com o Geological Survey of Canada de 1991, por Graty, Holman e Blanchard. De acordo com ele e com a descrição da fabricação e dos testes dos materiais utilizados para a calibração dos resultados.

Na realização das medidas, há várias fontes de erros, tais como:

- Estatísticos: se a calibração estiver 100% correta, a precisão da leitura estará relacionada com o ruído estatístico da contagem.

Portanto, com uma contagem de tempo suficiente, pode-se atingir um alto grau de precisão.

- Calibração: pode haver alguns erros durante a calibração do aparelho, como o deslocamento da matriz de calibração medida em relação à matriz correta.
- Geométrico: a área de medição do instrumento é circular. Se as rochas presentes dentro dessa área apresentarem uma homogeneidade em seus tamanhos, os resultados do aparelho serão similares aos dos testes químicos. Portanto, isso raramente acontece, sendo os resultados do aparelho apenas um indicador da concentração dos elementos presentes nas rochas, não possuindo extrema precisão.
- Tempo de contagem: esse fator varia de acordo com a necessidade do usuário. Se houver necessidade de grandes períodos de medidas e a rocha for submetida a um pequeno período, os erros serão aumentados, e vice-versa.



Figura 10. Gamaespectrômetro RS-230 utilizado neste trabalho.

Para a obtenção das medidas, o aparelho era apontado para a rocha e permanecia em contato com ela por um período de 120 segundos (figura 11), durante o qual ele registrava a quantidade de radiação gama por segundo e a convertia em unidades de concentração dos elementos, em função da faixa de energia. Após este período, a média de cada concentração e da contagem total

era armazenada na memória interna do aparelho. Com as medidas obtidas, foram elaborados perfis verticais de cada parâmetro (contagem total – CT, potássio – K, urânio – U, e tório – Th) para cada perfil de cada afloramento. Os dados foram processados no programa Microsoft Excel, no qual os dados obtidos em com (contagens por minuto) e ppm (concentrações) foram tabulados e representados em gráficos de forma similar aos logs de poços, onde picos de maior ou menos radioatividade representam níveis argilosos e arenosos, respectivamente. Esses gráficos foram relacionados com fotos e colunas estratigráficas dos afloramentos para a interpretação das medidas realizadas.



Figura11. Obtenção das medidas.

Depois de uma interpretação geral de cada afloramento, foram realizadas interpretações das medidas de perfis que apresentavam diferenças significativas entre si e das medidas dentro de cada litologia.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Primeira etapa – Descrição geológica

5.1.1 Afloramento no Parque das Monções – Porto Feliz/SP

No geral, a parte estudada do afloramento de Porto Feliz (figura 12) é constituído por arenito, o qual variava de muito fino a grosso. Localizado na margem esquerda do rio Tietê, apresenta coloração mais amarelada na base gradando para uma coloração mais rosada em direção à parte superior. Próximo a base, há camadas plano-paralelas e, nas partes superiores há estruturas como estratificações cruzadas acanaladas, com algumas porções com ripples e superfícies erosivas.



Figura 12: Visão parcial do afloramento no Parque das Monções em Porto Feliz – SP.

Neste afloramento foram determinados 7(figura 13) perfis distantes cerca de um metro entre si, os quais encontram-se descritos abaixo:



Figura 13. Perfis obtidos na parte estudada do afloramento de Porto Feliz/SP.

1º perfil (figura 14a):

- A camada basal, chamada de camada um (classificada como arenito muito fino), apresenta granulometria muito fina, composta principalmente por areia muito fina. A coloração é mais escura e essa camada é a mais afetada pelo intemperismo. As estruturas presentes são plano-paralelas.
- Na segunda camada (classificada como arenito médio), sobreposta à camada um e chamada de camada dois, a granulometria passa a ser mais grossa, composta principalmente por areia média, moderadamente selecionada. A coloração fica mais rosada nas partes frescas e há manchas pretas nas áreas intemperizadas. Nessa camada há a presença de estratificações cruzadas e a mineralogia é predominantemente composta por quartzo.
- Na terceira camada (classificada como arenito médio a fino), sobreposta à segunda camada e chamada de camada três, a granulometria passa a ser um pouco mais fina, composta predominantemente por areia média a fina, moderadamente selecionada e há presença de estratificações cruzadas acanaladas (figura 14b). A coloração é amarela no geral, e marrom nas linhas de estratificação devido ao acúmulo de sedimentos argilosos nessas regiões. A mineralogia também é composta principalmente por quartzo.
- A quarta e última camada (classificada como arenito médio a grosso), sobreposta à camada três e chamada de camada cinco, apresenta granulometria moderadamente selecionada e é predominantemente composta por areia grossa, com presença de areia média a fina. Apresenta

estrutura plano-paralela. A coloração é amarela escura e a mineralogia é composta principalmente por quartzo.

A coluna estratigráfica relativa a esse perfil está representada na figura 15.

2º perfil:

O segundo perfil, estabelecido a menos de um metro à esquerda do primeiro perfil, possui as mesmas características do primeiro devido à continuidade lateral das camadas.

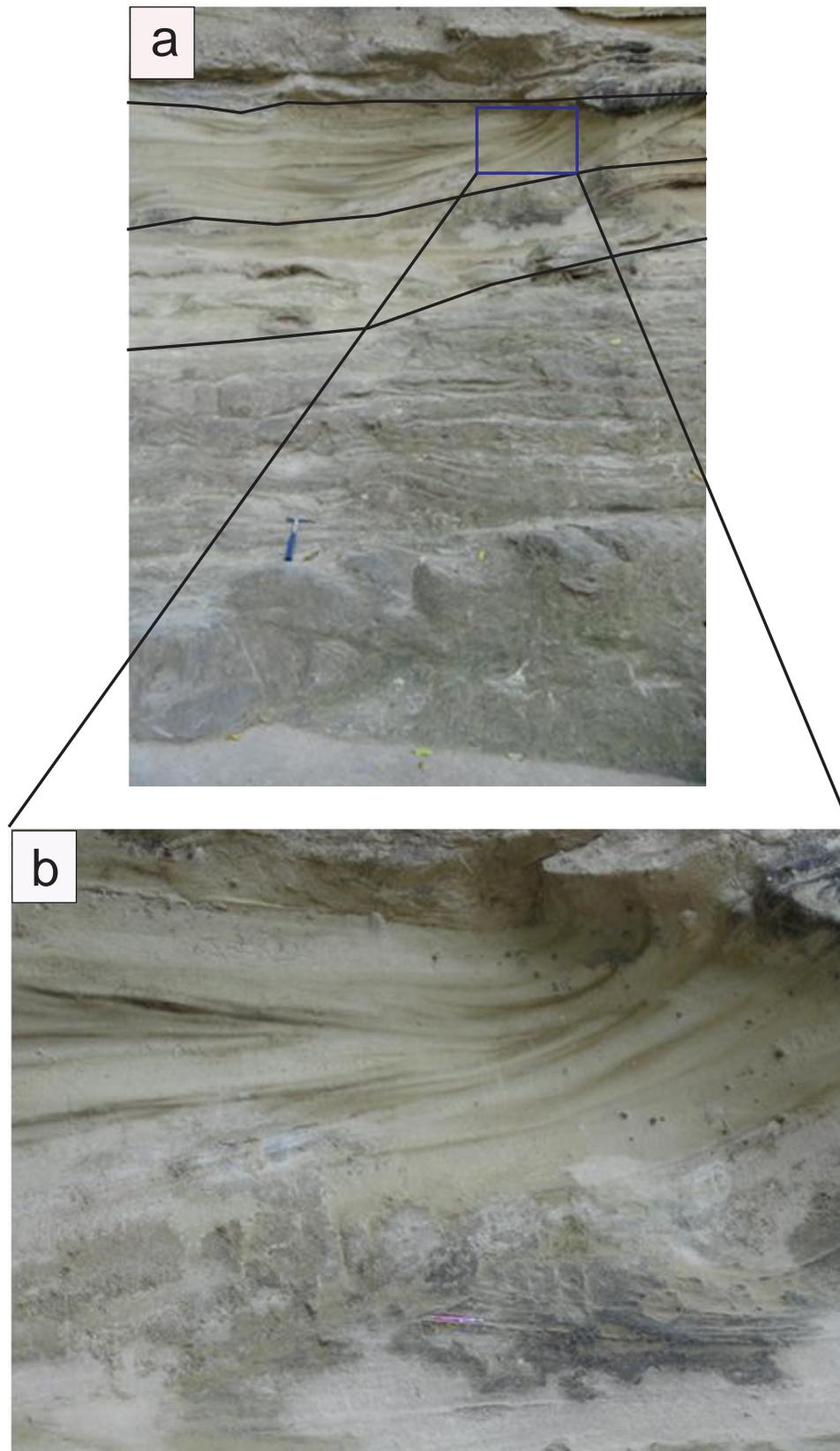


Figura 14: a. Local onde foi estabelecido o 1º perfil descrito no afloramento de Porto Feliz/SP;
b. Coloração marrom nas linhas das estratificações cruzadas acanaladas.

Coluna Estratigráfica do perfil 1 de Porto Feliz-SP

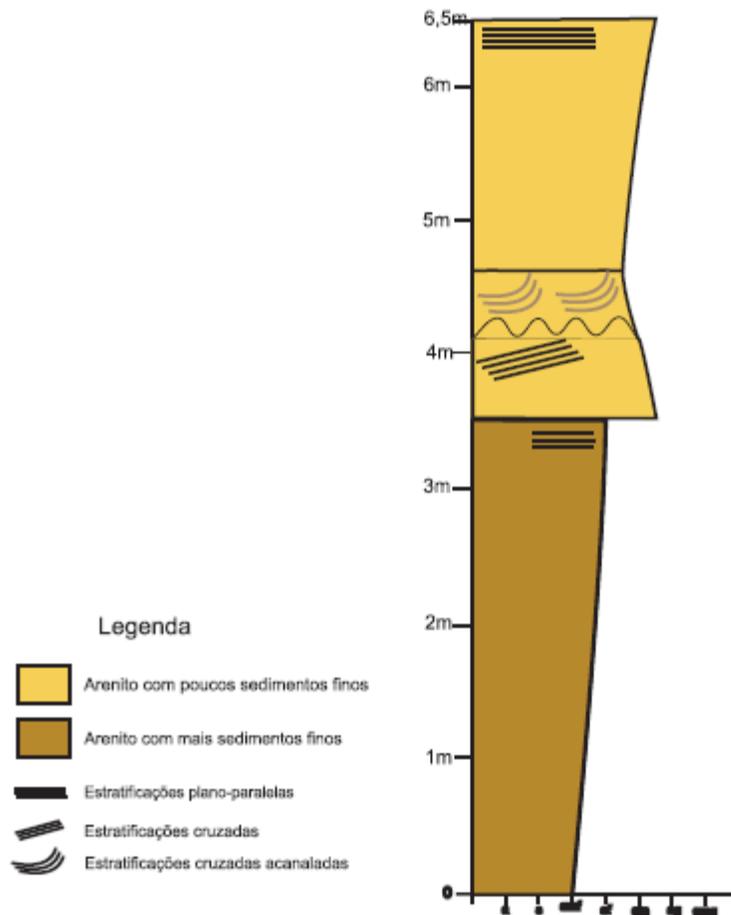


Figura 15. Coluna estratigráfica do perfil 1 do afloramento de Porto Feliz – SP.

3º perfil (figura 16):

- A camada basal (classificada como arenito muito fino), chamada de camada um, com as mesmas características da camada basal do primeiro perfil, com granulometria composta por areia muito fina, coloração escura e muito intemperizada.
- A segunda camada desse perfil (classificada como arenito arenito fino), sobreposta à primeira e chamada de camada quatro, apresenta granulometria composta predominantemente por areia fina, bem selecionada. Nesta camada há o surgimento de ripples (figura 17) e a mineralogia é composta principalmente por quartzo.

- A terceira camada (classificada como arenito médio), sobreposta à segunda e chamada de camada dois, apresenta as mesmas características da segunda camada do primeiro perfil, com granulometria grossa, coloração rósea e estratificações cruzadas .
- A quarta camada (classificada como arenito médio a grosso), sobreposta à terceira e chamada de camada cinco, assim como a quarta camada do primeiro perfil, apresenta granulometria grossa, moderadamente selecionada, coloração amarela escura e mineralogia composta principalmente por quartzo. As estruturas presentes, assim como na quarta camada do primeiro perfil, são estratificações plano-paralelas.

A coluna estratigráfica relativa a esse perfil está representada na figura 18.

4º e 5º perfil:

O quarto e o quinto perfil, devido à continuidade lateral das camadas, apresentam as mesmas características do terceiro perfil.



Figura 16. Local onde foi estabelecido o 3º perfil descrito no afloramento de Porto Feliz/SP.



Figura 17: Ripples presentes no 3º perfil.

Coluna Estratigráfica do perfil 3 de Porto Feliz-SP

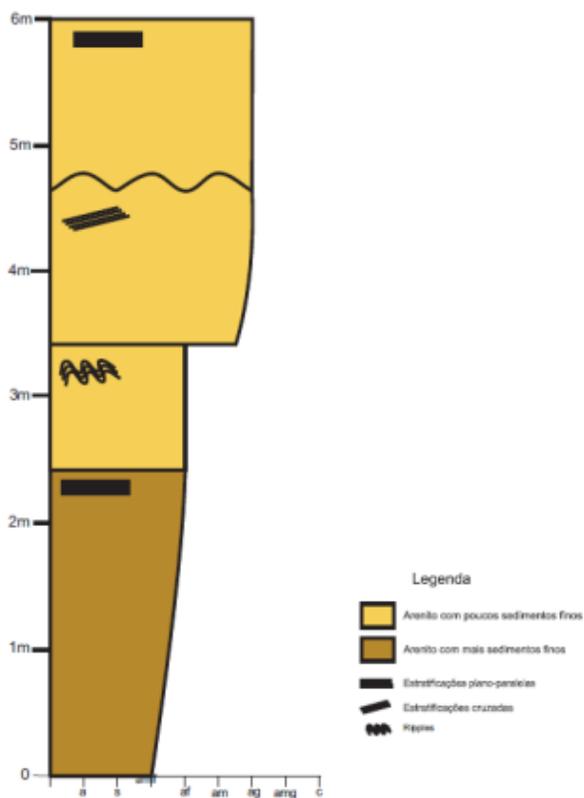


Figura 18. Coluna estratigráfica do perfil 3 do afloramento de Porto Feliz – SP.

6º perfil (figura 19):

- A camada basal (classificada como arenito muito fino), chamada de camada um, semelhante às camadas basais dos outros perfis, apresenta granulometria composta por areia muito fina, muito compactada e de coloração escura.
- A segunda camada desse perfil (classificada como arenito médio), sobreposta à primeira e chamada de camada dois, possui características semelhantes às da segunda camada do primeiro perfil, com granulometria mais grossa (areia média com coloração escura devido ao intemperismo) e com menor espessura.
- A terceira camada deste perfil (classificada como arenito médio a fino), sobreposta à segunda e chamada de camada três possui as mesmas características da terceira camada do primeiro perfil, com coloração amarelada e marrom nas linhas de estratificações cruzadas acanaladas com a granulometria composta por areia mais fina.
- A quarta camada desse perfil (classificada como arenito médio a grosso), sobreposta à terceira e chamada de camada cinco, apresenta características semelhantes às da quarta camada do primeiro perfil. Com coloração rósea ou escura (esta última devida ao intemperismo), mais espessa, com estratificações plano-paralelas e granulometria composta por areia média a grossa.

A coluna estratigráfica relativa a esse perfil está representada na figura 20.

7º perfil:

O sétimo, distante cerca de um metro do sexto perfil, apresenta as mesmas características do perfil descrito anteriormente, devido à continuidade lateral das camadas.

De acordo com as descrições desses perfis, foram elaboradas colunas estratigráficas referentes aos mesmos e, com isso, foi estabelecida uma correlação entre as litologias presentes em cada perfil, a qual está representada na figura 21, a qual encontra-se fora de escala. Nela, pode-se notar as diferentes

litologias descritas, onde a camada um está representada pela cor verde, a camada dois pela cor lilás, a camada três pela cor rosa, a camada quatro pela cor marrom e a camada cinco pela cor azul. Esta correlação se apresenta bastante coerente com a estabelecida na foto panorâmica da parte descrita do afloramento.

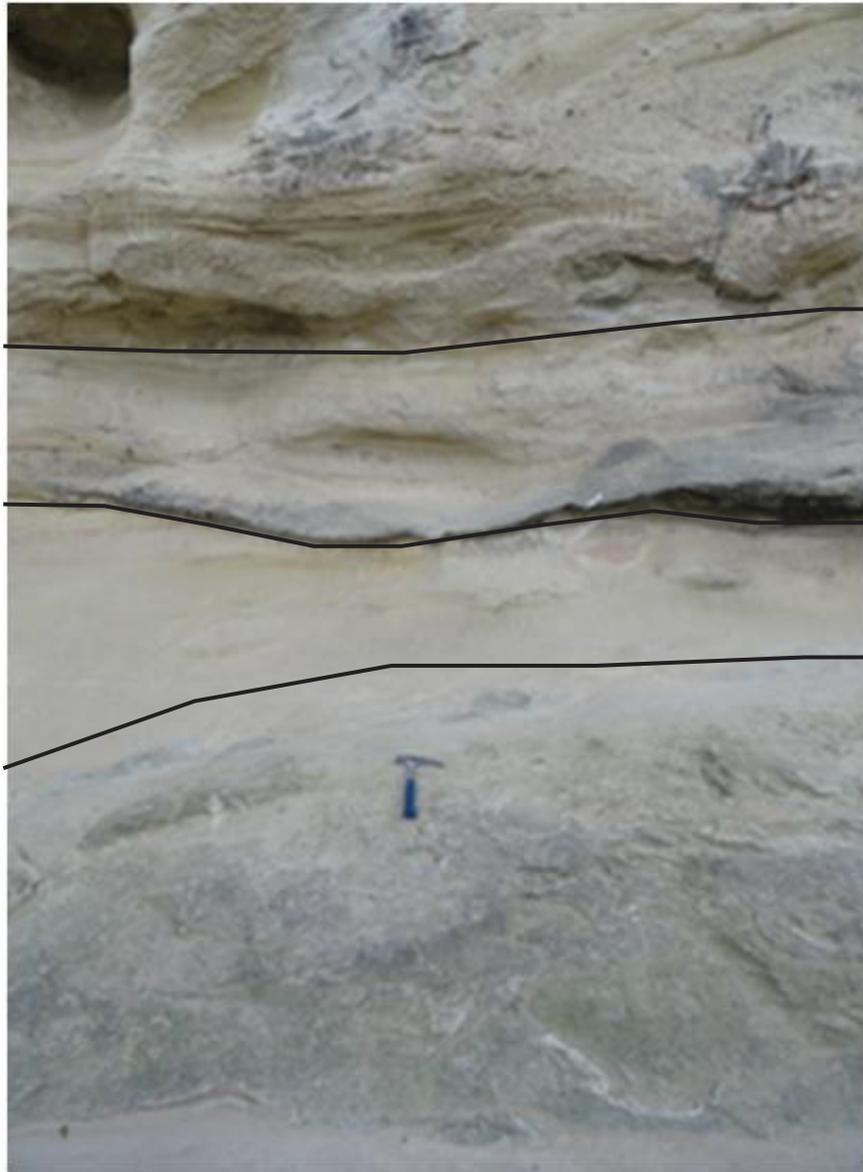


Figura 19: Local onde foi estabelecido o 6º perfil descrito no afloramento de Porto Feliz/SP.

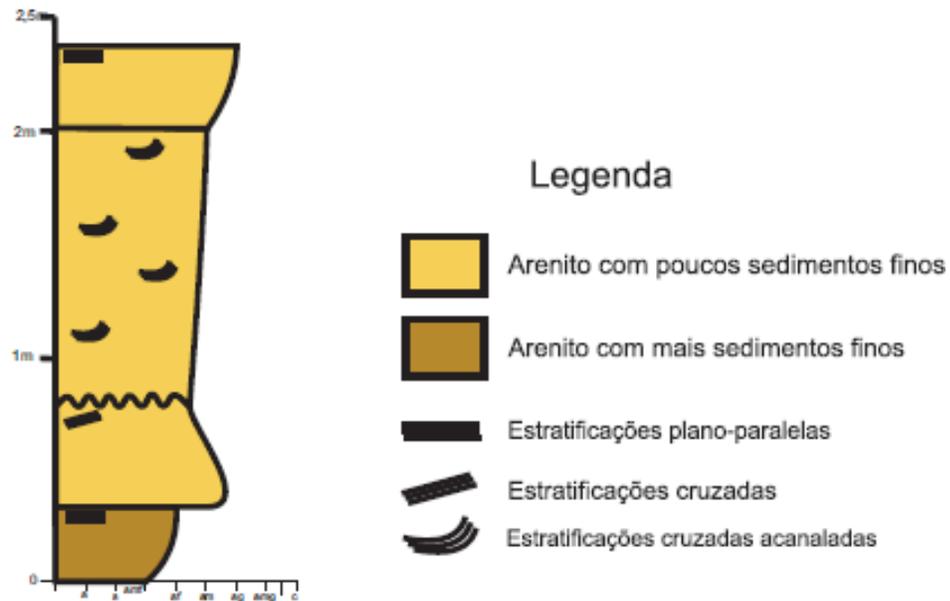


Figura 20. Coluna estratigráfica do perfil 6 do afloramento de Porto Feliz – SP.

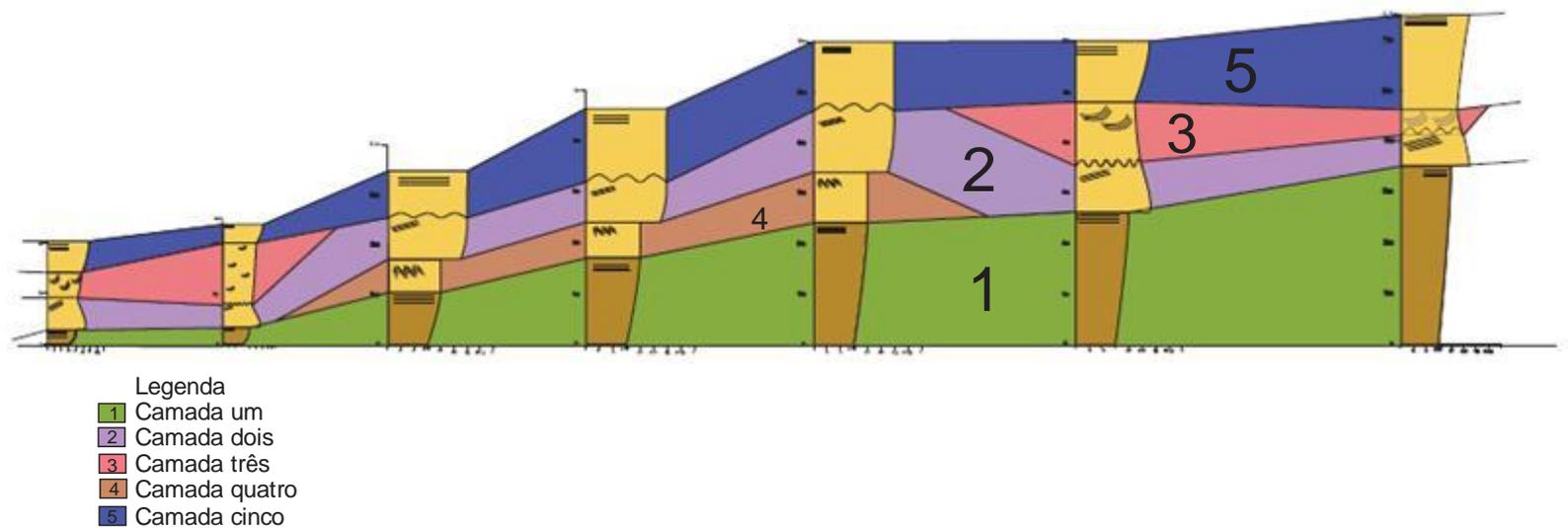


Figura 21. Correlação litológica das colunas estratigráficas do afloramento de Porto Feliz/SP.

5.1.2 Afloramento no município de Tietê/SP

Neste afloramento foram distinguidas quatro camadas cujas características que as diferem são: granulometria e estruturas presentes. Os contatos entre as camadas foram classificados como contatos graduais.

As litologias presentes nos sete perfis estabelecidos são bastante semelhantes, com variação apenas das espessuras. Além das descrições macroscópicas de campo, foram também analisadas lâminas de cada litologia. Foram analisados dois afloramentos, um de um lado da rodovia, onde foram estabelecidos 4 perfis (figura 22) e outro do outro lado, onde foram estabelecidos mais 3 perfis.



Figura 22. Visão parcial do segundo afloramento analisado na cidade de Tietê/SP onde foram descritos os 4 primeiros perfis.

Foram descritos sete perfis (figura 23), os quais encontram-se detalhados abaixo:

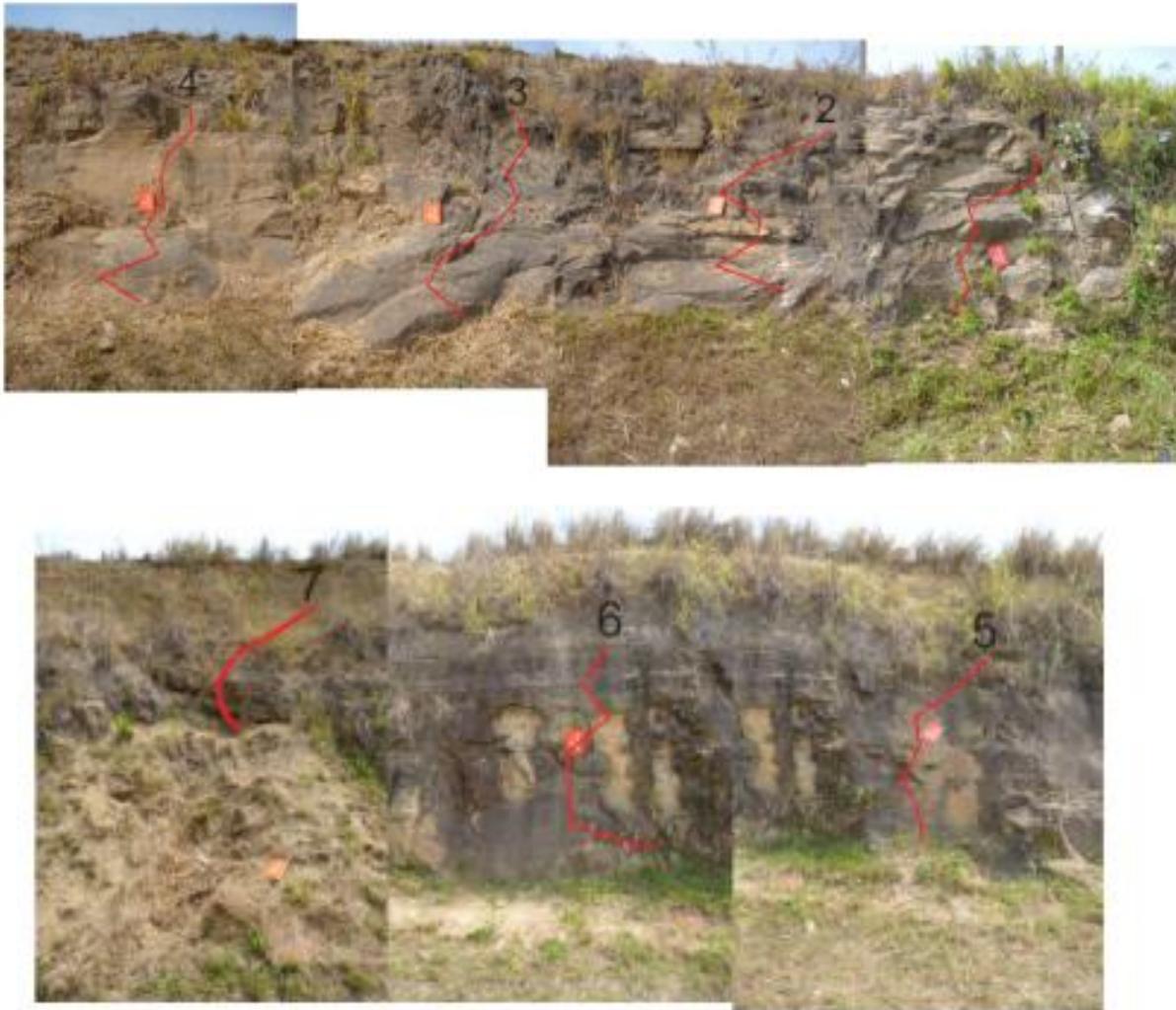


Figura 23. Perfis obtidos nas partes estudadas do afloramento de Tietê/SP.

1º perfil (figura 24.) (1,8 metros):

- A camada basal, chamada de camada um, possui, aproximadamente, 0,5 m e apresenta coloração esbranquiçada com algumas porções rosadas. A granulometria é composta predominantemente por areia fina moderadamente a bem selecionada e a mineralogia por quartzo e feldspato. O arredondamento dos grãos varia de sub-angulosos a sub-arredondados, a esfericidade é mediana e a estrutura é maciça.
- Na segunda camada, sobreposta à primeira e chamada de camada dois, cuja espessura é de aproximadamente 0,4 m, a coloração é

esbranquiçada, a granulometria varia de areia fina a média, moderadamente a bem selecionada, a mineralogia é composta principalmente por quartzo e feldspato. Os grãos se encontram variando de sub-angulosos a sub-arredondados, com média esfericidade e estrutura maciça.

- A terceira camada descrita, sobreposta à segunda e chamada de camada 3, apresenta uma espessura de, aproximadamente 0,7 m, uma coloração amarelada com alguns pontos esbranquiçados com granulometria variando de areia média a grossa com grãos de sub-arredondados a arredondados, com média esfericidade e bem selecionada. A mineralogia é composta por quartzo e feldspato. Como estrutura, há a presença de estratificações cruzadas acanaladas.
- A quarta camada descrita, sobreposta à terceira e chamada de camada quatro, apresenta uma espessura de aproximadamente 0,5 m, coloração amarelada com alguns pontos pretos e regiões avermelhadas. A granulometria varia de areia fina a média, bem selecionada composta por grãos sub-arredondados a arredondados e com moderada esfericidade. A mineralogia também é composta por quartzo e feldspato e as estruturas presentes são estratificações plano paralelas.

A coluna estratigráfica referente a esse perfil está representada na figura

25.



Figura 24. Local onde foi estabelecido o 1º perfil descrito no afloramento de Tietê/SP.



Figura 25. Coluna estratigráfica do perfil 1 do afloramento de Tietê/SP.

No segundo perfil descrito, foram encontradas as mesmas características granulométricas e estruturais em todas as camadas, porém, o que diferenciou de um perfil para outro foi a espessura da cada uma. A camada basal possui cerca de 0,5 m de espessura, assim como a do primeiro perfil. A camada seguinte, acima

da basal, possui aproximadamente 0,6 m. A terceira, logo acima da anterior, possui cerca de 0,7 m e a camada do topo possui aproximadamente 0,6 m.

No terceiro e quarto perfil, a diferença encontrada também foi a espessura de cada camada. No terceiro perfil, a camada basal apresenta uma espessura de cerca de 0,4 m, a segunda cerca de 0,6 m, a terceira aproximadamente 0,6 m e a do topo cerca de 0,5 m. No quarto perfil, a camada basal possui 0,6 m, a segunda cerca de 0,4 m, a terceira aproximadamente 1,4 m e a do topo, aproximadamente 0,3 m.

No quinto perfil descrito (figura 26), a camada basal é semelhante à segunda camada dos perfis anteriores, apresentando mesma granulometria e mesmas estruturas, com aproximadamente 1,4 m de espessura. A segunda camada observada possui as características da terceira camada descrita nos perfis anteriores, com uma espessura de cerca de 0,5 m. Na camada seguinte, a do topo, a litologia muda, apresentando uma granulometria muito mais fina, aparentemente areia muito fina, com uma coloração mais escura e camadas plano paralelas, com uma espessura de aproximadamente 0,5 m. Porém, a camada do topo dos perfis de 1 a 4 não foi encontrada. A coluna estratigráfica referente a esse perfil está representada na figura 27.



Figura 26. Local onde foi estabelecido o 5º perfil descrito no afloramento de Tietê/SP.

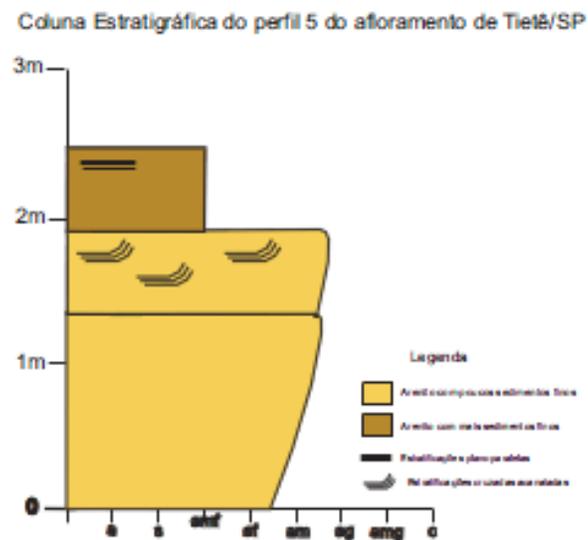


Figura 27. Coluna estratigráfica do perfil 5 do afloramento de Tietê/SP.

No sexto perfil (figura 28), a camada basal dos perfis de 1 a 4 foi encontrada novamente com uma espessura de aproximadamente 0,3m. A segunda camada é semelhante à segunda camada do perfis de 1 a 4 e à primeira camada do perfil 5, com uma espessura de cerca de 1,5 m. A terceira camada

encontrada é semelhante à terceira camada dos perfis de 1 a 4 e à segunda camada do perfil 5, com uma espessura de aproximadamente 0,5 m e, a quarta camada, a do topo, é semelhante à camada do topo do perfil 5, com uma espessura de cerca de 0,5 m. A cluna estratigráfica referente a esse perfil está representada na figura 29.



Figura 28. Local onde foi estabelecido o 6º perfil descrito no afloramento de Tietê/SP.

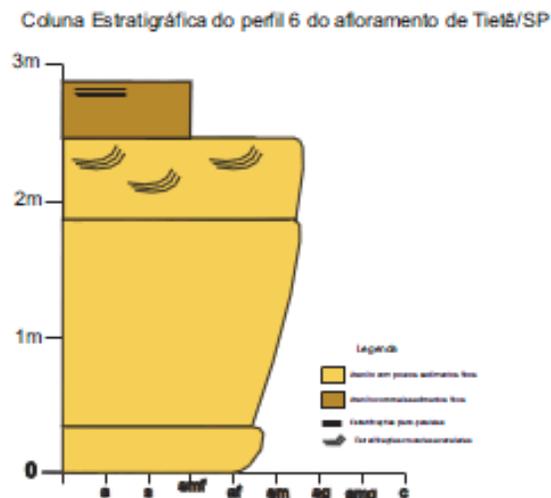


Figura 29. Coluna estratigráfica do perfil 6 do afloramento de Tietê/SP.

No sétimo perfil descrito, até a altura de 1,7 m, há uma espessa camada de sedimentos advindos do topo do afloramento depositados na frente da sua face

exposta. Com isso, foram descritas as características das camadas localizadas acima da pilha de sedimentos. A litologia encontrada logo acima da pilha possui características semelhantes à terceira camada dos perfis de 1 a 4 e do perfil 6 e à segunda camada do perfil 5, com uma espessura de aproximadamente 0,7 m. A camada acima, era a do topo, semelhante às camadas de topo dos perfis 5 e 6, com uma espessura de cerca de 0,8 m. As camadas inferiores a essas, foram observadas seguindo do outro lado da pilha de sedimentos, e foram encontradas camadas semelhantes às duas camadas inferiores do perfil 6, o que levou-se a concluir que as camadas inferiores do perfil 7 são semelhantes às do perfil 6.

De acordo com as descrições desses perfis, foram elaboradas colunas estratigráficas referentes aos mesmos e, com isso, foi estabelecida uma correlação entre as litologias presentes em cada perfil, a qual está representada na figura 30, a qual encontra-se fora de escala. Nela, pode-se notar as diferentes litologias descritas, onde a camada um está representada pela cor laranja, a camada dois pela cor azul, a camada três pela cor roxa, a camada quatro pela cor amarela e a camada cinco pela cor marrom.

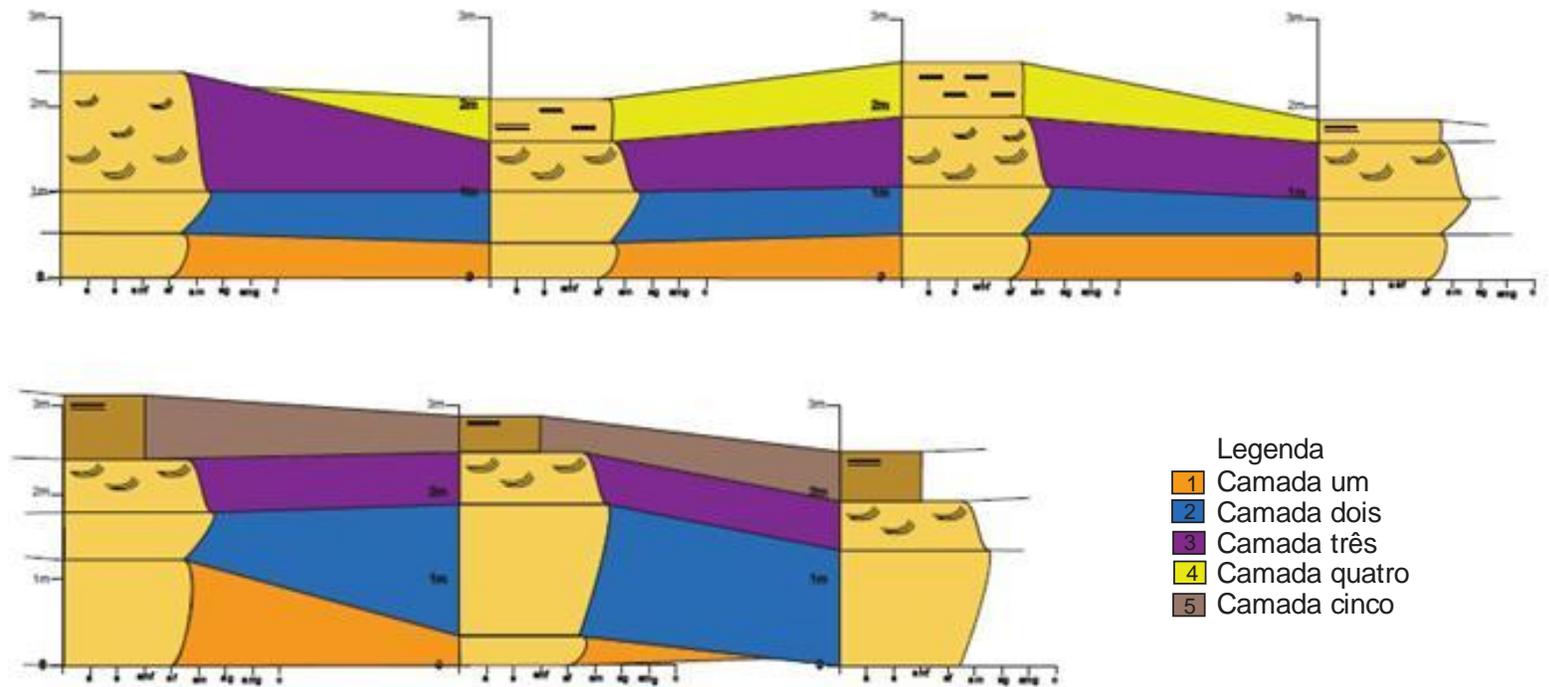


Figura 30. Correlação litológica das colunas estratigráficas do afloramento de Tietê/SP.

Uma análise microscópica petrográfica de lâminas delgadas foi realizada com o objetivo de fornecer dados complementares ao entendimento das características descritas macroscopicamente do afloramento como um todo. Nessa análise microscópica, algumas características foram descritas, como:

- A lâmina P1A1, referente à camada um, mostrou a granulação muito fina (areia fina), textura equigranular, grãos com alta e baixa esfericidade, com boa seleção em algumas porções e não tão boa em outras. A mineralogia é composta, principalmente por quartzo e feldspato. Foram encontrados também, grãos esparsos de muscovita. A cimentação encontrada foi por sobrecrescimento de quartzo (figura 31), a estrutura é maciça e há conexão entre os poros.

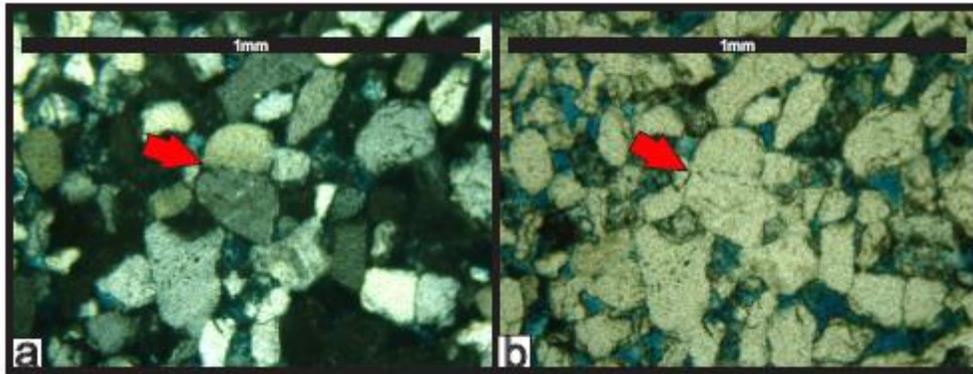


Figura 31. Cimentação por sobrecrecimento de quartzo observada na lâmina referente à amostra da camada basal – a. luz polarizada, b. luz natural.

- A lâmina P1A2, referente à camada dois, mostrou granulção mais grossa que a anterior, mas ainda bastante fina com textura bimodal, com alternância de faixas de granulometria mais grossa com faixas de granulometria mais fina. Onde é mais grossa, o grau de seleção é maior do que onde é mais fina. A porosidade encontrada é intergranular com a maioria dos poros interligados (figura 32). A mineralogia era composta por quartzo e feldspato. A cimentação observada é por sobrecrecimento de quartzo, assim como na lâmina P1A1.

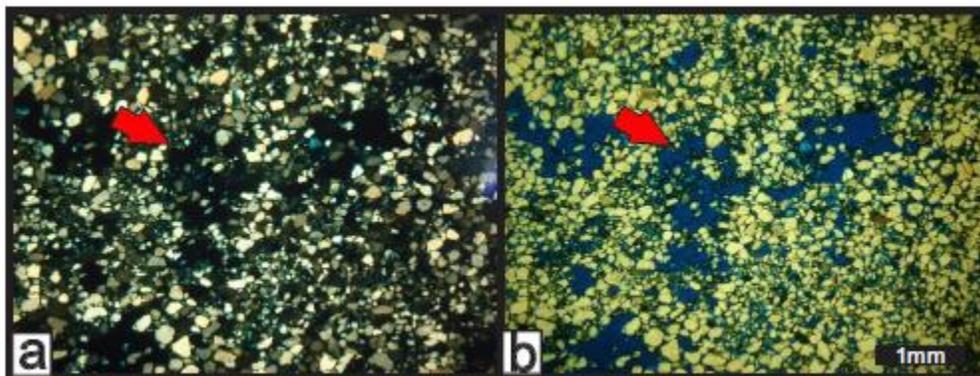


Figura 32. Interligação entre poros observada na lâmina referente à amostra da segunda camada, superior à basal – a. luz polarizada, b. luz natural.

- A lâmina P1A3, referente à camada três descrita, mostrou granulometria mais grossa que as anteriores, variando de média a grossa, bem selecionada (em alguns pontos pouco selecionada) com grãos arredondados (com alguns poucos sub-arredondados), em sua maioria

esféricos. A textura é bimodal (figura 33a e 33b) com níveis de granulometria mais grossa intercalados com mais fina. Os poros são bastante interligados (figura 33c e 33d). A mineralogia é composta por quartzo e feldspato e a cimentação observada foi de sobrecrescimento de quartzo.

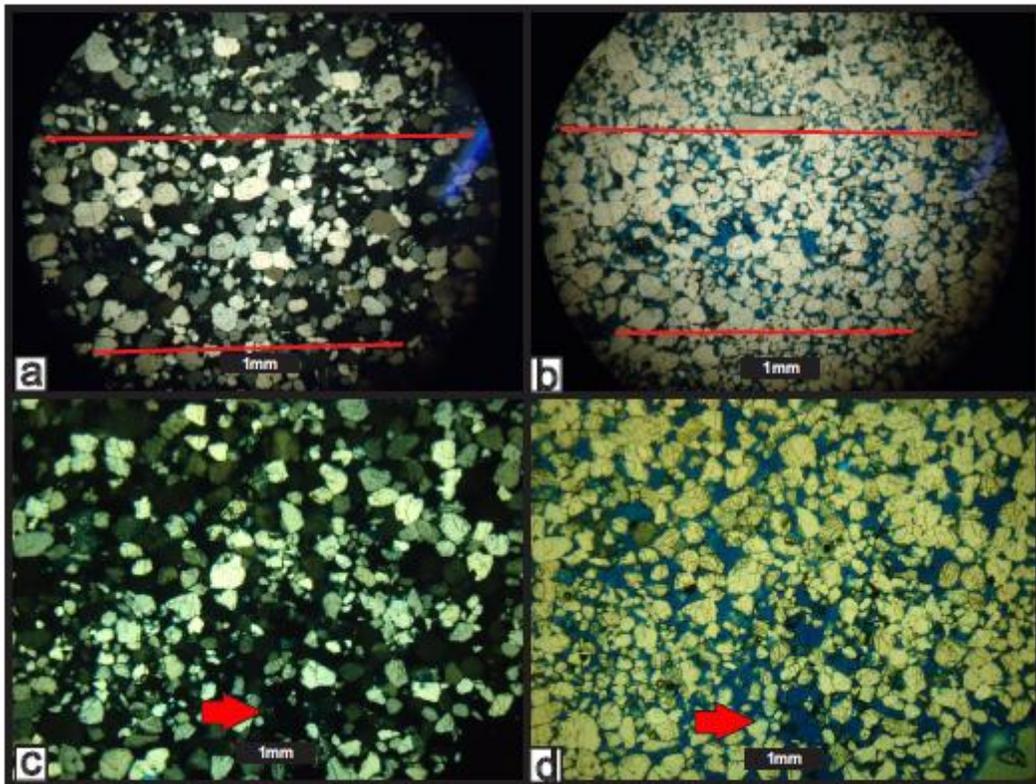


Figura 33. a. Textura bimodal observada na lâmina referente à amostra da terceira camada, superior à segunda (luz polarizada), b. Textura bimodal observada na lâmina referente à amostra da terceira camada, superior à segunda (luz natural), c. Interligação entre poros observada na lâmina referente à amostra da terceira camada, superior à segunda (luz polarizada), d. Interligação entre poros observada na lâmina referente à amostra da terceira camada, superior à segunda (luz natural).

- A lâmina P1A4, referente à camada quatro descrita, mostrou granulometria mais fina que a anterior, variando de fina a média, muito bem selecionada, com grãos variando de sub-angulosos a sub-arredondados com alta esfericidade. A porosidade é intergranular com bastante conexão entre os

poros e a textura é, em sua maioria, equigranular. A mineralogia é composta por quartzo e feldspato e a cimentação observada é por sobrecrescimento de quartzo.

- A lâmina P1A5, referente a uma amostra retirada das linhas de estratificações cruzadas acanaladas da camada 3, mostrou granulometria variando de média a grossa, moderadamente selecionada, com grãos variando de arredondados a sub-angulosos, com alta esfericidade. A porosidade era intergranular com alta conexão entre os poros e a textura é bimodal. A mineralogia é composta por quartzo e feldspato e a cimentação observada é por sobrecrescimento de quartzo.

5.2 Segunda Etapa – Coleta de dados gamaespectrométricos

Para a análise dos resultados, foram elaborados gráficos de dispersão entre as medidas dos dados em concentrações e em contagens por minuto das variáveis CT, K, U e Th (figura 34). A partir da análise do gráfico do U, nota-se que o índice de correlação desse elemento é relativamente baixo, devido à uma dispersão significativa dos pontos, o que pode indicar problemas na calibração do equipamento. Porém, o índice de correlação dos outros elementos foram mais elevados que o do U (~1), conforme mostram os gráficos. Os altos índices de correlação indicam que o equipamento está adequadamente calibrado e que, portanto, pode-se realizar a comparação dos perfis gamaespectrométricos com os perfis geológicos já descritos anteriormente.

Gráficos de correlação de dados em concentrações (ppm) e contagens por minuto (cpm)

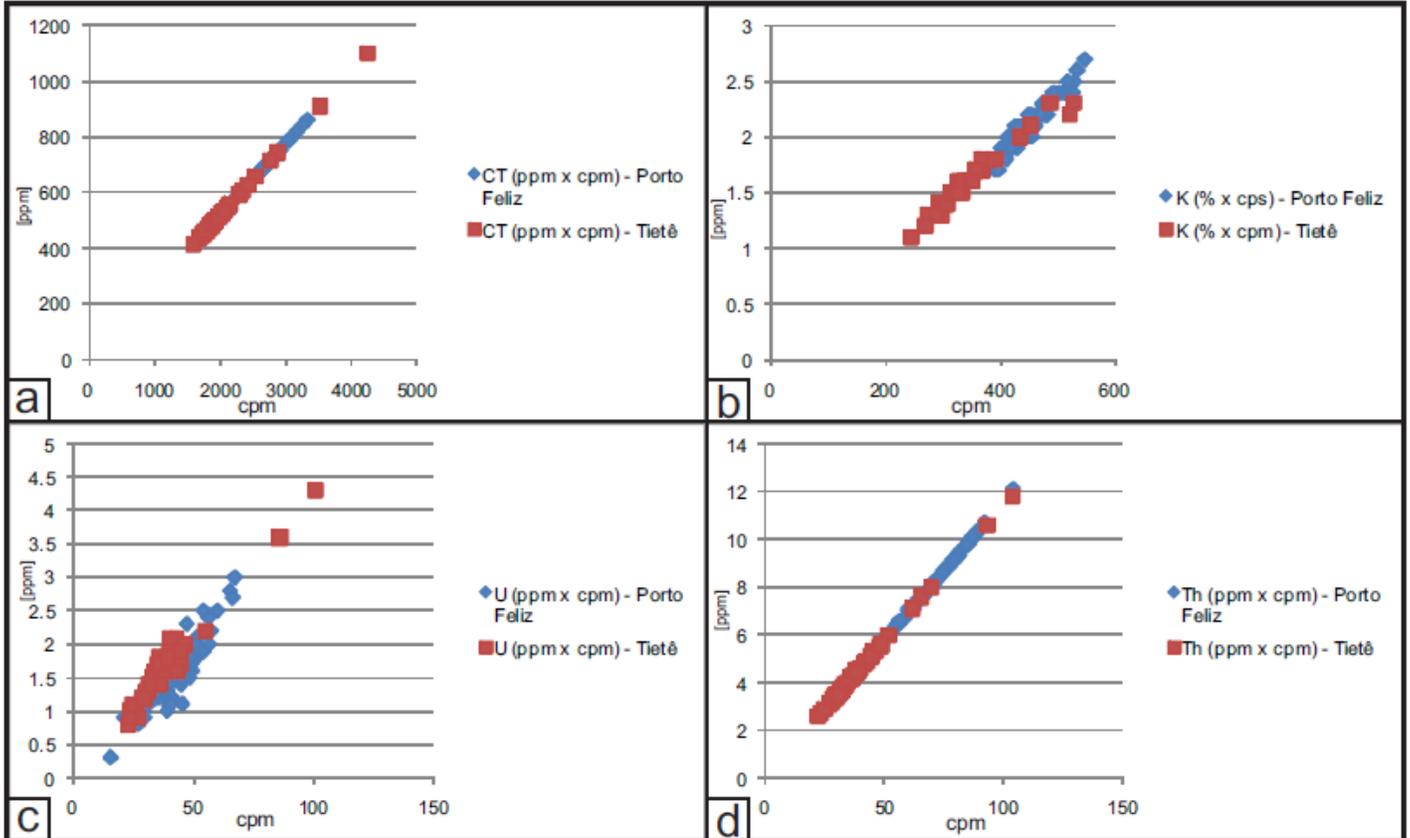


Figura 34. Gráficos de dispersão de dados em concentrações (PPM) e contagens por minuto (cpm) .

6.3.1 Afloramento no Parque das Monções – Porto Feliz/SP

No primeiro afloramento estudado, em Porto Feliz, foram encontradas medições de contagens totais mais altas na camada basal, e nas camadas superiores, mais arenosas, as contagens totais foram diminuindo em direção ao topo, com algumas medidas mais altas em concentrações locais de sedimentos mais finos, com coloração mais escura. As medições de K e de Th, devido às suas maiores concentrações nas litologias mais finas, acompanham as tendências da contagem total, sendo maiores na camada basal, que possui granulometria mais fina, e vão diminuindo em direção ao topo, onde a granulometria fica mais grossa,

com altas medidas nas concentrações locais de sedimentos finos (figuras 35 e 37).

Já o U não apresenta uma tendência decrescente ascendente como os demais elementos e a contagem total. Suas medidas são irregulares ao longo dos perfis, com medidas altas e baixas não seguindo um padrão, já que o urânio não é relacionado às determinadas litologias presentes no afloramento como o potássio e o tório são e aparentemente não há uma contaminação desse elemento na área (figuras 35 e 36).

Seguindo da base para o topo dos perfis descritos, pode-se notar uma coerência das respostas gamaespectrométricas medidas e esperadas para os litotipos descritos. Nas figuras 13 e 37, pode-se notar que nas regiões mais escuras do afloramento as medidas de gama se deslocam para a direita, o que indica alta captação de raios gama, correspondentes às litologias com granulometrias mais finas. Em direção ao topo, pode-se notar que a litologia vai se tornando cada vez mais amarelada, acompanhando a variação granulométrica (ficando cada vez mais pobre em sedimentos mais finos). Com isso, as medidas de gama vão migrando para a esquerda nos perfis, o que indica medidas mais baixas correspondentes à diminuição do teor de argila no arenito. Além disso, pode-se notar que mesmo a granulometria arenosa predominando, há algumas lâminas de sedimentos mais finos e de coloração mais escura nas linhas de estratificações, o que é correspondente às medidas de raios gama destes locais, que possuem um aumento brusco nestas regiões e depois uma diminuição brusca quando a granulometria volta a ser mais grossa.

Analisando isoladamente os elementos K e Th (figura 36), pode-se notar que ambas as medidas são mais altas nas partes com sedimentos mais finos e mais baixas nas áreas mais arenosas. Porém, nenhuma medida atinge a média típica de argilitos/folhelhos e nem a de arenitos puros, o que leva-se a concluir que tratam-se de arenitos argilosos, com variação na quantidade de argila presente em cada um deles, confirmando a descrição macroscópica de que os sedimentos são predominantemente arenosos nas partes mais claras e bem finos nas partes mais

escuras. As colunas estratigráficas construídas no primeiro trabalho de campo (figuras 15, 18, 20 e 21) possuem bastante coerência quando comparadas aos perfis de raio gama de CT, K e Th (figura 36).

Fazendo uma análise isolada dos perfis descritos, nota-se uma diferença significativa entre os dois primeiros perfis e o terceiro, quarto e quinto perfis, e entre o terceiro, quarto e quinto perfis e o sexto e sétimo.

Além das diferentes espessuras de cada litologia, no primeiro e segundo perfis há a presença de uma camada com estratificações cruzadas acanaladas, as quais desaparecem nos perfis três, quarto e cinco e ressurge no perfis seis e sete. Os perfis três, quarto e cinco também possuem uma camada, inexistente nos demais perfis, com estruturas e granulometria característica (composta por ripples e areia fina, respectivamente). Essas diferenças existentes entre cada perfil também refletem nas medidas gamaespectrométricas, como pode-se notar nos perfis de raio gama de CT, K e Th relacionados com as colunas estratigráficas de alguns dos perfis descritos (figura 36). Todos os perfis de raio gama relativos a CT, K, U e Th de todos os perfis descritos encontram-se em anexo.

Em uma análise geral das litologias presentes no afloramento (figura 31), podemos notar uma maior concentração de altas medidas de CT na camada basal, variando de 2300 ppm a 3300 ppm aproximadamente, e algumas altas medidas na camada 4 (camada topo de todos os perfis), onde essas altas medidas, 3300 ppm aproximadamente, são relativas às concentrações de sedimento mais finos nas estratificações plano-paralelas. Nas demais litologias, as medidas de CT são mais baixas (variando de 2000 ppm a 2700 ppm aproximadamente), referente às litologias de granulometria mais grossa, como areias média a grossa.

Quanto às medidas de K, quase todas as respostas foram altas (variando de 1,7% a 2,7%), o que pode indicar não só a presença de sedimentos finos, como na camada basal, mas também a presença de potássio nos arenitos, indicando alta concentração de k-feldspato nos mesmo.

O urânio, como já dito anteriormente, possui medidas dispersas em quase todas as litologias, variando de 0,3 ppm a 3 ppm, não podendo ser relacionado com nenhuma das características analisadas.

Já o tório possui maiores medidas na camada basal, variando de 6,6 ppm a 12,1 ppm, e menores nas camadas superiores, variando de 3,4 ppm a 10,2 ppm, onde há o predomínio de litologia arenosa de granulometria mais grossa, sendo coerente com as medidas de CT e com as descrições de granulometria.

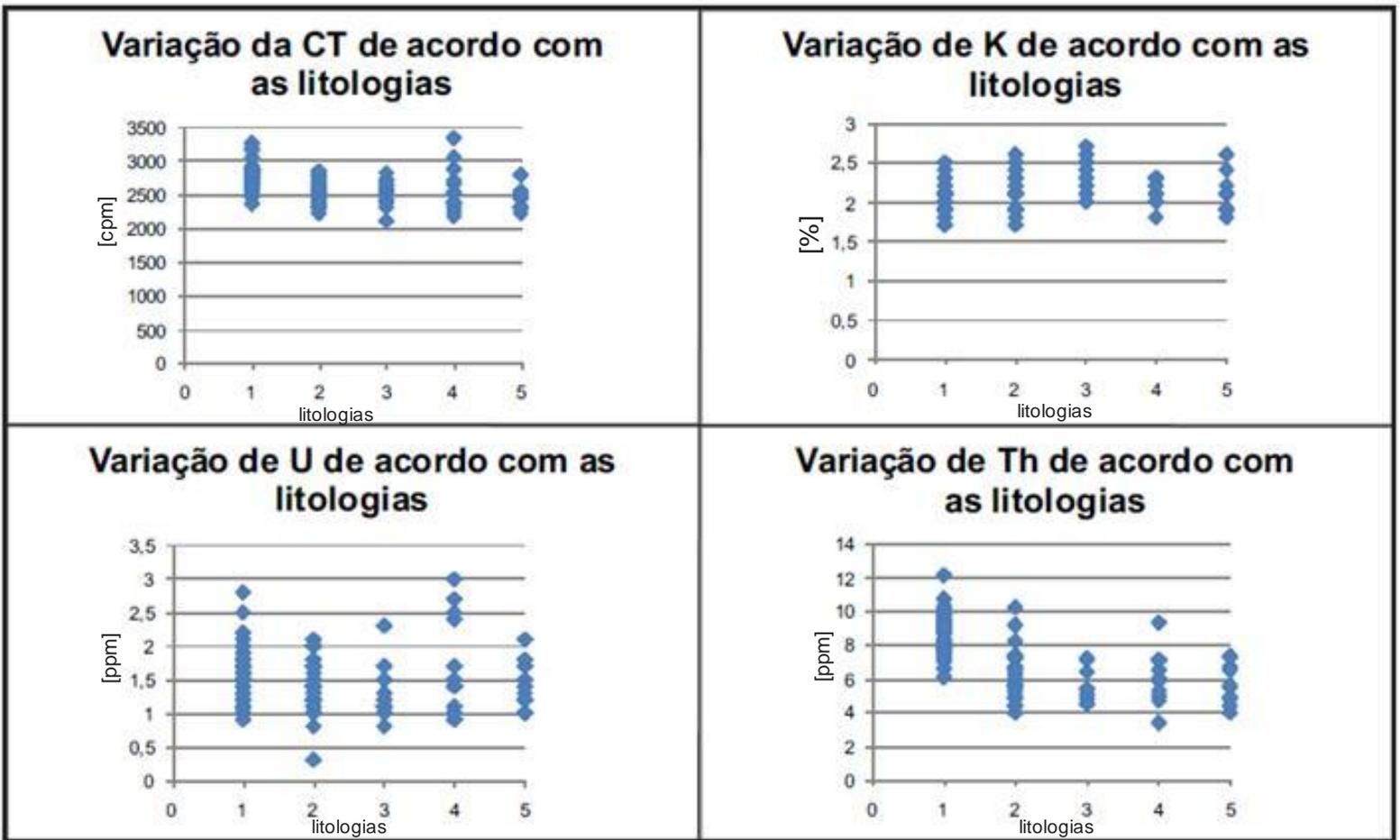


Figura 35. Variação de CT, K, U e Th de acordo com cada litologia, onde 1 é a camada basal, 2 é a segunda camada do primeiro perfil (onde foram encontradas estratificações cruzadas, logo acima da camada basal, encontrada em todos os outros perfis), 3 é a terceira camada do primeiro perfil (onde foram encontradas estratificações cruzadas acanaladas, presente nos perfis 1, 2, 6 e 7), 4 é a camada do topo de todos os perfis (com estratificações plano paralelas) e 5 é a segunda camada encontrada no perfil 3 (onde foram encontrados ripples como estruturas, presente nos perfis 3, 4 e 5).

Perfis 1, 3 e 6

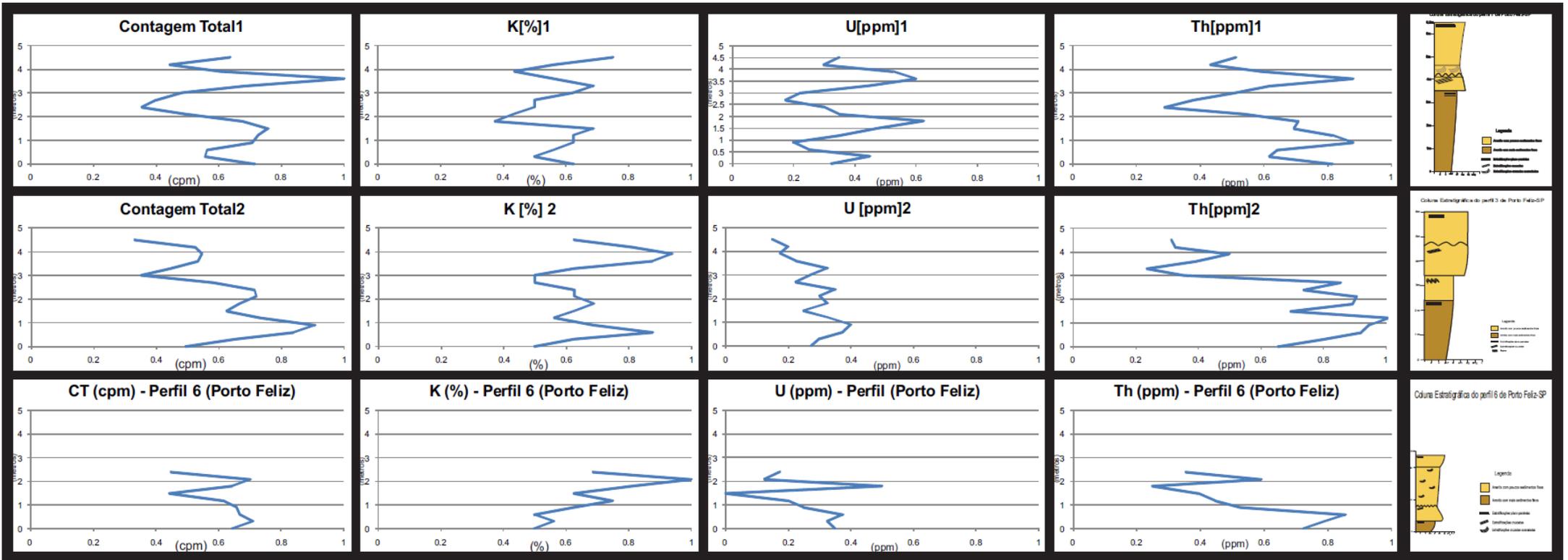


Figura 36. Comparação entre os perfis de raio gama de CT, K, U e Th e as colunas estratigráficas dos perfis 1, 3 e 6 do afloramento de Porto Feliz/SP.

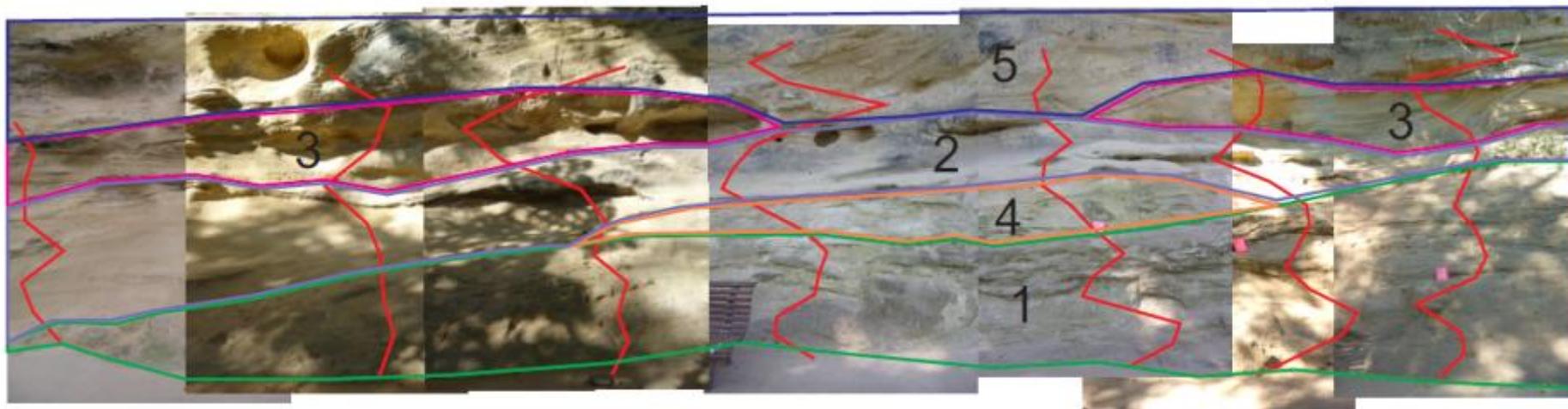


Figura 37. Foto panorâmica do afloramento do Parque das Monções (Porto Feliz – SP) com os perfis de raio gama de Contagem Total e com as litologias separadas.

5.3.2 Afloramento de Tietê/SP

No segundo afloramento, em Tietê, foram encontradas contagens totais de raio gama crescentes em direção ao topo dos perfis. A camada basal, presente em todos os perfis, menos no 5º, apresenta uma contagem decrescente até mais ou menos a metade da sua espessura e depois um aumento até o contato com a camada superior. A segunda camada, logo acima da primeira, apresenta medidas mais altas de CT do que a camada basal, pois, mesmo sua granulometria variando de sedimentos finos a médios assim como nas camadas superiores, a presença de feldspato aumenta em direção ao topo de cada perfil e, com isso, o teor de K também aumenta, o que resulta em um aumento das medidas de raios gama. Na terceira camada, onde a granulometria é mais grossa, as medidas de CT sofrem uma diminuição na região de média espessura e depois tornam a aumentar em direção ao topo. Isso ocorre devido ao fato de ocorrer uma maior seleção dos grãos na região de média espessura, fator que diminui em direção ao topo, onde ocorre um aumento na quantidade de grãos mais finos. Já na última camada, as medidas de CT são mais altas, porém o valor permanece sem grande variação. Isso ocorre devido à uniformidade do teor de sedimentos mais finos nessa camada. Quanto às medidas de K e Th, pode-se dizer que a mesma tendência é seguida. Em uma análise geral, as medidas desses elementos são mais altas em direção ao topo dos perfis, com algumas variações particulares em alguns pontos. Isso se deve à quantidade de conteúdo de sedimentos finos presentes nas litologias e à presença de k-feldspato em algumas delas. Já o urânio não apresenta uma tendência como os outros elementos, pois sua concentração varia aleatoriamente ao longo dos perfis e das litologias, não sendo relacionado às litologias presentes e não apresentando características de contaminação nessa área.

Com a análise geral dos perfis e do afloramento, que pode ser vista na figura 38, observa-se uma coerência menor que a vista no afloramento de Porto Feliz. Porém, há uma relação das medidas de raios gama com a litologia, se não analisarmos somente a granulometria predominante em cada litologia,

mas sim se considerarmos a mineralogia presente nessas litologias (como a presença de k-feldspato na maioria delas).

Analisando-se isoladamente cada perfil, nota-se uma grande semelhança entre os perfis 1, 2, 3 e 4, os quais apresentam praticamente a mesma litologia com algumas diferenças nas espessuras. Já no quinto perfil descrito, a camada basal e a do topo dos perfis anteriores não aparecem, e, no topo, surge uma camada com características de granulometria e estruturas bastante diferentes. No sexto perfil, outra mudança ocorre em relação ao quinto perfil, a primeira camada dos 4 primeiros perfis reaparece, mas a do topo não, restando as três primeiras camadas dos primeiros perfis com a camada do topo do quinto perfil. Essas diferenças também puderam ser notadas nos perfis de raios gama (figura 38), onde as medidas das camadas semelhantes foram praticamente equivalentes. Porém, a nova camada do topo só pôde ser medida com o gamaespectrômetro no perfil 7, onde foi registrado um grande aumento nas medidas tanto de CT, quanto dos elementos K, U e Th, as quais correspondem à granulometria muito fina encontrada nessa litologia.

Em uma análise geral das litologias contidas nesse afloramento (figura 39), pode-se notar que as maiores medidas de qualquer elemento e de CT são referentes à camada do topo dos perfis 5, 6 e 7 (variando de aproximadamente 4000 cpm a 4500 cpm para CT, de 3,5 a 4,5 ppm para o U, até 2,4% para o K e de 10 a 12,5 ppm para o Th), composta por areia muito fina. Além disso, o potássio possui altas medidas na camada 3 (até 2,4%) que, apesar da granulometria ser mais grossa, há maior presença de feldspato, o que também é responsável por altas medidas. O urânio apresenta altas medidas na terceira camada e na quinta, mas não foi encontrada uma justificativa que relacionasse essa resposta com os tipos de litologias. E o tório, por sua vez, possui altas medidas na terceira camada (até 8ppm), além da camada de topo dos perfis 5, 6 e 7. Esse comportamento é provável que seja devido à grande presença de sedimentos finos nessa camada, mesmo com a predominância de sedimentos mais grossos, podendo estar contidos nas linhas de estratificações cruzadas encontradas nessa porção do afloramento e nos poros existentes entre os grãos mais grossos de areia.

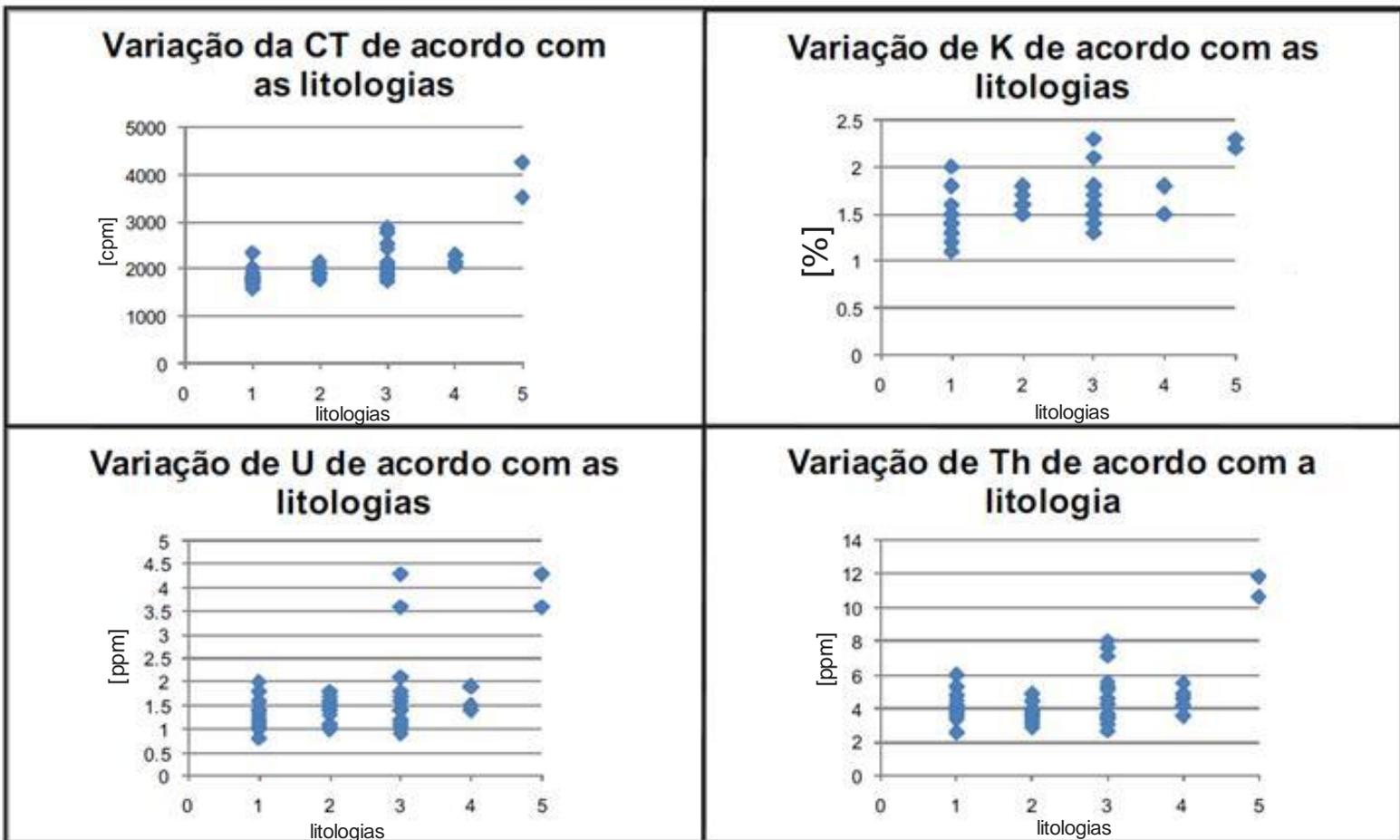


Figura 39. Variação de CT, K, U e Th de acordo com cada litologia, onde 1 é a camada basal, 2 é a segunda camada presente em todos os perfis (onde foram encontradas granulometria variando de areia fina a areia média e estrutura maciça, logo acima da camada basal), 3 é a terceira camada de todos os perfis (onde foram encontradas estratificações cruzadas acanaladas), 4 é a camada do topo dos perfis 1, 2 e 3 (com estratificações plano paralelas) e 5 é a camada de topo dos perfis 5, 6 e 7 (onde foi encontrada granulometria muito mais fina).

Na figura 40 encontram-se as fotos dos afloramentos, com as litologias separadas e os perfis de raios gama de contagem total sobrepostos às fotos.

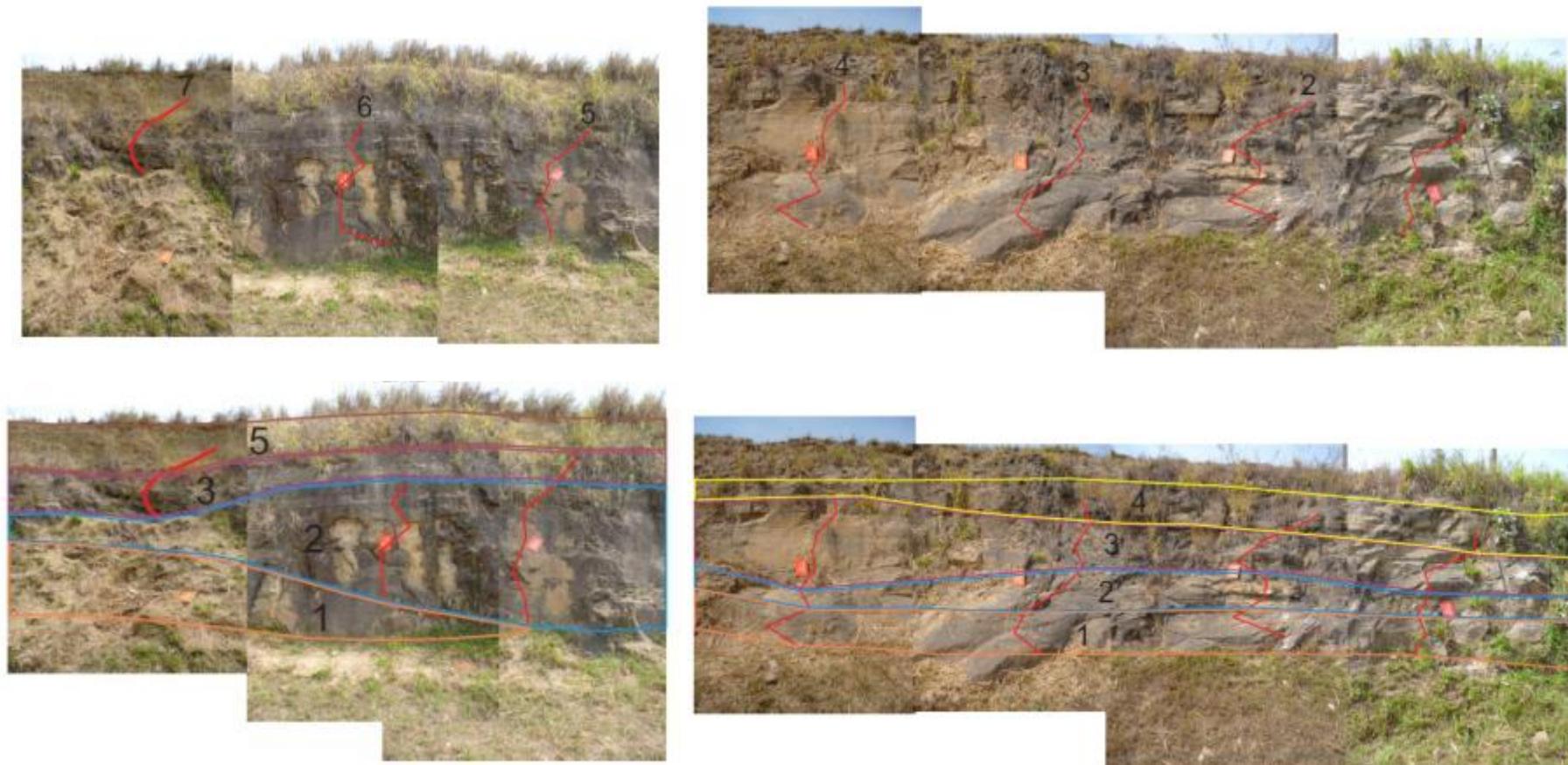


Figura 40. Foto panorâmica do afloramento de Tietê/SP com os perfis de raio gama de Contagem Total e as litologias separadas.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou, principalmente, fornecer dados geológicos e geofísicos adicionais àqueles já existentes para a área de estudo, o Grupo Tubarão, localizado na região dos municípios de Porto Feliz e Tietê/SP, através de perfis de raios gama que evidenciam a distinção entre as litologias, como arenitos e folhelhos. Esse estudo contou com a descrição dos dados macroscópicos e microscópicos dos afloramentos e com a análise de perfis de raios gama dos mesmos.

A partir das comparações entre as características geológicas e as análises gamaespectrométricas pôde-se confirmar as correlações que se esperava entre altas respostas do gamaespectrômetro para camadas mais ricas em sedimentos mais finos e para camadas mais ricas em feldspato, e baixas respostas para arenitos com granulação mais grossa e mais pobres em feldspato. Além disso, ainda que a granulometria seja mais grossa, altas medidas podem ser obtidas se houver a presença de feldspato rico em potássio.

E, por fim, as análises gamaespectrométricas de cada elemento (K, U e Th) permitiram um melhor entendimento das respostas obtidas de contagem total, como no caso de alta resposta do elemento K em camadas de arenito mais grosso, podendo ser interpretada como uma presença significativa de k-feldspato nessas unidades. Dentre os elementos citados, apenas o U não apresentou uma correlação com a litologia, não podendo ser utilizado para nenhuma correlação. Isto deve-se, possivelmente, à dispersão/mobilidade deste elemento, ou a um desequilíbrio radioativo (Ferreira *et al.*, 2010).

CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIGNER, T., SCHAUER, M., JUNGHNS, W.D., Reinhardt, L., 1995. Outcrop gamma-ray logging and its applications: examples from the German Triassic. *Sedimentary Geology*, 100: 47-61.

ALMEIDA, F. F. M. *Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo, Paulipetro. 187p., 1980.

ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, 378 p., 1984.

BALLIN, P.R., FARIA, R.T., BECKER, M.R., CARRASCO, B.N., TEINEIRA, P.W., 1997. Reservoir Studies in Fluvial Deposit: from Outcrops to Stochastic Characterization and Flow Simulation. SPE 1997 *Annual Technical Conference and Exhibition*, Paper 39000.

Belila, A. M. P. 2011. Arcabouço geológico da região de Capivari – SP, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas – SP.

CAETANO-CHANG, M. R. Análise Ambiental e Estratigráfica do Subgrupo Itararé (PC) no Sudoeste do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 310 p., 1984.

DAEE-UNESP, 1979. Mapa Geológico: divisão faciológica do Super-Grupo Tubarão, escala 1:50.000.

DALRYMPLE, M., 2001. Fluvial reservoir architecture in the Staffjord Formation (northern North Sea) augmented by outcrop analogue statistics. *Petroleum Geoscience*, 7: 115–122.

ELLIS DV & SINGER JM. 2008. *Well Logging for Earth Scientists*. Springer, The Netherlands, 2 ed., 692 p.

EVANS, R., MORY, A.J., TAIT, A.M., 2007. An outcrop gamma ray study of the Tumblagooda Sandstone, Western Austrália. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 57: 37–59.

EYLES, C. H., EYLES, N. & FRANÇA, A. B., 1993. Glaciation and tectonics in an intracratonic basin: the Late Paleozoic Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentology*, 40, 1 -25.

FERREIRA, FRANCISCO JOSÉ FONSECA, CANDIDO, ARY GUSTAVO & ROSTORILLA, SIDNEI PIRES, Correlação gamaespectrométrica de afloramentos e poços: estudo de caso na Formação Ponta Grossa (Bacia do

Paraná, Brasil). *Rev. Bras. Geof.*, Set 2010, vol.28, no.3, p.371-396. ISSN 0102-261X

FRANÇA, A. B. Stratigraphy, depositional environment and reservoir analysis of the Itararé Group (Permocarboniferous), Paraná Basin, Brazil. Thesis, University of Cincinnati, Cincinnati, 188p. 1987.

FRANÇA, A. B. & POTTER, P. E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobrás*, vol. 2, n° 2/4, p. 147-191, 1988.

FRANÇA, A. B. & POTTER, P. E. Stratigraphy and reservoir potential of glacial deposits of Itararé Group (Carboniferous-Permian), Paraná Basin, Brazil. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, vol. 75, p. 62-85, 1991.

FRANÇA A.B. & POTTER P.E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (parte 1). *Bol. Geoc. Petrobrás*, 2:147-191.

FRANÇA, A. B. & POTTER, P. B. 1989. Estratigrafia e ambiente deposicional do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 2). *Bol. Geoc. Petrobrás*, 3 (1/2): 17-28.

FULFARO, V. J. & LANDIM, P. M. B. Stratigraphic Sequences of the Intracratonic Parana Basin. *Newsl. Stratigr.*, v.4, n.3, p.150-168, Berlin-Stuttgart, 1976

FULFARO, V. J.; SAAD, A. R.; SANTOS, M. V. & VIANNA, R. B. Compartimentação e evolução Tectônica da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 12, n.o 4, p. 590-611, 1982.

GAMA JR, E.G.; PERINOTTO, J.A.J.; RIBEIRO, H.J.P.S; PADULA, E.K. Contribuição ao estudo de ressedimentação no Subgrupo Itararé: um guia temático de campo. *Revista Brasileira de Geociências*, 22 (2): 237-247 1992.

GORDON, M. J. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional da Produção Mineral*, vol. 38, p. 1-20, 1947.

LEINZ, V. *Estudos sobre a glaciação carbonífera no sul do Brasil*. Boletim DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, v. 21, p. 1-47, 1937.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. *Arquivos de Biologia e Tecnologia do Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas* (Curitiba), vol. 2, p. 63-154, 1947.

MARTINIUS, A. W., GEEL, C. R., ARRIBAS, J., 2002. Lithofacies characterization of fluvial sandstones from outcrop gamma-ray logs (Loranca Basin, Spain): the influence of provenance. *Petroleum Geoscience*, 8(01): 51-62.

MARES, S. 1984. *Introduction to applied geophysics*. D. Reidel Publishing Company Dordrecht/Boston/Lancaster, 581 p.

MILANI, E. J. *Evolução Tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental* 1997. 255 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS).

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (Eds.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Editora Beca, p.265-279. 2004.

MILANI, E. J. & RAMOS V. A. *Orogenias Paleozóicas no Domínio Sul-Occidental do Gondwana e os Ciclos de Subsidência da Bacia do Paraná*. Revista Brasileira de Geociências. v. 28 n° 4, p. 473-484, 1998.

NORTHFLEET, A. A.; MEDEIROS, R. A.; MUHLMANN, H. Reavaliação dos Dados Geológicos da Bacia do Paraná. Boletim Técnico da Petrobrás, 1969. Rio de Janeiro, v. 12, n° 3, p. 291-346.

OLIVEIRA, E. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Paraná. *Monografia do Serviço de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional da Produção Mineral*, vol. 6, 1927.

PETRI, S. Grupo Tubarão. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, vol. 41, p. 56-63, 1964.

PETRI, S.; MENDONÇA, C. A.; BOLOGNA, M. S.; COUTINHO, J. M. V.; VIEIRA, P. C. & BOTELHO, P. F. 1996a. Correlação estratigráfica de poços para captação de água subterrânea na região Capivari/Rafard, SP: Descrições litológicas macroscópicas, microscópicas e perfis geofísicos. Revista Brasileira de Geociências, SBG, São Paulo, 26(1): 25-34.

PETRI, S. & PIRES, F. A. 1992. O Subgrupo Itararé (Permocarbonífero) na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, SBG, São Paulo, 22(3): 301-310.

PRINGLE, J.K., WESTERMAN, A.R., GARDINER, A.R., 2004. Virtual geological outcrops — fieldwork and analysis made less exhaustive? *Geology Today*, 20(2): 64–69.

ROCHA-CAMPOS, A. C. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. In: J. J. Bigarella; R. D. Becker; I. D. Pinto (Editors), *Problems in Brazilian Gondwana Geology*, Curitiba, p. 27-102, 1967.

SANCHETTA, A.C.2010. Reconhecimento E Classificação De Fácies Geológicas Através da Análise De Componentes Independentes, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 94 p. Dissertação de Mestrado.

Schlumberger. 1987. Log Interpretation Principles/Applications, Houston, Texas.

SANFORD, R. & LANGE, F. W. Basin study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil. *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, vol. 44, p. 1316-1370, 1960.

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A. A. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28, Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre- RS, SBG, vol.1, p. 41- 66.

SLATT, R.M., JORDAN, D.W., D'AGOSTINO, A.E., GILLESPIE, R.H., 1992. Outcrop gamma-ray logging to improve understanding of subsurface well log correlations. *Geological Society, London, Special Publications*. 65: 3-19.

SOARES, P. C. Tectônica Sinssedimentar Cíclica na Bacia do Paraná – Controles. Tese para concurso ao cargo de Professor Titular, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 131p. 1991.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. & FULFARO, V. J. Tectonic Cyclos and Sedimentary Sequences in the Brazilian Intracratonic Basins. *GSA Bulletin*, vol. 89, p. 181-191, 1978.

SVEDSEN JB & HARTLEY NR. 2001. Comparison between outcrop-spectral gamma ray logging and whole rock geochemistry: implications for quantitative reservoir characterization in continental sequences. *Marine and Petroleum Geology*, 18: 657-670.

TELFOR, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. *Applied Geophysics*, 2nd edition, Cambridge University Press, 1990.

VAIL, P. R.; MITCHUM Jr., R. M.; TODD, R. G.; WIDMIER. J. M.; THOMPSON III, S.; SANGREE, J. B.; BUBB, J. N.; HATLELID, W. G. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level. *In: PAYTON, C. E. (ed.) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, p. 49-212, *memoir*26, 1997.

VIDAL, A.C. Estudo hidrogeológico do Aquífero Tubarão na área de afloramento da porção central do Estado de São Paulo. Rio Claro, 2002. 109 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

VIDAL, A.C., ROSTIROLLA, S.P., KIANG, C.H., 2005. Análise de favorabilidade para a exploração de água subterrânea na região do médio tietê, estado de são paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(4):475-481.

ZALAN, P. V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, C. T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. *In*: RAJA GABAGLIA, G. P. & MILANI, E. J. Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro, Gávea, p. 135 – 168. 1990.

Sites:

<https://clovismoliveira.wordpress.com/2012/07/10/>

modificado de <http://williamson-labs.com/ltoc/cbr-tech.htm>

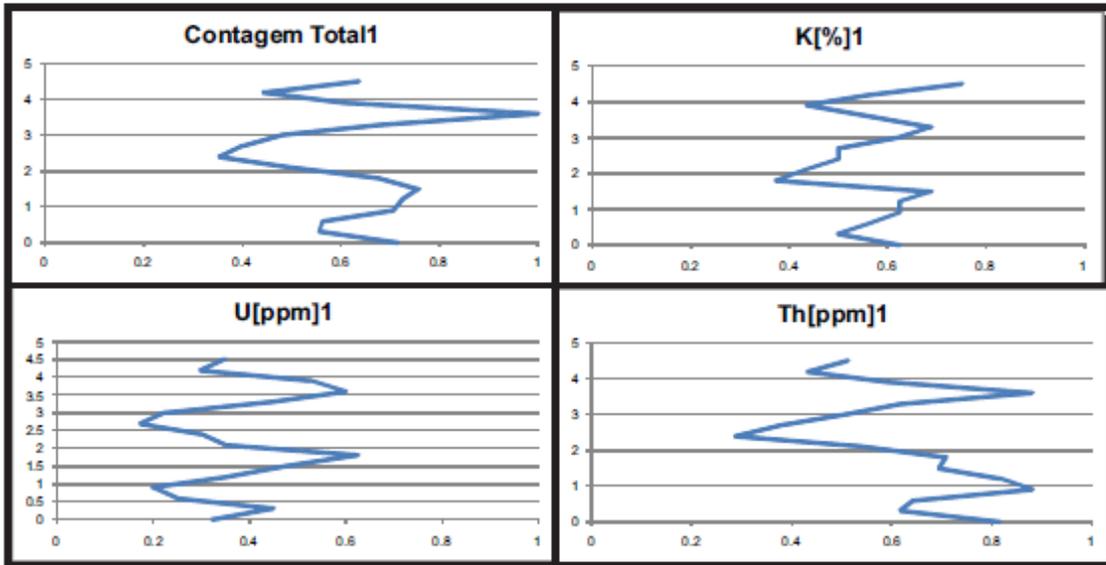
<http://qualidadeonline.wordpress.com/2012/04/06/os-riscos-da-radioatividade/>

<http://www.if.ufrgs.br/cref/radio/capitulo1.htm>

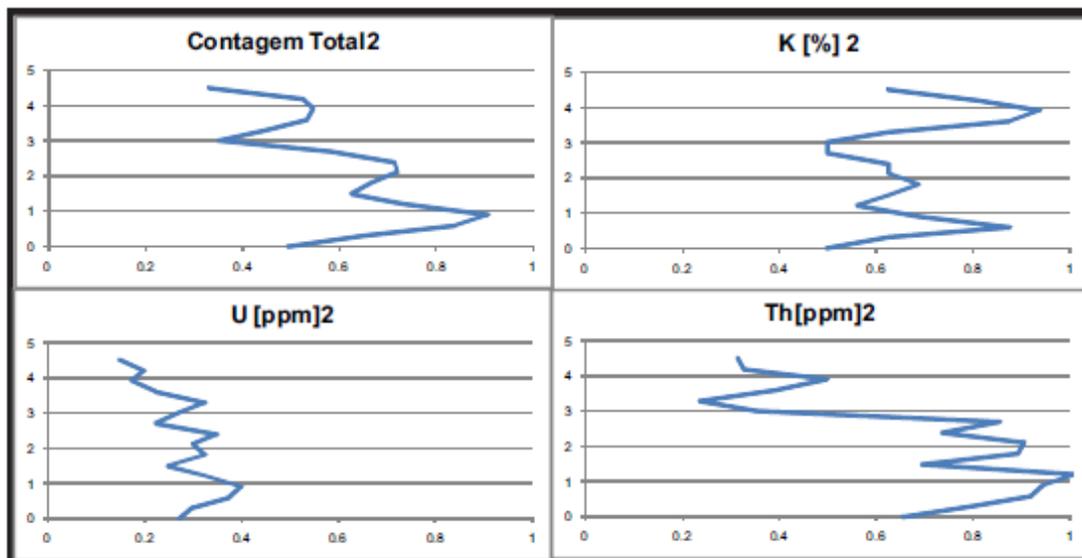
CAPÍTULO 8 – ANEXOS

Anexo I - Perfis de CT, K, eU e eTh de cada perfil do afloramento de Porto Feliz/SP

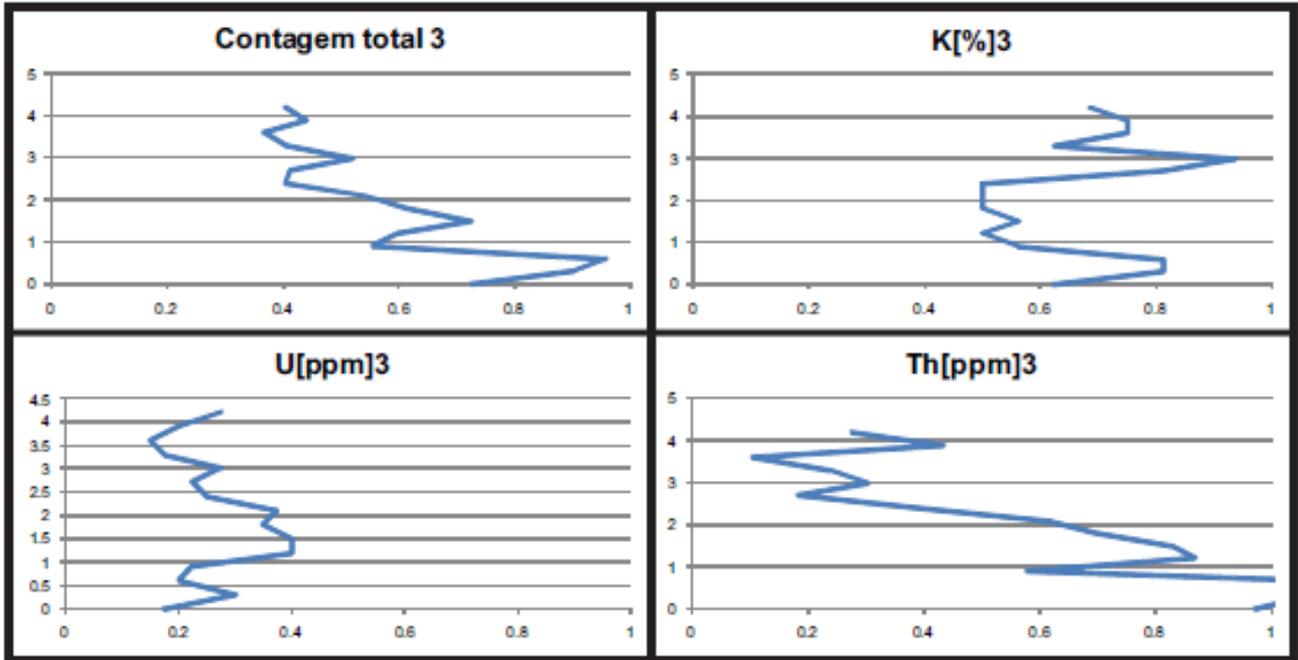
Perfil 1



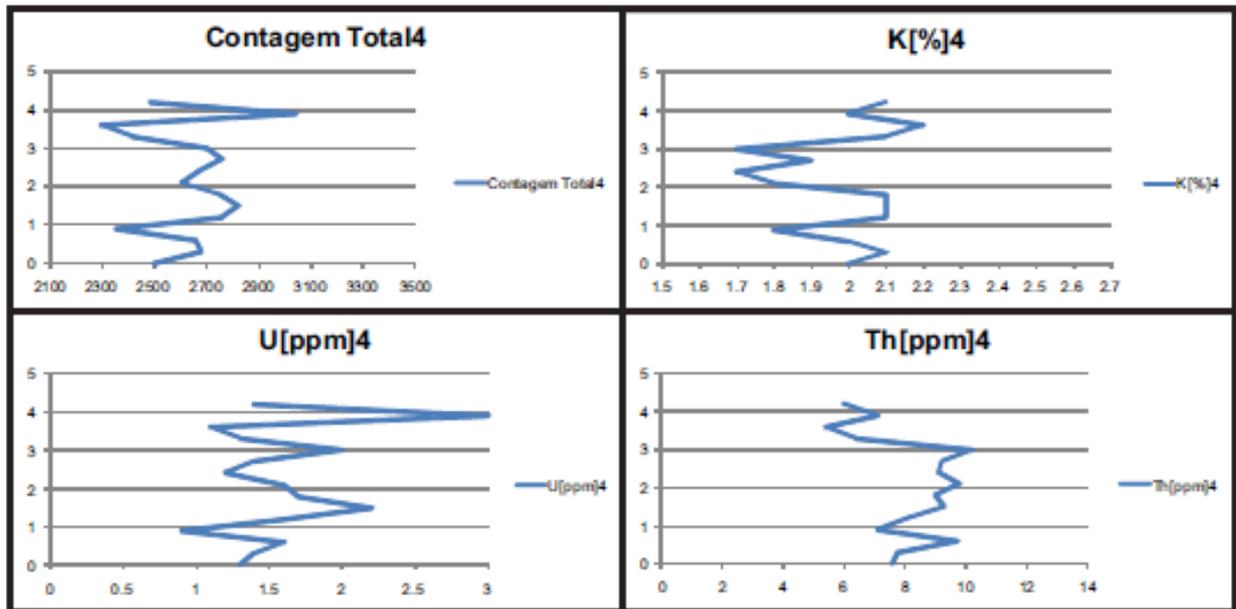
Perfil 2



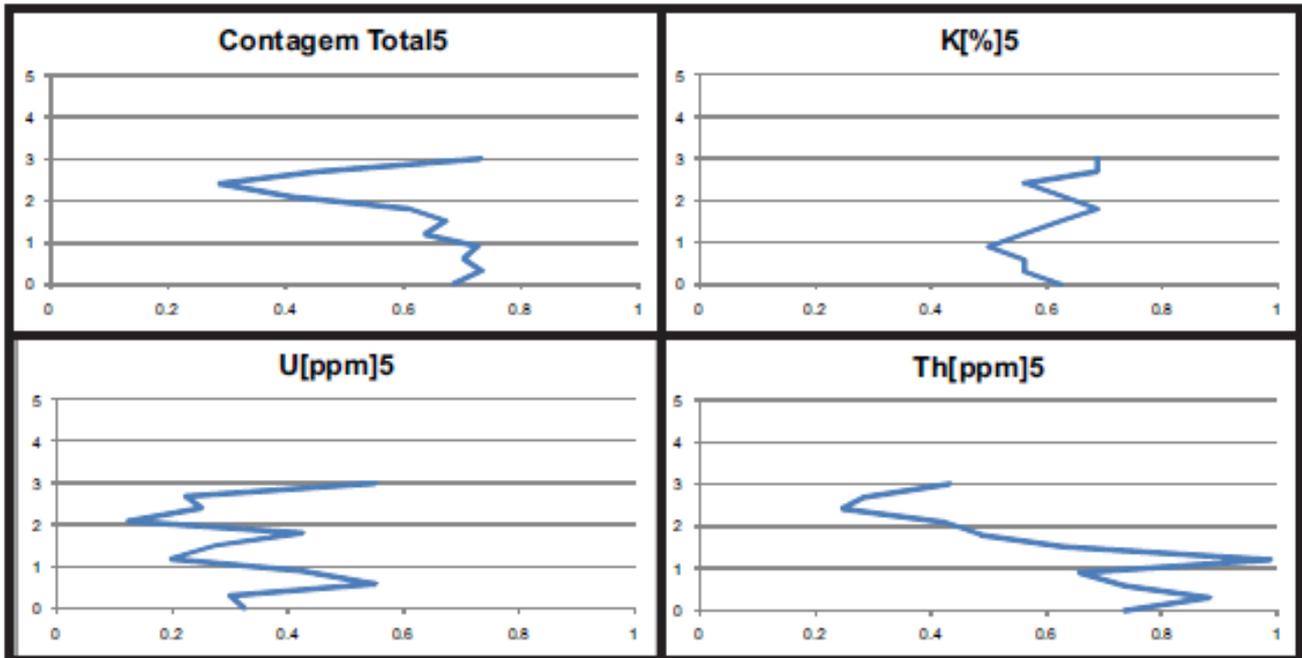
Perfil 3



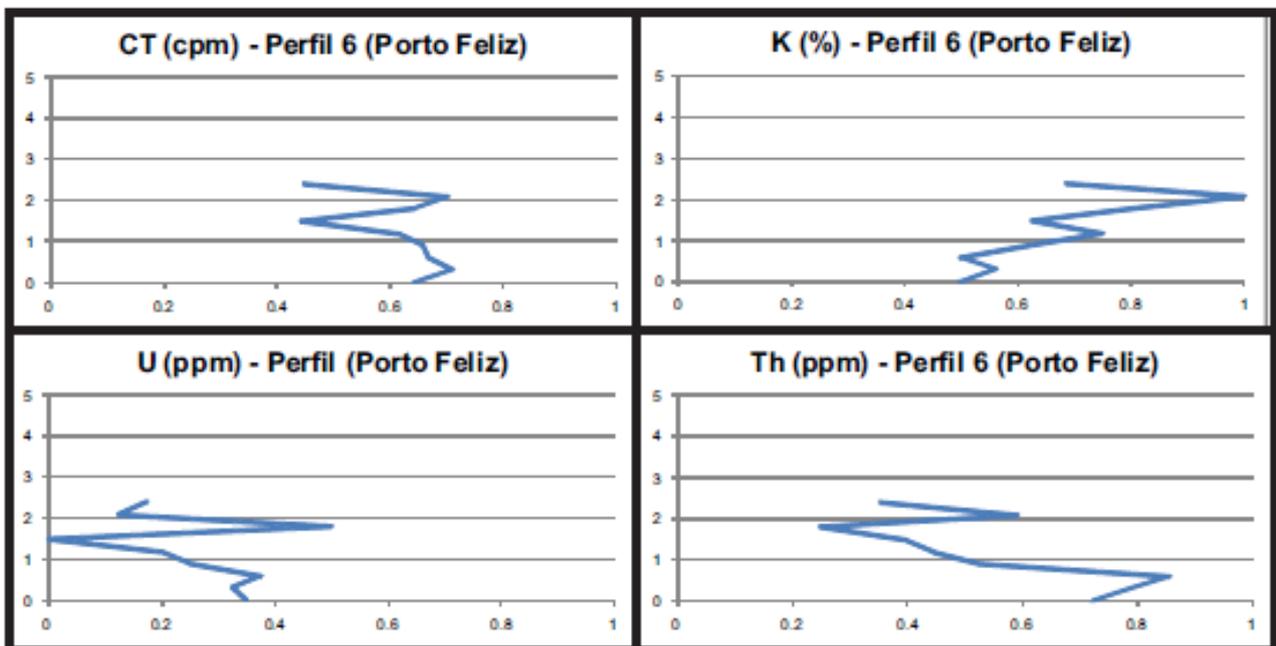
Perfil 4



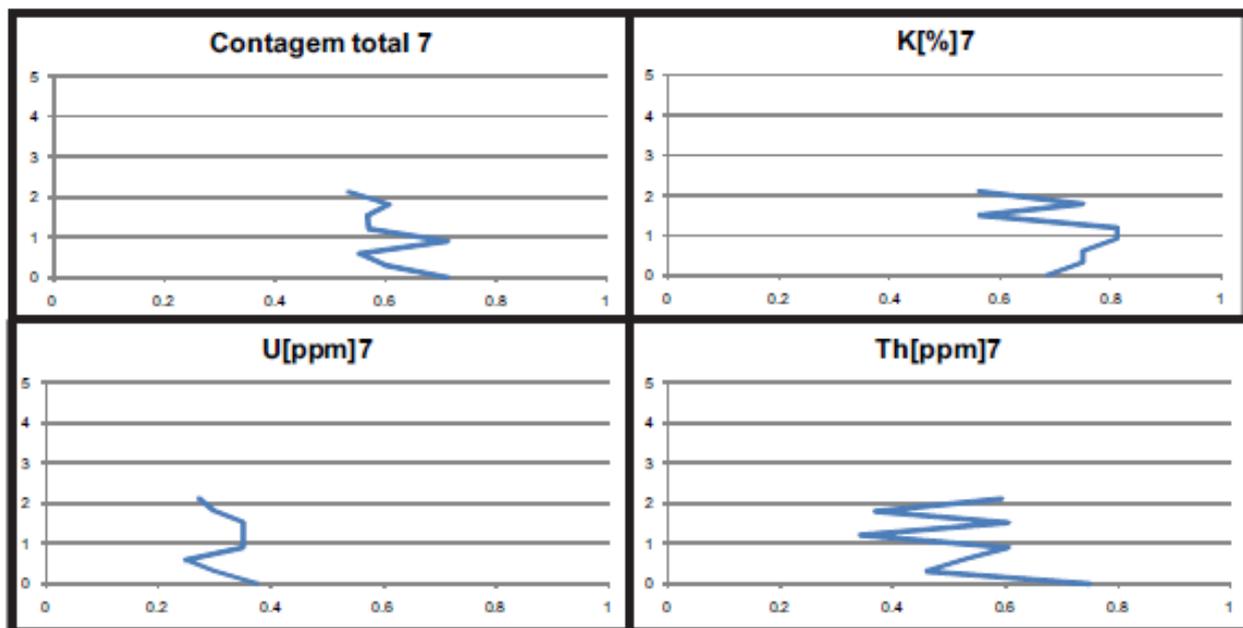
Perfil 5



Perfil 6

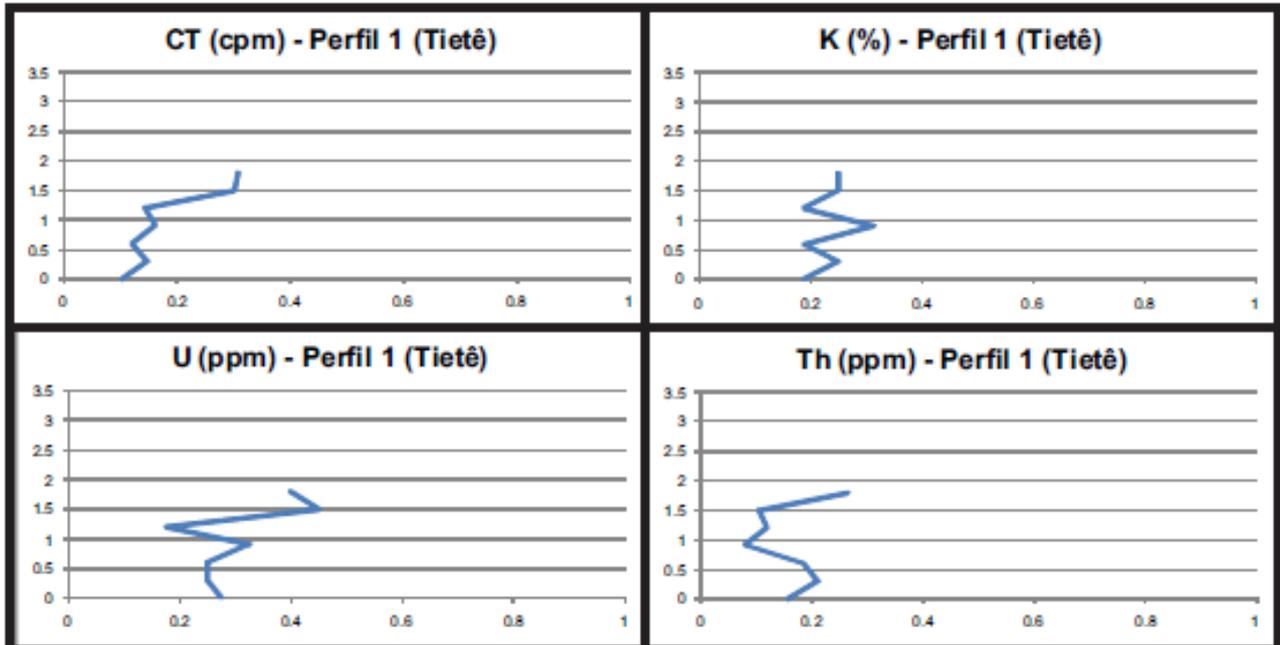


Perfil 7

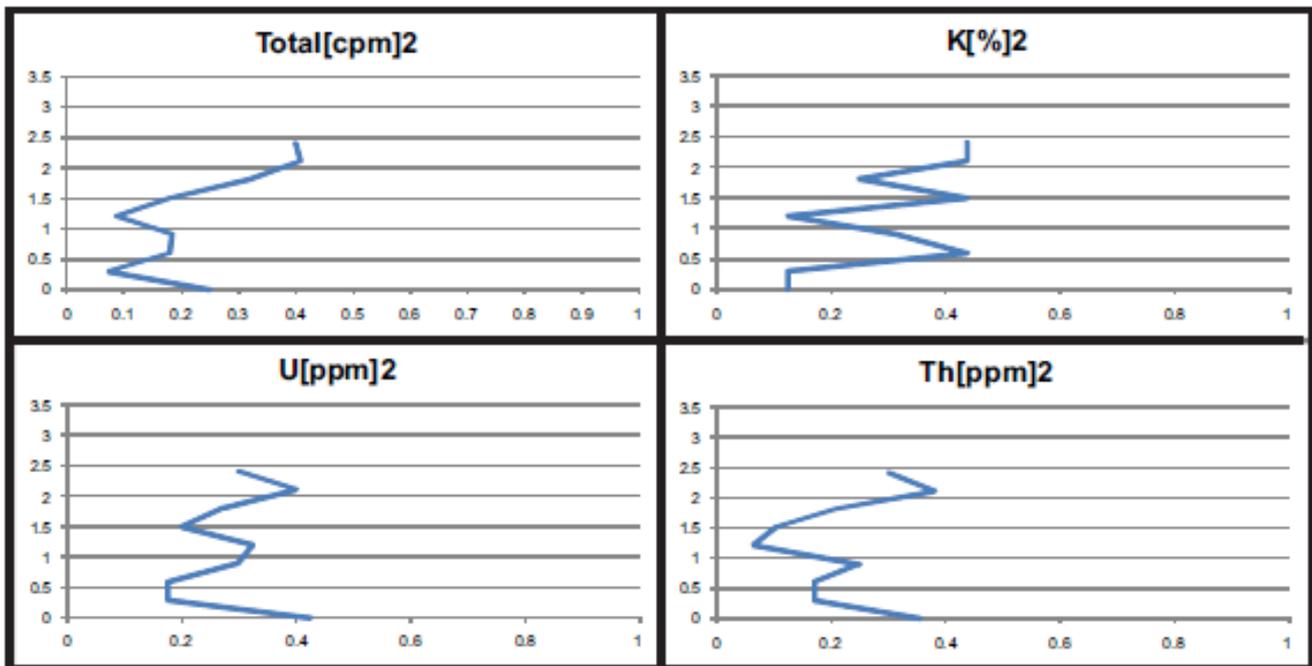


Anexo II - Perfis de CT, K, eU e eTh de cada perfil do afloramento de Tietê/SP

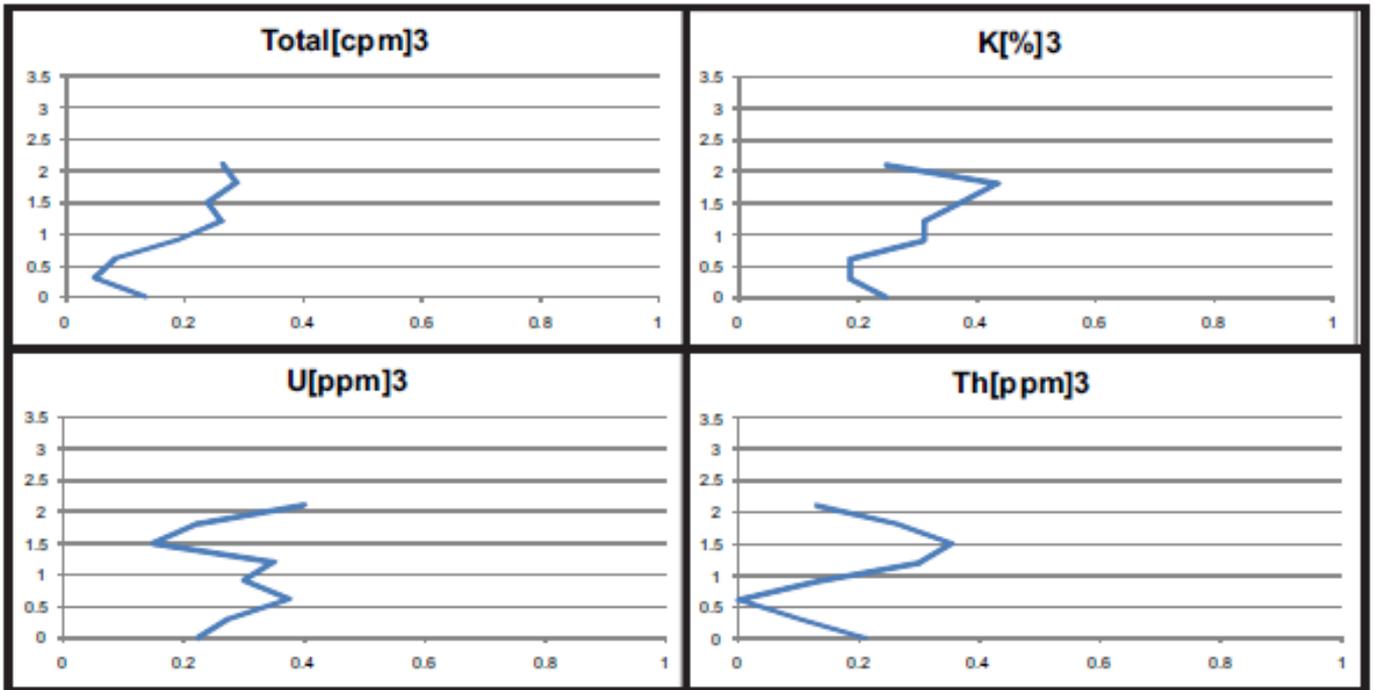
Perfil 1



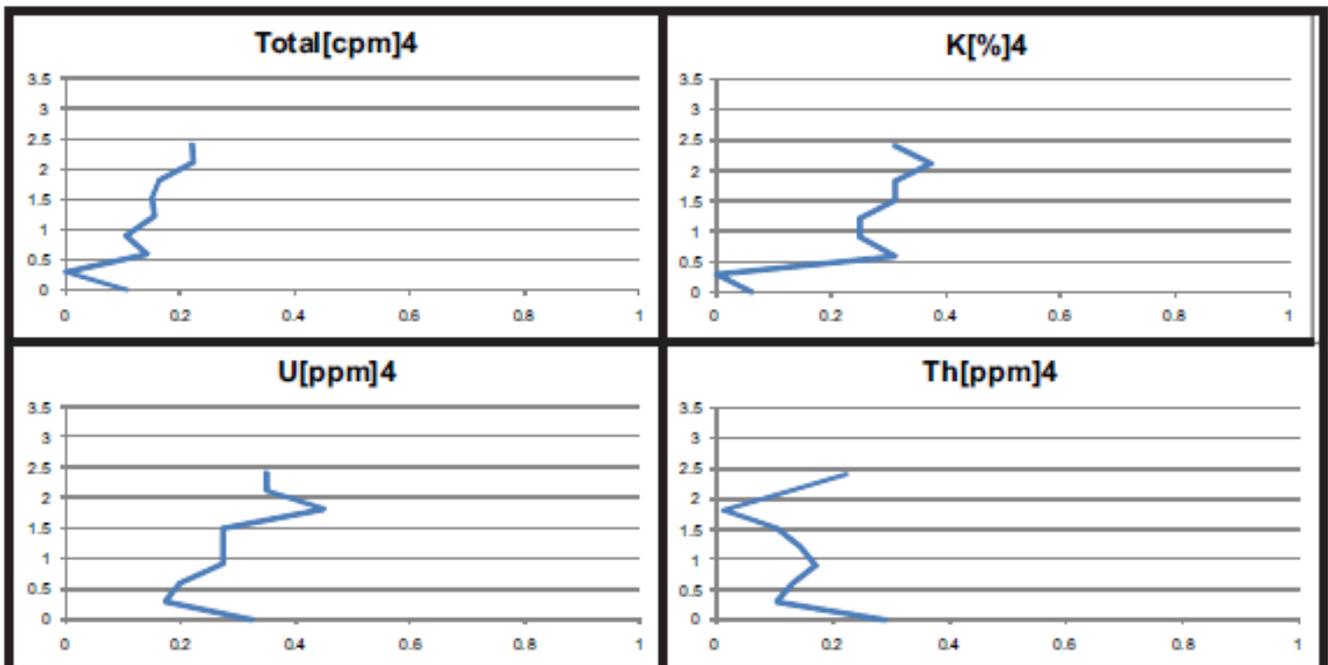
Perfil 2



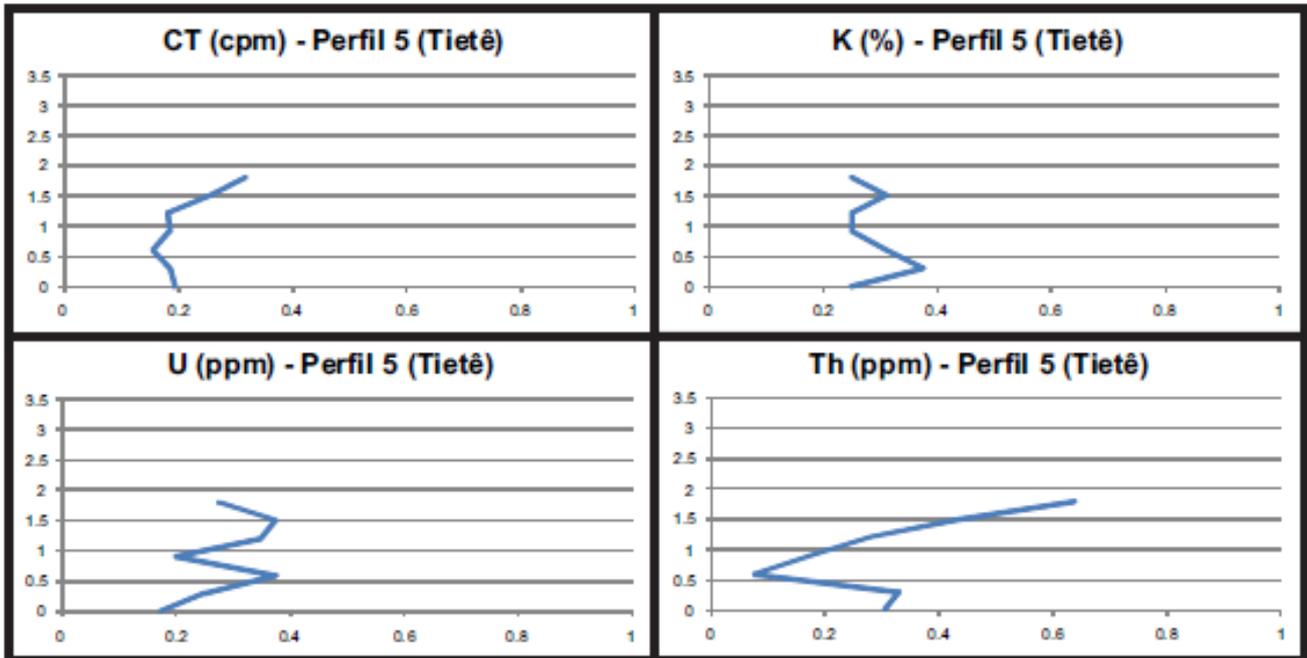
Perfil 3



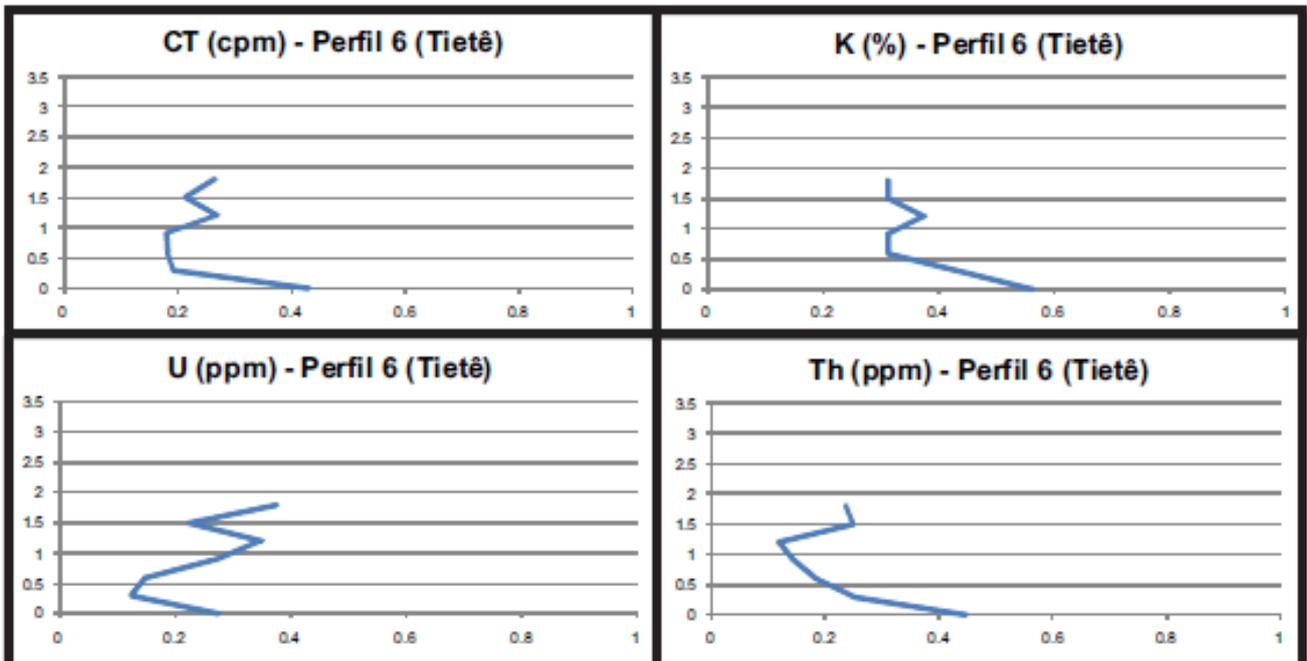
Perfil 4



Perfil 5



Perfil 6



Perfil 7

