

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

EDUARDO CAMARGO MENEGHEL

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECNOLÓGICA DE
ARGILAS PLÁSTICAS EM ROCHAS PERMIANAS-
CARBONÍFERAS DA REGIÃO DE TATUÍ E PORTO
FERREIRA/SP

Rio Claro - SP
2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

EDUARDO CAMARGO MENEGHEL

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECNOLÓGICA DE
ARGILAS PLÁSTICAS EM ROCHAS PERMIANAS-
CARBONÍFERAS DA REGIÃO DE TATUÍ E PORTO
FERREIRA/SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas do
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro

Rio Claro - SP

2021

M541c Meneghel, Eduardo Camargo
Caracterização geológica e tecnológica de argilas plásticas em rochas Permianas-Carboníferas da região de Tatuí e Porto Ferreira/SP / Eduardo Camargo Meneghel. -- Rio Claro, 2021
111 f. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Guillermo Rafael Beltran Navarro

1. Matérias-primas cerâmicas. 2. Bacia do Paraná. 3. Argilas plásticas e superplásticas. 4. Intemperismo. 5. Geoquímica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

EDUARDO CAMARGO MENEGHEL

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECNOLÓGICA DE
ARGILAS PLÁSTICAS EM ROCHAS PERMIANAS-
CARBONÍFERAS DA REGIÃO DE TATUÍ E PORTO
FERREIRA/SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas do
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro
IGCE / UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Antenor Zanardo
IGCE / UNESP/Rio Claro (SP)

Dr. Marsis Cabral Junior
IPT / São Paulo (SP)

Conceito: Aprovado

Rio Claro/SP, 16 de Setembro de 2021

“V 7 #5 – I m 7/9”

AGRADECIMENTOS

Inicialmente devo agradecer minha família pelos conselhos, amor, ensinamentos e apoio às decisões que tomei ao longo da vida. Também por forneceram todas as condições possíveis para que subisse cada degrau e alcançasse os objetivos pessoais e profissionais.

Agradeço a Carol por tudo que construímos e vivemos juntos, pelo companheirismo, amizade, amor e por estar sempre presente, nas melhores horas e nos dias difíceis.

Ao Prof. Dr. Guillermo Navarro pela orientação, aprendizado, sugestões e correções ao longo do mestrado (e também pelo microscópio). Aos coorientadores Dr. José Francisco Marciano Motta e Dr. Sérgio Ricardo Christofolletti pela oportunidade em trabalharmos juntos e pela evolução que tive nesses últimos dois anos, não somente no conhecimento geológico. Também agradeço pelo aprendizado, amizade e confiança, viagens de campo, martelo doado, cervejas, ajuda na preparação e envio das amostras, além das correções e sugestões da pesquisa e do texto final.

Ao pesquisador Dr. Marsis Cabral Junior pela participação da banca, correções e sugestões da pesquisa e do texto. Ao Prof. Dr. Antenor Zanardo pelos ensinamentos ao longo de uma década, pelas sugestões, correções e auxílio na petrografia e demais capítulos de resultados. Ao Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição pelas sugestões e ajuda imprescindível no artigo. À Suely Martins do LAGEA, pelo esforço na confecção das seções delgadas em tempos de pandemia.

Aos amigos da turma Geobosta pela amizade, entretenimento e conversas envolvendo geologia, economia, política e assuntos avulsos. Aos amigos do LEBAC Me. Bruno Zanon e Me. Juan Navarro pela amizade, confiança, conhecimento compartilhado e pela oportunidade em trabalharmos juntos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecimentos ao processo nº 2019/02899-7, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento da pesquisa.

RESUMO

O crescente aumento da demanda por argilas plásticas a superplásticas de cor de queima clara para produção de porcelanatos e outras placas cerâmicas, somado à carência dessa matéria-prima no Estado de São Paulo, provocam a busca por novas jazidas e um melhor entendimento dos depósitos conhecidos. No Estado, as duas principais minerações (Santa Adelaide e Fazendinha), localizadas nos municípios de Tatuí e Porto Ferreira, estão inseridas no contexto do Permiano/Carbonífero da Bacia do Paraná e são produtos de alteração intempérica, posicionadas em duas situações geomorfológicas distintas: topos de morros e fundos de vale. Além dessas duas minas, foram selecionados alvos do Grupo Itararé e das formações Tatuí e Corumbataí nos municípios de Leme, Piracicaba e Tambaú para levantamento dos respectivos perfis de alteração, bem como para caracterização mineralógica, petrográfica, geoquímica e tecnológica. Os estudos de campo indicaram que as argilas superplásticas ocorrem em siltitos argilosos a arenosos, alterados, laminados a maciços, de cor cinza a verde claro. Nos fundos de vale, essas camadas estão sobrepostas por depósitos aluvionares e possuem espessura máxima de 2 metros, enquanto que nos topos de morro, especialmente na Formação Tatuí, as camadas podem apresentar até 6 metros de espessura e ocorrem em maiores profundidades, sendo sobrepostos por litotipos mais intemperizados. Os principais minerais constituintes das camadas de interesse são montmorillonita, illita, caulinita, quartzo, feldspatos alcalinos, muscovita e geralmente apresentam menores teores de Fe_2O_3 e maior proporção de álcalis em relação às camadas adjacentes. Os estudos cerâmicos indicaram elevado módulo de ruptura à flexão a seco ($\geq 40 \text{ Kg.f/cm}^2$) para a maioria das amostras e similaridades de fundência entre as amostras de mesma unidade litoestratigráfica, denotada pela porcentagem de absorção de água, retração linear de queima e módulo de ruptura após queima a 1.120 e 1.190 °C. As cores de queima variaram nas tonalidades bege, cinza ou marfim, com exceção da Formação Corumbataí de Tambaú, que mostraram cores predominantemente mais escuras e avermelhadas devido ao maior teor de Fe_2O_3 livre. Ao final, são discutidos guias prospectivos objetivando contribuir para a descoberta de novas jazidas.

Palavras-chave: Matérias-primas cerâmicas, Bacia do Paraná, intemperismo, argilas plásticas e superplásticas, geoquímica

ABSTRACT

The growing demand for light-burning plastic to superplastic clays for the production of porcelain tiles and other ceramic slabs, added to the lack of this raw material in the State of São Paulo, has led to the search of new deposits and a better understanding of those already known. The two main mines of the State (Santa Adelaide and Fazendinha), located in the cities of Tatuí and Porto Ferreira, are inserted in Permian/Carboniferous units of the Paraná Basin and are products of weathering, positioned in two distinct geomorphological situations: hilltops and valley. Beyond these two mines, targets of the Itararé Group and Tatuí and Corumbataí formations in the cities of Leme, Piracicaba and Tambaú were selected to study their alteration profiles, as well as for mineralogical, petrographic, geochemical and technological characterization. Field studies indicated that plastic clays occur in weathered, laminated to solids, gray to light green clayey to sandy siltstones. At the valleys, these layers are overlaid by thin alluvial deposits and have a maximum thickness of 2 meters, while on the hilltops, especially in the Tatuí Formation, the layers can be up to 6 meters thick and occur at greater depths, being overlapped by more weathered lithotypes. The main minerals of the superplastic clay layers are constituted by montmorillonite, illite, kaolinite, quartz, alkali feldspars, muscovite and generally have lower Fe_2O_3 contents and a higher proportion of alkali comparing to the adjacent layers. Ceramic studies indicated high modulus of rupture in dry condition ($\geq 40 \text{ Kg.f/cm}^2$) for most samples and differences in water absorption, linear shrinkage and modulus of rupture after firing at 1.120 and 1.190°C among the lithostratigraphic units. The firing colors varied from beige to gray or ivory, excepting the Corumbataí Formation from Tambaú, which showed predominantly darker and reddish colors due to the higher content of Fe_2O_3 oxides/hydroxides. At the end, prospective guides are discussed in order to contribute to the discovery of new deposits.

Keywords: Ceramic raw materials, Paraná Basin, weathering, plastic and superplastic clays, geochemistry

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	18
3	TEMAS ABORDADOS.....	19
3.1	Argilominerais	19
3.2	Gênese.....	21
3.3	Aplicação na indústria cerâmica.....	21
3.4	Normas de classificação cerâmica.....	22
4	LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRAFICOS.....	24
4.1	Clima.....	25
4.2	Geomorfologia.....	25
5	MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO	27
5.1	Levantamento bibliográfico	27
5.2	Trabalhos de campo.....	27
5.3	Petrografia.....	28
5.4	Difração de raios X.....	29
5.5	Litogeoquímica.....	29
5.6	Caracterização cerâmica.....	30
5.7	Caracterização granulométrica por difração a laser	30
5.8	Capacidade de troca catiônica e Carbono Orgânico	30
5.9	Tratamento, interpretação e integração dos resultados	31
6	GEOLOGIA REGIONAL	32
6.1	Bacia do Paraná.....	32
6.2	Estratigrafia	34
6.2.1	Grupo Itararé/Formação Aquidauana	36
6.2.2	Formação Tatuí	37
6.2.3	Formação Irati.....	37
6.2.4	Formação Corumbataí.....	38
6.2.5	Depósitos Aluvionares	39
6.3	Argilominerais do Permiano/Carbonífero da Bacia do Paraná	39
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
7.1	Geologia Local	42

7.1.1	Grupo Itararé	43
7.1.2	Formação Tatuí	45
7.1.3	Formação Corumbataí	52
7.2	Análise Mineralógica por Difração de Raio X	61
7.3	Petrografia.....	68
7.3.1	Perfil TU-02 (Mina 1)	68
7.3.2	Perfil PF-01 (Mina 3).....	71
7.4	Litogeoquímica.....	73
7.5	Proveniência Sedimentar	82
7.6	Caracterização Tecnológica.....	84
7.6.1	Avaliação granulométrica por difratometria a laser.....	84
7.6.2	Propriedades pré queima	88
7.6.3	Propriedades após a queima.....	91
7.6.4	Capacidade de Troca Catiônica e Carbono Orgânico	97
8	GUIAS PROSPECTIVOS	99
8.1	Depósitos de Fundo de Vale	99
8.2	Depósitos de Topo de Morro	100
9	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura simplificada e composição química dos principais grupos de argilominerais (Compilado de Millot, 1970; Velde, 1992; Deer et al. 2008). Do ponto de vista cerâmico, os grupos da caulinita, illita e esmectita são os de interesse no presente estudo.....	20
Figura 2 - Principais setores cerâmicos, matérias-primas e estimativas de consumo do parque industrial do estado de São Paulo no ano de 2017. As argilas superplásticas estão inseridas no campo de argila plástica. A faixa de interesse do presente estudo é destacada pelo retângulo vermelho (Extraído de Cabral Júnior et al. 2019).	22
Figura 3 - Localização dos perfis/minas estudados.....	24
Figura 4 - Níveis planálticos de Melo (1995) com indicação aproximada da área de estudo em vermelho.....	26
Figura 5 - Mapa esquemático da localização da Bacia do Paraná em território Brasileiro (Modificado de Hasui et al. 2012).....	32
Figura 6 - Carta estratigráfica simplificada da Bacia do Paraná. As unidades estudadas estão delimitadas pelo retângulo vermelho (modificado de Montanheiro, 1999).	33
Figura 7 - Área de afloramento das unidades litoestratigráficas da Supersequência Gondwana I no estado de São Paulo e localização da área de estudo (Modificado de CPRM, 2006).....	35
Figura 8 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná e principais grupos de argilominerais identificado em rochas frescas. As unidades estudadas estão indicadas pelo retângulo vermelho (Modificado de Motta et. al, 1993).....	40
Figura 9 - Mapa geológico simplificado da área de estudo e localização das minas e alvos estudados (Modificado de CPRM, 2006).	42
Figura 10 - Imagem de satélite com a localização dos pontos sondados na planície de inundação do rio Moji-Guaçu, município de Leme (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).	43
Figura 11 – Seção 1 (LE-01) do Grupo Itararé na região de Leme.	44
Figura 12 – Seção 2 (LE-02) do Grupo Itararé na região de Leme.	45
Figura 13 - Localização do Perfil 1 (TU-01), a sudeste da área urbana de Piracicaba, em imagem de satélite. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).	46

Figura 14 - Perfil geológico 1 (TU-01).	47
Figura 15 - Imagem de satélite com a localização da Mina 1 (TU-02), nas proximidades da área urbana de Tatuí. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).	48
Figura 16 - Perfil geológico da Mina 1 (TU-02). A foto superior indica as camadas onde foram coletadas as amostras 01, 02 e 03.....	49
Figura 17 - Imagem de satélite com a localização da Mina 2 (TU-03), nas proximidades da área urbana de Tatuí. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).	50
Figura 18 - Perfil geológico da Mina 2 (TU-03).....	51
Figura 19 - Imagem de satélite com os perfis estudados na Mina 3. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).	52
Figura 20 - Perfil geológico da Mina 3 (Perfil PF-01). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 02, 03 e 04.	53
Figura 21 - Perfil geológico da Mina 3 (Perfil PF-02).....	54
Figura 22 - Imagem de satélite com a localização das minas estudadas na região de Tambaú. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).	55
Figura 23 - Perfil geológico da Mina 4 (TA-02). A foto superior indica os locais de coleta das amostras 02 e 03.	56
Figura 24 - Perfil geológico do Mina 5 (Perfil TA-03). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 01 e 02.	57
Figura 25 - Perfil geológico da Mina 6 (TA-04). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 01, 02 e 03.	58
Figura 26 - Perfil geológico da Mina 7 (Perfil TA-05). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 01 e 02.	59
Figura 27 - Perfil geológico da Mina 8 (TA-06). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 01 e 02.	60
Figura 28 - (A): Difrátogramas das amostras do Grupo Itararé, sendo Ms/Ilt: mica (muscovita/illita); Mnt: montmorillonita/esmectita; Kln: caulinita; Qz: quartzo; Kfs: feldspato potássico. (B): Difrátogramas de cada uma das amostras, sendo fração fina (vermelho), glicolada (azul) e queimada (verde).	63
Figura 29 - (A): Difrátogramas das amostras da Formação Tatuí, sendo Ms/Ilt: mica (muscovita/illita); Mnt: montmorillonita/esmectita; Kln: caulinita; Qz: quartzo; Kfs:	

feldspato potássico; Pl: plagioclásio. (B): Difratoformas de cada uma das amostras, sendo fração fina (vermelho), glicolada (azul) e queimada (verde).....	64
Figura 30 - (A): Difratoformas das amostras da Formação Corumbataí em Porto Ferreira, Ms/Ilt: mica (muscovita/illita); Mnt: montmorillonita/esmectita; Kln: caulinita; Qz: quartzo; Kfs: feldspato potássico; Hem: hematita. (B): Difratoformas de cada uma das amostras, sendo fração fina (vermelho), glicolada (azul) e queimada (verde).....	65
Figura 31 - (A): Difratoformas das amostras da Formação Corumbataí em Tambaú, Ms/Ilt: mica (muscovita/illita); Mnt: montmorillonita/esmectita; Kln: caulinita; Qz: quartzo; Kfs: feldspato potássico; Pl: plagioclásio; Hem: hematita. (B): Difratoformas de cada uma das amostras, sendo fração fina (vermelho), glicolada (azul) e queimada (verde).	66
Figura 32 – Síntese da mineralogia identificada na DRX. (A): Amostras do Grupo Itararé; (B): Amostras da Formação Tatuí; (C): Amostras da Formação Corumbataí. Pl: plagioclásio. Kfs: feldspato potássico. Qz: quartzo. Ms/Ilt: mica (muscovita/illita). Kln: caulinita. Mnt: montmorillonita/esmectita. Cal: Calcita. Dol: Dolomita. Hem: Hematita. (*) : Extraído de Christofolletti et al. (2015).	68
Figura 33 – (A): Laminação plano-paralela, com agregados minerais orientados paralelamente na amostra TU-02/Am 01. (B): Faixas mais argilosas, possivelmente caulíníticas, na amostra TU-02/Am 01. (C): Filetes preenchidos por resina, promovendo lenticularização da amostra TU-02/Am 02. (D): Filetes preenchidos por resina na amostra TU-02/Am 02 com nicóis cruzados. As faixas são compostas essencialmente por agregados filossilicatos. (E e F): Amostras TU-02/Am 03 e TU-02/Am-04 exibindo grãos mais grossos, laminação menos marcante e filetes preenchidos por resina indicados pelas setas vermelhas. (G): Grãos de quartzo (Qz), feldspatos (Fsp) e muscovita (Ms) imersos em matriz argilosa na amostra TU-02/Am 03. (H): Grãos de quartzo (Qz), feldspatos (Fsp) e muscovita (Ms) indicados por setas na amostra TU-02/Am 03 com nicóis cruzados. (I): Feldspatos (Fsp) manchados indicando neoformação de argilominerais na amostra TU-02/Am 04. (J): Feldspatos (Fsp) manchados indicando neoformação de argilominerais na amostra TU-02/Am 04 com nicóis cruzados.....	70
Figura 34 – (A): Bandamento de faixas mais finas e escuras com faixas mais grossas creme claro. Ocorrência de hidróxido de ferro indicado por mancha alaranjada no topo do perfil, amostra PF-01/Am 02. (B): Intercalação de faixas mais argilosas,	

a avermelhadas e mais ricas em ferro com faixas mais siltosas de cor creme claro na amostra PF-01/Am 03. Também ocorrem filetes paralelos a perpendiculares ao bandamento, favorecendo a formação de brechas hidráulicas. (C): Presença de filetes paralelos a perpendiculares ao bandamento na amostra PF-01/Am 02, facilitando a circulação de fluidos. (D): Maior ocorrência de minerais opacos indicados pela seta vermelha na amostra basal PF-01/Am 04.....	72
Figura 35 - Gráfico da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nas amostras analisadas.	75
Figura 36 - Gráfico com teores de CaO e do equivalente teórico de CaCO_3 (%) nas amostras analisadas.	76
Figura 37 - Gráfico de comparação dos teores de Na_2O e K_2O (%) nas amostras analisadas.	77
Figura 38 - Índices CIW e CIA em amostras do Grupo Itararé e Formação Tatuí a partir de Harnois (1988) e Nesbitt & Young (1982). As setas indicam o caminho do intemperismo da base para o topo dos perfis.....	79
Figura 39 - Índices CIW e CIA em amostras da Formação Corumbataí a partir de Harnois (1988) e Nesbitt & Young (1982). As setas indicam o caminho do intemperismo da base para o topo dos perfis.....	79
Figura 40 - Diagrama ternário $(\text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})/(\text{K}_2\text{O})$ em proporções moleculares (NESBITT & YOUNG, 1982, 1984 e 1989) em amostras do: (A) Grupo Itararé e Formação Tatuí / (B): Formação Corumbataí. A seta indica o caminho do intemperismo da base para o topo dos perfis.....	80
Figura 41 - Gráfico com soma dos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 (%) das amostras analisadas.	81
Figura 42 - Gráfico com teores de LOI (%) das amostras analisadas.	82
Figura 43 - Diagrama discriminante de proveniência sedimentar segundo Roser & Korsch (1988). 390 / 394 = amostras do Grupo Itararé (círculos cinzas); TU = amostras da Formação Tatuí (círculos verdes); TA e PF = amostras da Formação Corumbataí (círculos azul-marinho).	83
Figura 44 - Diagrama ternário La-Th-Sc (CULLERS, 1994). TU = amostras da Formação Tatuí (círculos verdes); TA = amostras da Formação Corumbataí (círculos azul-marinho).	84
Figura 45 - Amostras com distribuição granulométrica unimodal após moagem. (A): Assimétrico com pico granulométrico entre 20-40 μm . (B): Assimétrico com pico	

granulométrico entre 40-60 μm (C): Simétrico com pico granulométrico entre 20-40 μm	85
Figura 46 - Amostras com distribuição granulométrica bimodal após moagem. (A): Picos granulométrico entre 20-40 μm e 400-600 μm . (B): Picos granulométrico entre 40-70 μm e 350-400 μm	86
Figura 47 -Gráfico com densidade aparente antes da queima.....	89
Figura 48 - Gráfico com módulo de ruptura à flexão antes da queima.....	90
Figura 49 - Gráfico de absorção de água após queima a 1.120 °C e 1.190 °C.	93
Figura 50 - Gráfico de retração linear de queima em 1.120 °C e 1.190 °C.	94
Figura 51 - Gráfico de módulo de ruptura à flexão após queima em 1.120 °C e 1.190 °C.	95
Figura 52 – Cores a seco e de queima nos corpos de prova da Formação Corumbataí.....	96
Figura 53 – Cores a seco e de queima nos corpos de prova da Formação Tatuí.	96
Figura 54 – Cores a seco e de queima nos corpos de prova do Grupo Itararé.	97

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos de absorção de água para classificação de revestimentos cerâmicos (adaptado de ABNT, 1997b).	23
Tabela 2 - Efeitos de tratamentos diagnósticos da primeira reflexão de baixo ângulo dos principais argilominerais, com espaçamentos aproximados (THIRY, 1974).....	62
Tabela 3 - Elementos maiores, expressos em porcentagem, e elementos traços, apresentados em ppm, das amostras do Grupo Itararé e Formação Tatuí	73
Tabela 4 - Elementos maiores, expressos em porcentagem, e elementos traços apresentados em ppm das amostras da Formação Corumbataí.....	74
Tabela 5 - Picos de granulometria e diâmetros máximos correspondentes a 10, 50 e 90% das partículas mais finas em cada amostra	87
Tabela 6 - Densidade aparente e módulo de ruptura à flexão antes da queima das amostras.....	88
Tabela 7 – Resultados cerâmicos das amostras após queima a 1.120 °C e 1.190°C	91
Tabela 8 – Resultados das análises de carbono orgânico (CO), em porcentagem, e capacidade de troca catiônica (CTC), em meq/100g.	98

1 INTRODUÇÃO

Na última década tem-se observado um considerável aumento do consumo de argilas plásticas de cor de queima clara na indústria cerâmica brasileira, especialmente para a produção de porcelanatos. No contexto da cerâmica de revestimentos destaca-se o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (PCSG), maior fabricante de placas cerâmicas do Brasil e um dos principais do mundo, responsável pela produção de mais de 400 milhões de m² anuais de placas, sendo 50 milhões de m² de porcelanatos, conforme dados da ASPACER (2018). O porcelanato é a placa com crescimento mais acentuado dentre os produtos fabricados, e principal responsável pelo crescimento do consumo de argilas plásticas.

Para atendimento da demanda do setor por argilas plásticas em 2017, foi necessário o fornecimento de cerca de 350 mil toneladas, cujo bem mineral contribui com participação entre 10 e 30% das massas (ANFACER, 2018). As argilas plásticas tem a função principal na conformação das peças, aportando plasticidade à massa, facilitando o processo e dando resistência mecânica às placas cruas, de tal forma que se mostrem resistentes aos esforços sofridos na fábrica durante todo o percurso entre a prensagem e a entrada do forno, quando as peças passam por transporte, limpeza, decoração e acabamento ao longo da linha de produção. Adicionalmente, no processamento térmico, contribui com o aporte de alumina para produção da fase mulita e também contribui como fundente, se portadora de álcalis.

As massas cerâmicas brasileiras, com algumas adaptações, são baseadas em formulações europeias, tendo na Espanha e Itália os seus expoentes. Os porcelanatos desses países tem como base plástica as argilas *ball clay* da Ucrânia, ricas em caulinitas desordenadas e interstratificados de illita/esmectita, as quais apresentam, isoladamente, uma série de atributos que as qualificam como as melhores do mundo: cor de queima branca, alto conteúdo de alumina, alto índice de plasticidade, alta resistência mecânica e alto conteúdo de álcalis, aportando características fundentes, mas sem deformações excessivas (ZANELLI *et al.* 2015).

No Brasil, a falta de uma argila semelhante obrigou os produtores a substituir essa argila plástica completa por uma mistura de pelo menos dois tipos de argila, às quais denomina-se aqui de argilas plásticas e argilas superplásticas. Embora ambas argilas sejam carentes no cenário paulista, as argilas superplásticas são mais restritas. Atualmente, existem poucos depósitos explorados no estado, enquanto que

as argilas plásticas apresentam uma disponibilidade um pouco maior, mas longe de satisfazer a produção por longos anos.

De forma simplificada e prática, é possível distinguir essas argilas pelo resultado apresentado em ensaios de resistência à flexão a seco, quando preparados por prensagem a seco, sob pressões normais de prensagem. Para as argilas plásticas, os valores alcançados variam de 1,5 a 3,5 MPa de resistência, e as argilas superplásticas mostram valores iguais ou superiores a 4 Mpa, que equivale a aproximadamente 40 kg.f/cm².

Algumas das características que influenciam na plasticidade são a granulometria, mineralogia (tipos e grau de degradação dos argilominerais) e capacidade de troca catiônica. Quanto aos argilominerais de interesse, as vermiculitas e esmectitas são as de maiores plasticidade e capacidade de troca catiônica, seguido pelas illitas e caulinitas (WHITE, 1949; DEER *et al.* 2013).

O aumento de demanda, somado aos poucos fornecedores disponíveis no estado de São Paulo, levam a necessidade de descoberta de novas jazidas. Para tal, é importante ter conhecimento da gênese desses depósitos. Motta *et al.* (1993), estudando os depósitos de argilas plásticas no estado de São Paulo, estabeleceram dois principais modelos genéticos que controlam os depósitos de argilas plásticas: um representado pela clássica origem sedimentar, em que argilas caulíníticas detríticas, sob clima quente e úmido, formam depósitos em ambientes continentais e costeiros, atuais ou antigos, como planícies aluvionares de rios meandrantos, ambientes lacustres, planícies deltaicas, etc; e outro tipo relacionado à alteração intempérica, a partir da hidrólise de depósitos de rochas pelíticas pré-existentes.

Neste contexto, o presente estudo, que está inserido no projeto “Caracterização de argilas plásticas e superplásticas como fonte de matéria-prima para composição de massa na produção de porcelanatos no Estado de São Paulo”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo 2019/02899-7), selecionou minerações produtoras de argilas plásticas e superplásticas, bem como áreas com potencial de novas ocorrências minerais, sobretudo de argilas superplásticas associadas à alteração supérgena. Assim, os estudos envolvem o detalhamento dos perfis litológicos de duas minas existentes no estado, em Porto Ferreira e Tatuí, e o levantamento prospectivo de depósitos semelhantes entre essas regiões, englobando unidades permianas/carboníferas da Bacia do Paraná (Grupo Itararé, Formação Tatuí e Formação Corumbataí) cujas

distâncias até o PCSG não ultrapassam 140 km. Nessas unidades ocorrem sequências pelíticas com significativa distribuição regional e espessura de dezenas a centenas de metros.

Nas duas minas referidas, os depósitos de argilas superplásticas associam-se a perfis de intemperismo em diferentes contextos geomorfológicos. Em Porto Ferreira, os litotipos da Formação Corumbataí estão em fundo de vale, sotopostos por sedimentos aluvionares da planície do rio Moji-Guaçu, enquanto em Tatuí, a sequência pelítica da formação homônima ocorre em segmentos de planalto alçado (região de topo de morros/média encosta). A partir de estudos de campo e de importantes referências na literatura (p.ex. MILLOT *et al.*, 1961, MILLOT, 1970, RIMMER & EBERL, 1982, entre outros), interpretou-se a gênese desses depósitos a partir de transformações ou neoformações de argilominerais em tais perfis, influenciados por fatores como clima, circulação de água subterrânea e litotipos/sedimentos associados.

Na concepção aqui adotada, a evolução dos litotipos estudados, seja em fundo de vales atuais ou em situação de planaltos alçados, pode transformar os depósitos de argilas “comuns” em argilas plásticas, pelas perdas de íons cromóforos (Fe, Ti) e de bases (K, Na, etc.) ou, em situações especiais, pela perda de íons cromóforos e ganho de bases, com concentração de argilominerais do grupo da esmectita/montmorillonita.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é a caracterização da origem das argilas plásticas e superplásticas das unidades permianas/carboníferas da Bacia do Paraná a partir de alterações intempéricas e estabelecer um guia prospectivo desses bens minerais, carentes no mercado produtor nacional.

Os objetivos secundários consistem em comparar as ocorrências estudadas quanto à distribuição espacial, espessura, petrografia, mineralogia, contexto geomorfológico, comportamento geoquímico, bem como o desempenho tecnológico.

3 TEMAS ABORDADOS

3.1 Argilominerais

Os argilominerais são minerais do grupo dos filossilicatos, cuja estrutura é constituída por camadas/folhas tetraédricas (T) de $[\text{SiO}_4]^{-4}$ ligados a uma ou duas camadas octaédricas (O) de hidróxidos de alumínio, magnésio e/ou ferro, que podem estar conectadas por cátions como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} ou outros íons. De acordo com a coordenação do elemento presente nas camadas (O), os argilominerais podem ser subdivididos em clã e/ou família em trioctaédrica (quando predominam átomos bivalentes nas camadas (O), sendo denominada de folha (O) tipo brucita) e dioctaédrica (quando predominam átomos trivalentes nas camadas (O), denominada de folha (O) tipo gibbsita), sendo importantes para a identificação e classificação dos argilominerais. As partículas podem ter diferentes graus de cristalinidade e variam de nanopartículas a grãos observáveis em microscópicos petrográficos (DEER *et al.* 2013). Geralmente, esses minerais apresentam hábitos placoide, fibroso ou irregular, dispostos em agregados de grãos finos. Quando estão misturados com a água, produzem materiais com plasticidade variável e, quando aquecidos, perdem a água adsorvida e/ou a da estrutura.

Deer *et al.* (2008, 2013) subdividem esses minerais em quatro grupos, conforme a composição química e o tipo de estrutura, sendo eles: caulinitas, illitas, esmectitas e vermiculitas. Em um mesmo grupo podem ocorrer variações composicionais de acordo com a extensão das substituições de Si^{4+} , Al^{3+} e Mg^{2+} por Al^{3+} , Fe^{3+} e/ou Fe^{2+} , bem como a natureza e quantidade de cátions intercalados e o teor de água.

As caulinitas tem estrutura ideal T-O (ou 1:1) e composição aluminosa, enquanto que os demais grupos possuem estruturas T-O-T (ou 2:1) interligadas por um cátion e/ou camadas hidratadas. As illitas são aluminosas e potássicas, as esmectitas, ora denominadas montmorillonitas, tem camada hidratada, composição variando de cálcica a sódica e proporções variadas de Al, Fe e Mg, enquanto as vermiculitas, de maior expansividade e plasticidade, são magnesianas e possuem camada hidratada.

As ligações das camadas T-O ou T-O-T apresentam espessuras mais ou menos constantes em cada um dos grupos e são denominadas de espaçamento interplanar, sendo fundamentais para a identificação dos argilominerais e do caráter di ou trioctaédrico em difratometria de raios X (Figura 1). Os espaçamentos de alguns argilominerais podem variar em intervalos definidos devido à expansão (pela intercalação de camada hidratada ou compostos orgânicos) ou contração (por desidratação). Ademais, podem ocorrer combinações entre as estruturas de dois ou mais minerais, gerando argilominerais interstratificados, cujas distâncias interplanares resultam das respectivas combinações de estruturas e, portanto, com maior variação dos intervalos.

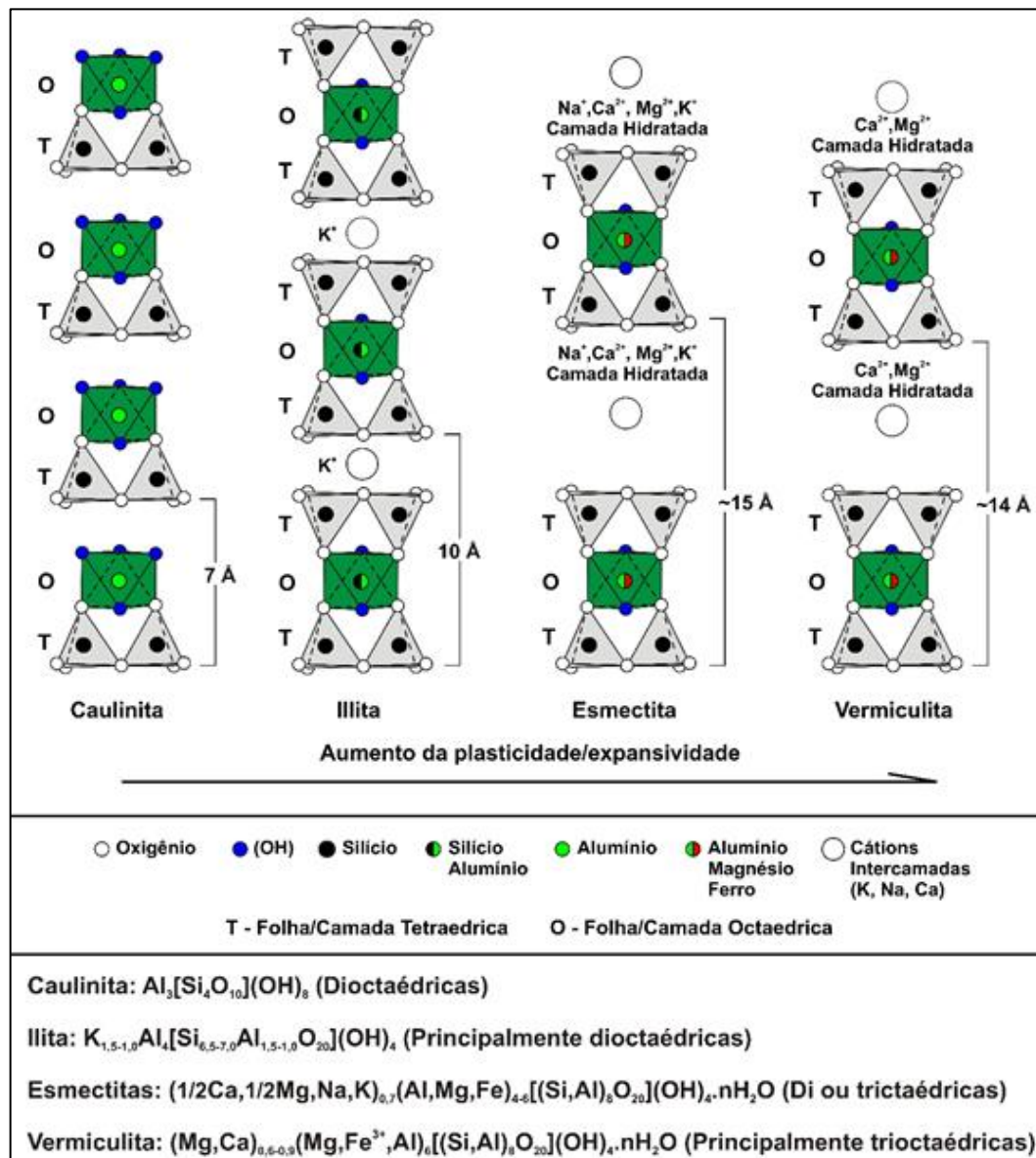


Figura 1 - Estrutura simplificada e composição química dos principais grupos de argilominerais (Compilado de Millot, 1970; Velde, 1992; Deer *et al.* 2008). Do ponto de vista cerâmico, os grupos da caulinita, illita e esmeclita são os de interesse no presente estudo.

3.2 Gênese

Segundo Millot (1970), a gênese dos argilominerais ocorre por três tipos de mecanismos (herança, transformação e neoformação) em três ambientes distintos (intemperismo, sedimentação ou diagênese/hidrotermal).

A herança está relacionada ao argilomineral que se manteve estável desde a rocha mãe e foi incorporado a um novo litotipo. A transformação consiste na alteração de um argilomineral em outro devido à instabilidade das novas condições ambientais, podendo ocorrer por degradação, quando há lixiviação dos constituintes dos argilominerais em ambiente aberto, ou por gradação, quando há incorporação de elementos pela estrutura mineral em ambiente confinado ou rico em cátions. A neoformação está relacionada à gênese de argilominerais a partir de minerais primários, como os feldspatos, por processos de lixiviação ou concentração.

Alguns fatores importantes nos mecanismos de transformação e neoformação dos argilominerais são a disponibilidade e circulação de água no perfil de alteração, presença de soluções orgânicas e de cátions que, conseqüentemente, controlam o pH do ambiente. A variação desses fatores permite a gênese de um mesmo argilomineral em diferentes contextos geológicos ou condições ambientais. Como exemplos, Rimmer & Eberl (1982) descrevem a gênese de argilas ricas em esmectita e illita a partir da lixiviação provocada pela percolação de soluções ácidas geradas por camadas de carvão sobrepostas, enquanto Millot (1970) apresenta a ocorrência de montmorillonita em ambiente com circulação de água limitada e alcalino, próximo à base de um perfil de alteração cujo topo é ácido e rico em caulinita.

3.3 Aplicação na indústria cerâmica

Na indústria cerâmica branca e de revestimentos as argilas plásticas e superplásticas são algumas das principais matérias-primas utilizados no processo produtivo (Figura 2). É aqui classificada como superplástica ou de alta plasticidade a argila com resistência mecânica a seco superior a 40 kg.f/cm² e constituída de uma parcela significativa de esmectita, enquanto uma argila plástica, geralmente de composição caulinítica, apresenta valores inferiores a 30-35 kg.f/cm², conforme denominação do mercado cerâmico. Entretanto, podem ocorrer argilas cauliníticas

com elevada resistência mecânica a cru, como as “*ball clays*”, em parte devido à granulometria mais fina (LOOMIS, 1938; MOTTA *et al.* 2008).

Ao mesmo tempo, são necessárias matérias-primas cuja cor de queima na faixa de temperatura entre 1.000 a 1.200 °C apresente tonalidades claras ou branca. Essas colorações associam-se diretamente ao baixo conteúdo de óxidos cromóforos como Fe_2O_3 e TiO_2 (MOTTA *et al.* 2008).

No caso das placas cerâmicas, a distribuição granulométrica também é um parâmetro importante para o processo produtivo, sendo desejável uma curva granulométrica com comportamento normal e amplo, permitindo uma máxima densificação de prensagem.

INDÚSTRIA		Matérias-Primas (em 1.000 t)									SUBTOTAL	
Segmento	PRODUTO	Plásticas			Não Plásticas							
		Argila Vermelha	Argila Plástica	Caulim	Feldspato baixo Fe ₂ O ₃	Rochas Feldspáticas	Filito	Talco	Calcário/ Dolomito	Quartzo	Outras*	
1 Cerâmica Vermelha	Blocos, Lajes	14.500,0									14.500,0	
	Telha											
	Agregado Leve											
	Placas Via Seca	7.900,0									7.900,0	
2 Revestimentos	Placas Via Úmida		115,5	16,5			135,0	13,2	29,7	6,6	316,5	
	Porcel. Técnico		75,0	21,4	84,7		9,8	1,9	1,9	1,9	4,2	201,5
	Porcel. Esmaltado		343,0	51,5			352,3	25,7	25,7	17,2	0,8	816,2
3 Louça Sanitária			20,0	5,8		30,0	12,0			2,4	3,6	73,8
4 Louça e Porcelana de Mesa e Decorativa			4,2	1,8	3,6				1,2	1,2		12,0
5 Coloríficos			23,2	29,5	90,0			5,8	19,0	117,0	17,6	302,1
6 Isoladores			7,5	6,0	9,0					6,0		30,0
SUBTOTAL		22.400,0	588,4	132,5	187,3	30,0	509,1	48,2	77,6	152,3	26,2	24.152,5
TOTAL												

Figura 2 - Principais setores cerâmicos, matérias-primas e estimativas de consumo do parque industrial do estado de São Paulo no ano de 2017. As argilas superplásticas estão inseridas no campo de argila plástica. A faixa de interesse do presente estudo é destacada pelo retângulo vermelho (Extraído de Cabral Júnior *et al.* 2019).

3.4 Normas de classificação cerâmica

As normas que orientam a fabricação de revestimentos cerâmicos no Brasil são estabelecidas essencialmente por quatro documentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- Norma ABNT NBR 13816:1997 (ABNT, 1997a), que trata de um resumo da terminologia mais utilizada na indústria cerâmica;
- Norma ABNT NBR 13817:1997 (ABNT, 1997b), que aborda as regras de classificação para revestimentos cerâmicos;
- Norma ABNT NBR 13818:1997 Versão Corrigida:1997 (ABNT, 1997c), que apresenta as principais especificações técnicas para ensaios de qualidade de revestimentos cerâmicos;
- Normas ABNT 15463:2013 (ABNT, 2013), com as normas técnicas de classificação de placas cerâmicas para revestimento, com foco em porcelanato.

A norma ABNT NBR 13817:1997 (ABNT, 1997b) utiliza a taxa de absorção de água para classificar os produtos cerâmicos em cinco grupos: Ia, Ib, IIa, IIb e III. O mercado cerâmico, por sua vez, utiliza uma classificação comercial para correlacionar os grupos com os produtos, denominando-os respectivamente de: porcelanato, grês, semi-grês, semi-poroso e poroso (Tabela 1).

Tabela 1 - Grupos de absorção de água para classificação de revestimentos cerâmicos (adaptado de ABNT, 1997b).

Produto*	Grupo	Absorção de Água (%)
Porcelanato	Ia	$0,0 < AA \leq 0,5$
Grês	Ib	$0,5 < AA \leq 3,0$
Semi-Grês	IIa	$3,0 < AA \leq 6,0$
Semi-poroso	IIb	$6,0 < AA \leq 10,0$
Poroso	III	$AA > 10,0$

(*): Denominações comerciais.

O porcelanato e o grês são produtos com baixa absorção de água e alta resistência mecânica, o semi-grês apresenta características intermediárias de absorção e resistência e os produtos classificados como semi-poroso e poroso apresentam alta absorção de água, com média e baixa resistência mecânica, respectivamente.

4 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRAFICOS

A área de estudo está localizada na faixa centro-leste do estado de São Paulo englobada pelos municípios de Tatuí, Piracicaba, Leme, Porto Ferreira e Tambaú. A porção mais a sul está situada a aproximadamente 150 km de São Paulo/SP pelas rodovias SP-280, SP-308 e BR-373, enquanto a porção norte, posicionada a 200 km da capital paulista, tem acesso principal pela SP-330, SP-332 e BR-273, seguido por vias secundárias, normalmente estradas de terra, para acesso local (Figura 3).

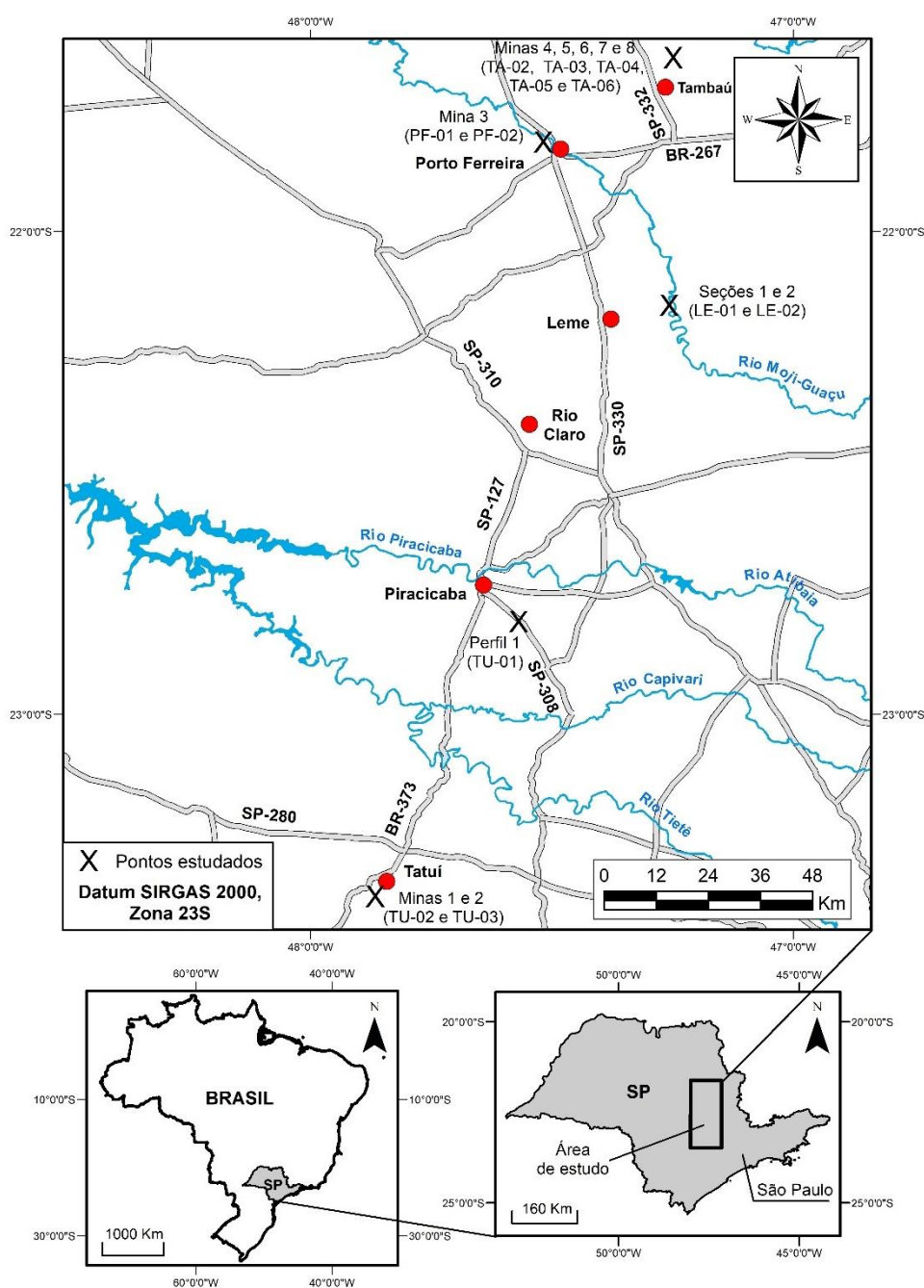


Figura 3 - Localização dos perfis estudados.

4.1 Clima

Segundo Alvares *et al.* (2013), com base nos critérios de Köppen (1936), o clima da área de estudo é classificado como subtropical úmido, sem estação seca (Cfa) na porção sul, ao passo que a porção norte apresenta inverno seco (Cwa). Segundo Rolim *et al.* (2007), ambos os climas possuem precipitações médias anuais de aproximadamente 1500 mm, temperaturas médias mensais próximas de 22 °C e períodos mais chuvosos entre outubro e março, havendo precipitações superiores a 30 mm nos meses mais secos do clima Cfa e inferiores ao mesmo valor no período seco do Cwa.

4.2 Geomorfologia

Em termos geomorfológicos, os perfis estudados estão em dois contextos distintos: áreas de fundo de vale, com rochas permianas/carboníferas sotopostas a planícies aluviais do rio Moji-Guaçu, localizadas nos municípios de Leme e Porto Ferreira e áreas alçadas (topos e encostas de colinas e morrotes), situadas em Tatuí, Piracicaba e Tambaú. Os afloramentos estão inseridos na Depressão Periférica Paulista, com exceção das minas de Tambaú, posicionadas no limite desta unidade com o Planalto Ocidental Paulista (ROSS & MOROZ, 1997).

A Depressão Periférica Paulista constitui uma região com topografia mais baixa em relação ao seu entorno e pouco acidentada, raramente com desníveis de centenas de metros. Predominam colinas com topos amplos, suavizadas e separadas por vales pouco profundos, tendo como principais drenagens os rios Piracicaba, Tietê e Moji-Guaçu, que fluem para NW (ALMEIDA, 1964; PENTEADO, 1976; ROSS & MOROZ, 1997). Almeida (1964) subdivide essa província em três zonas, a partir dos divisores de água da bacia do rio Tietê: Moji-Guaçu, Médio Tietê e Paranapanema.

Na Zona Médio Tietê, englobada pelos afloramentos da porção sul da área de estudo, Almeida (1964) descreve um nivelamento nas altitudes de 620 e 650 m em áreas interfluviais e o relaciona a um ciclo erosivo bastante evoluído, denominado de “superfície de erosão do Médio Tietê”. Tal superfície afeta essencialmente litotipos permianos/carboníferos e foi elaborada no intervalo que corresponde do Plioceno

Superior ao Pleistoceno Inferior, posteriormente ao estabelecimento da superfície de aplainamento de Japi (ALMEIDA, 1964; PENTEADO, 1976).

A Zona do Mogi Guaçu, a qual estão inseridos os perfis estudados na parte norte, tem área mais restrita na porção norte da depressão periférica e apresenta altitudes entre 530 e 720 m. Almeida (1964) destaca a ocorrência de intrusões ígneas que compõem nítidos e suaves degraus topográficos, desviando parte dos cursos dos rios e sustentando divisores de águas.

Melo (1995), a partir de estudos que incluem Almeida (1964), descreve cinco níveis planálticos em parte do centro norte do estado de São Paulo, dois dos quais delimitam os limites da Depressão Periférica e se associam à superfície Neogênica de Martonne (1943 *apud* Melo, 1995): B e Bd (Figura 4). O primeiro, onde estão inseridas as minas de Tambaú, corresponde ao subnívelamento de topo de colinas mais elevado da Depressão Periférica e não ultrapassa a cota de 750 m. O segundo, correlacionável à superfície de erosão do Médio Tietê, é o principal subnívelamento dos topos das colinas da Depressão Periférica e tem altitude máxima de 660 m na porção sul da área de estudo.

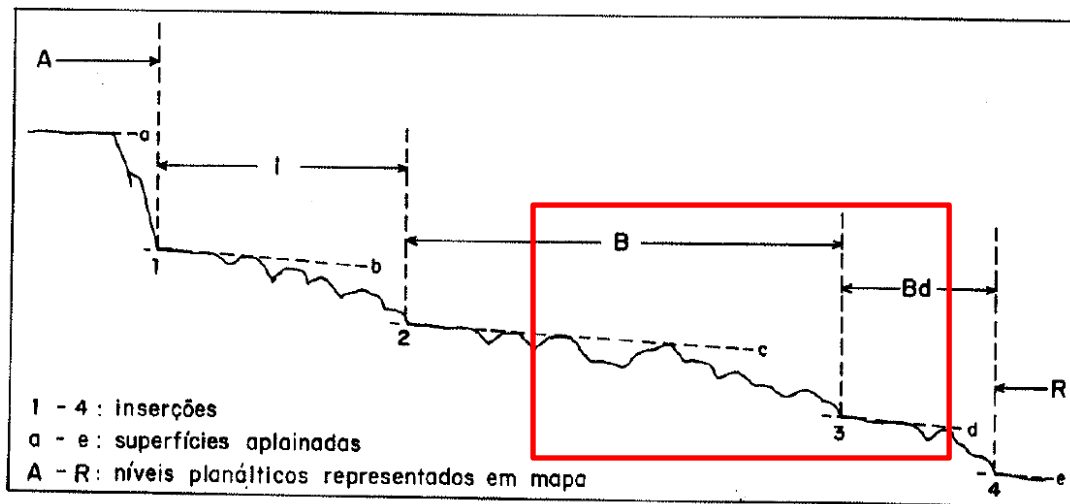


Figura 4 - Níveis planálticos de Melo (1995) com indicação aproximada da área de estudo em vermelho.

O Planalto Ocidental Paulista nas proximidades da área de estudo é caracterizado pelo predomínio de colinas amplas e baixas com topos aplainados, além de declividades entre 10 e 20% (ROSS & MOROZ, 1997). Apesar das semelhanças com a Depressão Periférica Paulista, essa unidade apresenta altitudes superiores a 800 m e desníveis maiores.

5 MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO

Neste capítulo são apresentados os métodos utilizados e as etapas de trabalho, que consistiram, resumidamente, no levantamento bibliográfico, trabalhos de campo, caracterizações laboratoriais, interpretação e integração dos resultados obtidos.

5.1 Levantamento bibliográfico

Essa etapa constituiu a base para o desenvolvimento do estudo, através de uma ampla pesquisa bibliográfica dos temas abordados e da região estudada. Dessa forma, foram consultados materiais referentes às unidades litoestratigráficas de interesse na Bacia do Paraná, contexto geomorfológico/topográfico regional, evolução de perfis de alteração, além das ocorrências de argilas plásticas no Brasil e em outros países. Também foram coletadas informações sobre ensaios tecnológicos, características de matérias-primas cerâmicas e polos cerâmicos do estado de São Paulo.

A bibliografia foi consultada na base de dados de bibliotecas de universidades (base Athena, SciELO, Digital USP) centros tecnológicos e institutos de pesquisa, em periódicos nacionais e internacionais, relatórios e normas técnicas, mapas geológicos (CPRM, DAEE), geomorfológicos (ALMEIDA, 1964; IPT), cartas topográficas do IBGE, fotografias aéreas e imagens de satélite extraídas dos *softwares* Google Earth Pro e ArcGIS versão 10.5.

5.2 Trabalhos de campo

Foram realizadas etapas de campo com o objetivo de reconhecer os aspectos geológicos regionais e locais e fornecer subsídios para interpretação da gênese dos depósitos de argilas plásticas e superplásticas.

As etapas de campo seguiram a metodologia de Miall (1984) e compreenderam a descrição de perfis de alteração em frentes de lavras e afloramentos quanto à coloração, granulometria, mineralogia, grau de alteração, estruturas sedimentares e/ou pós-deposicionais. Durante os trabalhos de campo,

também foi realizado o registro fotográfico e coleta de amostras ao longo dos perfis de alteração para estudos laboratoriais.

No município de Leme, foram executadas sondagens utilizando-se trado mecanizado em local autorizado pela Agência Nacional de Mineração (ANM) para a pesquisa mineral de argila. As amostras estudadas foram fornecidas pela empresa Extraminer Comércio e Indústria de Minérios e Serviços Ltda, responsável pela pesquisa.

5.3 Petrografia

Foram selecionadas 7 amostras coletadas nas minas Santa Adelaide e Fazendinha (minas 1 e 3) para confecção de seções delgadas, com dimensões de 6,8 cm por 4,5 cm de largura e espessura aproximada de 2 mm, seguindo os Procedimentos Operacionais Padrão 0009 e 0014 do Sistema de Qualidade dos laboratórios de Geoquímica Ambiental (LAGEA) e de Tratamento e Reuso de Água e Efluentes (LATERE) do Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (IGCE/UNESP – Campus de Rio Claro). As amostras, parcialmente úmidas, foram impregnadas com resina plástica Araldite e colocadas em estufa a 37 °C por 2 semanas. Esse procedimento foi sucedido pelo corte do bloco impregnado, seguido pelo polimento de uma das faces com lixas d'água das numerações 150, 250 e 600 e álcool etílico, de modo a não haver hidratação e contaminação da amostra por abrasivos. Após a colagem na lâmina de vidro e prensagem por 24 horas, o desbaste foi feito na retificadora multiplacas GBROT até a amostra atingir espessura de 30 µm.

Os estudos foram efetuados no Departamento de Geologia (IGCE/UNESP – Campus de Rio Claro), em microscópio petrográfico da marca Zeiss (Axioscope AZ) de luz transmitida, com aumentos de 25, 100, 200, 500 e 1.000 vezes e câmera fotográfica Canon EOS. Essa etapa consistiu na identificação mineralógica, descrição de texturas, microestruturas e possíveis processos de alteração.

5.4 Difração de raios X

As 26 amostras selecionadas foram secas em estufa do Laboratório de Cerâmica do Departamento Geologia da UNESP – Campus de Rio Claro em temperatura de 60°C, seguido pelo quarteamento, homogeneização e moagem.

A mineralogia foi identificada por difratometria de raios X em lâminas de pó de fração total e fina. Esta fração foi separada por meio da Lei de Stokes e submetida à secagem natural, solvatada com etile-glicol durante 48 horas e aquecida em forno mufla à temperatura de 490°C durante quatro horas.

As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por meio do Difratômetro de Raios X da marca Panalytical Empyrean, com medidas realizadas utilizando radiação $\text{CuK}\alpha 1$ ($\text{WL}=1,54056 \text{ \AA}$) e filtro de Ni. O ângulo 2θ inicial foi de 3° e término em 70°, com passo de 5" e tamanho do passo de 0,02°. Foi acoplado ao difratômetro módulo acelerador X'Celerator, responsável por reduzir o tempo de análise. A corrente empregada foi de 30mA a uma voltagem de 40kV. Os difratogramas gerados foram interpretados com auxílio do *software* X'Pert Highscore Plus da PANalytical, com base de dados ICDD PDF2.

5.5 Litogeoquímica

Nessa etapa, as 26 amostras preparadas foram enviadas para análises litogeoquímicas de elementos maiores e traços. Os resultados das amostras do perfil TA-04 foram compilados de Christofolletti *et al.* (2015).

As análises foram realizadas pela empresa SGS GEOSOL Laboratórios Ltda, sendo os elementos maiores analisados por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), após fusão utilizando metaborato/tetraborato de lítio e digestão em ácido nítrico diluído, e a perda ao fogo (*Loss on ignition* - LOI) determinada pela diferença de massa da amostra antes e depois do aquecimento a 1.000 °C por quatro horas. Os elementos traços foram analisados por Espectrômetro de Massa em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS), após fusão utilizando metaborato/tetraborato de lítio e digestão em ácido nítrico, sendo que para os metais Cu, Ni, Pb e Zn a digestão foi por água régia.

5.6 Caracterização cerâmica

Essa etapa foi realizada no Centro de Revestimentos Cerâmicos, localizado no município de São Carlos, onde 28 amostras foram secas ao sol e em estufa elétrica, seguido pela moagem em moinho de martelo. Posteriormente, foram prensadas em prensa hidráulica sob pressão de 400 Kgf/cm² e confeccionados 3 corpos de prova por amostra, com dimensões de 60 x 20 x 5 mm. Os corpos de prova foram secos a 110 °C e queimados em forno laboratorial a 1.120 °C e a 1.190 °C, por 20 e 35 minutos, respectivamente.

Os ensaios, realizados com base na norma ABNT NBR 13818 (ABNT, 1997c), determinaram as seguintes propriedades cerâmicas: módulo de ruptura à flexão a seco e queimado, absorção de água, porosidade aparente, retração linear de queima, densidade aparente a seco e queimado, além de perda ao fogo.

5.7 Caracterização granulométrica por difração a laser

A caracterização granulométrica foi realizada no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela técnica de difração a laser no equipamento Mastersizer 2000 da Malvern. O procedimento separa uma alíquota de cada amostra e insere em uma solução de água e hexametáfosfato de sódio (10%). Em seguida, submete-se ao ultrassom com *ultrasonic displacement* por 15 segundos. Os diagramas foram gerados através do *software* Mastersize 2000.

5.8 Capacidade de troca catiônica e Carbono Orgânico

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foi analisada no Laboratório de Solos da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP – Campus de Piracicaba), pelo método do acetato de amônia, com quantificação dos cátions de Na, K, Ca e Mg adsorvidos por Espectrofotometria de Absorção Atômica. A concentração foi determinada através do gráfico da absorvância em função da concentração de cada um dos cátions determinados com soluções padrão matrizadas com acetato de amônia nas mesmas condições de concentração das amostras. A CTC de cada amostra corresponde a soma dos teores de Na, K, Ca e Mg em mmolc/kg.

O conteúdo de Carbono Orgânico foi medido por meio da oxidação em meio ácido com o auxílio do dicromato de potássio a 1.0 N, sendo o excesso deste reagente dosado por titulação através da solução ferrosa 0.5 N (FeSO_4 ou $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$), conforme o método de WALKLEY & BLACK (1934). A concentração (C%) foi calculada através da seguinte fórmula:

$$C\% = [0,003 \times (B-A) \times N](100+Pa)/P$$

em que: “B” é o volume da solução ferrosa que foi utilizada para titular o branco; “A” o volume da solução ferrosa utilizada na amostra; “P” o peso da amostra; “N” a normalidade da solução ferrosa e “Pa” a umidade.

5.9 Tratamento, interpretação e integração dos resultados

Os dados obtidos nas etapas anteriores foram compilados, tratados e interpretados para apresentação da presente dissertação sob a forma de mapas, figuras, gráficos, tabelas e texto.

Os mapas, perfis e seções geológicas foram elaborados com auxílio dos *softwares* ArcGIS versão 10.5, Google Earth Pro e AutoCAD 2019. Também foram utilizados para tratamento dos resultados os *softwares* do pacote de programas Microsoft Office (word, excel, powerpoint) e os *softwares* Mastersize 2000 e Highscore Plus da PANalytical.

6 GEOLOGIA REGIONAL

6.1 Bacia do Paraná

A área de estudo está posicionada na borda leste da Bacia do Paraná (Figura 5), considerada uma sinéclise intracratônica, alongada na direção NNE-SSW e que ocupa aproximadamente 1,1 milhão de km² do território brasileiro, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás, além de porções menores do Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai (ZALÁN *et al.* 1990; MILANI *et al.* 1998; MILANI *et al.* 2007).

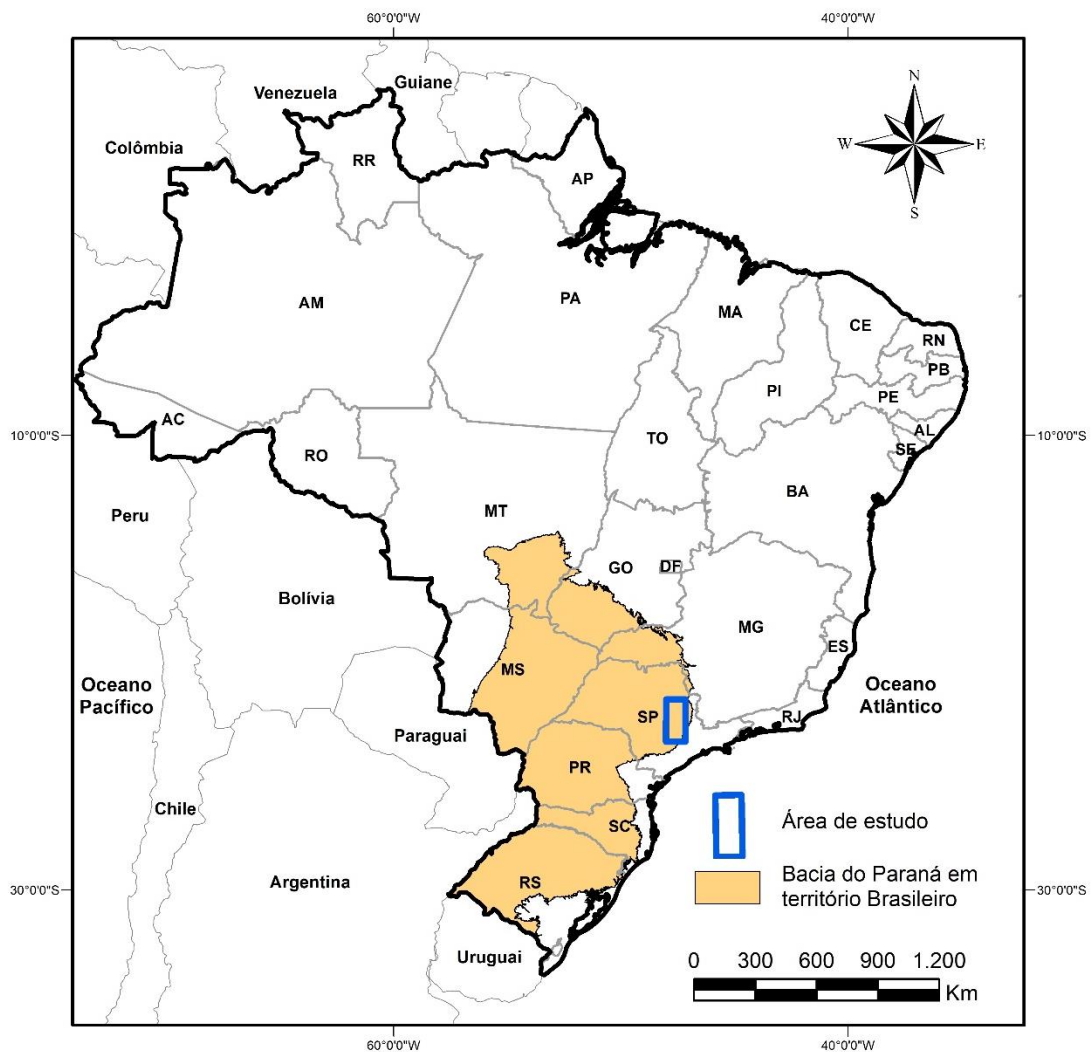


Figura 5 - Mapa esquemático da localização da Bacia do Paraná em território Brasileiro (Modificado de Hasui *et al.* 2012).

O registro estratigráfico da bacia (Figura 6) é descontínuo, composto por rochas sedimentares e vulcânicas de idades entre o Neo-Ordoviciano e Neocretáceo, que totalizam espessura máxima em torno de 7.000 metros (MILANI, 1997; MILANI *et al.* 2007). Esse registro foi subdividido por Milani (1997) em seis supersequências, separadas entre si por discordâncias interregionais: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As três primeiras supersequências representam ciclos transgressivo-regressivos paleozóicos, enquanto que as demais correspondem à sedimentação continental e rochas ígneas mesozóicas (MILANI *et al.* 2007).

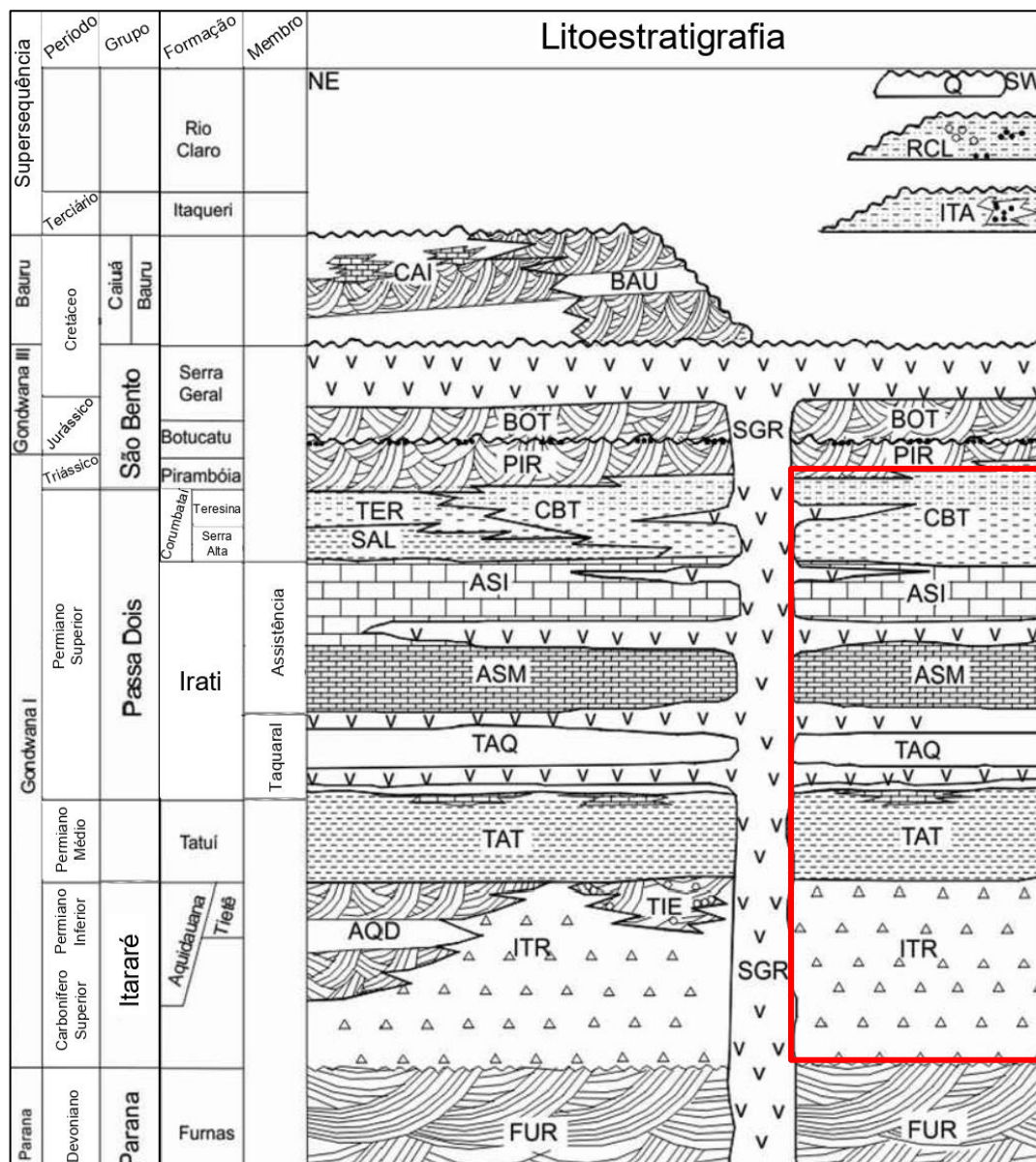


Figura 6 - Carta estratigráfica simplificada da Bacia do Paraná. As unidades estudadas estão delimitadas pelo retângulo vermelho (modificado de Montanheiro, 1999).

6.2 Estratigrafia

A Supersequência Gondwana I, a qual estão inseridas as unidades do presente estudo, corresponde às rochas das séries Tubarão e Passa Dois e base da Série São Bento (Formação Pirambóia), todas definidas por White (1908 *apud* MILANI *et al.* 2007), que afloram ao longo de todo perímetro da bacia e apresentam, em subsuperfície, espessura total aproximada de 2.500 metros (MILANI *et al.* 2007). Ocorre sobre as rochas da Supersequência Paraná, embora também seja observada diretamente sobre o embasamento cristalino da bacia (STEVAUX *et al.* 1987; PETRI & PIRES, 1992; VESLEY, 2006). Segundo Milani *et al.* (2007), a Supersequência Gondwana I representa um ciclo transgressivo-regressivo completo, produto da invasão e posterior saída do oceano Panthalassa sobre o paleocontinente Gondwana.

Sob a ótica litoestratigráfica, o pacote sedimentar estudado é representado no estado de São Paulo pelo Grupo Itararé/Formação Aquidauana, Formação Tatuí e Grupo Passa Dois (formações Irati e Corumbataí) (Figura 7), unidades posicionadas entre o Neocarbonífero e Neopermiano (SCHNEIDER *et al.* 1974; MILANI *et al.* 2007). Nas áreas do vale do rio Moji-Guaçu, essas unidades são sobrepostas por depósitos aluvionares cenozoicos que, nas escalas das seções e perfis levantados no presente trabalho, apresentam espessura e continuidade lateral significativas.

A base da sequência é composta por depósitos glaciogênicos, formados por ciclos de sedimentação iniciados por frações grossas trabalhadas por geleiras com afinamento da granulometria em direção ao topo na medida em que ocorriam mudanças climáticas cíclicas e elevação do nível relativo do mar (FRANÇA & POTTER, 1988). Também são descritos depósitos turbidíticos, tilitos verdadeiros e ritmitos associados a variações climáticas em lagos periglaciais (ROCHA-CAMPOS, 1967; EYLES *et al.* (1993). Santos *et al.* (2006) e Milani *et al.* (2007) atribuem a esse pacote sedimentar idade Moscoviano terminal (Neocarbonífero) e início do Sakmario (Eopermiano).

Ainda no Eopermiano, a deglaciação proporcionou elevação do nível relativo do mar, denominado por Lavina & Lopes (1987) de “transgressão permiana” e representada pela Formação Tatuí. Nesse pacote pós-glacial, predominam pelitos marinhos e, em menor proporção, ocorrem depósitos associados a ambientes costeiros, como lobos deltaicos, lagunas restritas e planície de marés em tendência

retrogradacional (SCHNEIDER *et al.* 1974; MILANI *et al.* 2007). Esse contexto é sucedido, durante o neo-Artinskiano, pela restrição da circulação de águas entre o Panthalassa e a bacia e pelo aumento da salinidade no interior da sinéclise, caracterizada por folhelhos e calcários da Formação Irati (SANTOS *et al.* 2006; MILANI *et al.* 2007).

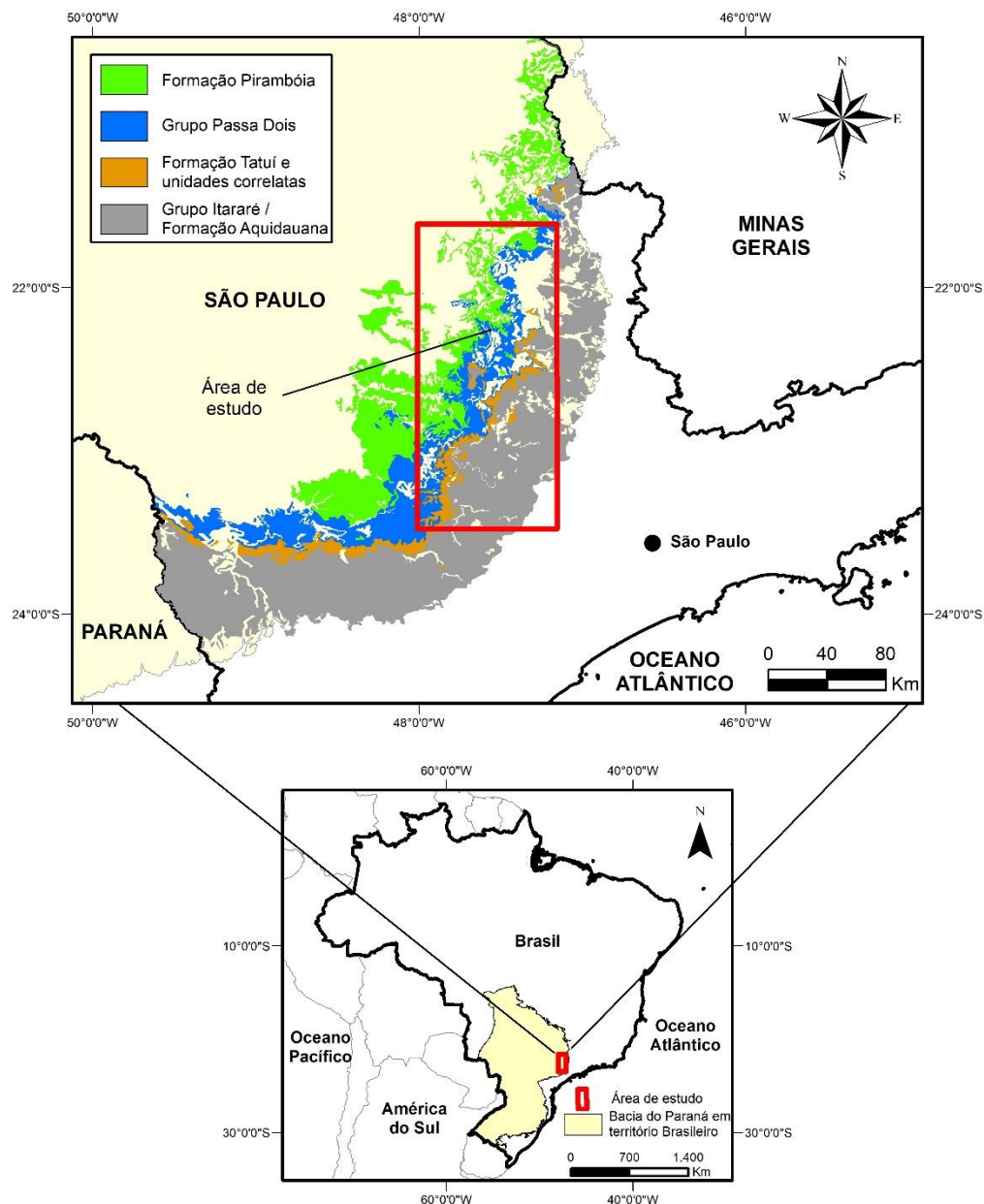


Figura 7 - Área de afloramento das unidades litoestratigráficas da Supersequência Gondwana I no estado de São Paulo e localização da área de estudo (Modificado de CPRM, 2006).

A evolução sedimentar da bacia apresenta tendências regressivas de grande escala, com a ocorrência de depósitos de mar raso e planícies de marés, englobados por argilitos, siltitos, calcários e arenitos finos da Formação Corumbataí,

sucedidos por sistemas fluviais e eólicos da Formação Pirambóia, situada entre o Neo-permiano e o Eotriássico (LAVINA, 1988; MILANI *et al.* 2007; ZANARDO *et al.* 2016).

6.2.1 Grupo Itararé/Formação Aquidauana

O Grupo Itararé é descrito como um conjunto de litotipos de idade permocarbonífera depositados sob influência glacial em diferentes ambientes sedimentares (SOARES *et al.* 1977; MILANI *et al.* 2007).

No estado de São Paulo, foram propostas diversas tentativas de subdivisão dessa unidade, como as de Barbosa & Almeida (1949 *apud* ARAB *et al.* 2009) e Saad (1977), porém nenhuma foi formalmente implantada, em parte devido à descontinuidade lateral das litofácies (ARAB *et al.* 2009).

É composto por intercalações de diamictitos, arenitos de granulação e seleção variável, siltitos, ritmitos, lamitos, argilitos, folhelhos, além de raros leitos de calcários e carvões. Os litotipos estão dispostos em lentes, camadas centimétricas ou bancos decamétricos, totalizando espessura de 900 metros na região do município de Rio Claro (PERINOTTO & ZAINÉ, 2008). A coloração das rochas também é variável, ocorrendo tipos esbranquiçados, marrom-avermelhados, acinzentados e pretos. As principais estruturas sedimentares constituem marcas de ondas, estratificações/laminações plano-paralelas e estratificações cruzadas tangenciais na base ou *hummocky* (SOARES *et al.* 1977, GAMA JR *et al.* 1992, ARAB *et al.* 2009).

Em termos estratigráficos, a Formação Aquidauana é equivalente ao Grupo Itararé, porém está restrita à porção setentrional da bacia, diferenciando-se deste pela coloração avermelhada dos litotipos (FRANÇA & POTTER, 1988). Na porção norte do estado de São Paulo, Soares & Landim (1973) atribuem espessura máxima de 300 metros para a Formação Aquidauana.

Com base nas associações das litofácies, os ambientes deposicionais são interpretados como fluvial, deltaico, marinho raso a profundo e lacustre (SOARES *et al.* 1977; CAETANO-CHANG, 1984; GAMA JR *et al.* 1992; ARAB *et al.* 2009).

6.2.2 Formação Tatuí

A Formação Tatuí, cronocorrelata às formações Rio Bonito e Palermo reconhecidas na porção sul do estado de São Paulo e região sul do Brasil, marca o início do período pós-glacial da bacia durante o eopermiano (ROCHA-CAMPOS, 1967; SOARES, 1972; SCHNEIDER *et al.* 1974; HOLZ *et al.* 2010).

Soares (1972) identificou quatro descontinuidades na Formação Tatuí e estabeleceu o arcabouço estratigráfico dessa unidade. A desconformidade L1 corresponde a uma superfície erosiva que marca o contato com os litotipos de Grupo Itararé e início do ciclo pós-glacial. A superfície L2 indica o contato do membro inferior, composto essencialmente por lamitos marrom arroxeados e o limite superior, caracterizado por lamitos cinza-esverdeados, calcários e arenitos com uma descontinuidade interna L3. Por fim, a descontinuidade L4 é uma feição erosiva que separa a Formação Tatuí da Formação Irati (Membro Taquaral).

Assine *et al.* (2003), Chahud (2011) e Chahud & Petri (2015) reconheceram nas porções basais e de topo, fácies arenosas e conglomeráticas maciças ou contendo estratificações cruzadas planares, cavalgantes, sigmoides e *hummocky* intercaladas com lamitos, siltitos e/ou folhelhos. Nas proximidades do município de Tatuí, o pacote sedimentar atinge espessura máxima de 60 metros (MASSOLI *et al.* 1986).

O ambiente de sedimentação da Formação Tatuí é interpretado como marinho raso com barras de maré e de sistemas flúvio-deltácios. A ocorrência de conglomerados no topo, denominados informalmente de “fácies Ibicatu”, corresponde a leques aluviais costeiros (SOARES, 1972; FÚLFARO *et al.* 1984; STEVAUX *et al.* 1986; ASSINE *et al.* 2003).

6.2.3 Formação Irati

A Formação Irati, base do Grupo Passa Dois, ocorre sobreposta à Formação Tatuí, cujo contato é marcado por um nível centímetro de seixos e grânulos de sílex e de bioclastos (BARBOSA & GOMES, 1958; ASSINE *et al.* 2003; entre outros).

Barbosa & Gomes (1958) subdividiram a unidade em dois membros, Taquaral (base) e Assistência (topo). O Membro Taquaral é constituído por argilitos siltosos laminados, folhelhos de cor cinza claro a escuro, podendo haver intercalações com

níveis carbonáticos e nódulos de sílex. O Membro Assistência é constituído por folhelhos cinza-escuro e uma associação rítmica de folhelhos pirobetuminosos pretos intercalados com calcários dolomíticos, eventualmente com leitos e nódulos de sílex (AMARAL, 1967; HACHIRO, 1991). No estado de São Paulo, a espessura da Formação Irati em superfície é de no máximo 30 metros.

O paleoambiente da Formação Irati é interpretado como sendo marinho raso transgressivo de baixa salinidade durante a deposição do Membro Taquaral, enquanto o Membro Assistência é resultado da deposição em plataforma marinha restrita, com alternâncias climáticas e aumento da salinidade das águas (AMARAL, 1967; MILANI *et al.* 2007; CHAHUD, 2011).

6.2.4 Formação Corumbataí

No topo do Grupo Passa Dois está posicionada a Formação Corumbataí, unidade litoestratigráfica da porção centro-norte paulista da bacia equivalente à Formação Teresina descrita nos estados do sul do país (LANDIM 1970; SCHNEIDER *et al.* 1974; MILANI *et al.* 2007).

Segundo Hachiro (1996) e Zanardo *et al.* (2016), o contato basal com a Formação Irati é nítido e gradativo no entorno do município de Rio Claro. Entretanto, na porção norte do estado, ocorre diretamente sobreposta à Formação Aquidauna devido à erosão ou não deposição das formações Tatuí e Irati (LANDIM, 1970; SOARES & LANDIM, 1973).

Para Landim (1970), a Formação Corumbataí é subdivida em uma sequência inferior, constituída por siltitos maciços, argilitos e folhelhos cinza escuros a roxos e uma sequência superior, composta por argilitos e siltitos maciços, vermelho arroxado intercalados com arenitos finos, lentes/nódulos carbonáticos e coquinhos. As principais estruturas sedimentares consistem em laminações plano-paralela ou cruzada, marcas de onda, acamamentos *flaser* a lenticular, gretas de contração. Também são reconhecidos veios de quartzo, filossilicatos, ou carbonato, além de diques clásticos (SOUSA, 1985; ZANARDO *et al.* 2016).

A Formação Corumbataí tem espessura máxima de aproximadamente 130 metros na região de Rio Claro com adelgaçamento à medida que se avança para o norte do estado, não ultrapassando 60 metros na região de Pirassununga e Leme (SOARES & LANDIM, 1973).

O ambiente de sedimentação é interpretado como marinho, salino a hipersalino, gradando para águas mais rasas em direção ao topo e influenciado por ambientes costeiros, como planícies de marés, lagunas e barras de marés (SCHNEIDER *et al.* 1974; SOUSA, 1985; ZANARDO *et al.* 2016).

6.2.5 Depósitos Aluvionares

Os depósitos aluvionares constituem areias, cascalhos, siltes, argilas e localmente turfas, posicionados nas margens, fundos de canal, planícies de inundação e/ou em terraços de rios atuais (SOARES & LANDIM, 1976; CPRM, 2006).

Segundo Motta *et al.* (1993), rios meandrantess, como os rios Paraíba do Sul, Moji-Guaçu e Pardo possuem planícies de inundação mais amplas e sedimentação mais expressiva quando comparados com rios encaixados, o que contribui para a acumulação de materiais argilosos em ciclos de granodecrescência ascendente. Depósitos de argila plástica associados a aluviões no estado de São Paulo incluem os dos municípios de Mogi Mirim, Jacupiranga e São Simão (MOTTA *et al.* 1993; ROCHA, 2012).

6.3 Argilominerais do Permiano/Carbonífero da Bacia do Paraná

Desde a década de 1970, diversos estudos tem focado na identificação e descrição dos argilominerais de unidades permianas/carboníferas da Bacia do Paraná. Entre eles, destaca-se o trabalho de Ramos & Formoso (1976), que reconheceu os principais grupos de argilominerais a partir de poços profundos perfurados pela Petrobras (Figura 8). Outros estudos focam nas transformações e neoformações associadas a processos digenéticos e/ou intempéricos em profundidades mais rasas.

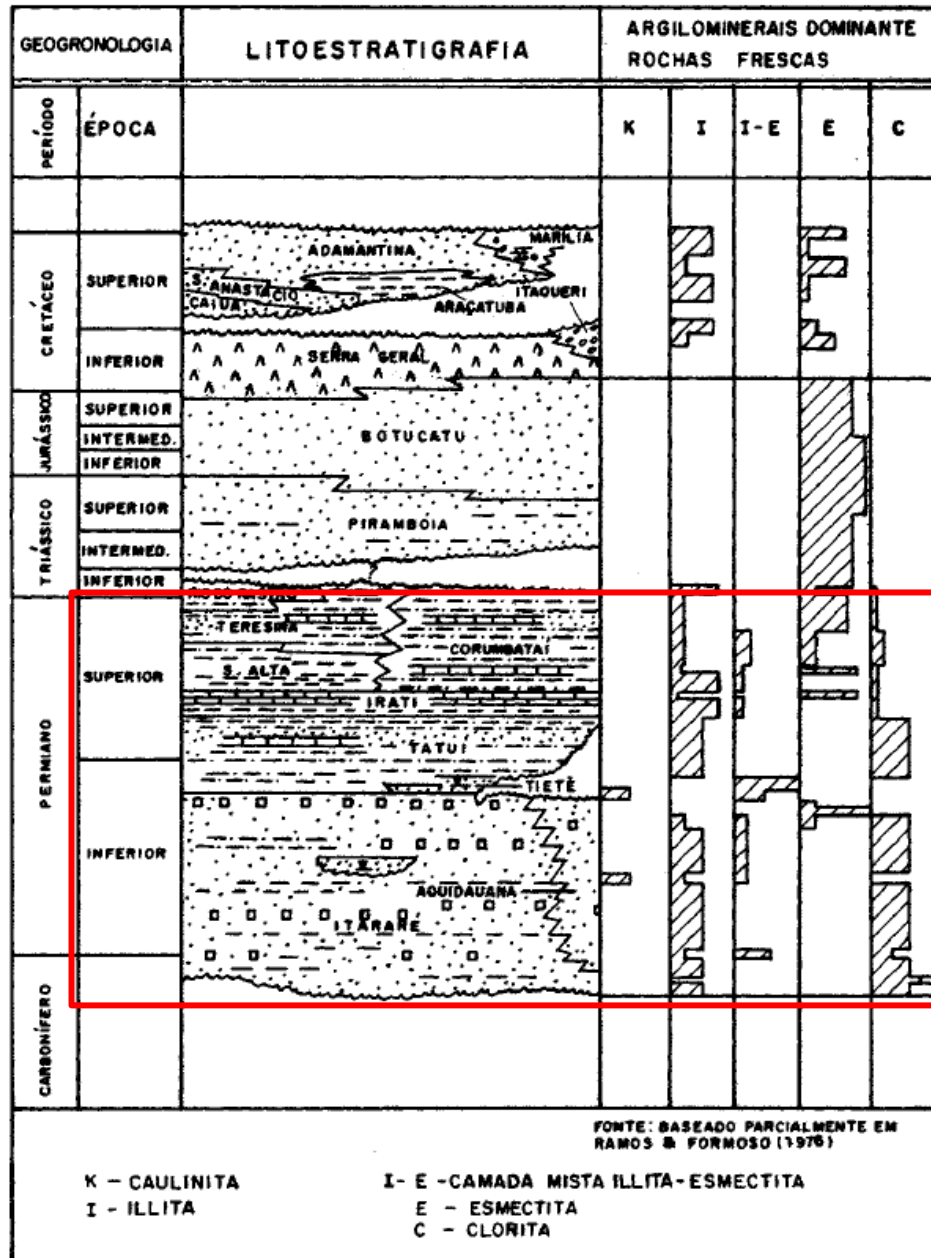


Figura 8 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná e principais grupos de argilominerais identificado em rochas frescas. As unidades estudadas estão indicadas pelo retângulo vermelho (Modificado de Motta *et al.*, 1993).

No Grupo Itararé predominam illitas, enquanto que montmorillonitas ocorrem localmente e caulinitas são muito raras. Em litotipos alterados do estado de São Paulo, Motta *et al.* (1993) identificaram composição caulinitica e illítica, podendo haver esmectitas associadas, como na camada *underclay* do município de Buri. Godoy (2010) reconheceu em mineralogia semelhante, além de pequenas quantidades de vermiculita.

Nas formações Rio Bonito e Palermo, cronocorrelatas à Formação Tatuí, ocorrem essencialmente argilominerais com camadas mistas de illita e montmorillonita. As caulinitas estão associadas às fácies mais proximais e os demais

grupos são raros. Estudos de Moreno *et al.* (2016) com ênfase na aplicação cerâmica indicam a predominância de caulinita e illita em siltitos arenosos da região de Tatuí.

A fração fina da Formação Irati é composta predominantemente por illitas, seguido por camadas mistas de illita e montmorillonita, além de raras caulinitas (RAMOS & FORMOSO, 1976).

Na Formação Corumbataí predominam como argilominerais primários montmorillonitas e illitas, com raras camadas mistas (RAMOS & FORMOSO, 1976). Christofolletti (2003) e Christofolletti *et al.* (2015) identificaram nas regiões de Rio Claro e Tambaú illita como principal argilomineral, seguido por caulinita e montmorillonita. Zanardo *et al.* (2016) descrevem no entorno de Rio Claro illitas e cloritas como principais minerais diagenéticos/hidrotermais, em alguns casos associados à colocação e resfriamento de corpos de diabásio, além de montmorillonitas e caulinitas supérgenas.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Geologia Local

Foram levantadas seções colunares nas minerações de argilas da Formação Tatuí (minas Santa Adelaide e Cerâmica Irapuã – Minas 1 e 2), localizadas no município homônimo, e da Formação Corumbataí em Porto Ferreira (mina Fazendinha – Mina 3) e Tambaú (minas Áurea Luzia, JD, Demactan, Cerâmica Cunha e Paulo Morandin – Minas 4, 5, 6, 7 e 8). Também foram visitados potenciais alvos de argila superplástica do Grupo Itararé (Seções 1 e 2) e Formação Tatuí (Perfil 1) nos municípios de Leme e Piracicaba, respectivamente (Figura 9).

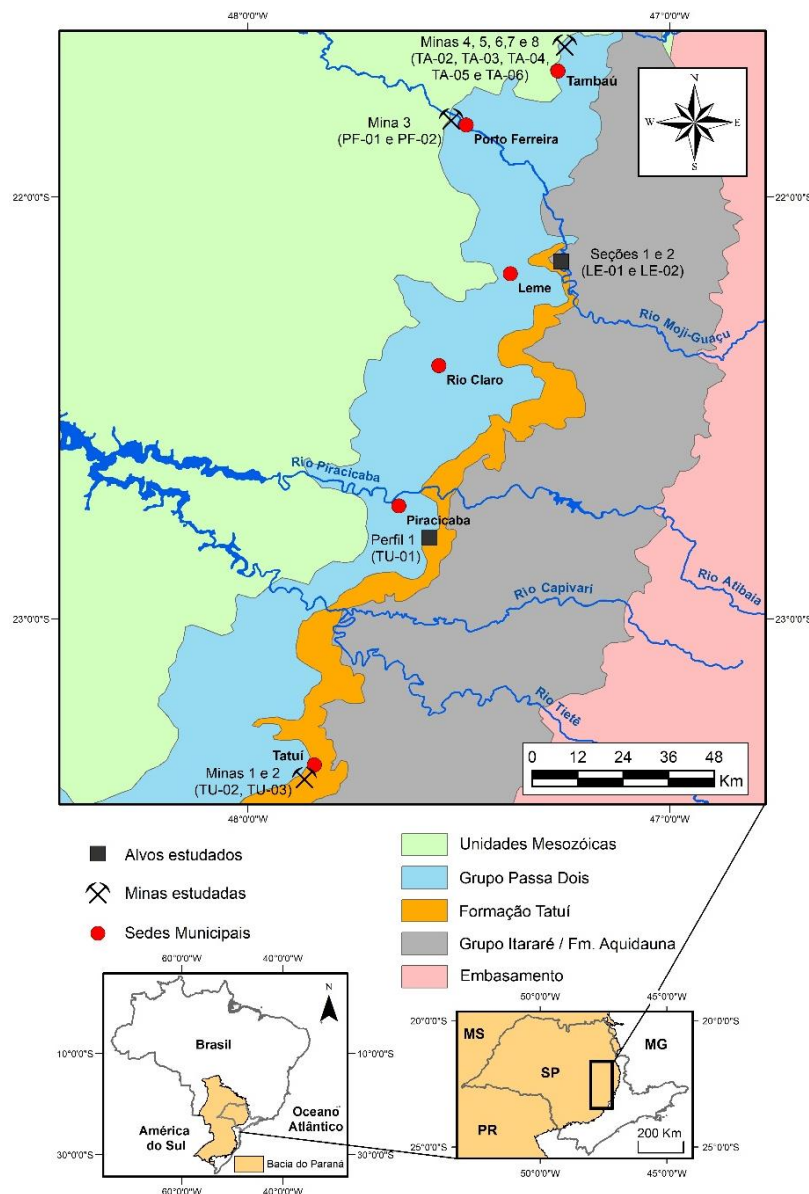


Figura 9 - Mapa geológico simplificado da área de estudo e localização das minas e alvos estudados (Modificado de CPRM, 2006).

7.1.1 Grupo Itararé

Os trabalhos de campo dessa unidade consistiram no uso de trado mecanizado para execução de sondagens com profundidades entre 3 e 12 metros na planície de inundação do rio Moji-Guaçu (Figura 10). O local de estudo é um alvo de pesquisa mineral junto à ANM e foi selecionado por apresentar características geomorfológicas semelhantes às da Mina Fazendinha (Mina 3 – Formação Corumbataí), localizada no município de Porto Ferreira, nas proximidades do mesmo rio, além de se tratar de uma unidade com consideráveis pacotes de pelitos descritos em literatura. Com base nas perfurações com evidências de argilas plásticas, foram elaboradas 2 seções separadas por aproximadamente 800 metros.

A área é caracterizada por relevo suave e plano, em altitude próxima a 575 m, que se estende por alguns quilômetros a partir da margem do corpo d'água. Também ocorrem valas artificiais abastecidas pelo Moji-Guaçu e por afluente de menor expressão.

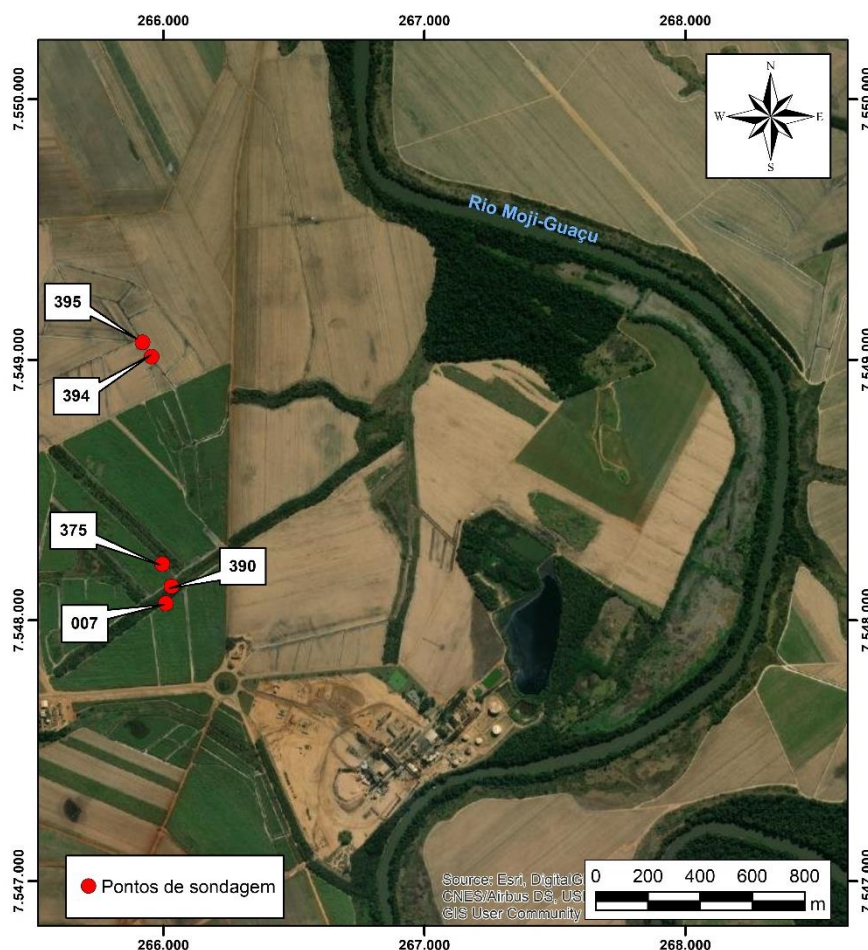


Figura 10 - Imagem de satélite com a localização dos pontos sondados na planície de inundação do rio Moji-Guaçu, município de Leme (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).

Em todas as sondagens, a base é composta por pelitos de coloração marrom avermelhada e atribuídos ao Grupo Itararé, gradando para pelitos progressivamente mais claros em direção ao topo, exibindo tonalidades esverdeadas ou cinzas e sugerindo um processo de lixiviação de alguns elementos nesses litotipos. Esse pacote mais claro tem espessura aproximada de 0,5 metro e apresenta características macroscópicas peculiares, como a tonalidade esverdeada, aspecto friável e macia ao tato, que foi considerada como argila superplástica (Figura 11).

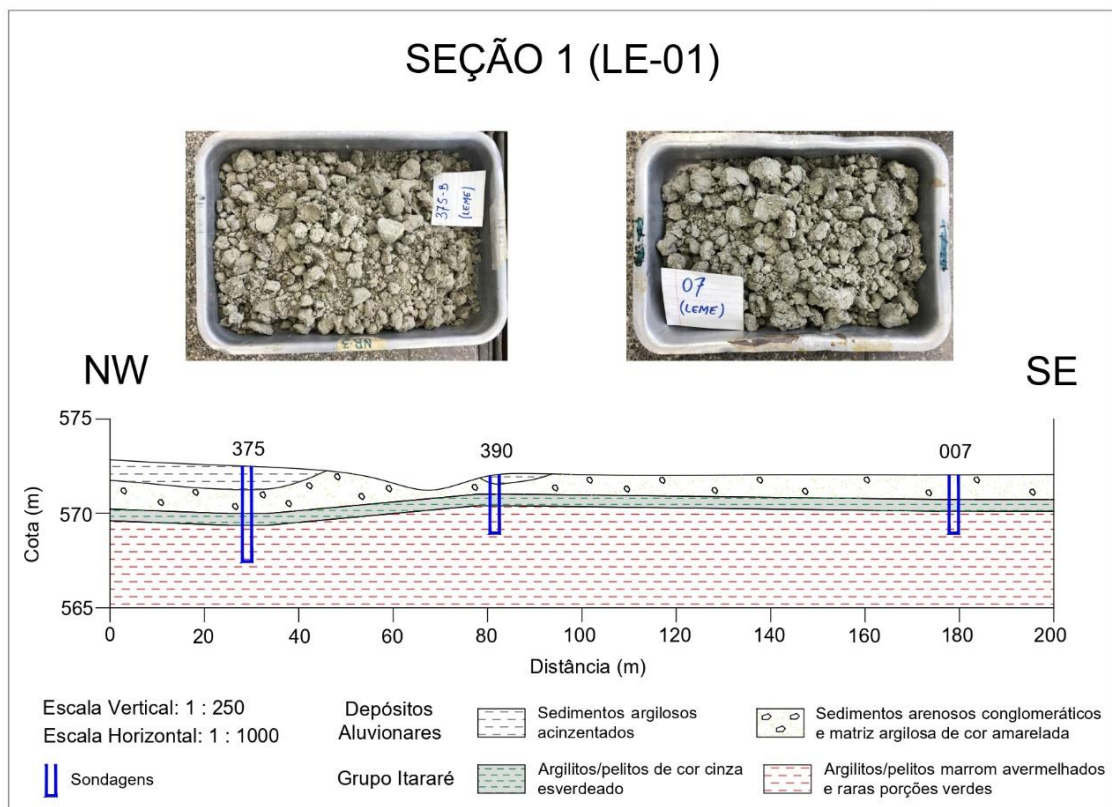


Figura 11 – Seção 1 (LE-01) do Grupo Itararé na região de Leme.

Imediatamente acima das argilas superplásticas claras podem ocorrer coberturas aluvionares, cujo contato é abrupto e facilmente identificado nas sondagens, ou uma sequência de lamitos muito alterados, ora seixosos (possíveis diamictitos) de cor cinza amarelado com tons vermelhos, cujo contato é transicional e marcado pelo escurecimento das tonalidades (Figura 12).

No topo das sondagens, é descrita uma cobertura aluvionar de 1 a 2,5 metros de espessura, composta por argilas siltosas a arenosas de cores cinza a amarela e/ou areias conglomeráticas, podendo apresentar matriz argilosa. As frações mais finas podem corresponder a camadas de argilas plásticas associadas aos

sedimentos aluvionares. Em alguns pontos perfurados, foram observadas camadas decimétricas de turfa nas porções mais superficiais.

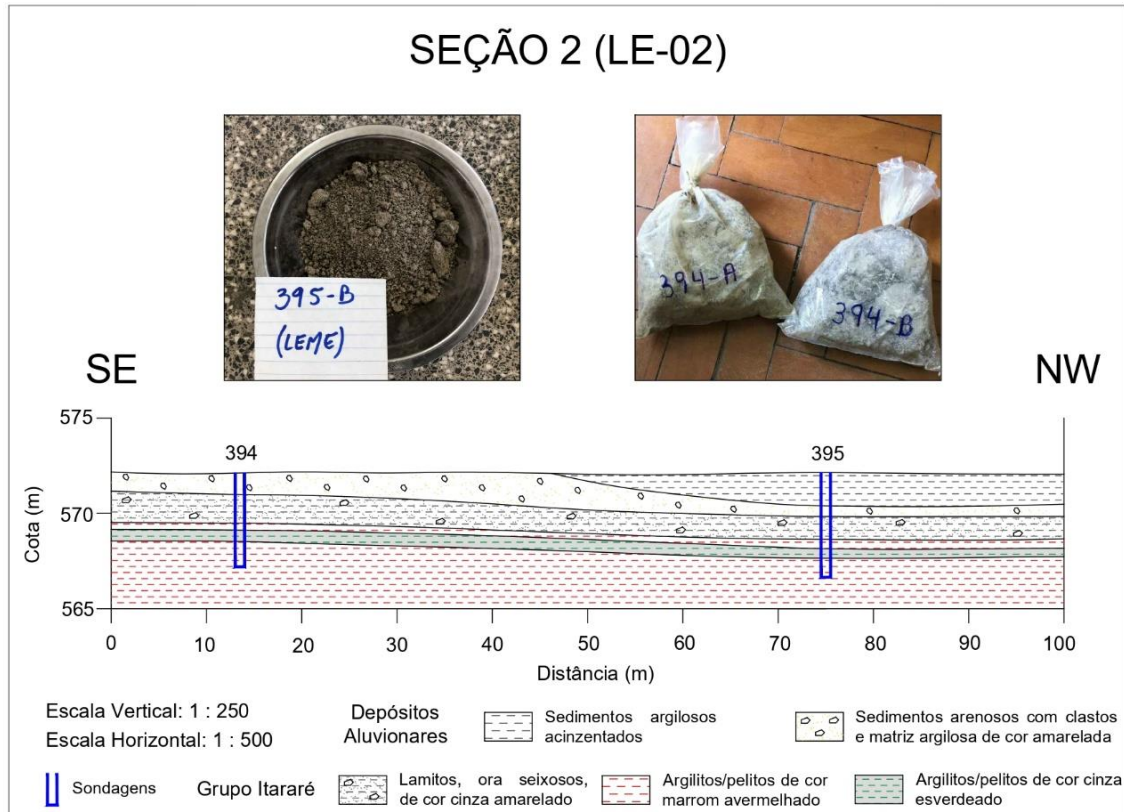


Figura 12 – Seção 2 (LE-02) do Grupo Itararé na região de Leme.

7.1.2 Formação Tatuí

7.1.2.1 Perfil 1 (TU-01) – Corte de estrada na rodovia SP-308

O afloramento estudado está localizado na rodovia SP-308, próximo da divisa dos municípios de Piracicaba e Rio das Pedras (Figura 13). O perfil está posicionado em um alto topográfico, cujo topo é marcado pelo contato com a Formação Irati, numa altitude de aproximadamente 630 m. A leste, nota-se a gradação da cor do solo para tonalidades claras, bem como a presença de nascentes e drenagens. Tal perfil foi selecionado por se tratar de uma área requerida junto à ANM para pesquisa mineral de argila plástica.

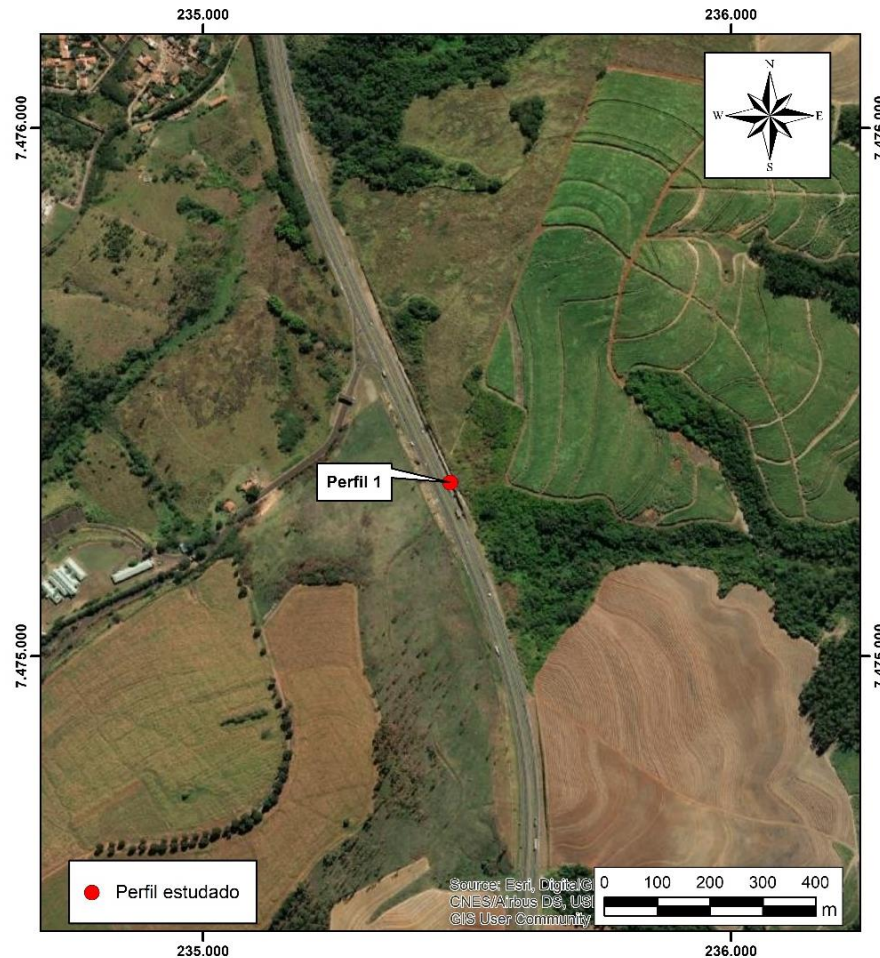


Figura 13 - Localização do Perfil 1 (TU-01), a sudeste da área urbana de Piracicaba, em imagem de satélite. (Fonte: Banco de dados do *software* ArcGIS 10.5).

Na base da sequência ocorrem camadas de siltitos frescos, pastilhados, maciços ou com laminação plano paralela incipiente. O pacote, de espessura aproximada de 4 metros e cujo afloramento tem extensão lateral de dezenas de metros, possui cor cinza clara com tonalidades esverdeadas, gradando para coloração creme com faixas ou linhas alaranjadas a amarronzadas mais comuns no topo (Figura 14). Não são raros nódulos centimétricos a decimétricos de sílex e fraturas subverticais preenchidas por hidróxido de ferro ou contendo argila friável esverdeada.

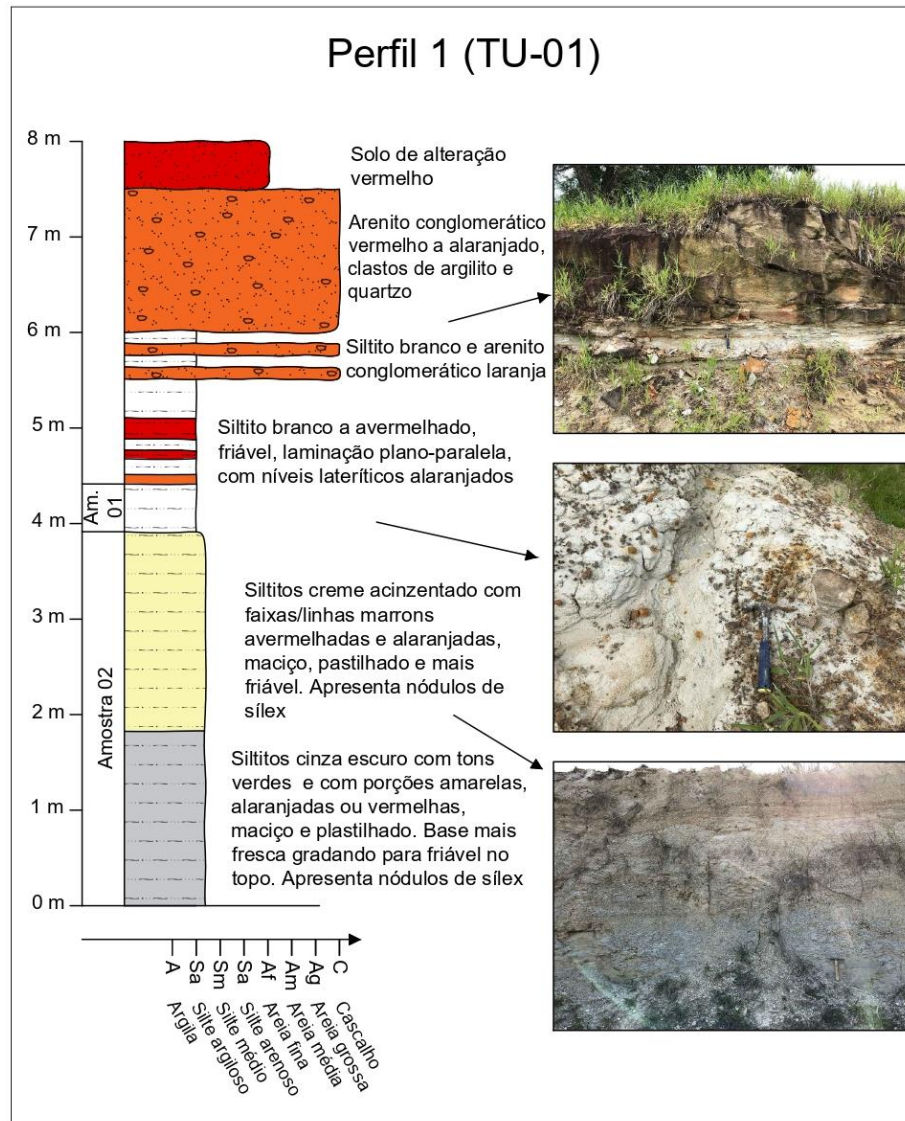


Figura 14 - Perfil geológico 1 (TU-01).

Em contato transicional, ocorrem siltitos mais argilosos, laminados, de cor branca com intercalações avermelhadas e com níveis lateríticos alaranjados. Tais litotipos são mais friáveis e apresentam continuidade lateral por dezenas de metros, com espessura de aproximadamente 1,5 metro.

Gradativamente, é descrito um pacote composto por intercalações abruptas e centimétricas desses litotipos com arenitos conglomeráticos alaranjados, frescos, com clastos de quartzo e argilitos e estratificações cruzadas acanaladas, cuja espessura aumenta em direção ao topo do perfil. É sucedido por solo marrom avermelhado com espessura variando lateralmente ao longo do corte, atingindo em média 0,5 metro.

Na borda sudoeste do afloramento são observados blocos decimétricos a métricos de diabásio em meio a um solo marrom avermelhado, expostos por no

máximo 20 metros. O contato com a faixa sedimentar é difuso e marcado pela mudança gradativa de coloração do solo para tons mais escuros, seguido pela ocorrência dos blocos.

7.1.2.2 Mina 1 (TU-02) – Mineração Santa Adelaide

A mina situa-se em alto topográfico com encosta íngreme a norte do rio Tatuí. O topo do morro, situado na cota 645 m, é plano e marcado por uma quebra positiva de relevo, que corresponde ao contato das formações Tatuí e Irati. A sul da cava ocorre uma drenagem afluente do rio que leva o nome do município (Figura 15).

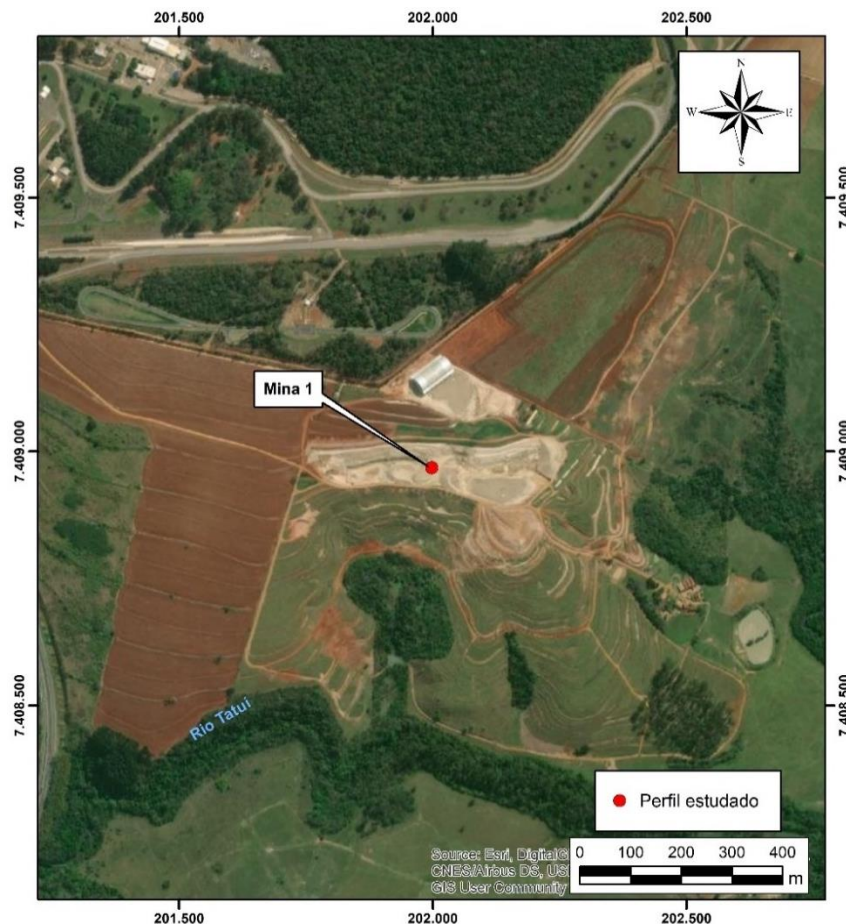


Figura 15 - Imagem de satélite com a localização da Mina 1 (TU-02), nas proximidades da área urbana de Tatuí. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).

A base do perfil, identificada somente por furos de sondagem realizados na mina, é composta por uma camada de potencial econômico com pelo menos 2 metros de espessura, constituída por siltitos de cor verde clara com tonalidades acinzentadas, claras a escuras. Acima, no leito da mineração, ocorre uma sequência

de granodescrescência ascendente composta por arenitos finos e siltitos laminados alaranjados, que totalizam espessura de 2,5 metros (Figura 16).

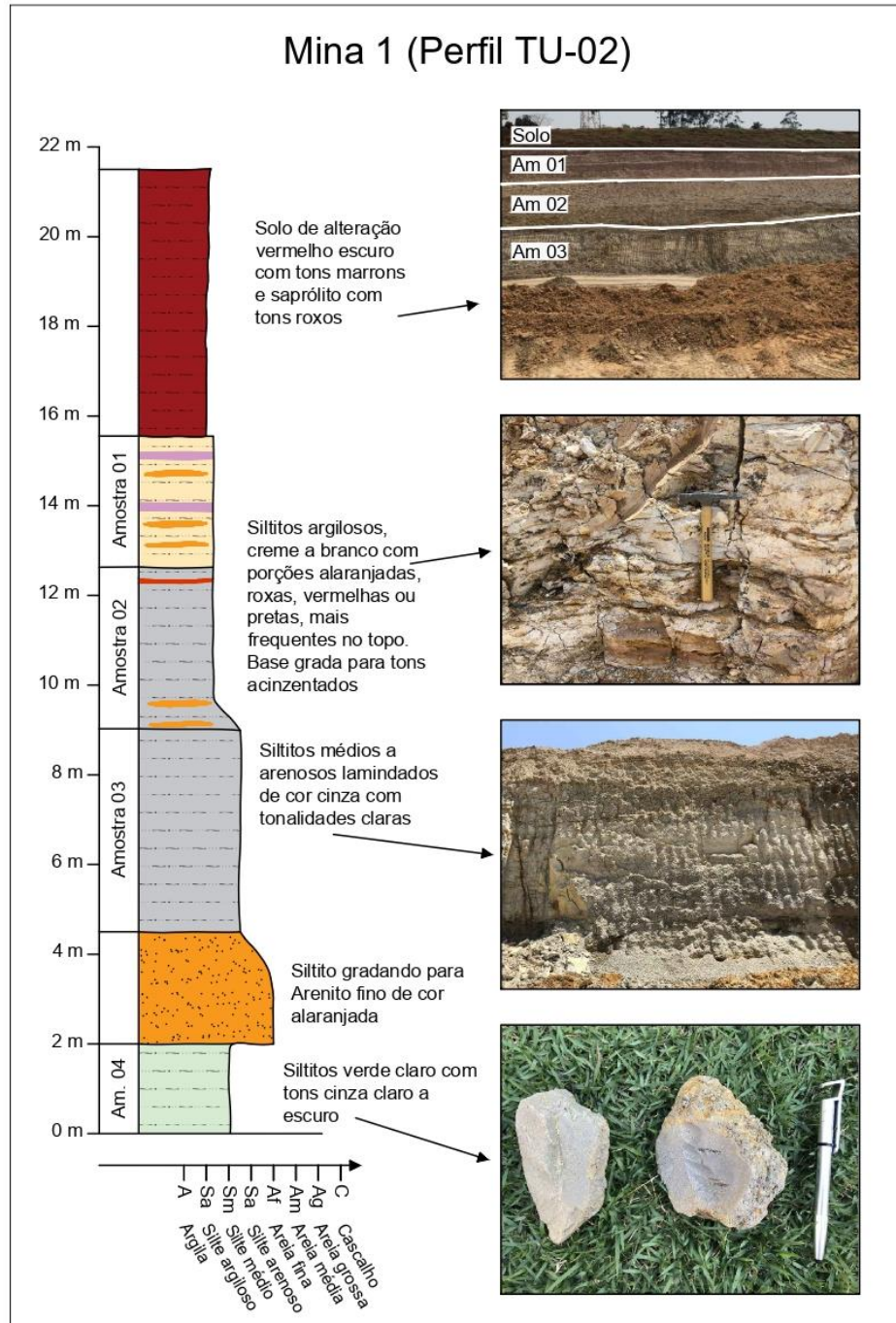


Figura 16 - Perfil geológico da Mina 1 (TU-02). A foto superior indica as camadas onde foram coletadas as amostras 01, 02 e 03.

Sobreposto, ocorre um pacote de siltitos frescos, pastilhados, com predominância cores cinzas e brancas com tonalidades esverdeadas, que se tornam mais laminados e finos em direção ao topo, onde também ocorre maior quantidade de manchas alaranjadas ou avermelhadas, sobretudo em uma faixa de 0,5 a 1,0

metro de espessura, onde aflora o nível d'água. Esse pacote acinzentado se estende por uma centena de metros com insignificantes variações laterais e totaliza cerca de 8 metros de espessura. De modo gradativo em direção ao topo, ocorrem siltitos argilosos mais friáveis e laminados, tendo coloração branca a creme, com manchas roxas, alaranjadas, vermelhas ou pretas.

Em contato abrupto com os siltitos, a porção superior do perfil é composta por aproximadamente 2 metros de saprólito silto-argiloso de coloração roxa escura com porções avermelhadas, seguido por 4 metros de solo marrom escuro e avermelhado, que pode corresponder à base da Formação Irati.

7.1.2.3 Mina 2 (TU-03) – Mineração Cerâmica Irapuã

Está posicionada em alto topográfico, marcado pela proximidade do contato entre as formações Tatuí e Irati, na cota de 625 m. O entorno possui relevo com suave declividade e o empreendimento é circundado por duas drenagens, havendo nível d'água aflorante na porção leste (Figura 17).

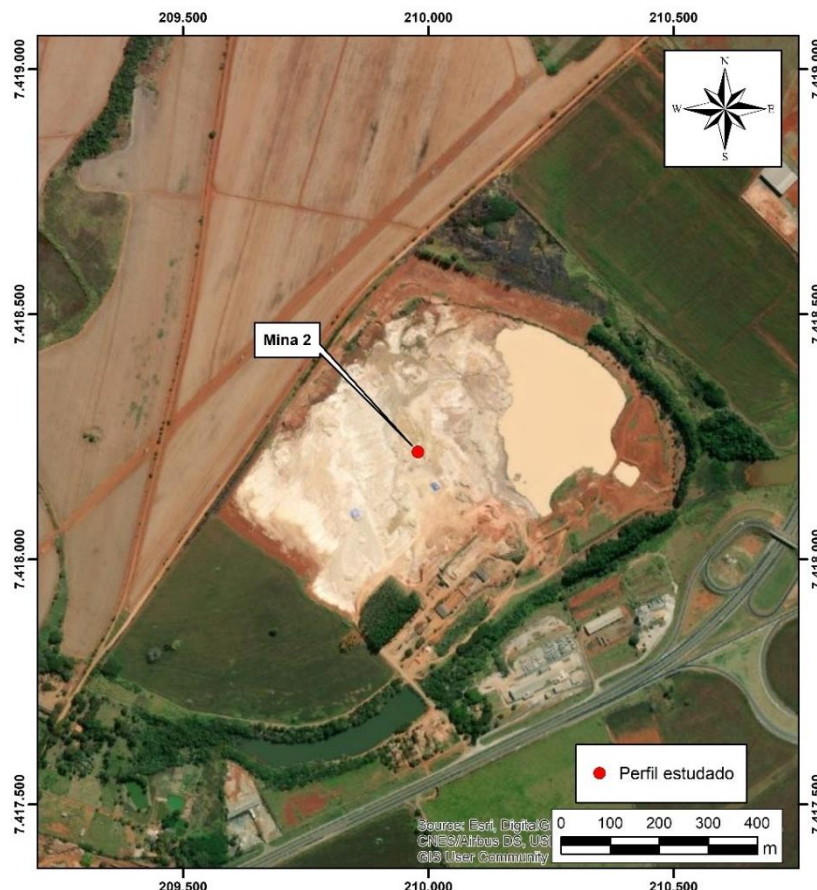


Figura 17 - Imagem de satélite com a localização da Mina 2 (TU-03), nas proximidades da área urbana de Tatuí. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).

A sequência basal é constituída por siltitos médios, laminados, de cor roxa com porções amareladas, gradando para siltitos verde claro a cinza esbranquiçados com raras faixas/porções roxas ou vermelhas e manchas alaranjadas mais comuns no topo, totalizando espessura aproximada de 4 metros (Figura 18).

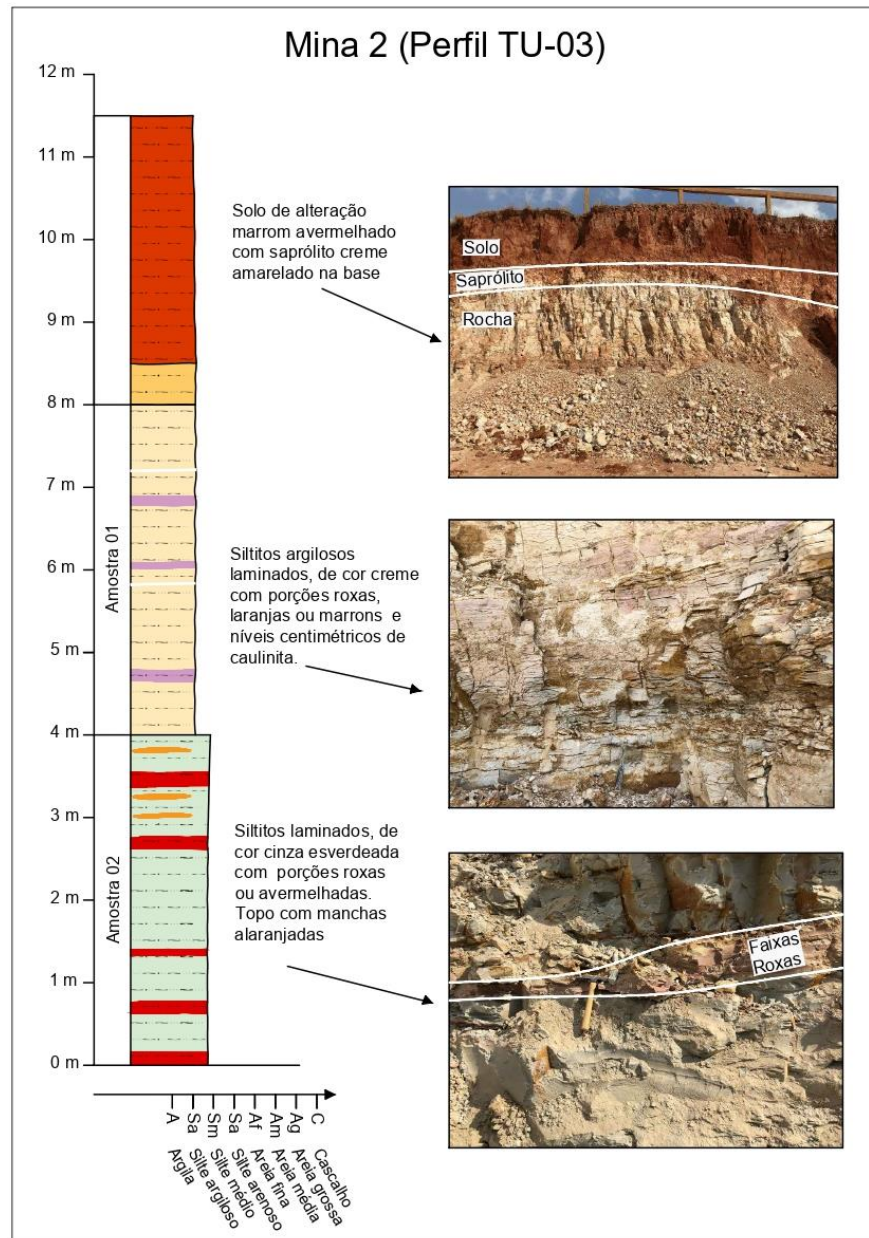


Figura 18 - Perfil geológico da Mina 2 (TU-03).

O pacote superior também tem espessura de 4 metros, e é composto siltitos argilosos mais friáveis, de coloração creme clara a branca, havendo manchas de tons pálidos de roxo, laranja e/ou marrom. Possui camadas laminadas e níveis centimétricos de caulinita. São observadas fraturas subverticais e porções com concentração de material ferruginoso marrom alaranjado, sugerindo lixiviação da

rocha mãe e gradação da coloração roxa para tonalidades mais claras. Observando o afloramento em planta ocorrem linhas nas direções NW-SE e NE-SW, paralelas às fraturas, e que exibem coloração branca em meio a cores roxas pálidas.

O topo do perfil é marcado por um horizonte de transição com saprólito de cor creme a marrom por até 0,5 metro, seguido solo marrom escuro e avermelhado com espessura média de 2,5 metros.

7.1.3 Formação Corumbataí

7.1.3.1 Mina 3 (PF-01 e PF-02) – Mina Fazendinha

A Mina Fazendinha encontra-se na planície de inundação do rio Moji-Guaçu, aproximadamente 4 km a noroeste da área urbana do município de Porto Ferreira. O relevo da mineração é plano, está posicionado na altitude de 540 m e, assim como na área de Leme, se estende por alguns quilômetros da margem do rio (Figura 19).

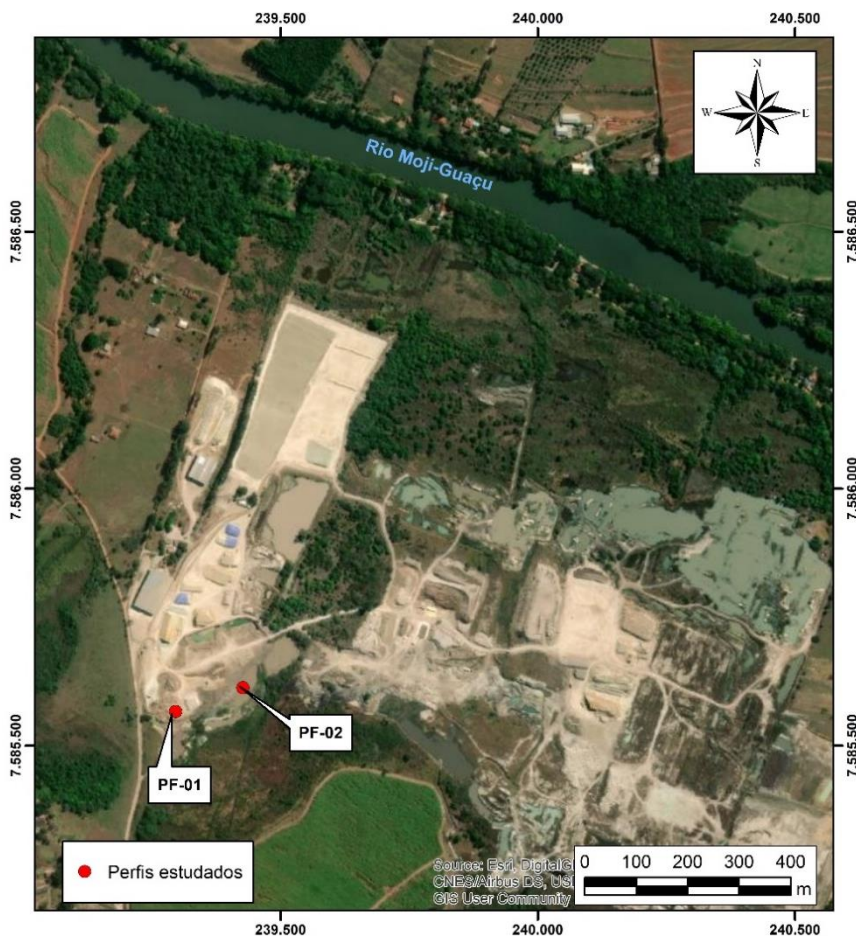


Figura 19 - Imagem de satélite com os perfis estudados na Mina 3. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).

Os perfis PF-01 e PF-02 estão separados por aproximadamente 150 metros. No perfil PF-01, a base é constituída por siltitos argilosos com laminação plano paralela e cor roxo escuro a marrom avermelhado, tendo espessura de pelo menos 2 metros. Esse pacote é sobreposto por siltitos mais friáveis, maciços a laminados, de coloração predominantemente cinza clara, com faixas mais amareladas e poucas manchas marrom avermelhadas, que totaliza espessura de 2 metros (Figura 20).

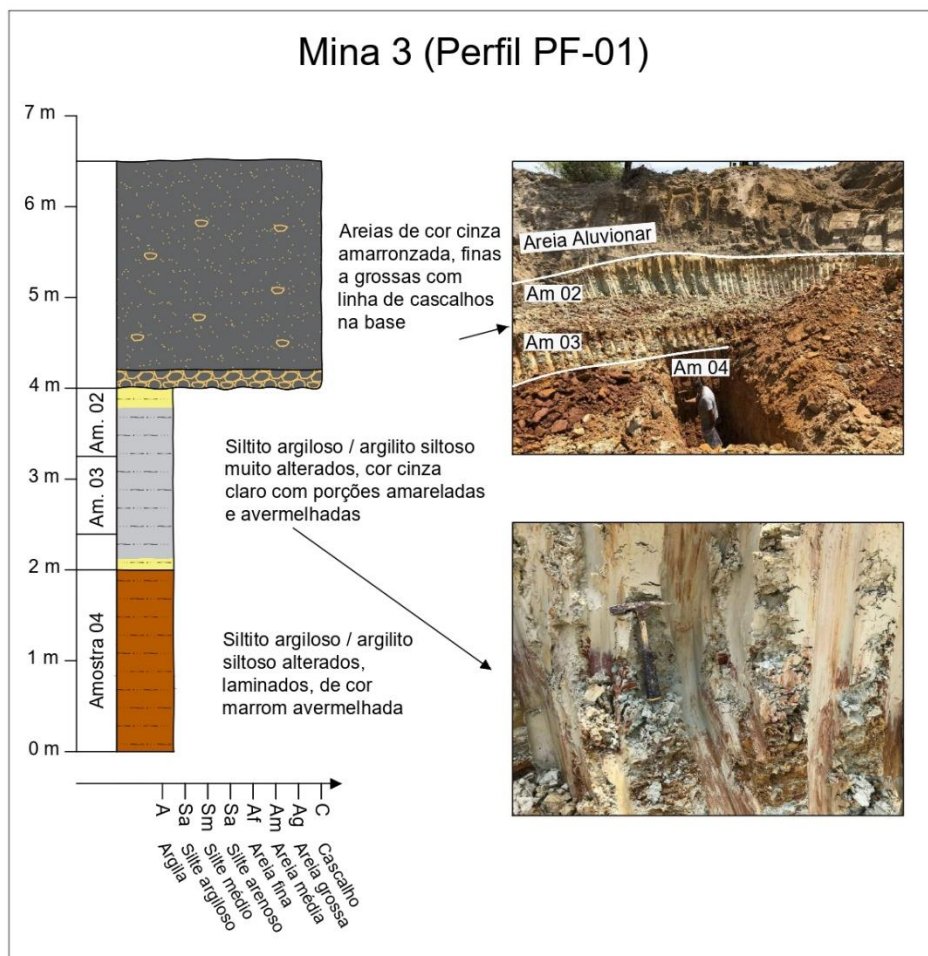


Figura 20 - Perfil geológico da Mina 3 (Perfil PF-01). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 02, 03 e 04.

No perfil PF-02, os siltitos são mais grossos e possuem nítida laminação plano paralela ou cruzada acanalada de baixo ângulo, com predomínio da cor amarela e tons mais acinzentados ou porções roxas. São litotipos mais frescos em comparação com o perfil PF-01, sendo mais fáceis de serem identificados planos de fraturas subverticais (Figura 21).

Em contato abrupto com os litotipos da Formação Corumbataí, são descritos, em ambos os perfis, depósitos aluvionares com espessura de 2 a 2,5 metros,

constituídos por areias finas a grossas de coloração amarronzada ou cinza clara, podendo conter clastos de quartzo e matriz argilosa. No perfil PF-02 também foi observado material turfoso preto sobreposto às areias e com alguns decímetros de espessura (Figura 21).

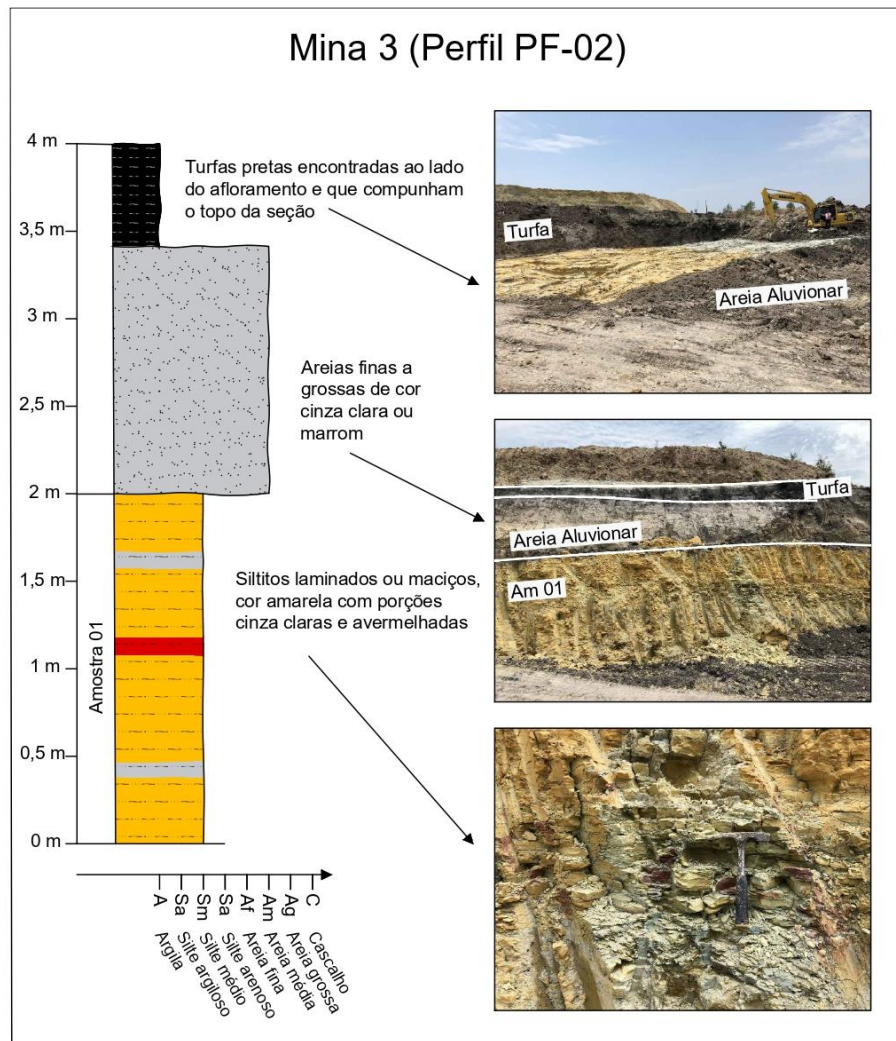


Figura 21 - Perfil geológico da Mina 3 (Perfil PF-02).

7.1.3.2 Minerações em Tambaú

As minas visitadas estão localizadas aproximadamente 6 km a nordeste da malha urbana do município de Tambaú. O relevo da área é marcado por encosta mais íngreme em comparação com a maioria dos perfis anteriores, entre as cotas de 700 e 720 m, e por drenagens afluentes do córrego do Moinho Velho, principal corpo d'água do entorno. As minas 4, 5, 7 e 8 (TA-02, TA-03, TA-05 e TA-06) estão posicionadas em meia encosta e próximas do contato entre as formações

Corumbataí e Pirambóia, que ocorre na porção noroeste, enquanto que a mina 6 (TA-04) está mais distante da unidade sobreposta (Figura 22).

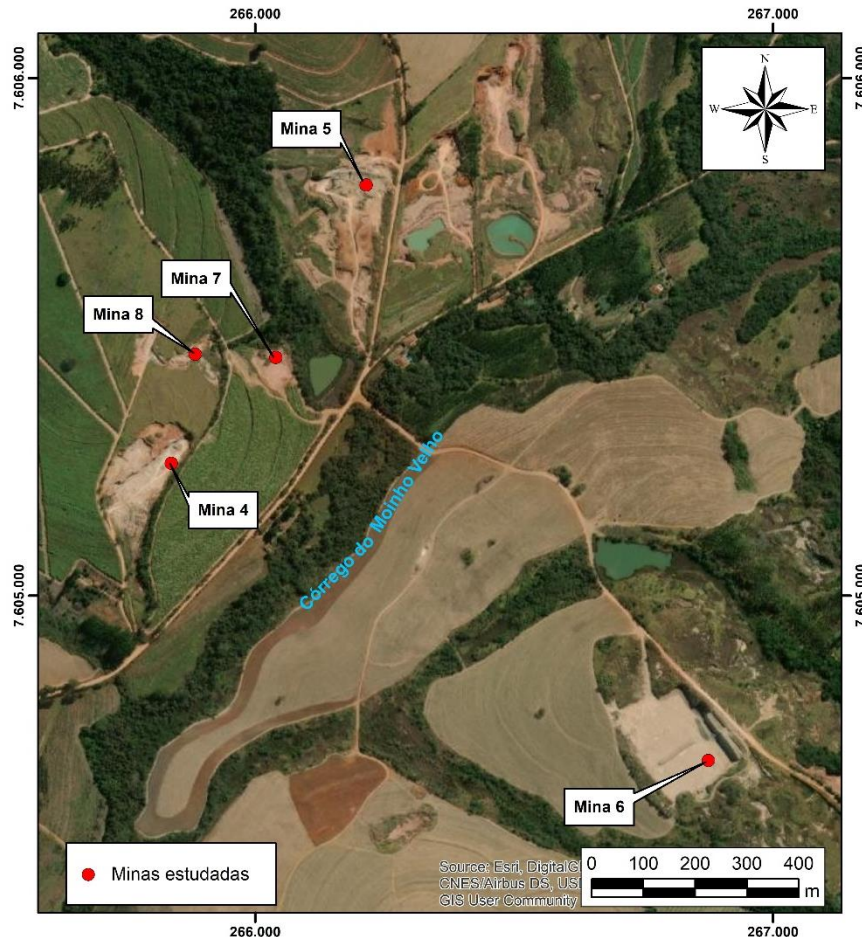


Figura 22 - Imagem de satélite com a localização das minas estudadas na região de Tambaú. (Fonte: Banco de dados do software ArcGIS 10.5).

7.1.3.2.1 Mina 4 (TA-02) – Mineração Áurea Luzia

A base do perfil é constituída por siltitos laminados, predominantemente avermelhados, gradando para um pacote de 2,5 metros de espessura, marcado pela intercalação de siltitos argilosos, friáveis e de coloração avermelhada com faixas mais grossas (siltitos médios a arenosos), de cor verde esbranquiçada, compondo camadas levemente inclinadas (Figura 23).

A porção superior é constituída por siltitos alterados com espessura média de 2 metros, de coloração branca ou creme e com porções marrom alaranjadas, sendo sobrepostos por 3 metros de solo marrom avermelhado e saprólito associado, exibindo redução progressiva das porções brancas ou creme alaranjadas em direção ao topo.

As estruturas sedimentares identificadas ao longo do perfil correspondem a fácies heterolíticas do tipo *flaser* e *wavy* nas porções inferiores e incipientes laminações plano paralelas ou cruzadas de baixo ângulo nas porções de topo.

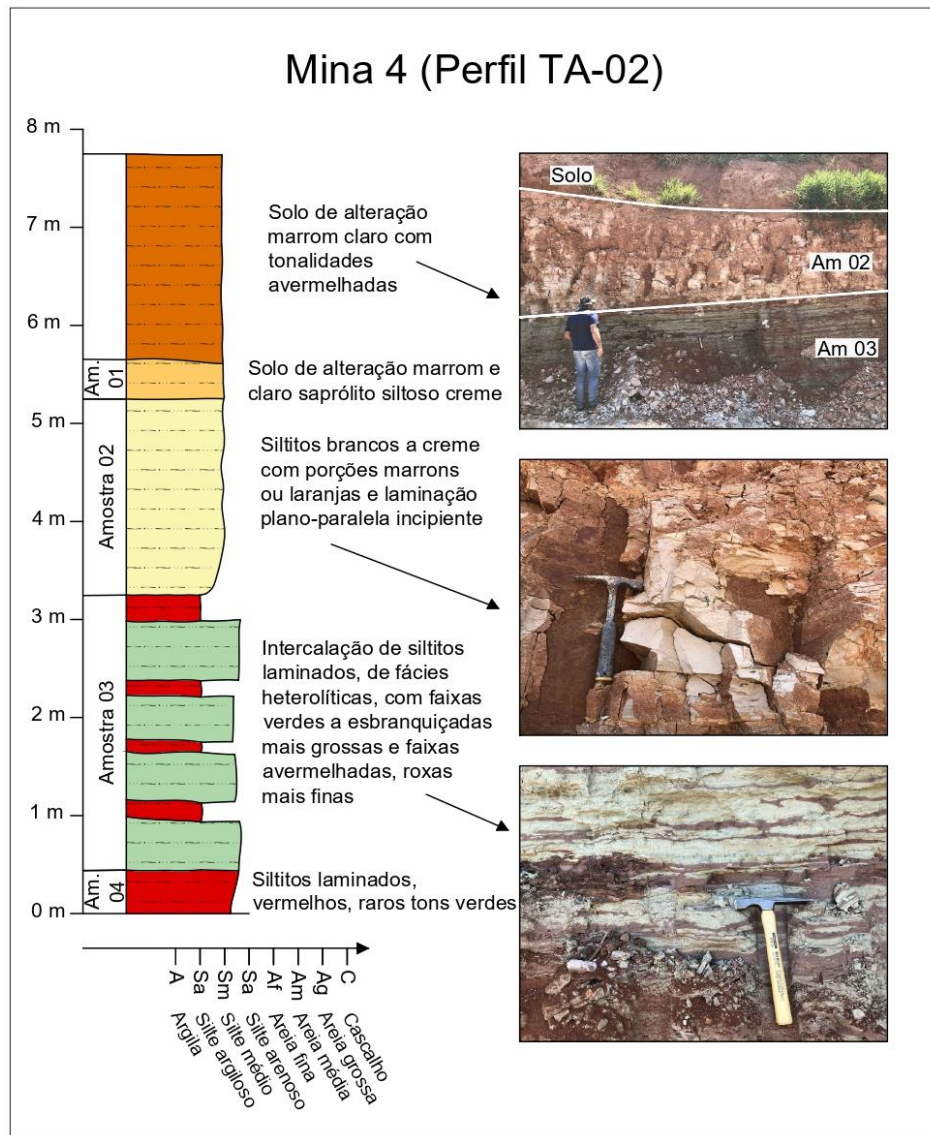


Figura 23 - Perfil geológico da Mina 4 (TA-02). A foto superior indica os locais de coleta das amostras 02 e 03.

7.1.3.2.2 Mina 5 (TA-03) – Mineração JD

O perfil levantado apresenta as mesmas camadas e espessuras muito similares às descritas na Mina 4 (perfil TA-02), diferenciando desta somente pela maior quantidade de tonalidades alaranjadas e avermelhadas nos siltitos. As camadas brancas/creme e as faixas laminadas de cores verde e roxa tem espessuras de, respectivamente, 2 e 4 metros, enquanto que o solo marrom avermelhado e saprólito ocorrem por apenas 1,5 metro (Figura 24).

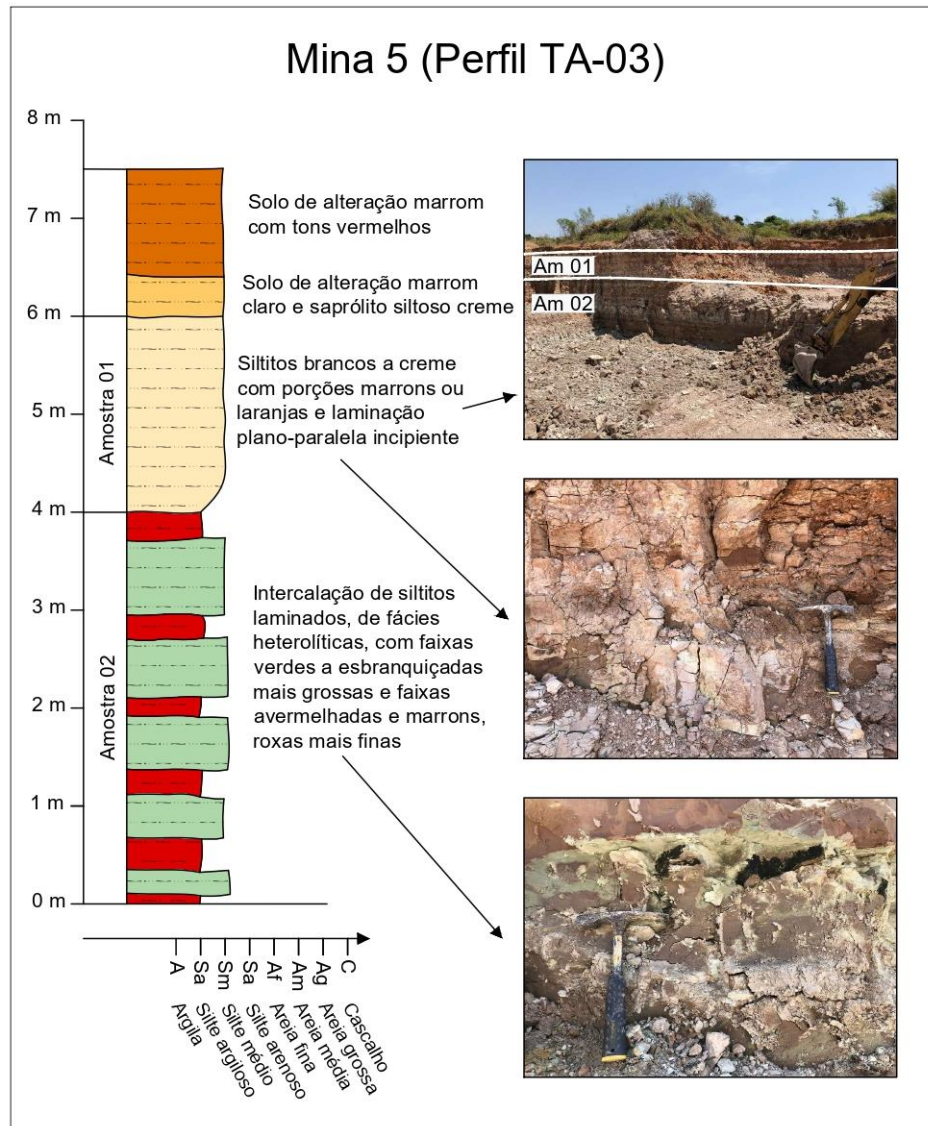


Figura 24 - Perfil geológico do Mina 5 (Perfil TA-03). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 01 e 02.

7.1.3.2.3 Mina 6 (TA-04) – Mineração Demactan

A base da mina é composta por siltitos creme com faixas roxas ou avermelhadas, exibindo acamamento lenticular, laminações plano paralelas ou estrutura maciça. Estão sobrepostos por um pacote de siltitos mais grossos, pastilhados, de coloração creme com tonalidades arroxeadas e esverdeadas, intercalados com faixas mais ricas em carbonatos e camadas de arenitos finos a médios de cor creme, frequentemente com estratificações cruzadas acanaladas ou plano paralelas. Essa porção totaliza aproximadamente 5 metros de espessura.

O perfil possui na porção superior arenitos siltosos, rosados, que exibem laminação plano-paralela e afloram por 2 metros, seguido por arenitos finos, maciços

ou estratificados, de cor avermelhada a roxa e que podem conter matriz calcítica, intercalados com arenitos grossos creme, totalizando 2,5 metros. No topo, ainda ocorre uma fina camada de solo de cor creme (Figura 25).

Diferentemente dos demais perfis levantados em Tambaú, os litotipos desse afloramento são mais frescos, a cobertura pedológica é pouco expressiva e apresenta menos feições de alteração intempérica em escala macroscópica.

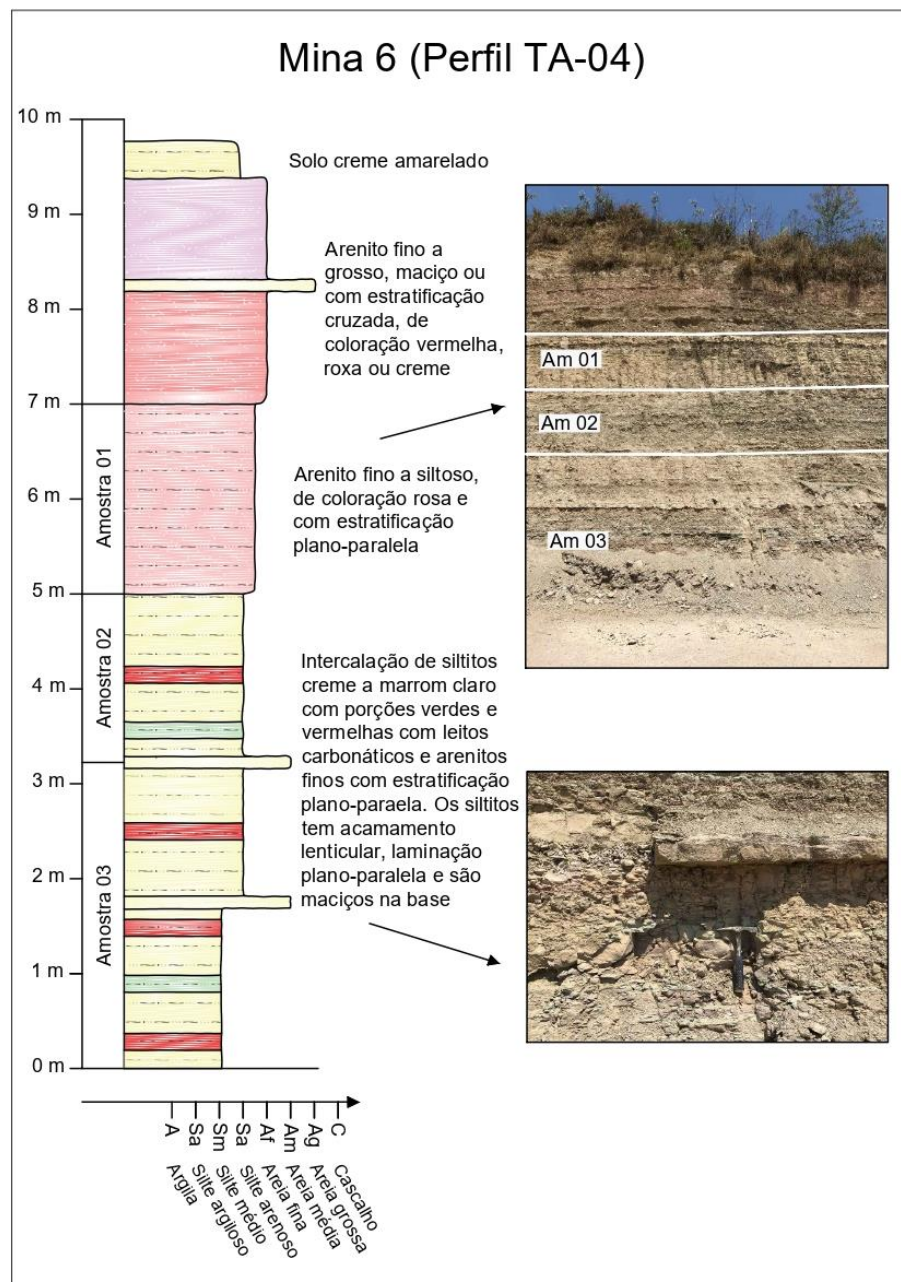


Figura 25 - Perfil geológico da Mina 6 (TA-04). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 01, 02 e 03.

7.1.3.2.4 Mina 7 (TA-05) – Mineração Cerâmica Cunha

O perfil é composto em sua base por um pacote com pelo menos 3,5 metros de siltitos arenosos, intercalados por faixas mais finas, de cor rosa a avermelhada havendo porções esverdeadas e brancas. Lateralmente ocorrem gradações para tonalidades mais escuras ou mais claras, além de concreções pretas de manganês paralelas ao acamamento. Nessa sequência, são observados acamamentos lenticulares ou tipo wavy, laminações plano paralelas, além de laminações cruzadas por ondas (Figura 26).

O topo é constituído por siltitos maciços, muito friáveis, de cor rosa claro e que possuem faixas mais arenosas brancas a creme, totalizando aproximadamente 0,5 metro de espessura. Em contato gradacional, ocorre solo marrom claro com frequentes porções de tonalidades mais claras ou esbranquiçadas e que possui espessura média de 1 metro.

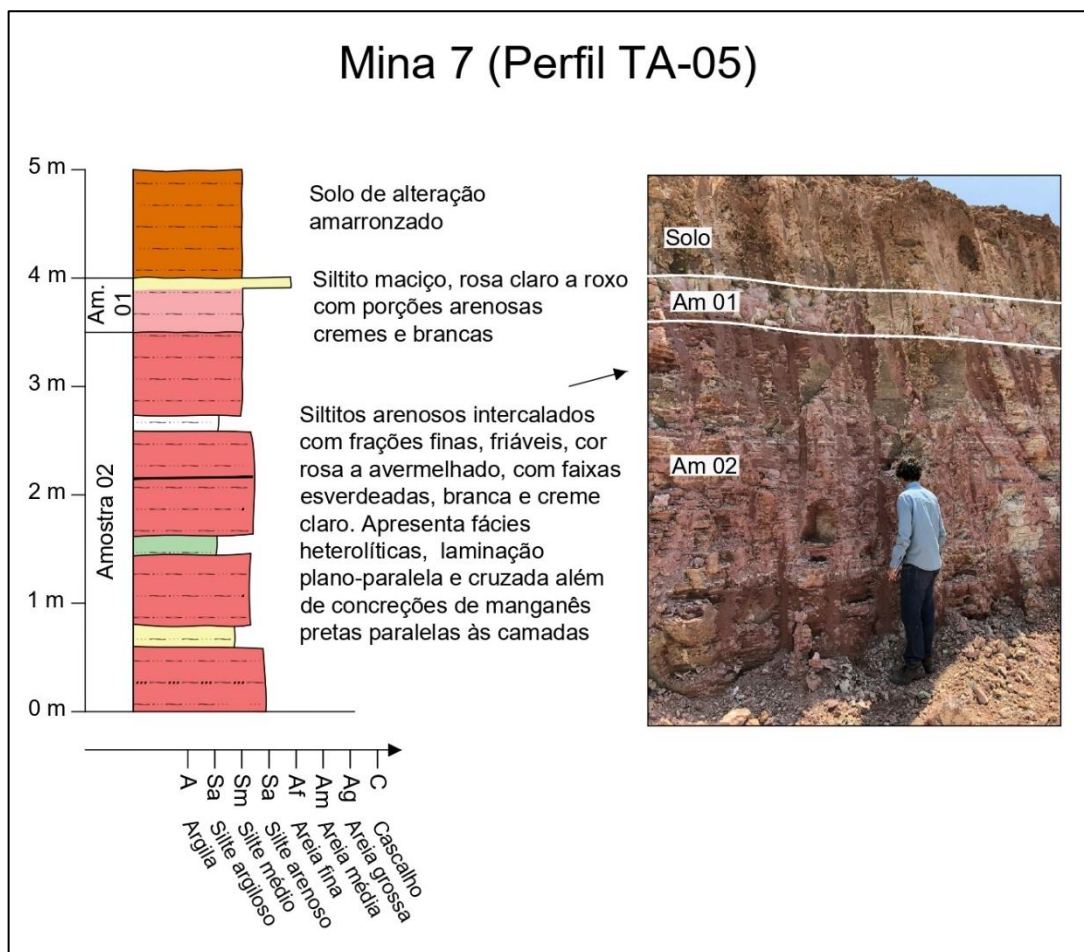


Figura 26 - Perfil geológico da Mina 7 (Perfil TA-05). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 01 e 02.

7.1.3.2.5 Mina 8 (TA-06) – Mineração Paulo Ricardo Morandin

Na base da frente de lavra, são descritos siltitos creme com partes roxas, maciços ou com incipientes laminações plano paralelas e que preenchem pelo menos 1,5 metro do perfil.

Acima, aflora um pacote de siltitos friáveis de tonalidade esverdeadas ou esbranquiçadas com faixas roxas e vermelhas, gradando para siltitos de cor rosada a roxa e tons creme a branco, com intercalações de porções arenosas com frações mais finas e raros leitos com manganês. Em toda essa porção, com espessura total de 2,5 metros, são nítidas as fácies heterolíticas com proporções variadas de granulometria mais grossa e fina, laminações plano-paralelas e laminações cruzadas por onda (Figura 27).

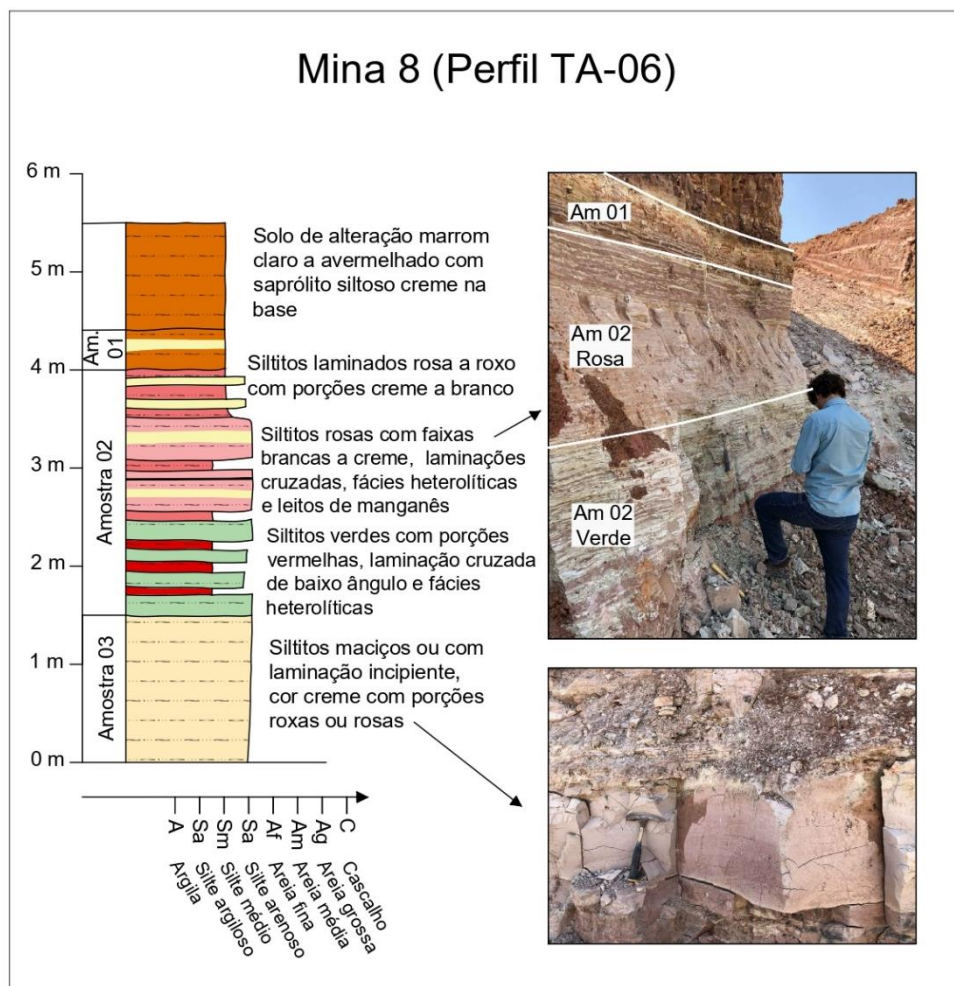


Figura 27 - Perfil geológico da Mina 8 (TA-06). A foto superior indica os horizontes de coleta das amostras 01 e 02.

Em contato gradacional, ocorre saprólito siltoso com ampla variação lateral de coloração, ocorrendo porções ora mais brancas a creme, ora de coloração amarronzada clara a escura. O topo do perfil é constituído por solo com colorações progressivamente mais escuras nas porções superiores, variando de marrom avermelhado claro a escuro, com espessura que varia entre 0,5 a 1,5 metro, aproximadamente.

7.2 Análise Mineralógica por Difração de Raio X

A análise mineralógica por Difração de Raios X possibilita a identificação dos minerais e o estudo através das características cristalográficas (determinação dos respectivos valores de espaçamento entre os planos reticulares das estruturas cristalinas).

As análises foram realizadas em três condições: amostra natural (total e fração argila), fração fina glicolada e queimada. A amostra glicolada (saturação de 48 horas no vapor de etilenoglicol) tem por objetivo caracterizar os argilominerais expansivos, uma vez que a entrada de etilenoglicol entre as camadas T-O-T leva ao afastamento das mesmas, resultando no aumento da distância interplanar, e que é registrada pelo deslocamento dos picos para a esquerda, de acordo com o aumento da distância interplanar. Na queima a aproximadamente 500°C, são observadas alterações ocorridas durante o aquecimento, como por exemplo a desidratação de montmorillonitas/esmectitas, levando à diminuição do espaçamento interplanar (saída da água entre as camadas T-O-T), e que é demonstrada pelo deslocamento do pico correspondente ao espaçamento interplanar para cerca de 10 Å. A Tabela 2 (THIRY, 1974) correlaciona os espaçamentos planares dos principais argilominerais nas três condições de análise (natural, glicolada e queimada).

Tabela 2 - Efeitos de tratamentos diagnósticos da primeira reflexão de baixo ângulo dos principais argilominerais, com espaçamentos aproximados (THIRY, 1974).

Mineral	Primeira reflexão (Å)			Desparecimento da reflexão	Observações
	Natural	Glicolada	Aquecida 350° C		
Caulinita	7	7	7	500 – 550 °C	Ocasionalmente uma banda de 12-14 Å fraca em 500-550 °C
Caulinita desordenada	7	7	7	500 – 550 °C	-
Halloisita 7Å	7	7	7	450 – 520 °C	-
Halloisita 10Å	10	11	7	450 – 520 °C	Desidrata comumente a 7 Å em 50-100 °C
Mica (illita)	10	10	10	800 – 1.000 °C	-
Montmorillonita Mg-Ca	15	17	10	700 – 1.000 °C	Transforma em enstatita a 700-800 °C
Montmorillonita Na	12,5	17	10	700 – 1.000 °C	Variedades octaédricas mais estáveis em 700-1.000 °C
Vermiculita Mg-Ca	14,5	14,5	10	700 – 1.000 °C	-
Vermiculita Na	12,5	14,5	10	700 – 1.000 °C	-

As amostras analisadas do Grupo Itararé (390, 394-A e 394-B) correspondem exclusivamente às camadas de argila superplástica de cor mais clara, o que impossibilitou verificar possíveis variações mineralógicas ao longo dos perfis de alteração como nas demais unidades. Os litotipos são constituídos essencialmente por quartzo, feldspatos (potássico e possível plagioclásio), bem como caulinita e illita exibindo picos menos pronunciados e eventual montmorillonita/esmectita nas amostras 394-A e 394-B (Figura 28). As diferenças de tamanho dos picos dos tectossilicatos e filossilicatos sugerem maior proporção do primeiro grupo de minerais em comparação com o segundo.

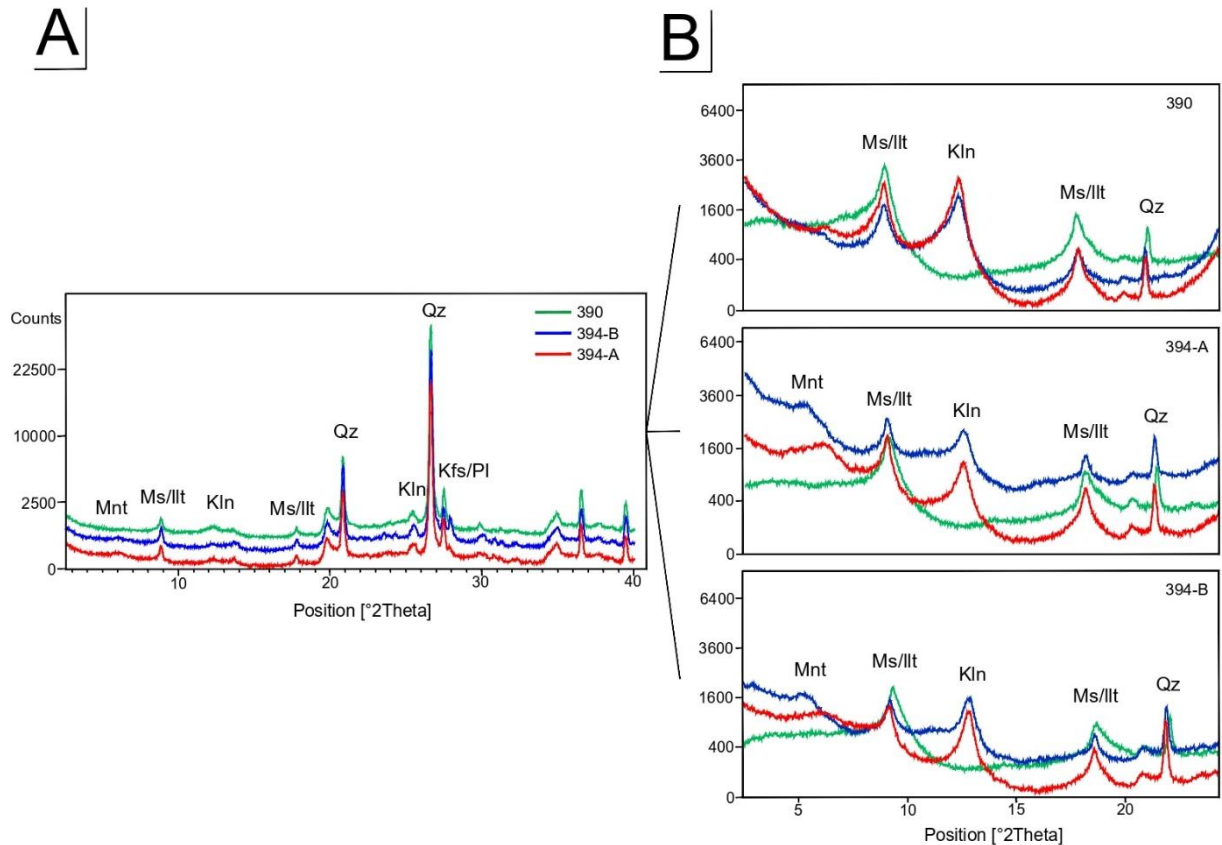


Figura 28 - (A): Difratomogramas das amostras do Grupo Itararé, sendo Ms/Ilt: mica (muscovita/illita); Mnt: montmorillonita/esmectita; Kln: caulinita; Qz: quartzo; Kfs: feldspato potássico. (B): Difratomogramas de cada uma das amostras, sendo fração fina (vermelho), glicolada (azul) e queimada (verde).

O topo da Formação Tatuí é marcado essencialmente pela presença de quartzo, caulinita e illita (Figura 29). Nas amostras dos afloramentos TU-01 e TU-02 também ocorrem picos suaves e abertos de montmorillonita/esmectita, e ocasionalmente presença de feldspatos (potássico e plagioclásio). No topo do perfil TU-03, a amostra total apresenta resultados diferentes da fração fina/glicolada quanto aos argilominerais identificados. Enquanto que no primeiro caso notam-se nítidos picos de illita e caulinita, na segunda situação a montmorillonita é mais presente, somada a um difuso pico de illita. Com base nas observações de campo e comparação com o perfil TU-02, localizado na mesma cidade e contexto geológico/geomorfológico mais similar, espera-se presença pouco significativa ou ausência de montmorillonita nessa porção do perfil.

A base da unidade tem mineralogia mais homogênea, marcada por picos ainda abertos, porém mais elevados de montmorillonita/esmectita e ocorrência de plagioclásio e feldspato potássico. Os picos desse argilomineral geralmente estão suavizados e mais abertos em comparação com os de illita e caulinita, exceto na

amostra TU-02/Am03, que exibe espaçamento de 15 Å bastante pronunciado. Ao mesmo tempo, as amostras basais exibem picos menores de caulinita e eventualmente de illita em comparação com as de topo.

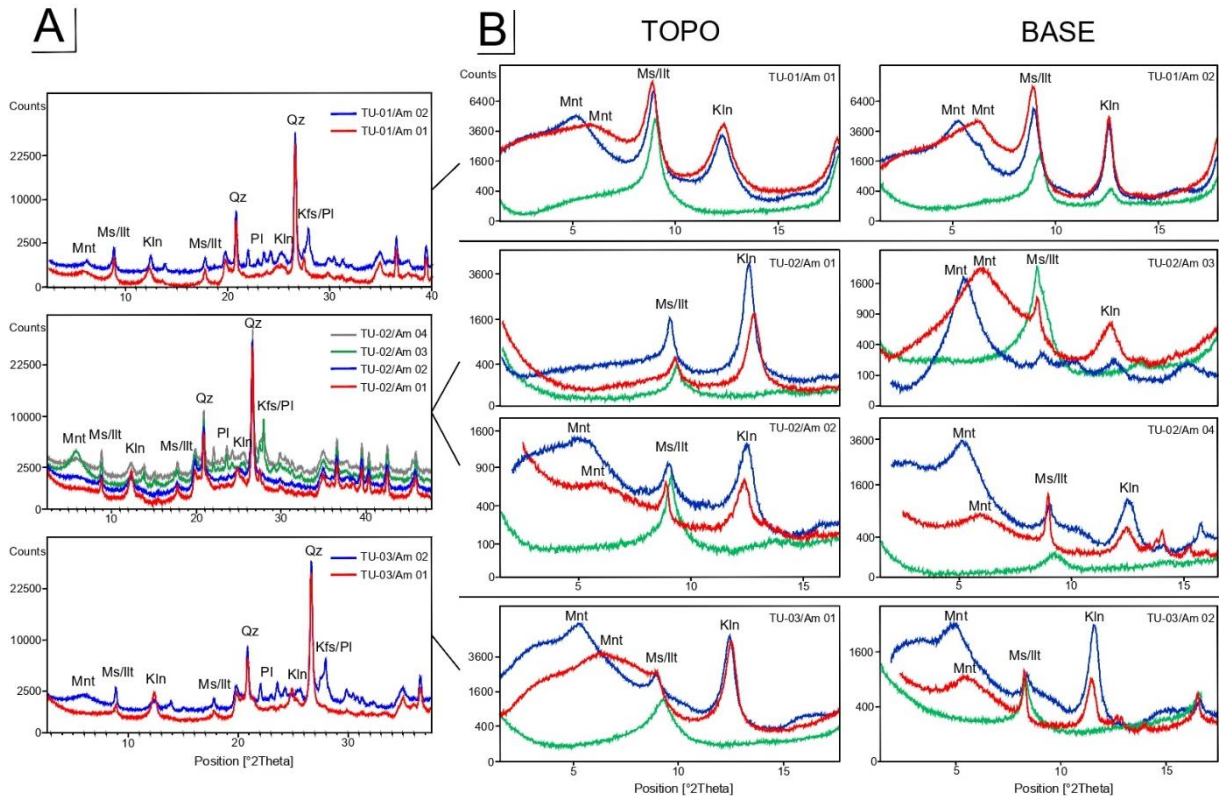


Figura 29 - (A): Difratogramas das amostras da Formação Tatuí, sendo Ms/Ilt: mica (muscovita/illita); Mnt: montmorillonita/esmectita; Kln: caulinita; Qz: quartzo; Kfs: feldspato potássico; Pl: plagioclásio. (B): Difratogramas de cada uma das amostras, sendo fração fina (vermelho), glicolada (azul) e queimada (verde).

Os perfis PF-01 e PF-02 da Formação Corumbataí apresentam mineralogia constituída essencialmente por quartzo, illita, caulinita e montmorillonita (Figura 30). Na amostra 03, ocorre o desaparecimento do pico do argilomineral expansivo e aumento do pico de caulinita, enquanto que na amostra 04 é verificado o reaparecimento de montmorillonita, redução do pico de caulinita e presença de hematita. Ocorre discreto pico de feldspato alcalino na amostra PF-02/Am 01.

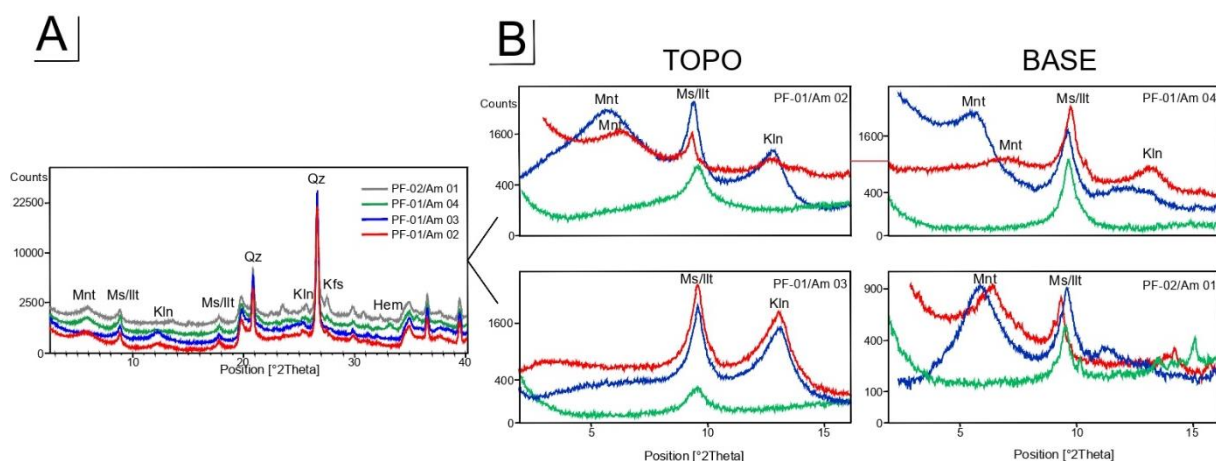


Figura 30 - (A): Difrátogramas das amostras da Formação Corumbataí em Porto Ferreira, Ms/ill: mica (muscovita/illita); Mnt: montmorillonita/esmectita; Klin: caulinita; Qz: quartzo; Kfs: feldspato potássico; Hem: hematita. (B): Difrátogramas de cada uma das amostras, sendo fração fina (vermelho), glicolada (azul) e queimada (verde).

Nas minas de Tambaú, a mineralogia observada nas porções superiores dos perfis de alteração TA-02, TA-03 e TA-06 é composta predominantemente por quartzo, illita, caulinita, hematita. Em direção à base, é verificado o aparecimento de feldspatos (potássico e/ou raro plagioclásio) e suavização dos picos de hematita. Mineralogia similar é observada no perfil TA-05, porém com picos abertos de montmorillonita e ausência de caulinita (Figura 31). Segundo Christofolletti *et al.* (2015), o perfil de alteração TA-04 apresenta litotipos mais frescos e uma distribuição mineralógica homogênea, predominando feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, carbonatos (calcita e dolomita) e apenas a illita como argilomineral.

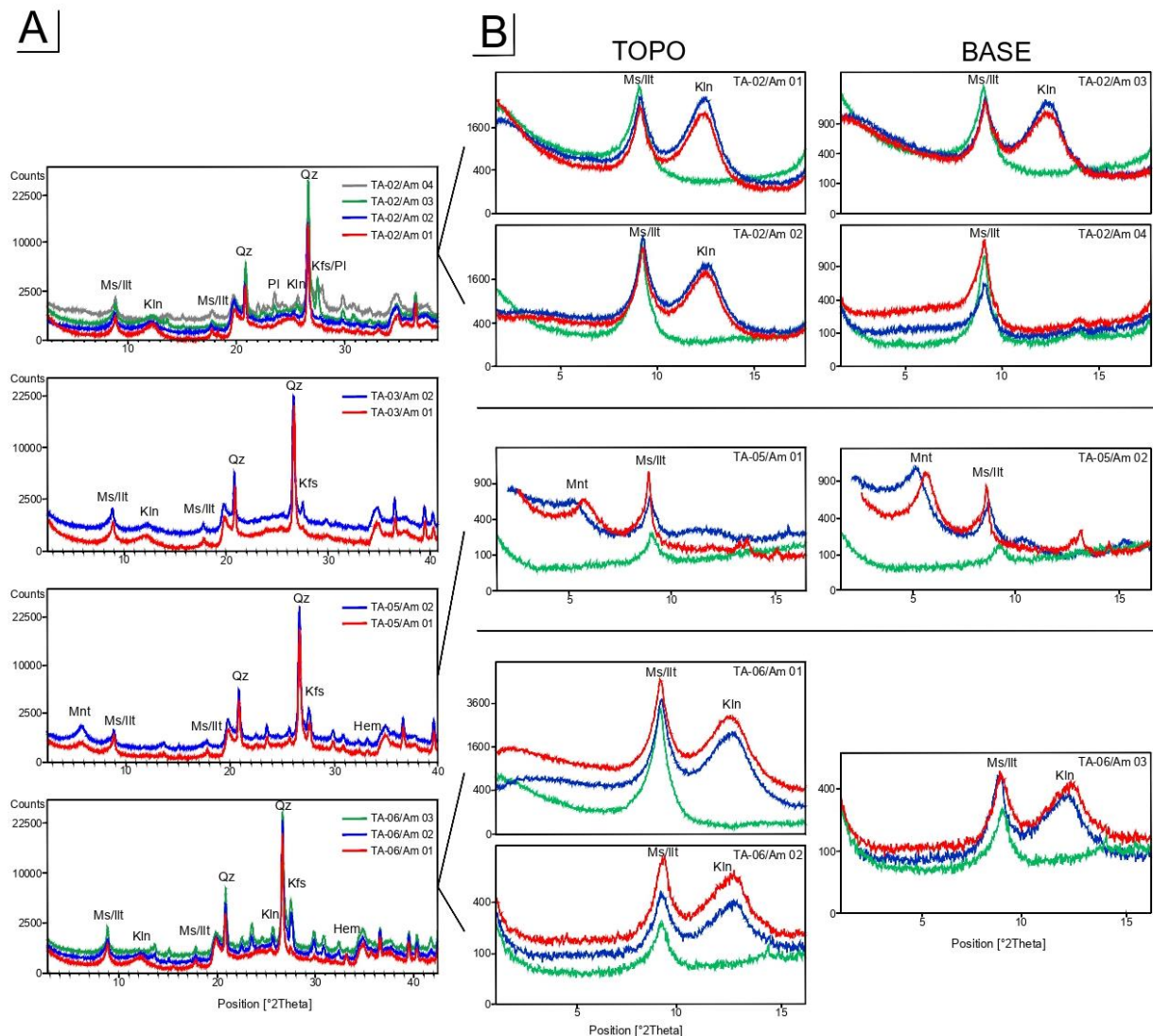


Figura 31 - (A): Difractogramas das amostras da Formação Corumbataí em Tambaú, Ms/ltt: mica (muscovita/illita); Mnt: montmorillonita/esmectita; Kln: caulinita; Qz: quartzo; Kfs: feldspato potássico; Pl: plagioclásio; Hem: hematita. (B): Difractogramas de cada uma das amostras, sendo fração fina (vermelho), glicolada (azul) e queimada (verde).

A partir do contexto geológico regional, observações de campo, bem como a interpretação dos dados de DRX, entende-se que a montmorillonita tenha origem pós deposicional. Considerando a elevação da temperatura e consequente circulação de fluidos hidrotermais nos litotipos encaixantes provocadas pelo magmatismo Serra Geral, qualquer montmorillonita primária tornaria instável, alterando para illitas e/ou cloritas, como pontuado por Zanardo *et al.* (2016). O resfriamento poderia gerar, além da montmorillonita, argilominerais interestratificados de baixa cristalinidade (desestruturados) e fases amorfas não identificáveis na DRX, mas que podem contribuir para a elevação do módulo de ruptura à flexão a seco. A circulação de fluidos também pode ter contribuído com a

mobilização de ferro, carbonatos e silicificação, que justificaria a diferença do grau de alteração e mineralogia do perfil TA-04 com os demais de Tambaú, sobretudo na ausência de caulinita, presença de carbonatos e abundância de feldspatos.

Uma possível origem para a montmorillonita estaria associada à alteração intempérica de feldspatos, filossilicatos instáveis e illitas em ambiente lixiviante, com disponibilidade de íons, mas de baixa drenagem da água subterrânea. Essa possibilidade, também colocada por Zanardo *et al.* (2016) para a Formação Corumbataí na região de Rio Claro, é reforçada pela baixa permeabilidade dos siltitos e pela ocorrência de leitos/faixas oxidadas que sugerem nível freático acima das camadas mais ricas em montmorillonita. Nos topos dos perfis estudados, o aumento da drenagem alterou a maior parte das montmorillonitas para caulinitas e destruiu quase todos os feldspatos.

Nesse contexto, também não se descarta prováveis variações composicionais dos leitos sedimentares, que podem justificar a presença de camadas ricas em feldspato mais ao topo, a exemplo do perfil TU-02, ou os leitos ricos em carbonatos observados no perfil TA-04.

A hematita identificada nos topos dos perfis está associada à precipitação do ferro em ambiente oxidante. No perfil PF-01 e no Grupo Itararé, o aparecimento deste mineral somente na base do perfil, ora identificado em DRX, ora pela coloração avermelhada das rochas, sugere a lixiviação do ferro das amostras de topo, contribuindo para a gênese do minério de cor mais clara.

A Figura 32 sintetiza a mineralogia obtida pela DRX nos perfis de alteração estudados.

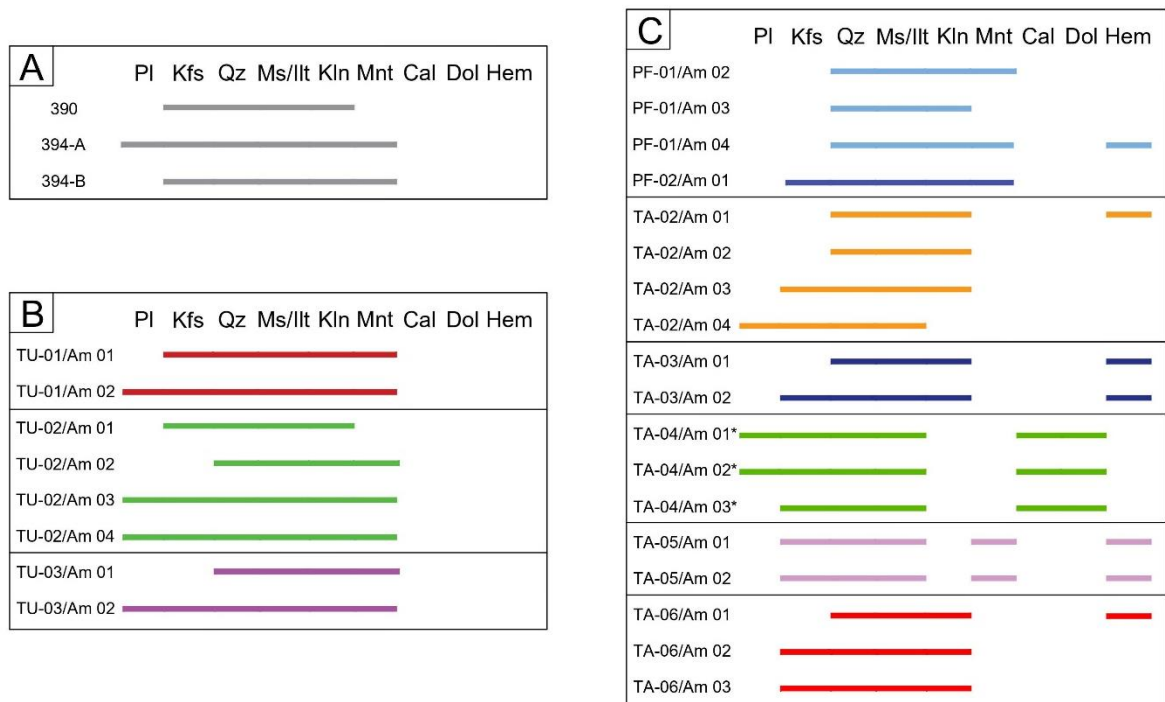


Figura 32 – Síntese da mineralogia identificada na DRX. (A): Amostras do Grupo Itararé; (B): Amostras da Formação Tatuí; (C): Amostras da Formação Corumbataí. PI: plagioclásio. Kfs: feldspato potássico. Qz: quartzo. Ms/Ilt: mica (muscovita/illita). Kln: caulinita. Mnt: montmorillonita/esmectita. Cal: Calcita. Dol: Dolomita. Hem: Hematita. (*): Extraído de Christofolletti *et al.* (2015).

7.3 Petrografia

A caracterização petrográfica em escala microscópica envolveu a descrição das 3 amostras coletadas no perfil PF-01 (Mina 3) e de 4 seções delgadas do perfil TU-02 (Mina 1), que correspondem às principais minerações de argila superplástica do estado de São Paulo.

7.3.1 Perfil TU-02 (Mina 1)

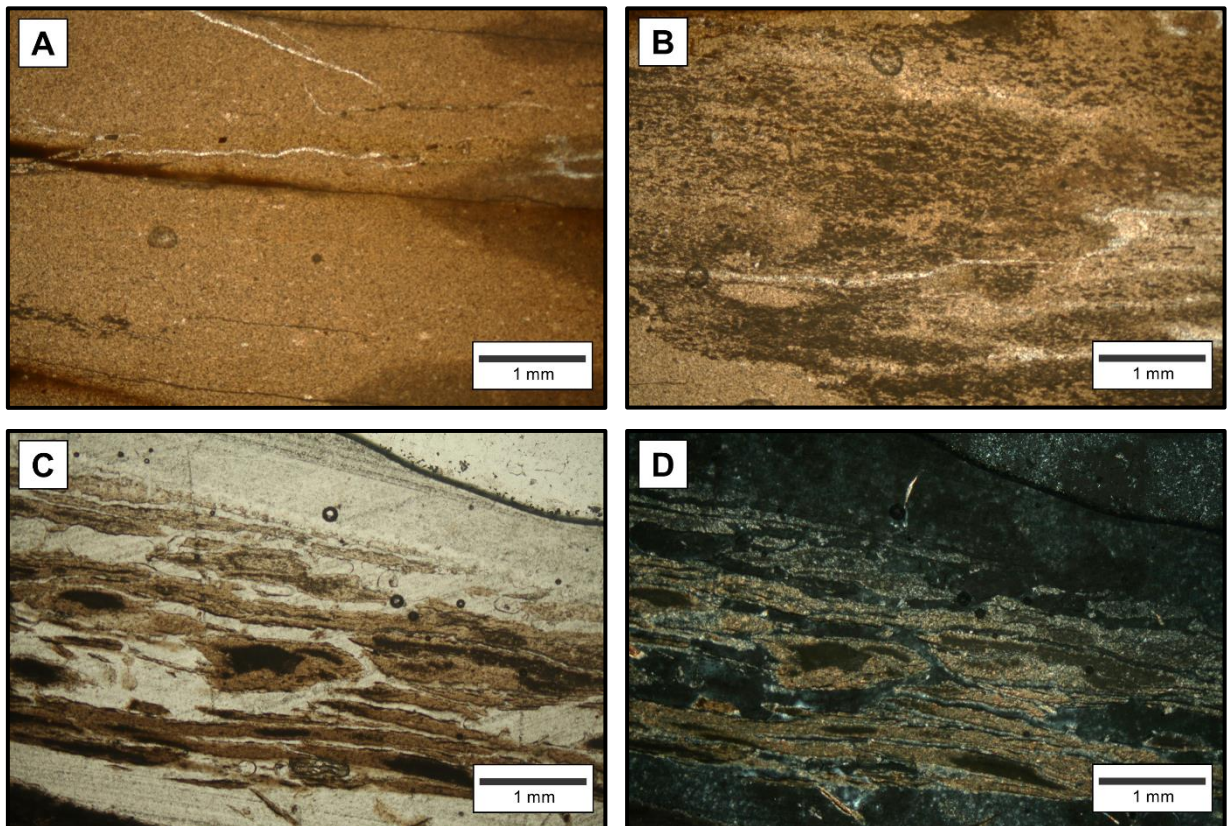
As seções de topo são caracterizadas pela textura lutítica e por um bandamento submilimétrico composto pela intercalação de faixas mais siltosas de cor creme a marrom claro (cinzas em amostra de mão) e porções/lentes predominantemente argilosas de coloração marrom escuro (brancas em amostra de mão). Nessas porções, a orientação dos agregados minerais, principalmente de filossilicatos, é nitidamente paralela ao bandamento composicional (Figura 33 A e B). Na amostra 02, a presença de filites entrelaçados e paralelos ao bandamento promove a lenticularização dessas faixas (Figura 33 C e D). A maioria dos filites

encontra-se preenchida por resina de impregnação, sugerindo se tratar de material pouco consolidado removido durante a confecção da seção.

A fração silte dessas amostras é constituída por agregados de filossilicatos, quartzos granulares e raros grãos de feldspatos, imersos em matriz mais fina. As faixas mais ricas em argila são descontínuas e comumente estão intercaladas com porções de cor laranja escuro constituídas por oxi-hidróxido de ferro.

As amostras basais tem laminação incipiente, textura predominantemente lutítica e são caracterizadas por grãos mais grossos (fração silte a areia fina) imersos em matriz silto-argilosa. Frequentemente são observados filetes submilimétricos, geralmente paralelos à laminação e que estão conectados, favorecendo a circulação de fluidos (Figura 33 E e F).

São compostas por filossilicatos de hábito placóide, como muscovita, grãos subarredondados de quartzo, além de feldspatos (potássico e plagioclásio) de hábito granular, muitas vezes manchados, indicando passagem para argilominerais (Figura 33 G, H, I e J).



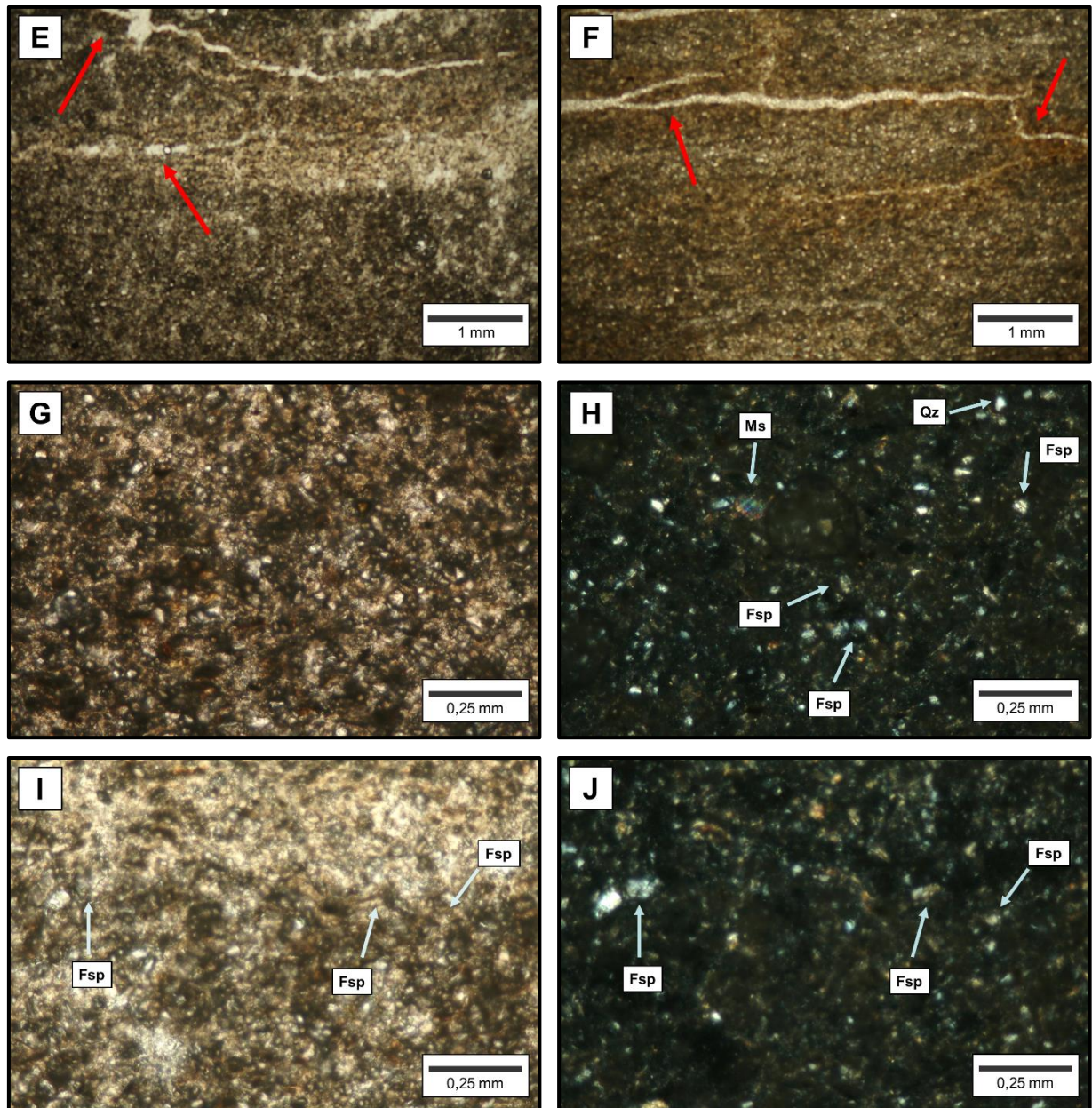


Figura 33 – (A): Laminação plano-paralela, com agregados minerais orientados paralelamente na amostra TU-02/Am 01. (B): Faixas mais argilosas, possivelmente caulínicas, na amostra TU-02/Am 01. (C): Filetes preenchidos por resina, promovendo lenticularização da amostra TU-02/Am 02. (D): Filetes preenchidos por resina na amostra TU-02/Am 02 com nicóis cruzados. As faixas são compostas essencialmente por agregados filossilicatos. (E e F): Amostras TU-02/Am 03 e TU-02/Am-04 exibindo grãos mais grossos, laminação menos marcante e filetes preenchidos por resina indicados pelas setas vermelhas. (G): Grãos de quartzo (Qz), feldspatos (Fsp) e muscovita (Ms) imersos em matriz argilosa na amostra TU-02/Am 03. (H): Grãos de quartzo (Qz), feldspatos (Fsp) e muscovita (Ms) indicados por setas na amostra TU-02/Am 03 com nicóis cruzados. (I): Feldspatos (Fsp) manchados indicando neoformação de argilominerais na amostra TU-02/Am 04. (J): Feldspatos (Fsp) manchados indicando neoformação de argilominerais na amostra TU-02/Am 04 com nicóis cruzados.

Em direção à base, nota-se diminuição das porções esbranquiçadas que indicam concentrações de composição caulínica, sugerindo maior preservação de minerais primários como feldspatos e alguns filossilicatos, além de notável redução das proporções de óxidos/hidróxidos de ferro, representadas por colorações mais claras e menos manchadas dos litotipos. Nesse contexto, variações nas condições

físico-químicas do meio, como oscilações de nível freático, além de mudanças de granulometria, controlariam a precipitação do ferro lixiviado. Os filetes observados nas seções delgadas e o fraturamento observado na frente de lavra seriam caminhos preferenciais para percolação/circulação de água.

7.3.2 Perfil PF-01 (Mina 3)

As seções delgadas apresentam estrutura com bandamento/laminação nítido a incipiente, composto por faixas de cor creme (cinza claro em amostra de mão) intercaladas com faixas/lentes de espessura milimétrica a submilimétrica de cor marrom escuro (brancas ou roxas em amostra de mão). No topo do perfil, também ocorrem faixas/películas amareladas ou alaranjadas que indicam ocorrência de oxi-hidróxido de ferro, geralmente próximas das porções mais claras (Figura 34 A).

A textura predominante é lutítica, sendo as faixas mais claras compostas por fração silte a argila, enquanto que as porções de cor marrom escuro são constituídas em maior parte por fração argila (Figura 34 B e C). A fração silte é composta essencialmente por grãos de quartzo subarredondados e filossilicatos de hábito placóide paralelos à laminação, envoltos por uma matriz argilosa, eventualmente com hidróxido de ferro. Ao verificar nas amostras de mão a fração argila identificada nas seções delgadas, verifica-se aumento das tonalidades cinza clara a branca em direção ao topo do perfil, sugerindo haver maior proporção de caulinita em comparação com a base, que possui coloração roxa a avermelhada e maior quantidade de minerais opacos de hábito granular (Figura 34 D).

Também é frequente a ocorrência de filetes submilimétricos paralelos, perpendiculares ou oblíquos ao bandamento, sugerindo se tratar de brechas hidráulicas que possivelmente tem origem associada à circulação de fluidos do magmatismo Serra Geral (Figura 34 B e C). Encontram-se preenchidos por resina, indicando a presença de material pouco consolidado removido na confecção da seção delgada.

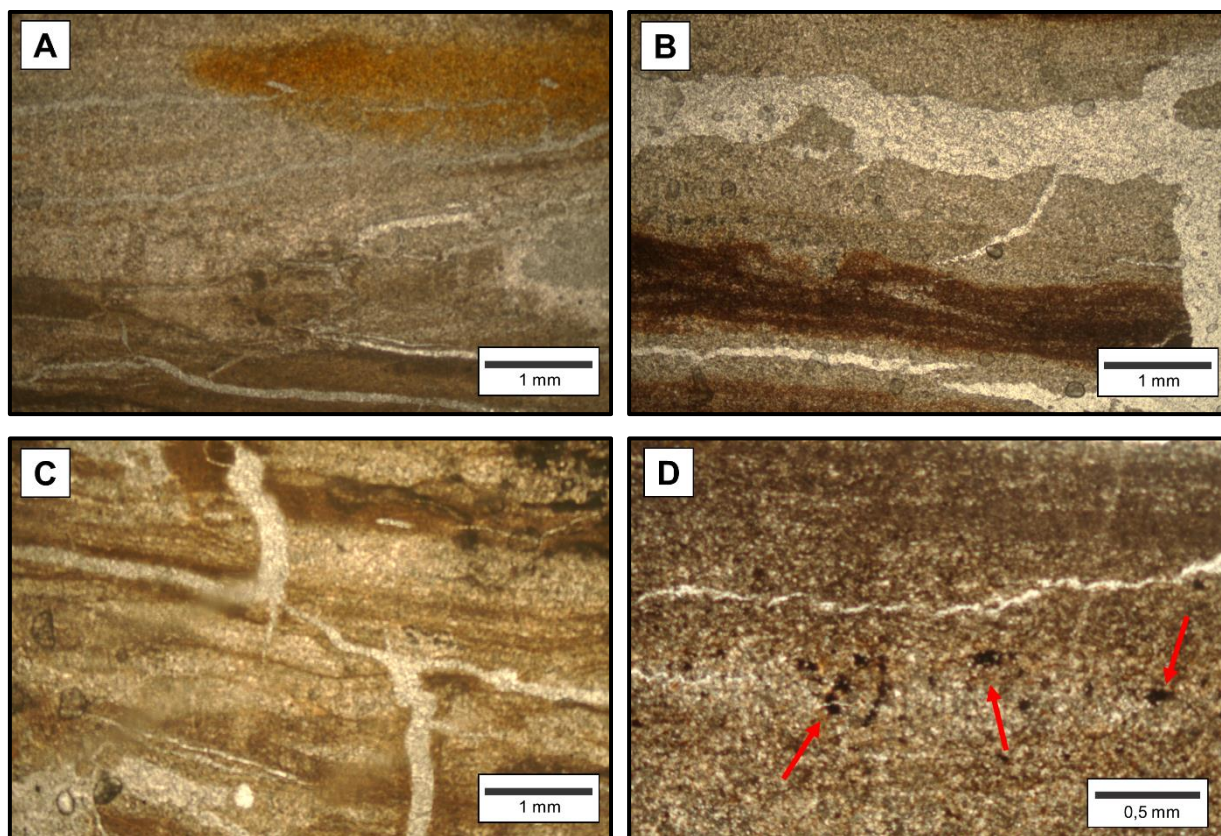


Figura 34 – (A): Bandamento de faixas mais finas e escuras com faixas mais grossas creme claro. Ocorrência de hidróxido de ferro indicado por mancha alaranjada no topo do perfil, amostra PF-01/Am 02. (B): Intercalação de faixas mais argilosas, avermelhadas e mais ricas em ferro com faixas mais siltosas de cor creme claro na amostra PF-01/Am 03. Também ocorrem filetes paralelos a perpendiculares ao bandamento, favorecendo a formação de brechas hidráulicas. (C): Presença de filetes paralelos a perpendiculares ao bandamento na amostra PF-01/Am 02, facilitando a circulação de fluidos. (D): Maior ocorrência de minerais opacos indicados pela seta vermelha na amostra basal PF-01/Am 04.

À medida que se avança para a base do perfil, é verificado o aumento na proporção de faixas mais escuras, sobretudo as de cor roxa em amostra de mão, indicando maior quantidade de óxido de ferro e/ou minerais ferrosos. As lentes amareladas/alaranjadas de oxi-hidróxido de ferro tem comportamento inverso, perfazendo maior proporção em direção ao topo.

Essas observações indicam lixiviação parcial do ferro no topo do perfil, sobretudo nas faixas mais siltosas, onde a permeabilidade é maior. Esse processo foi acelerado pela presença dos filetes associados às brechas hidráulicas e por descontinuidades em escala macroscópica, contribuindo para a percolação e circulação de água subterrânea no perfil de alteração. Nas bandas argilosas, a menor permeabilidade dificulta a lixiviação de elementos, mas favorece transformações de argilominerais, como a gênese de montmorillonita a partir da illita.

7.4 Litogeoquímica

Análises litogeoquímicas são fundamentais na caracterização das matérias-primas cerâmicas pois fornecem a proporção dos elementos maiores, uma das principais condicionantes das propriedades físicas do produto final. Além disso, também são utilizadas na determinação do grau de intemperismo das rochas ao longo dos perfis de alteração e nos estudos de proveniência sedimentar.

Os resultados de elementos maiores e traços obtidos nas amostras do Grupo Itararé e das formações Tatuí e Corumbataí são apresentados nas Tabelas 3 e 4. As amostras TU-02/Am 02, TU-02/Am 03 (Mina 1), TU-03/Am 02 (Mina 2), PF-01/Am 02 e PF-01/Am 03 (Mina 3) correspondem aos materiais comercializados como argilas superplásticas.

Tabela 3 - Elementos maiores, expressos em porcentagem, e elementos traços, apresentados em ppm, das amostras do Grupo Itararé e Formação Tatuí

Amostras	Grupo Itararé			Formação Tatuí							
	LE-01	LE-02		TU-01		TU-02				TU-03	
	390	394-A	394-B	Am 01	Am 02	Am 01	Am 02	Am 03	Am 04	Am 01	Am 02
SiO ₂	74,3	74,5	75,2	70,6	72,9	69,5	72,9	69,8	71,4	70,9	69,1
Al ₂ O ₃	12,3	12,9	13,1	15,5	13,9	15,6	14,4	14,1	15,0	15,8	15,5
Fe ₂ O ₃	2,86	2,16	2,07	3,11	3,53	5,22	2,71	2,25	1,95	5,01	2,40
TiO ₂	0,66	0,7	0,75	0,89	0,82	0,75	0,55	0,72	0,76	0,59	0,71
CaO	0,27	0,31	0,11	0,20	0,30	0,16	0,06	0,23	0,25	0,03	0,22
MgO	0,74	0,73	0,66	1,10	1,52	1,05	1,27	1,59	0,96	0,93	1,24
K ₂ O	2,79	2,94	2,1	2,86	2,78	2,02	1,57	2,94	3,16	1,55	2,97
Na ₂ O	0,2	0,54	<0,1	0,15	1,75	0,11	0,10	1,09	1,70	0,12	0,69
P ₂ O ₅	<0,1	<0,1	<0,1	0,05	0,10	0,22	0,08	0,10	0,07	0,10	0,07
MnO	<0,1	<0,1	<0,1	0,03	0,01	0,02	0,01	<0,01	0,02	0,02	<0,01
LOI	4,97	4,37	5,1	4,53	2,76	6,22	5,80	5,29	3,99	6,43	5,22
SOMA	99,09	99,15	99,09	99,02	100,37	100,87	99,45	98,11	99,26	101,48	98,12
La	-	-	-	52,0	53,2	30,5	7,6	20,0	20,7	20,3	54,2
Sc	-	-	-	1,30	1,60	4,20	4,30	2,30	1,90	6,80	2,40
Th	-	-	-	12,7	11,6	6,80	3,20	10,2	9,30	4,40	11,1

(-): Não analisado. (<): Valores abaixo dos limites de detecção.

Tabela 4 - Elementos maiores, expressos em porcentagem, e elementos traços apresentados em ppm das amostras da Formação Corumbataí

Amostras	PF-01			PF-02	TA-02				TA-03	
	Am 02	Am 03	Am 04	Am 01	Am 01	Am 02	Am 03	Am 04	Am 01	Am 02
SiO ₂	69,7	67,5	64,5	68,5	61,1	60,9	67,0	66,5	64,8	65,9
Al ₂ O ₃	14,9	16,6	15,5	14,0	20,1	18,8	16,3	13,2	16,6	15,0
Fe ₂ O ₃	2,85	2,85	6,39	4,62	6,28	5,33	3,78	4,97	4,54	4,75
TiO ₂	0,61	0,62	0,57	0,53	0,79	0,66	0,56	0,53	0,51	0,55
CaO	0,47	0,24	0,47	0,36	0,02	0,03	0,05	0,45	0,03	0,05
MgO	1,98	1,67	2,45	1,77	2,11	2,75	1,90	3,01	2,53	2,71
K ₂ O	2,65	2,15	2,59	3,82	2,91	3,56	3,72	6,10	3,16	3,79
Na ₂ O	<0,10	<0,10	0,10	0,11	<0,10	<0,10	<0,10	0,96	<0,10	0,11
P ₂ O ₅	0,13	0,04	0,09	0,14	0,07	0,07	0,04	0,13	0,13	0,03
MnO	0,01	<0,01	0,07	0,02	0,06	0,10	0,05	0,17	0,05	0,03
LOI	5,84	6,41	6,61	4,48	7,59	7,06	5,64	3,49	6,42	5,51
SOMA	99,14	98,08	99,34	98,35	101,03	99,26	99,04	99,51	98,77	98,43
La	-	-	-	-	27,4	31,7	34,5	65,9	51,5	39,6
Sc	-	-	-	-	5,90	5,00	3,50	7,30	4,40	4,60
Th	-	-	-	-	10,4	7,60	8,50	6,20	11,1	6,90
Amostras			TA-04*			TA-05		TA-06		
			Am 01	Am 02	Am 03	Am 01	Am 02	Am 01	Am 02	Am 03
SiO ₂			65,1	51,73	65,61	68,1	70,0	64,3	69,3	70,8
Al ₂ O ₃			11,28	9,83	12,47	14,4	13,1	16,7	14,6	14,1
Fe ₂ O ₃			3,22	3,19	3,21	3,40	3,27	5,63	3,74	3,28
TiO ₂			0,48	0,37	0,46	0,49	0,47	0,69	0,53	0,42
CaO			2,32	8,81	1,50	0,22	0,48	0,03	0,05	0,09
MgO			2,24	4,84	2,05	2,51	2,49	2,50	1,91	1,79
K ₂ O			5,69	5,58	0,91	3,57	3,56	3,19	4,70	6,39
Na ₂ O			1,01	0,69	0,19	0,11	0,12	<0,10	0,14	0,23
P ₂ O ₅			0,22	0,09	7,20	0,09	0,04	0,13	0,02	0,05
MnO			0,03	0,10	0,03	0,03	0,05	0,14	0,06	0,03
LOI			3,84	12,02	3,18	5,42	4,94	6,31	4,75	3,62
SOMA			96,59	97,06	95,18	98,34	98,52	99,62	99,80	100,80
La			-	-	-	27,7	36,1	37,8	34,7	20,8
Sc			-	-	-	2,70	2,90	4,80	3,50	2,80
Th			-	-	-	5,30	8,30	10,5	7,00	5,00

(-): Não analisado. (*): Compilado de Christofletti *et al.* (2015). (<): Valores abaixo dos limites de detecção.

No Grupo Itararé, os teores de SiO₂ e Al₂O₃ das camadas claras não apresentam variações consideráveis e estão no intervalo de, respectivamente,

74,3% a 75,2% e 12,3% a 13,1%. Na Formação Tatuí, ambos os óxidos também não possuem variação significativa ao longo dos perfis de alteração, tendo 69,1% a 72,9% e 13,9% a 15,8%, respectivamente. A Formação Corumbataí apresenta notável variação, tendo SiO_2 entre 51,7% e 70,8% e Al_2O_3 de 9,83% a 20,1%. Nos perfis TA-02, TA-03, TA-05 e TA-06 ocorre aumento do teor sílica em direção à base do perfil, enquanto que no perfil TA-04 há maior discrepância nos valores desses óxidos, indicando consideráveis mudanças composicionais dos estratos, influenciados ou não pela ação do intemperismo, sobretudo no conteúdo de quartzo. No perfil PF-01 é verificado redução de sílica nas amostras basais e maior conteúdo de alumina em direção ao núcleo das camadas mais claras, coincidindo com o aumento dos picos de caulinita identificado na amostra PF-01/Am 03.

Essas amplitudes são visualizadas nos gráficos de razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Figura 35), utilizados para avaliação da ação do intemperismo e das concentrações de elementos refratários nas matérias-primas cerâmicas (ROCHA, 2012). Nas amostras do Grupo Itararé a razão tem os maiores valores, entre 5,74 e 6,04, reforçando a maior proporção de quartzo e feldspatos em relação aos filossilicatos. Na Formação Tatuí o intervalo é de 4,46 e 5,06 e na Formação Corumbataí, entre 3,04 e 5,77. Em minerações desta unidade na região do PCSG, Rocha (2012) encontrou razões entre 6 e 10, com os maiores valores nas porções basais dos perfis.

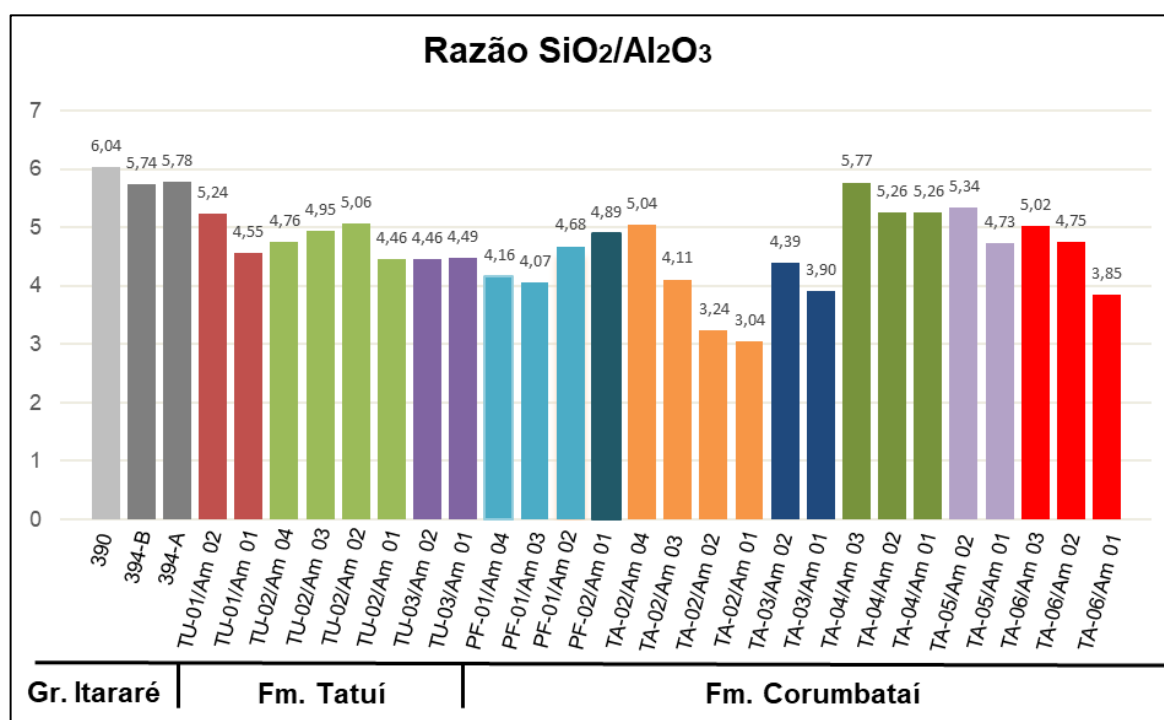


Figura 35 - Gráfico da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nas amostras analisadas.

Os teores de CaO estão entre 0,11 e 0,31% no Grupo Itararé, 0,03 e 0,3% na Formação Tatuí e 0,02 a 0,48% na Formação Corumbataí, exceto no perfil TA-04 que possui entre 1,5 e 8,81%. A partir desses teores, pode-se calcular a quantidade teórica de calcita (CaCO_3) das amostras, considerando que todo CaO fosse incorporado pelas fases carbonáticas. Nas amostras analisadas, a calcita teórica não ultrapassa 0,9%, com exceção no perfil TA-04, cuja proporção teórica calculada é de 2,7 a 15,7% (Figura 36). Deve-se ressaltar, a partir dos estudos petrográficos, litogeoquímicos e de DRX, que praticamente todo o teor de CaO dos litotipos está incorporado pelas estruturas das montmorillonitas, feldspatos, bem como apatitas, não sendo verificada a presença de carbonato na maior parte das amostras.

Segundo Barba *et al.* (2002), argilas com menos de 5% são classificadas como “baixo teor de carbonatos”, ao passo que as que possuem mais de 15% são denominadas “alto teor de carbonato”. Para Rocha (2012), argilas com quantidades inferiores a 3% de carbonato são utilizadas principalmente na produção de revestimentos gresificados. Entretanto, elevadas proporções somadas à granulometria inadequada favorecem a formação de “coração negro” e cavidades no interior das peças, além de potencializarem trincas e microfraturas durante a queima pela volatilização do CO_2 .

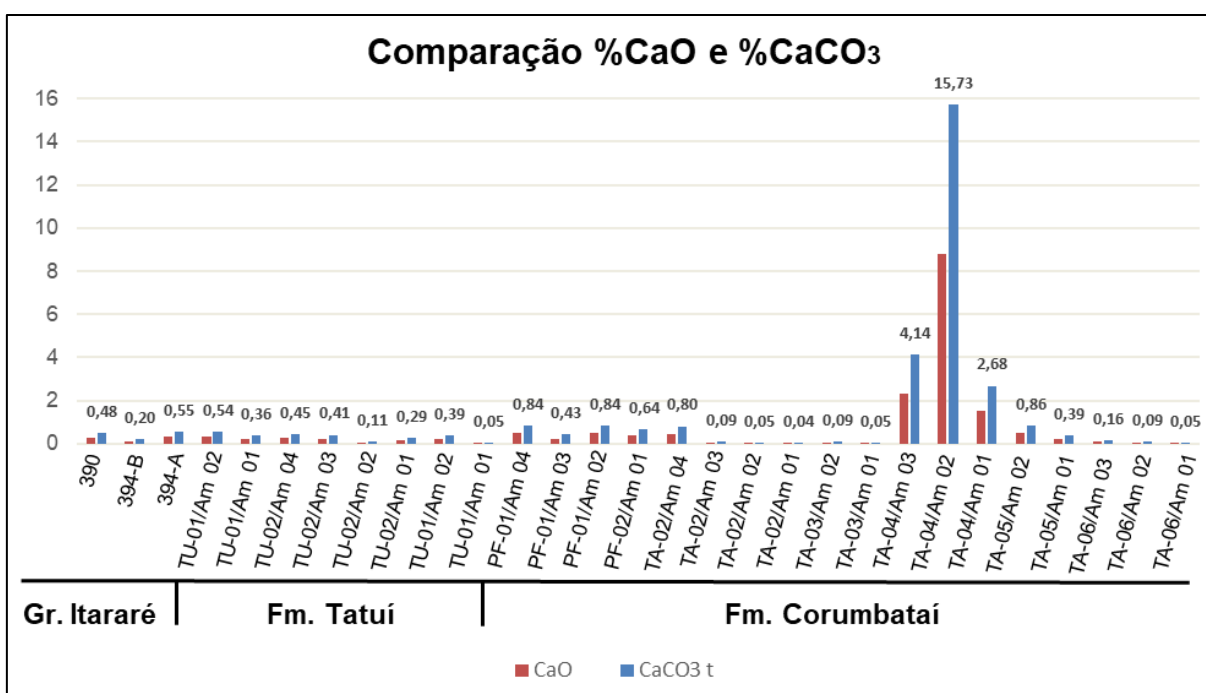


Figura 36 - Gráfico com teores de CaO e do equivalente teórico de CaCO_3 (%) nas amostras analisadas.

Os álcalis (Na_2O e K_2O) geralmente estão associados à ocorrência de feldspatos e filossilicatos e sua presença contribui, em determinadas condições de temperatura, para a formação de fases líquidas no processo de queima, refletindo na resistência mecânica à flexão e na absorção de água dos produtos cerâmicos.

No Grupo Itararé, a soma dos teores de álcalis varia de 2,1 a 3,48%. Na Formação Tatuí, a mesma varia de 1,67% a 4,86%, ao passo que na Formação Corumbataí os valores estão entre 2,15 e 8,11% (Figura 37). Em todas as unidades predominam teores de potássio em comparação com sódio, porém as amostras comercializadas como argilas superplásticas da Formação Tatuí (1,69 a 4,86%) geralmente são mais ricas em álcalis em relação às da Formação Corumbataí (2,15 a 2,65%). Os maiores teores de Na_2O na Formação Tatuí sugerem maior quantidade de montmorillonita e feldspatos alcalinos em comparação com o Grupo Itararé e Formação Corumbataí, onde predominam illitas e feldspato potássico, a exemplo das amostras basais dos perfis TA-02, TA-04 e TA-06 com teores de K_2O superiores a 6,0%.

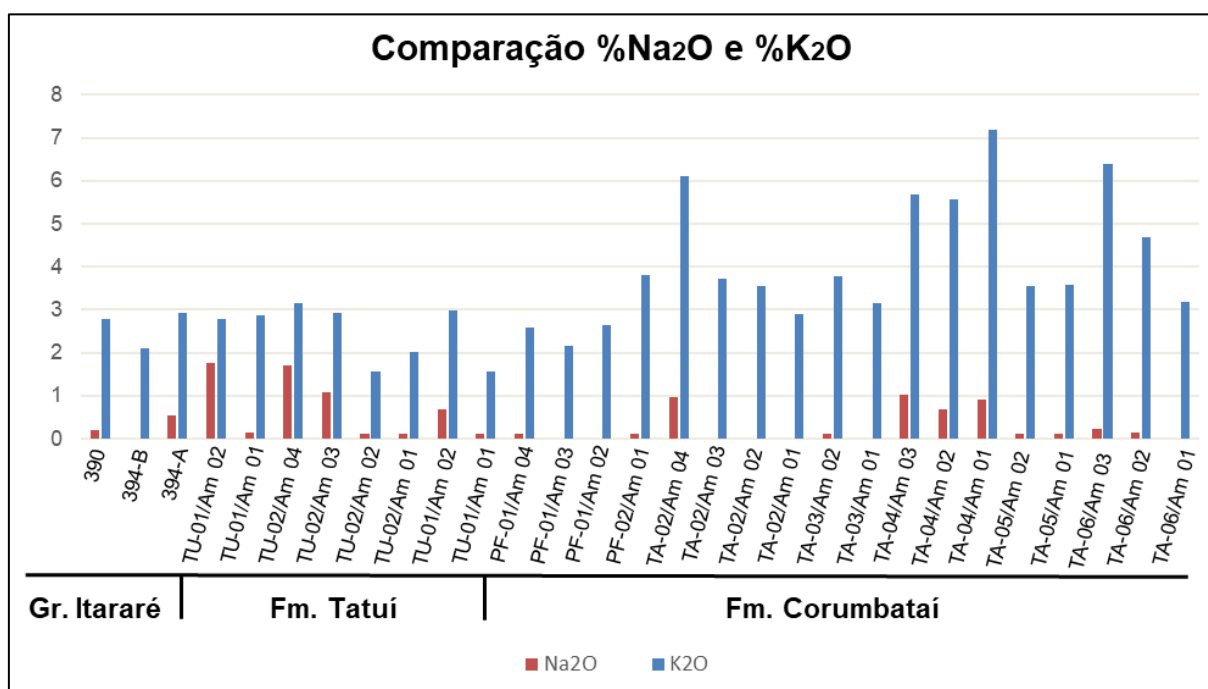


Figura 37 - Gráfico de comparação dos teores de Na_2O e K_2O (%) nas amostras analisadas.

Os índices CIW (*Chemical Index of Weathering*) e CIA (*Chemical Index of Alteration*) de Harnois (1988) e Nesbitt & Young (1982) são utilizados para cálculo do

grau de intemperismo das amostras em um perfil de alteração a partir das seguintes proporções moleculares:

$$\text{CIW} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O})] \times 100$$

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$$

sendo CaO^* a quantidade de óxido de cálcio incorporada por silicatos. Quando o teor de carbonatos e/ou apatitas é elevado, aplica-se um fator de correção. Nesbitt & Young (1982) consideram CIA entre 75 e 85 para illitas e montmorillonitas, valores próximos a 100 para caulinitas e 50 para feldspatos inalterados.

O Grupo Itararé apresenta CIA entre 77,29 e 85,56 (média 80,63) e CIW de 93,82 a 99,17 (média 96,44). Na Formação Tatuí, o CIA variou de 74,21 a 90,29 (média 81,90), enquanto que o CIW tem entre 87,15 e 99,06 (média 94,45) (Figura 38). A Formação Corumbataí apresentou CIA de 39,46 a 87,41 (média 74,53) e CIW de 50,85 a 99,90 (média 93,27) (Figura 39).

A maioria dos perfis de altos topográficos apresentam comportamentos semelhantes, com as amostras da base tendo os menores índices e o progressivo aumento destes em direção às porções superiores dos afloramentos, indicando aumento do grau de intemperismo dos perfis e consequentemente maior lixiviação.

As amostras basais dos perfis TA-02 e TA-06 possuem CIA inferior a 70 provavelmente devido ao maior conteúdo de feldspatos e baixo teor/ausência de caulinita. No perfil TA-04, os menores valores de CIA e CIW coincidem com litotipos mais frescos, ricos em carbonatos, e com uma cobertura pedológica pouco expressiva. No perfil PF-01 e Grupo Itararé, a diminuição de ambos os índices na amostra mais ao topo pode ser justificada por variações composicionais dos estratos ou pelos maiores picos de caulinita e ausência de montmorillonita identificável na DRX das amostras sotopostas, a exemplo da amostra PF-01/Am 03.

Os estudos realizados por Curtolo (2019) na Formação Tatuí e Montibeller *et al.* (2021) na Formação Corumbataí indicaram, a partir de dados de campo, mineralogia e litogeoquímica, amostras em média menos alteradas em comparação ao presente estudo. Na primeira unidade, o CIA e CIW variaram de 62,45 a 90,65 e 67,50 a 99,31, respectivamente, ao passo que na Formação Corumbataí foram calculados CIA entre 54 e 86, aproximadamente e CIW próximos de 59 a 100. Essa comparação indica a importância dos processos intempéricos na

lixiviação/concentração de elementos e na alteração da mineralogia dos litotipos aqui estudados. Entretanto, não se podem descartar variações composicionais dos estratos em uma mesma unidade litoestratigráfica, além de processos hidrotermais associados à colocação e resfriamento de corpos magmáticos, influenciando efetivamente na diagênese, catalisando transformações minerais e alterando a porosidade, textura e estruturas originais.

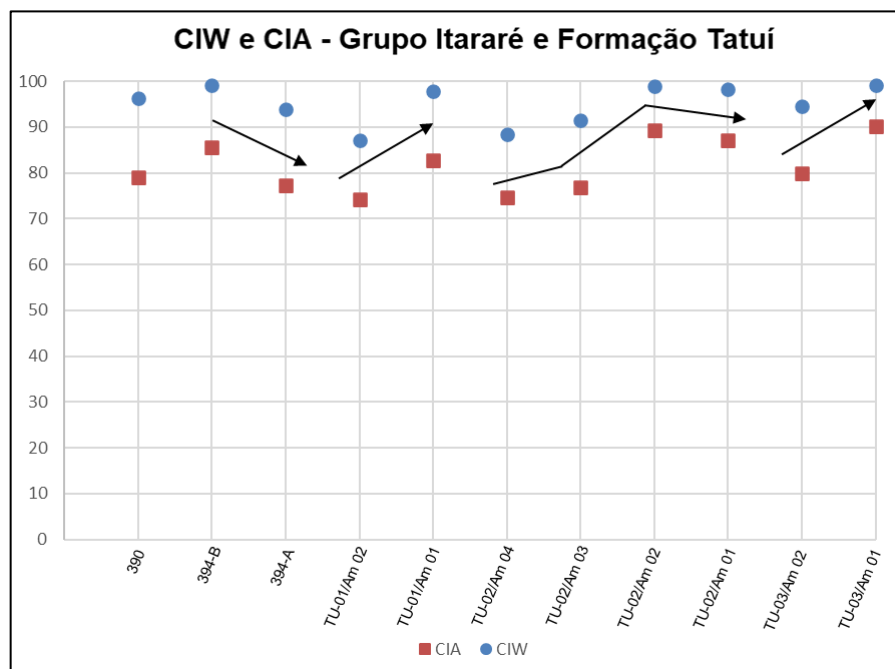


Figura 38 - Índices CIW e CIA em amostras do Grupo Itararé e Formação Tatuí a partir de Harnois (1988) e Nesbitt & Young (1982). As setas indicam o caminho do intemperismo da base para o topo dos perfis.

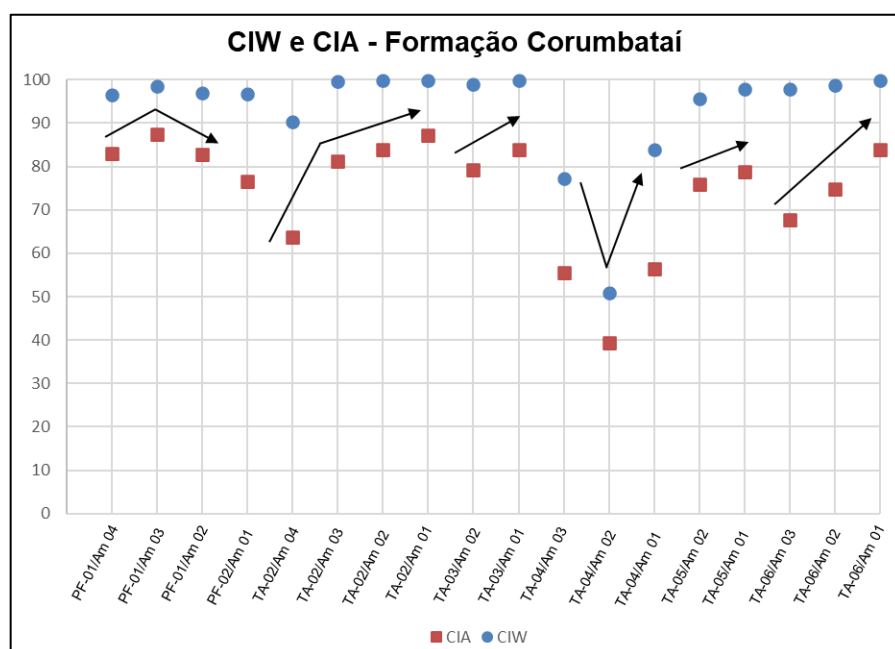


Figura 39 - Índices CIW e CIA em amostras da Formação Corumbataí a partir de Harnois (1988) e Nesbitt & Young (1982). As setas indicam o caminho do intemperismo da base para o topo dos perfis.

Os índices CIA e CIW podem ser correlacionados ao digrama ternário (NESBITT & YOUNG, 1982, 1984, 1989) Al_2O_3 -($\text{CaO}^*+\text{Na}_2\text{O}$)- K_2O (A-CN-K), que também é utilizado para verificar o caminhamento do intemperismo (Figura 40). No diagrama, as amostras mais alteradas estão mais próximas do campo da caulinita, enquanto as mais frescas circundam a composição da illita, muscovita, montmorillonita/esmectita ou feldspatos. O posicionamento das amostras, geralmente mais próximas dos campos de filossilicatos potássicos, pode ser justificada pelo menor teor ou ausência de esmectitas em comparação com illitas, mas também pelo fato do diagrama não considerar os óxidos de magnésio e de ferro, elementos comumente incorporados por estes argilominerais.

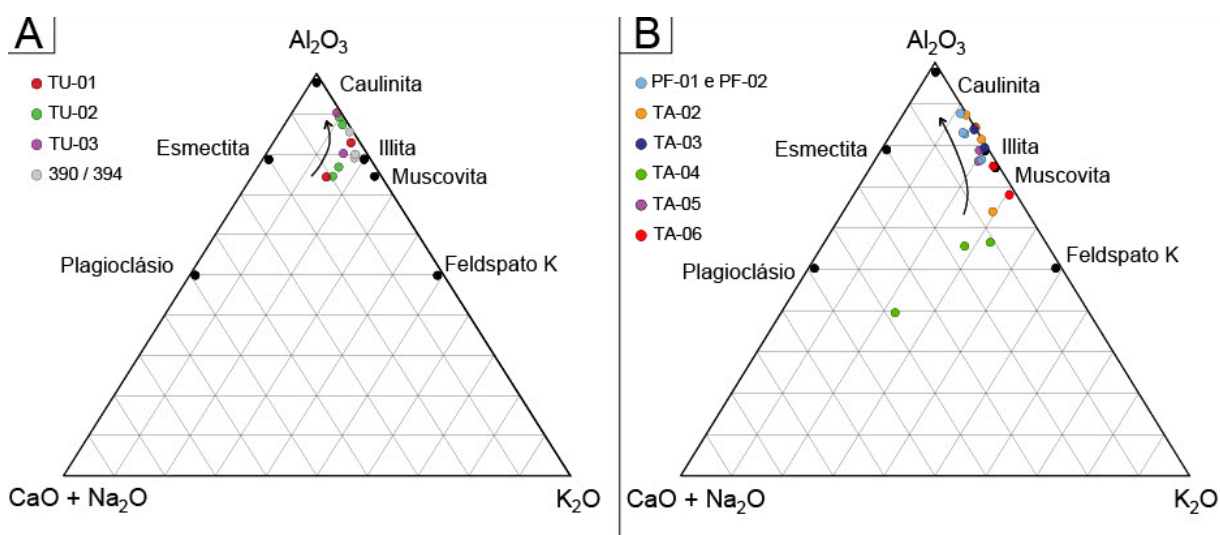


Figura 40 - Diagrama ternário (Al_2O_3)/($\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$)/(K_2O) em proporções moleculares (NESBITT & YOUNG, 1982, 1984 e 1989) em amostras do: (A) Grupo Itararé e Formação Tatuí / (B): Formação Corumbataí. A seta indica o caminho do intemperismo da base para o topo dos perfis.

Os óxidos de ferro e titânio são considerados os principais elementos cromóforos e prejudicam a obtenção de cores claras dos produtos cerâmicos, tornando-se mais comprometedores quando não ocorrem na estrutura cristalina de argilominerais (MOTTA *et al.* 2008). Além disso, elevados teores de Fe_2O_3 facilitam a propagação de calor interno durante a queima das peças e, quando associados a altos teores MgO (totalizando aproximadamente 15%) e baixos teores de sílica (< 60-65%), resultam em deformações devido ao excesso de fusão e às rápidas transformações das fases minerais.

A soma desses teores no Grupo Itararé varia de 2,82 a 3,52%, enquanto que na Formação Tatuí o intervalo é de 2,71 a 5,97% e na Formação Corumbataí de 3,46 a 7,07% (Figura 41). Os menores valores (<3,5%) estão associados ao Grupo

Itararé e aos minérios de Tatuí e Porto Ferreira, enquanto que os maiores teores estão associados às amostras cuja coloração observada em campo é mais escura e varia de tons avermelhados a alaranjados, a exemplo dos topos dos perfis, ou em litotipos mais frescos da Formação Corumbataí.

Nota-se que nas áreas de topo de morro, sobretudo na Formação Tatuí, ocorre redução progressiva desses óxidos em direção à base do perfil, diferentemente do cenário de vale, onde as amostras da porção basal possuem maiores teores e coloração avermelhada. Esses valores corroboram as descrições de campo e as análises mineralógica/petrográfica que indicaram lixiviação de óxidos e hidróxidos de ferro das camadas mineralizadas e concentrações desse elemento em porções onde predominaram condições oxidantes.

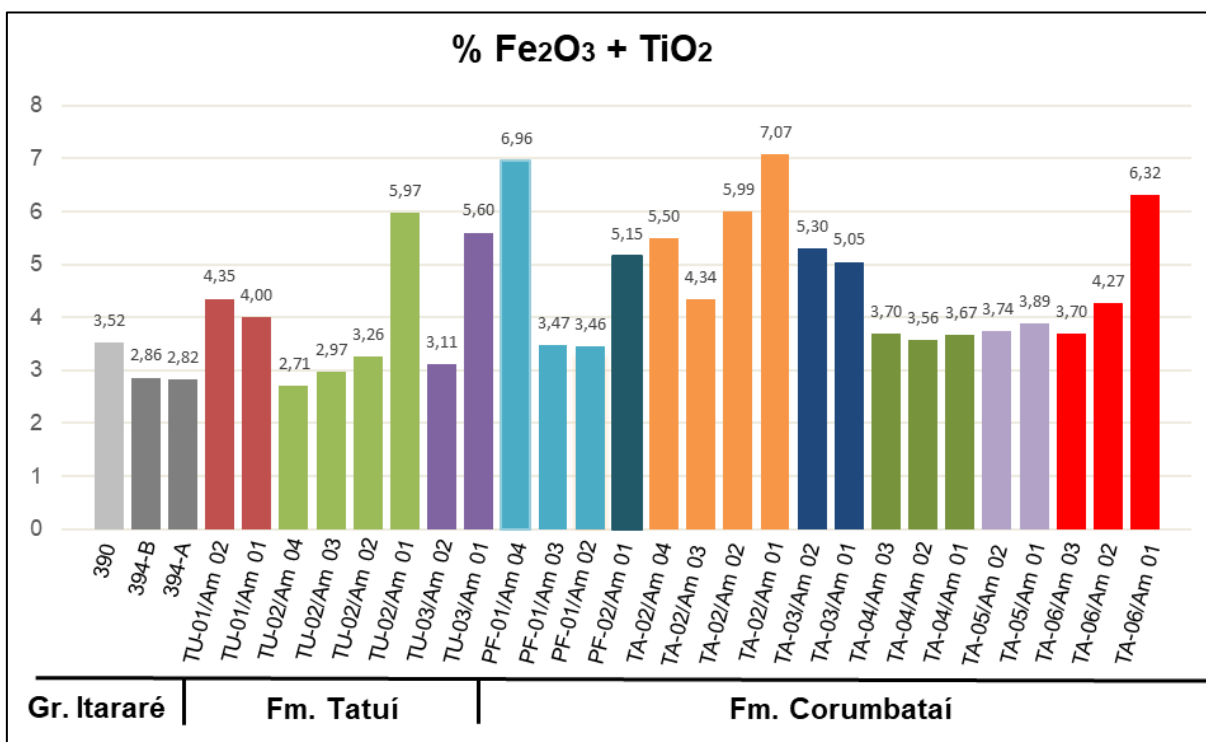


Figura 41 - Gráfico com soma dos teores de Fe₂O₃ e TiO₂ (%) das amostras analisadas.

Os teores de LOI (*loss on ignition* ou perda ao fogo) estão diretamente associados à proporção de carbonatos, matéria orgânica e/ou filossilicatos com água intersticial que, durante a queima, liberam hidroxila ou CO₂. No Grupo Itararé, os teores estão entre 4,37 e 5,1%, na Formação Tatuí os valores são de 2,76 a 6,22%, ao passo que na Formação Corumbataí a variação é de 3,18 a 12,22% (Figura 42).

Na maior parte dos perfis, o aumento progressivo de LOI nas amostras de topo pode ser associado com o desaparecimento de minerais não hidratados como os feldspatos e aparecimento ou aumento dos picos de filossilicatos. No perfil TA-04, o elevado teor LOI observado na amostra 02 é justificado pela maior proporção de carbonatos. Nas amostras do Grupo Itararé e perfil PF-01 há pouca variação dos teores de LOI e a discreta redução em direção ao topo pode estar associada ao aumento da proporção de quartzo e/ou minerais com menor proporção de água, uma vez que a mineralogia é semelhante.

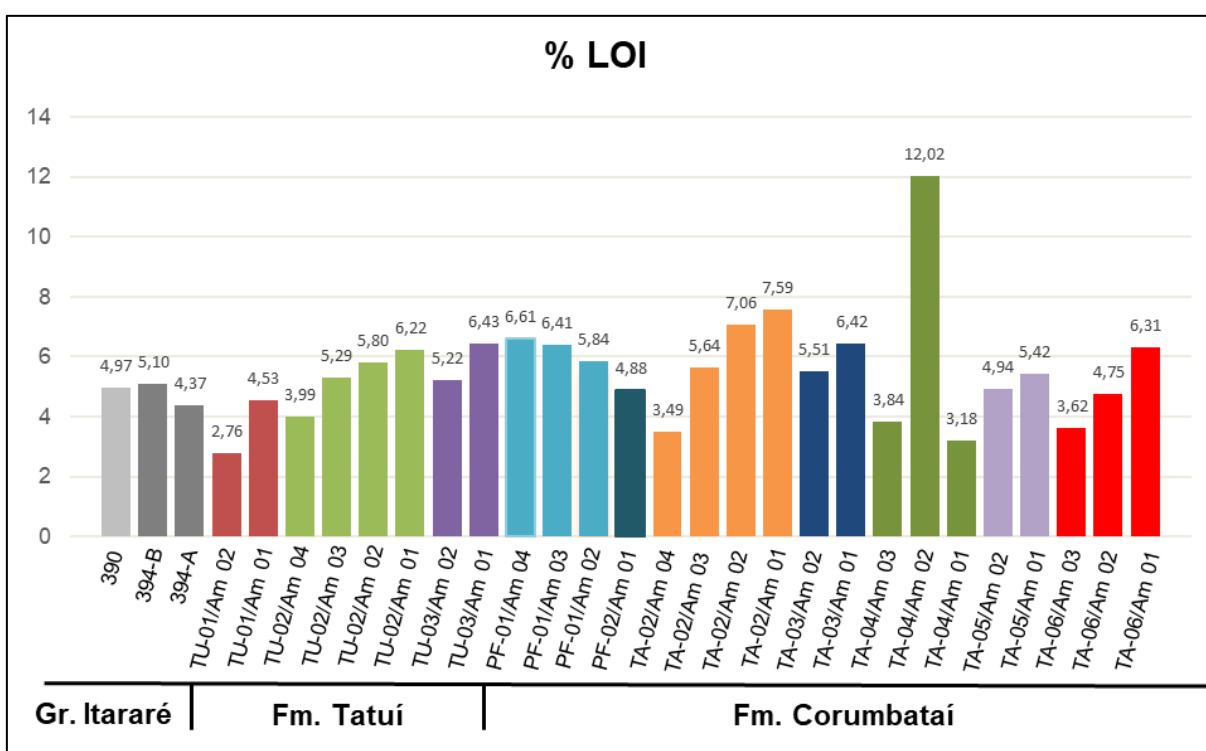


Figura 42 - Gráfico com teores de LOI (%) das amostras analisadas.

7.5 Proveniência Sedimentar

No estudo da proveniência sedimentar das amostras foi utilizado o diagrama das funções discriminantes D1 e D2 ($D1: -1,773\text{TiO}_2 + 0,607\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,76\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,5\text{MgO} + 0,616\text{CaO} + 0,509\text{Na}_2\text{O} - 1,224\text{K}_2\text{O} - 9,09$; $D2: 0,445\text{TiO}_2 + 0,07\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,25\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,142\text{MgO} + 0,438\text{CaO} + 1,475\text{Na}_2\text{O} + 1,426\text{K}_2\text{O} - 6,861$) de Roser & Korsch (1988), que classifica assinaturas a partir de elementos maiores (Figura 43). As formações estudadas estão inseridas na faixa de proveniência associada a sedimentos quartzosos, o que indica considerável retrabalhamento das áreas fontes.

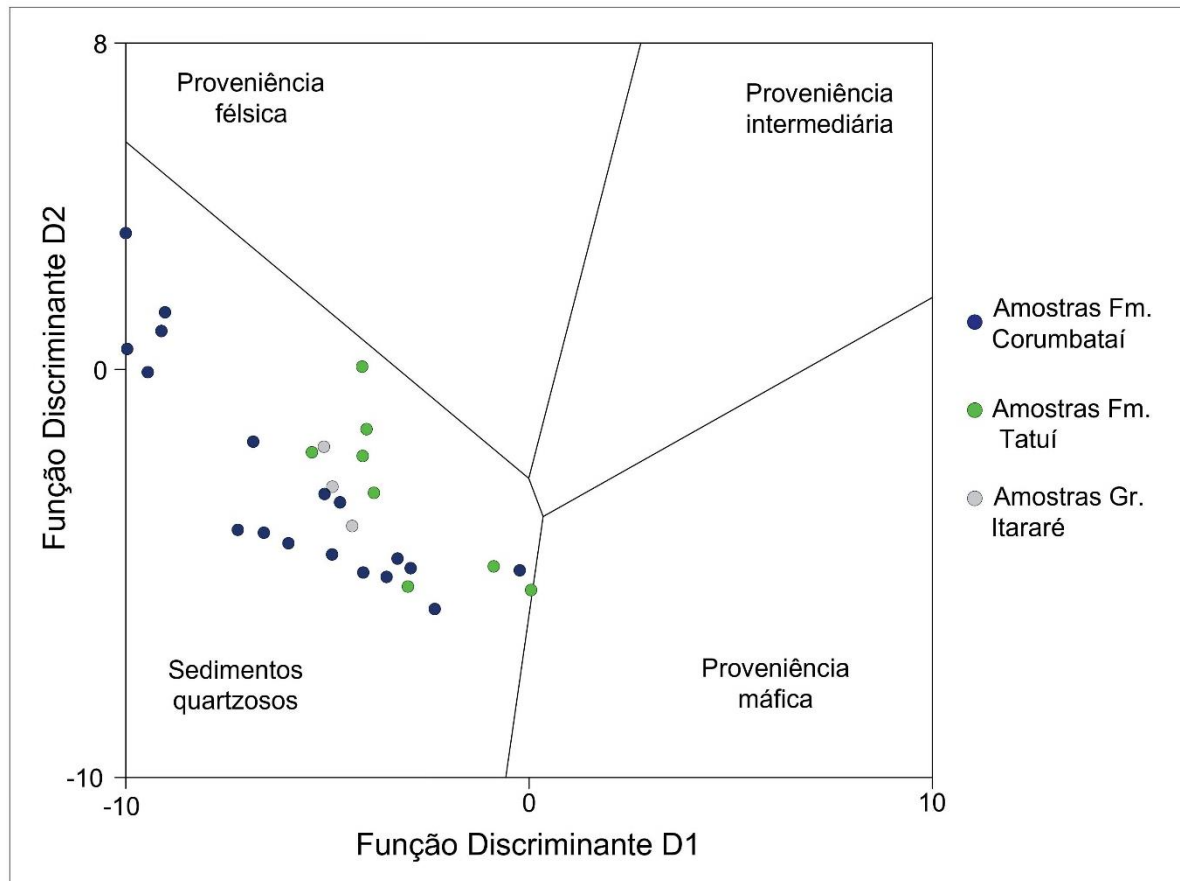


Figura 43 - Diagrama discriminante de proveniência sedimentar segundo Roser & Korsch (1988). 390 / 394 = amostras do Grupo Itararé (círculos cinzas); TU = amostras da Formação Tatuí (círculos verdes); TA e PF = amostras da Formação Corumbataí (círculos azul-marinho).

Outra forma de se analisar a proveniência é por meio de elementos traços, considerados de baixa mobilidade às ações intempéricas e discriminantes de rochas fontes de composições diferentes. O diagrama La-Th-Sc (CULLERS, 1994) separa fontes de rochas félsicas, mais ricas em La e Th, das máficas enriquecidas em Sc, havendo faixas de sedimentos retrabalhados e de origem metassedimentar, a exemplo dos mica xistos.

A maior parte das amostras de ambas as unidades se encontram no campo de fontes graníticas e gnáissicas, com exceções posicionadas na faixa de sedimentos de fontes mistas ou metassedimentares (Figura 44). Entretanto, é importante ressaltar que distâncias maiores da área fonte podem dificultar a determinação da rocha fonte, o que justifica algumas amostras estarem fora das delimitações.

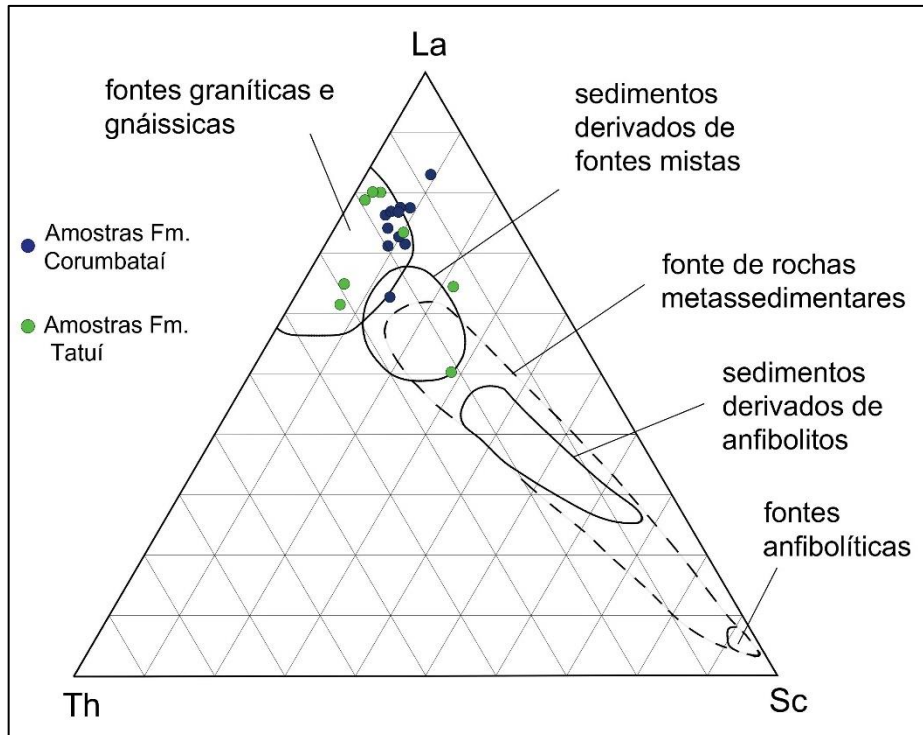


Figura 44 - Diagrama ternário La-Th-Sc (CULLERS, 1994). TU = amostras da Formação Tatuí (círculos verdes); TA = amostras da Formação Corumbataí (círculos azul-marinho).

7.6 Caracterização Tecnológica

7.6.1 Avaliação granulométrica por difratometria a laser

São observados diferentes padrões de distribuição granulométrica de moagem nas amostras estudadas, podendo haver variações significativas dentro de um mesmo perfil ou similaridades entre unidades litoestratigráficas e afloramentos distintos. Os dados obtidos nesse estudo convergem com a granulometria descrita em campo e nas seções delgadas dos perfis PF-01 e TU-02.

Os padrões mais comuns são de distribuições unimodais com assimetrias mais ou menos acentuadas à direita e picos granulométricos entre 20 e 40 μm , aproximadamente, englobando quase a totalidade das amostras da Formação Tatuí e da Formação Corumbataí no município de Porto Ferreira (Figura 45A). O teor de argila ($< 4 \mu\text{m}$) perfaz 8 a 17%, enquanto que a fração areia fina compõe entre 1 e 10% das amostras. Em outro grupo de amostras, cuja maioria corresponde à Formação Corumbataí no município de Tambaú, a distribuição é mais assimétrica à direita, com picos entre 40 e 60 μm e maiores teores da fração areia fina, que atingem entre 15 e 30% das amostras (Figura 45B). No terceiro conjunto unimodal,

englobado pelo Grupo Itararé, os gráficos são mais simétricos e a distribuição granulométrica mais ampla, com picos aproximadamente entre 20 e 40 μm (Figura 45C). Essa disposição reflete em proporções similares para as frações argila e areia (11 a 17%), porém com alguma quantidade (2 a 3%) de areia média, ausente nos gráficos anteriores.

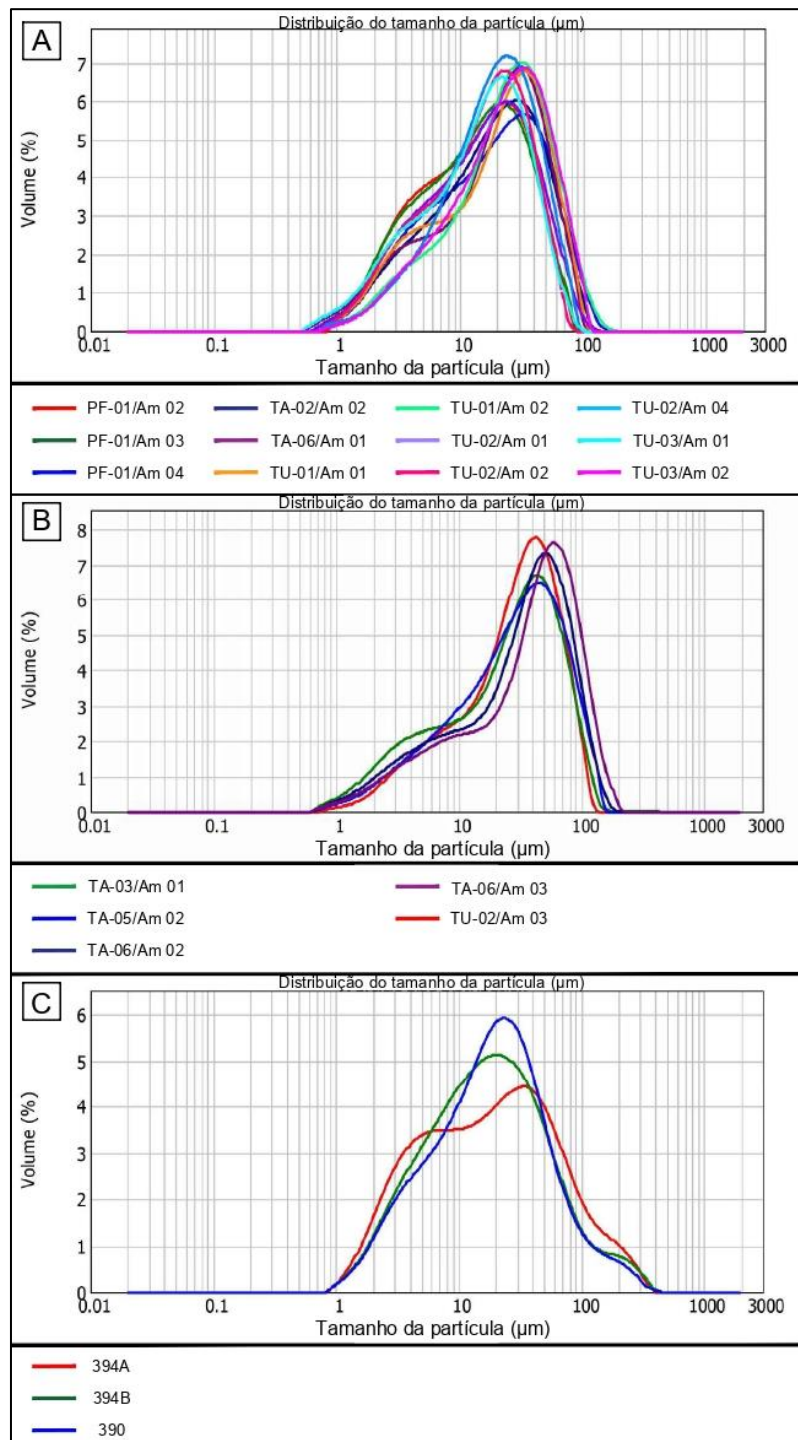


Figura 45 - Amostras com distribuição granulométrica unimodal após moagem. (A): Assimétrico com pico granulométrico entre 20-40 μm . (B): Assimétrico com pico granulométrico entre 40-60 μm (C): Simétrico com pico granulométrico entre 20-40 μm .

Gráficos com caráter bimodal ocorrem em amostras de Tambaú e no perfil PF-02, sendo divididos em dois grupos: um com picos entre 20 e 40 μm e entre 400 e 600 μm (Figura 46A) e outro com primeiro pico entre 40 e 70 μm e segundo pico na faixa de 350-400 μm (Figura 46B). Os conjuntos apresentam proporções similares da fração argila e areia, variando respectivamente, de 9 a 14% e 17 a 27%, porém no primeiro verificam-se curvas menos assimétricas e maior teor das frações areia média e grossa, ao passo que no segundo as curvas são mais assimétricas à direita e ocorrem pequenas quantidades (<3%) de areia média.

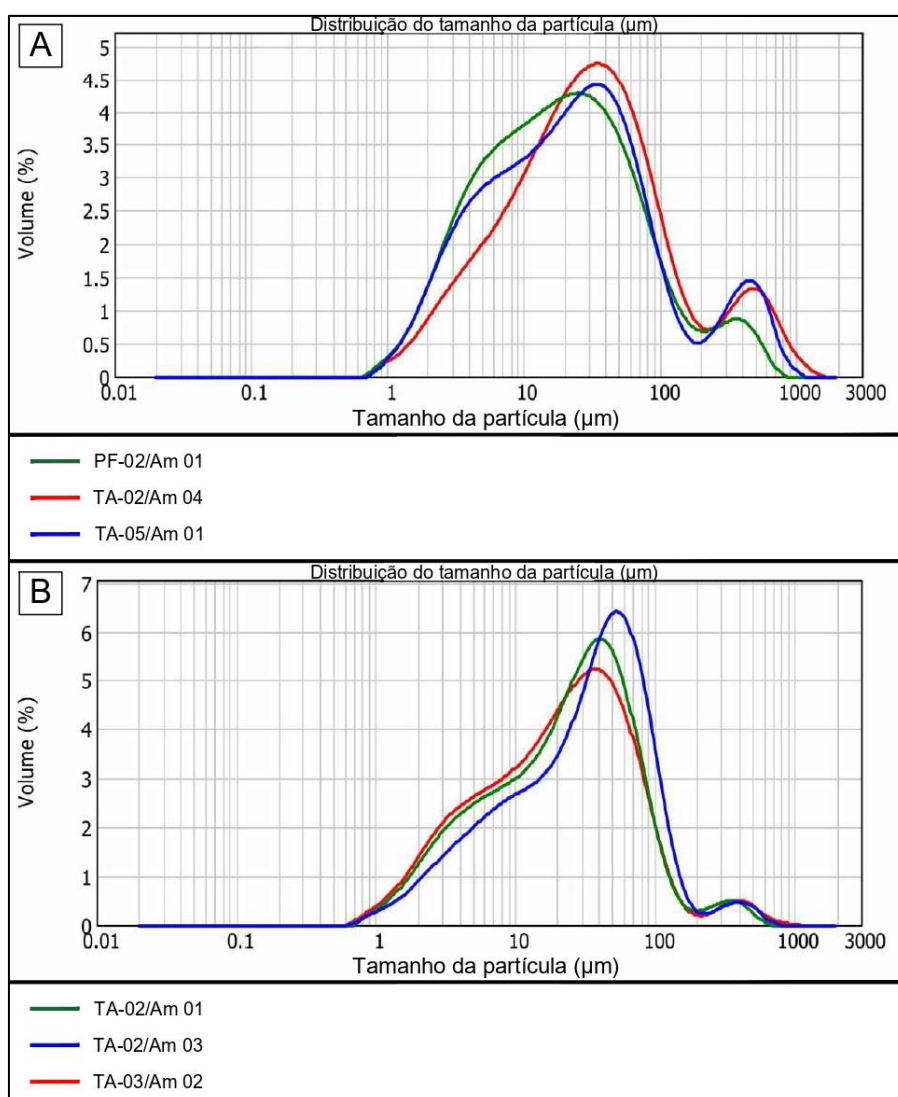


Figura 46 - Amostras com distribuição granulométrica bimodal após moagem. (A): Picos granulométrico entre 20-40 μm e 400-600 μm . (B): Picos granulométrico entre 40-70 μm e 350-400 μm .

Os índices $d(0.1)$, $d(0.5)$ e $d(0.9)$ indicam, respectivamente, os diâmetros de 10, 50 e 90% das frações mais finas de cada amostra (Tabela 5). Na maioria dos perfis, esses índices mostram que as amostras do topo apresentam granulometria

mais fina em comparação com as basais, que pode ser justificado essencialmente pela atuação do intemperismo na desagregação dos minerais, a exemplo da gênese de argilominerais a partir de feldspatos e micas. Entretanto, a ação intempérica também pode provocar agregação, por meio da cimentação por hidróxidos de ferro e sílica.

Em Tambaú, a ocorrência de porções mais arenosas indicadas por fácies heterolíticas e a maior variação granulométrica dos pacotes sedimentares justificam as distribuições heterogêneas das amostras. Entretanto, picos de segunda ordem podem corresponder a agregados gerados durante a moagem, não refletindo a distribuição granulométrica real da unidade. No Grupo Itararé, a influência glacial nos ambientes deposicionais diminui o grau de seleção nos siltitos/lamitos, resultando numa distribuição granulométrica mais ampla, com picos menores e abertos.

Tabela 5 - Picos de granulometria e diâmetros máximos correspondentes a 10, 50 e 90% das partículas mais finas em cada amostra

Unidade	Amostras	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	Pico 1ª Ordem	Pico 2ª Ordem
Formação Corumbataí	PF-01/Am 02	2,966 µm	13,836 µm	41,844 µm	20-30 µm	-
	PF-01/Am 03	2,870 µm	13,684 µm	41,709 µm	20-30 µm	-
	PF-01/Am 04	3,385 µm	18,642 µm	60,135 µm	30-40 µm	-
	PF-02/Am 01	3,365 µm	22,423 µm	194,285 µm	30-40 µm	400-500 µm
	TA-02/Am 01	3,562 µm	25,095 µm	82,033 µm	40 µm	350-400 µm
	TA-02/Am 02	3,340 µm	18,431 µm	55,334 µm	30 µm	-
	TA-02/Am 03	4,445 µm	33,775 µm	99,095 µm	50-60 µm	350 µm
	TA-02/Am 04	3,191 µm	18,272 µm	105,655 µm	20-30 µm	400-500 µm
	TA-03/Am 01	3,440 µm	27,072 µm	73,584 µm	40-50 µm	-
	TA-03/Am 02	3,263 µm	22,389 µm	82,709 µm	30-40 µm	350-400 µm
	TA-05/Am 01	4,532 µm	28,924 µm	219,558 µm	30-40 µm	500 µm
	TA-05/Am 02	4,953 µm	29,307 µm	81,445 µm	40-50 µm	-
	TA-06/Am 01	3,048 µm	20,407 µm	53,883 µm	30 µm	-
	TA-06/Am 02	4,293 µm	34,371 µm	85,910 µm	50 µm	-
	TA-06/Am 03	4,940 µm	41,432 µm	100,376 µm	60 µm	-
Formação Tatuí	TU-01/Am 01	3,360 µm	21,069 µm	56,481 µm	30-40 µm	-
	TU-01/Am 02	4,607 µm	23,962 µm	63,600 µm	30 µm	-
	TU-02/Am 01	3,061 µm	15,464 µm	47,261 µm	20-30 µm	-
	TU-02/Am 02	3,113 µm	15,423 µm	41,016 µm	20-30 µm	-
	TU-02/Am 03	5,414 µm	30,221 µm	71,196 µm	40-50 µm	-
	TU-02/Am 04	4,782 µm	18,945 µm	48,510 µm	20-30 µm	-
	TU-03/Am 01	2,730 µm	14,779 µm	40,729 µm	20-30 µm	-
	TU-03/Am 02	4,789 µm	23,243 µm	61,219 µm	30-40 µm	-
Grupo Itararé	394A	3,123 µm	18,465 µm	91,132 µm	30-40 µm	-
	394B	3,623 µm	17,153 µm	73,220 µm	20 µm	-
	390	3,776 µm	18,775 µm	68,255 µm	20-30 µm	-

7.6.2 Propriedades pré queima

Anteriormente à queima, foram confeccionados 3 corpos de prova por ponto amostrado para determinação do módulo de ruptura à flexão seco (MRFS), também denominado resistência mecânica a seco, e a densidade aparente a seco (DAS). Os resultados apresentados na Tabela 6 correspondem à média aritmética obtida.

Tabela 6 - Densidade aparente e módulo de ruptura à flexão antes da queima das amostras

Unidade	Amostras	DAS (g/cm ³)	MRFS (Kg.f/cm ²)
Formação Corumbataí	PF-01/Am 02	1,70 ± 0,01	41 ± 0
	PF-01/Am 03	1,84 ± 0,01	43 ± 1
	PF-01/Am 04	1,78 ± 0,01	35 ± 2
	PF-02/Am 01	1,77 ± 0,01	39 ± 2
	TA-02/Am 01	1,76 ± 0,01	33 ± 3
	TA-02/Am 02	1,78 ± 0,00	46 ± 3
	TA-02/Am 03	1,86 ± 0,01	55 ± 3
	TA-02/Am 04	1,83 ± 0,01	58 ± 2
	TA-03/Am 01	1,76 ± 0,01	49 ± 4
	TA-03/Am 02	1,81 ± 0,00	59 ± 1
	TA-05/Am 01	1,77 ± 0,01	42 ± 2
	TA-05/Am 02	1,82 ± 0,01	36 ± 3
	TA-06/Am 01	1,80 ± 0,00	41 ± 3
	TA-06/Am 02	1,81 ± 0,01	48 ± 1
	TA-06/Am 03	1,76 ± 0,00	37 ± 2
Formação Tatuí	TU-01/Am 01	2,05 ± 0,01	82 ± 2
	TU-01/Am 02	1,93 ± 0,01	41 ± 2
	TU-02/Am 01	1,86 ± 0,01	43 ± 0
	TU-02/Am 02	1,66 ± 0,00	41 ± 2
	TU-02/Am 03	1,93 ± 0,01	61 ± 3
	TU-02/Am 04	1,87 ± 0,00	51 ± 3
	TU-03/Am 01	1,58 ± 0,00	25 ± 1
	TU-03/Am 02	1,90 ± 0,00	46 ± 1
Grupo Itararé	375-B	2,15 ± 0,00	54 ± 3
	007	2,12 ± 0,01	67 ± 1
	390	2,09 ± 0,00	68 ± 5
	394-A	2,10 ± 0,00	68 ± 5
	394-B	2,08 ± 0,00	77 ± 4

Nas amostras do Grupo Itararé e da Formação Corumbataí, a DAS tem pouca variação (Figura 47). Na primeira unidade, os altos valores (entre 2,08 e 2,15 g/cm³)

podem ser atribuídos ao empacotamento das partículas, favorecido por uma distribuição granulométrica mais ampla. Na segunda, a propriedade tem valores entre 1,70 a 1,86, com média de 1,79 g/cm³. A maior variação é observada nas amostras do perfil PF-01, cujo menor valor (amostra 02) corresponde à amostra mais superficial, enquanto o mais elevado ocorre na porção basal da amostra de cor clara (amostra 03). Na Formação Tatuí essa variação é mais significativa, de 1,58 a 2,05, com média de 1,85 g/cm³. Nos perfis TU-02 e TU-03, as menores densidades aparentes ocorrem nos topos do perfil e estão associadas a uma distribuição granulométrica mais restrita, ao passo que as maiores densidades estão na base e coincidem com resultados granulométricos mais amplos.

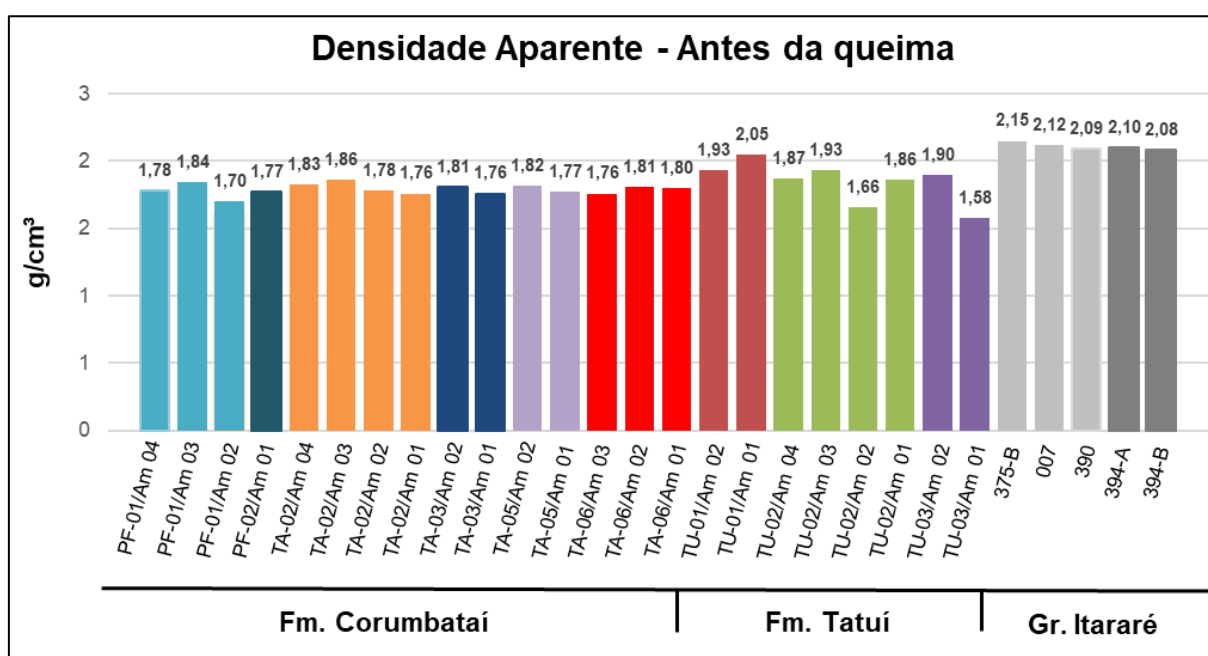


Figura 47 -Gráfico com densidade aparente antes da queima.

O MRPS da Formação Corumbataí em Porto Ferreira varia de 35 a 43 Kg.f/cm² (Figura 48). Os maiores valores são das amostras comercializadas como argila superplástica, enquanto que o menor valor corresponde ao litotipo menos alterado e não explotável (amostra 04). Em Tambaú, o MRFS varia de 33 a 59 Kg.f/cm², com maiores valores nos perfis TA-02 e TA-03, onde ocorre aumento progressivo em direção à base do perfil. Esse padrão é observado na porção superior do perfil TA-06, porém ocorre considerável redução entre as amostras 02 e 03, que pode estar influenciada pelo menor empacotamento das partículas e/ou pela morfologia da illita. No perfil TA-05, a diferença entre os MRFS das amostras é

menor e o desvio padrão pode aproximar os resultados na faixa de 40 Kg.f/cm². Fatores que podem influenciar nos casos onde há elevado MRFS (≥ 40 Kg.f/cm²) são a ocorrência de montmorillonita, fases amorfas ou desestruturadas (baixa cristalinidade) não identificáveis na DRX, como argilominerais interestratificados, bem como illitas com terminações fibrosas ou pontiagudas e empacotamento das partículas, apesar da DAS não apresentar variações significativas na maioria das amostras.

A Formação Tatuí apresenta MRFS entre 25 e 82 Kg.f/cm². As minas onde são explotadas argilas superplásticas tem resultados superiores ao minério da Formação Corumbataí, excetuando-se a amostra TU-03/Am 01, mais superficial e com porções caulíníticas destacadas no afloramento. O aumento do MRFS nas porções basais dos perfis TU-02 e TU-03 coincide com maiores picos de montmorillonita e redução da caulinita. No perfil TU-01, o valor de 82 Kg.f/cm² da amostra 01 também pode ser atribuído ao maior empacotamento das partículas, coincidindo com a elevada DAS.

No Grupo Itararé, o MRFS está entre 54 e 77 Kg.f/cm² e apresenta maior média em comparação com as demais unidades, o que pode ser justificada essencialmente pelo maior empacotamento das partículas. Outros fatores que contribuiriam para o elevado MRFS são possíveis superfícies irregulares do quartzo e feldspato, favorecendo o atrito dos grãos, bem como a morfologia das illitas e montmorillonita, apesar da menor proporção na composição dessas amostras.

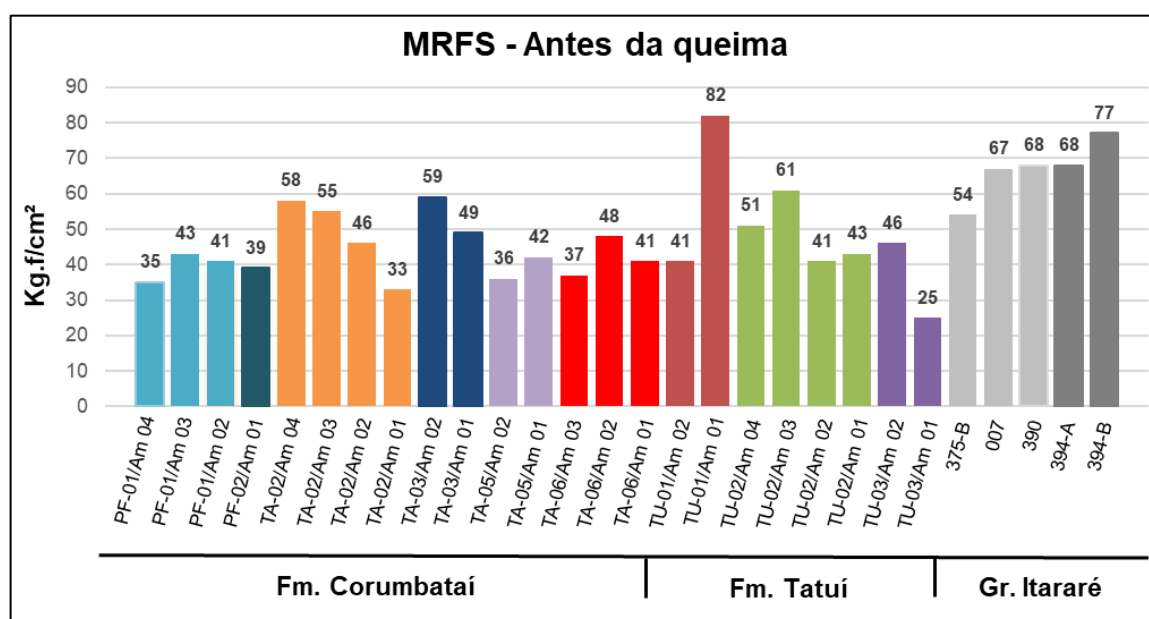


Figura 48 - Gráfico com módulo de ruptura à flexão antes da queima.

7.6.3 Propriedades após a queima

Os corpos de prova foram submetidos a queima em temperaturas de 1.120 °C e 1.190 °C para determinação da absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), perda ao fogo (PF), retração linear de queima (RLQ), densidade após a queima (DAQ) e módulo de ruptura à flexão (MRFQ). A primeira corresponde à temperatura de queima das placas cerâmicas semi porosas via seca, ao passo que a segunda é a temperatura na qual são produzidos os porcelanatos nacionais. Os resultados estão indicados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados cerâmicos das amostras após queima a 1.120 °C e 1.190°C

Unidade	Amostras		AA (%)	PA (%)	PF (%)	RLQ (%)	DAQ (g/cm³)	MRFQ (MPa)
Formação Corumbataí	PF-01/Am 02	1.120°C	3,0 ± 0,2	7,3 ± 0,3	5,6 ± 0,1	11,4 ± 0,1	2,29 ± 0,03	47,6 ± 0,1
		1.190°C	0,1 ± 0,1	0,3 ± 0,1	5,5 ± 0,0	12,4 ± 0,2	2,43 ± 0,01	46,5 ± 0,1
	PF-01/Am 03	1.120°C	6,7 ± 0,2	14,6 ± 0,3	6,1 ± 0,0	7,1 ± 0,0	2,18 ± 0,01	36,6 ± 0,5
		1.190°C	2,0 ± 0,1	4,9 ± 0,1	6,2 ± 0,1	10,0 ± 0,1	2,40 ± 0,00	40,5 ± 0,0
	PF-01/Am 04	1.120°C	3,3 ± 0,1	7,8 ± 0,3	6,1 ± 0,0	10,2 ± 0,1	2,35 ± 0,01	46,8 ± 0,4
		1.190°C	0,1 ± 0,0	2,3 ± 0,0	6,0 ± 0,1	10,4 ± 0,2	2,33 ± 0,00	48,3 ± 0,3
	PF-02/Am 01	1.120°C	3,6 ± 0,2	8,3 ± 0,3	4,7 ± 0,1	9,3 ± 0,2	2,28 ± 0,01	38,2 ± 0,8
		1.190°C	0,3 ± 0,1	0,6 ± 0,1	4,8 ± 0,0	7,9 ± 0,1	2,07 ± 0,01	25,3 ± 0,5
	TA-02/Am 01	1.120°C	4,7 ± 0,1	10,9 ± 0,2	7,6 ± 0,0	10,7 ± 0,1	2,32 ± 0,00	28,4 ± 1,2
		1.190°C	2,3 ± 0,1	5,6 ± 0,2	7,7 ± 0,1	11,6 ± 0,2	2,44 ± 0,01	31,2 ± 0,6
	TA-02/Am 02	1.120°C	1,7 ± 0,1	4,3 ± 0,2	7,1 ± 0,0	11,6 ± 0,1	2,44 ± 0,01	55,3 ± 0,7
		1.190°C	0,3 ± 0,0	0,6 ± 0,1	7,1 ± 0,0	10,6 ± 0,1	2,35 ± 0,01	36,4 ± 0,5
	TA-02/Am 03	1.120°C	9,7 ± 0,2	19,7 ± 0,0	5,7 ± 0,0	4,9 ± 0,1	2,06 ± 0,00	17,3 ± 0,2
		1.190°C	5,3 ± 0,2	11,5 ± 0,3	5,8 ± 0,1	6,8 ± 0,1	2,21 ± 0,00	23,6 ± 0,1
	TA-02/Am 04	1.120°C	0,5 ± 0,0	1,3 ± 0,0	3,5 ± 0,1	9,2 ± 0,1	2,37 ± 0,00	7,04 ± 1,7
		1.190°C	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,0	3,7 ± 0,3	0,8 ± 0,3	1,57 ± 0,02	12,3 ± 1,3
	TA-03/Am 01	1.120°C	3,6 ± 0,2	9,6 ± 0,0	6,4 ± 0,0	8,1 ± 0,0	2,31 ± 0,01	28,8 ± 0,6
		1.190°C	1,3 ± 0,0	10,7 ± 0,2	6,5 ± 0,0	3,1 ± 0,0	2,39 ± 0,00	31,4 ± 0,8
	TA-03/Am 02	1.120°C	3,6 ± 0,2	9,6 ± 0,0	6,4 ± 0,0	8,1 ± 0,0	2,31 ± 0,01	28,8 ± 0,6
		1.190°C	1,3 ± 0,0	10,7 ± 0,2	6,5 ± 0,0	3,1 ± 0,0	2,39 ± 0,00	31,4 ± 0,8
	TA-05/Am 01	1.120°C	7,9 ± 0,1	16,3 ± 0,1	6,1 ± 0,1	6,0 ± 0,1	2,05 ± 0,00	25,6 ± 0,4
		1.190°C	0,9 ± 0,0	2,1 ± 0,0	6,1 ± 0,1	9,9 ± 0,1	2,31 ± 0,01	34,2 ± 0,6
	TA-05/Am 02	1.120°C	9,6 ± 0,1	19,1 ± 0,2	5,7 ± 0,0	4,0 ± 0,1	1,98 ± 0,00	17,2 ± 0,6
		1.190°C	1,6 ± 0,1	3,4 ± 0,2	5,8 ± 0,0	8,4 ± 0,1	2,25 ± 0,00	28,5 ± 1,8
	TA-06/Am 01	1.120°C	3,2 ± 0,2	7,7 ± 0,2	7,0 ± 0,1	10,0 ± 0,1	2,35 ± 0,00	42,6 ± 0,1
		1.190°C	0,2 ± 0,0	0,5 ± 0,0	7,0 ± 0,0	10,8 ± 0,1	2,43 ± 0,00	41,9 ± 1,4
	TA-06/Am 02	1.120°C	11,0 ± 0,2	21,7 ± 0,1	4,9 ± 0,1	4,0 ± 0,0	1,99 ± 0,01	17,1 ± 0,7
		1.190°C	4,0 ± 0,1	8,8 ± 0,2	4,9 ± 0,0	7,4 ± 0,0	2,22 ± 0,00	24,2 ± 0,8
	TA-06/Am 03	1.120°C	9,8 ± 0,2	19,5 ± 0,3	3,8 ± 0,1	4,8 ± 0,1	2,00 ± 0,00	12,5 ± 0,6
		1.190°C	3,4 ± 0,1	7,6 ± 0,2	3,8 ± 0,0	8,1 ± 0,1	2,23 ± 0,00	20,8 ± 0,5
Formação Tatuí	TU-01/Am 01	1.120°C	9,5 ± 0,1	19,8 ± 0,3	4,8 ± 0,2	1,6 ± 0,0	2,08 ± 0,00	20,1 ± 0,1
		1.190°C	5,1 ± 0,1	11,3 ± 0,2	5,0 ± 0,0	3,9 ± 0,0	2,21 ± 0,01	33,4 ± 0,8
	TU-01/Am 02	1.120°C	11,9 ± 0,1	23,3 ± 0,1	2,7 ± 0,1	0,9 ± 0,0	1,95 ± 0,00	14,1 ± 0,5
		1.190°C	4,1 ± 0,2	8,9 ± 0,5	2,7 ± 0,1	4,1 ± 0,0	2,17 ± 0,01	34,5 ± 0,9

Continuação Tabela 7 – Resultados cerâmicos das amostras após queima a 1.120 °C e 1.190 °C

Unidade	Amostras		AA (%)	PA (%)	PF (%)	RLQ (%)	DAQ (g/cm ³)	MRFQ (MPa)
Formação Tatuí	TU-02/Am 01	1.120°C	11,4 ± 0,1	22,9 ± 0,2	5,8 ± 0,0	3,8 ± 0,1	2,00 ± 0,01	18,8 ± 0,6
		1.190°C	5,3 ± 0,0	11,7 ± 0,0	5,9 ± 0,0	7,1 ± 0,0	2,23 ± 0,00	30,6 ± 0,6
	TU-02/Am 02	1.120°C	14,4 ± 0,1	27,2 ± 0,2	5,9 ± 0,0	5,5 ± 0,1	1,89 ± 0,00	35,2 ± 0,6
		1.190°C	3,9 ± 0,1	8,9 ± 0,2	6,0 ± 0,1	6,0 ± 0,1	2,28 ± 0,00	50,6 ± 0,3
	TU-02/Am 03	1.120°C	10,3 ± 0,1	20,4 ± 0,2	4,6 ± 0,1	2,3 ± 0,1	1,97 ± 0,00	15,2 ± 0,5
		1.190°C	5,0 ± 0,1	9,2 ± 0,2	4,7 ± 0,0	0,3 ± 0,1	1,85 ± 0,01	16,1 ± 1,0
	TU-02/Am 04	1.120°C	11,6 ± 0,2	22,3 ± 0,0	3,8 ± 0,1	2,6 ± 0,0	1,95 ± 0,01	21,0 ± 0,9
		1.190°C	2,8 ± 0,2	6,0 ± 0,3	4,0 ± 0,2	5,9 ± 0,2	2,17 ± 0,00	42,8 ± 0,3
	TU-03/Am 01	1.120°C	20,2 ± 0,1	35,0 ± 0,1	6,3 ± 0,1	4,4 ± 0,0	1,73 ± 0,00	20,6 ± 0,3
		1.190°C	7,8 ± 0,0	16,7 ± 0,0	6,3 ± 0,1	10,7 ± 0,1	2,15 ± 0,01	49,0 ± 0,9
	TU-03/Am 02	1.120°C	11,7 ± 0,1	22,7 ± 0,1	5,4 ± 0,1	2,1 ± 0,0	1,94 ± 0,01	16,5 ± 0,9
		1.190°C	4,7 ± 0,0	10,2 ± 0,1	5,3 ± 0,0	5,4 ± 0,0	2,16 ± 0,00	36,7 ± 0,9
Grupo Itararé	375-B	1.120°C	8,8 ± 0,0	18,5 ± 0,1	3,0 ± 0,1	- 0,3 ± 0,0	2,10 ± 0,00	4,8 ± 0,9
		1.190°C	6,8 ± 0,1	14,6 ± 0,2	3,0 ± 0,0	0,3 ± 0,1	2,16 ± 0,01	7,2 ± 0,3
	007	1.120°C	7,6 ± 0,1	16,2 ± 0,2	4,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	2,15 ± 0,01	15,7 ± 0,5
		1.190°C	3,5 ± 0,1	8,0 ± 0,1	4,3 ± 0,0	3,4 ± 0,0	2,28 ± 0,00	23,4 ± 0,5
	390	1.120°C	10,8 ± 0,1	22,2 ± 0,1	4,7 ± 0,0	0,7 ± 0,0	2,05 ± 0,00	10,6 ± 0,3
		1.190°C	8,2 ± 0,0	17,7 ± 0,1	4,6 ± 0,2	2,1 ± 0,0	2,14 ± 0,00	15,7 ± 0,8
	394-A	1.120°C	9,4 ± 0,1	19,9 ± 0,2	4,1 ± 0,0	1,1 ± 0,0	2,09 ± 0,00	11,4 ± 0,8
		1.190°C	6,3 ± 0,2	13,7 ± 0,1	4,2 ± 0,2	2,7 ± 0,0	2,21 ± 0,01	17,5 ± 0,3
	394-B	1.120°C	9,2 ± 0,0	19,3 ± 0,1	4,1 ± 0,2	1,2 ± 0,0	2,09 ± 0,00	12,6 ± 0,8
		1.190°C	5,7 ± 0,1	12,6 ± 0,1	4,0 ± 0,2	3,0 ± 0,0	2,21 ± 0,00	22,5 ± 0,3

Após a queima a 1.120 °C, são observados valores de AA entre 0,5 e 11,0% nas amostras da Formação Corumbataí, 9,5 a 20,2% na Formação Tatuí e 7,6 a 10,8% no Grupo Itararé (Figura 49). A maior parte das amostras apresenta diminuição em mais da metade da AA na comparação entre queima a 1.120 °C e 1.190 °C. Nesta temperatura, os menores valores permanecem na Formação Corumbataí, quase sempre inferiores a 2,0%, enquanto na Formação Tatuí predominam valores entre 2,8 e 5,3%. No Grupo Itararé, a redução é pouco significativa e varia de 3,5 a 8,2%

Essa tendência ocorre de modo similar com a PA e indica maior eficiência na sinterização em temperaturas mais baixas nos corpos de prova da Formação Corumbataí, que pode ser consequência de maiores proporções de illitas e suas respectivas cristalinidade e granulometria, além do teor médio de álcalis e da menor proporção de quartzo e caulinita. Na Formação Tatuí, a redução drástica de ambos os parâmetros sugere sinterização mais eficiente após 1.120 °C. A elevada AA da amostra TU-03/Am 01 se associa à maior quantidade de caulinita e baixo teor de álcalis, que dificulta a formação de fase líquida no processo. Em 1.120 °C as amostras do Grupo Itararé tem resultados semelhantes aos da Formação Tatuí,

porém a menor redução de AA em 1.190 °C pode ser resultado de menor proporção de argilominerais quando comparados com os teores de feldspato e, principalmente, de quartzo.

A PF tem valores de 2,7 e 7,7%, com pouca ou nenhuma variação entre 1.120 °C e 1.190 °C em uma mesma amostra. Os valores mais elevados são observados nas amostras de porções superiores dos perfis, geralmente mais enriquecidas em argilominerais, hidróxidos e matéria orgânica. Exceção ocorre no perfil PF-01, cujas amostras de base e topo apresentam valores muito próximos.

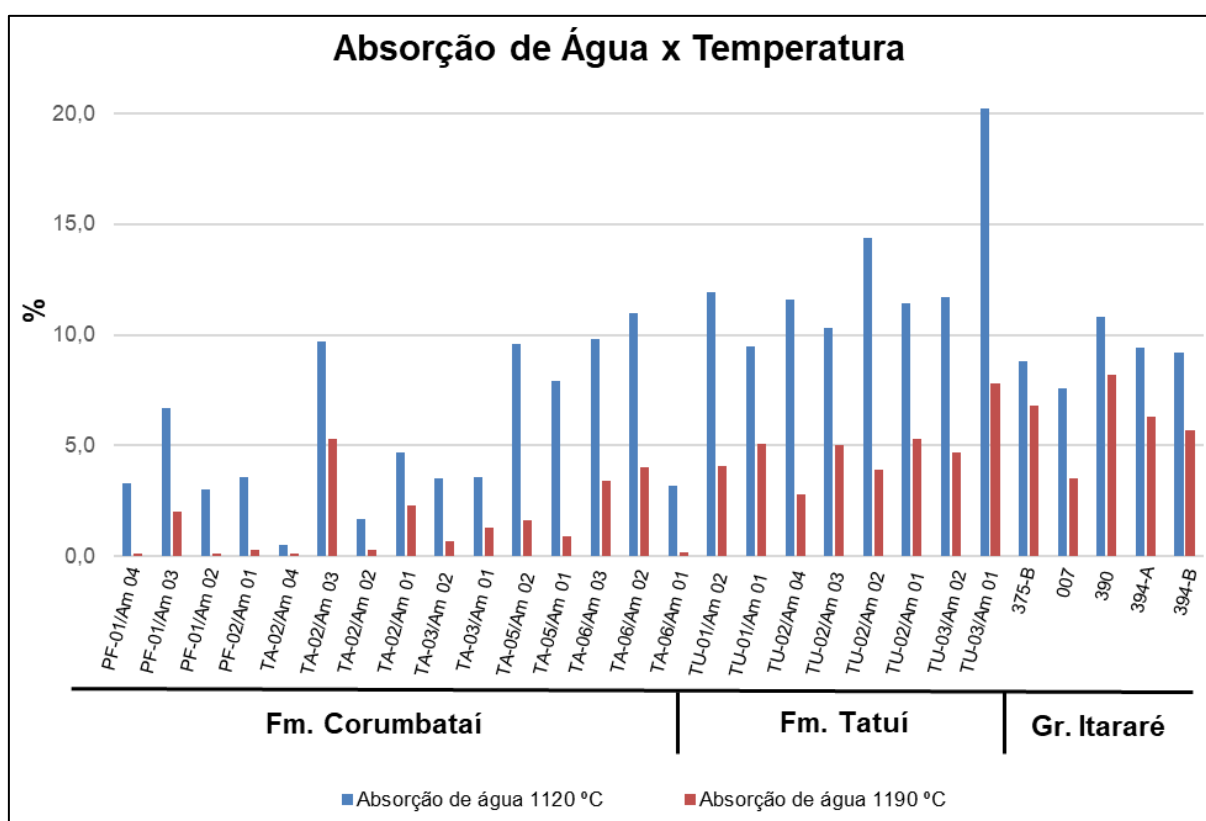


Figura 49 - Gráfico de absorção de água após queima a 1.120 °C e 1.190 °C.

Para a maioria das amostras houve retração, com exceção do ponto 375-B após queima a 1.120 °C (Figura 50). Os valores mais elevados estão na Formação Corumbataí e indicam a aglutinação das partículas e redução das dimensões dos corpos de prova durante a sinterização. Na Formação Tatuí, a RLQ é mais significativa nas amostras mais próximas do topo dos perfis de alteração, enquanto que os menores valores são observados nas amostras do Grupo Itararé, possivelmente pela menor eficiência da sinterização e mineralogia mais rica em quartzo e com menor conteúdo de illita do que na Formação Corumbataí.

De maneira similar, a DAQ também se eleva com o aumento de temperatura ou apresenta valores próximos. A 1.120 °C a variação é de 1,73 a 2,44 g/cm³, sendo o menor valor correspondente a amostra TU-03/Am 01, que pode estar relacionada a composição mais caulínica. Em 1.190 °C o intervalo é de 1,57 a 2,44 g/cm³, com drástica redução na amostra TA-02/Am 04, que também apresentou baixa RLQ.

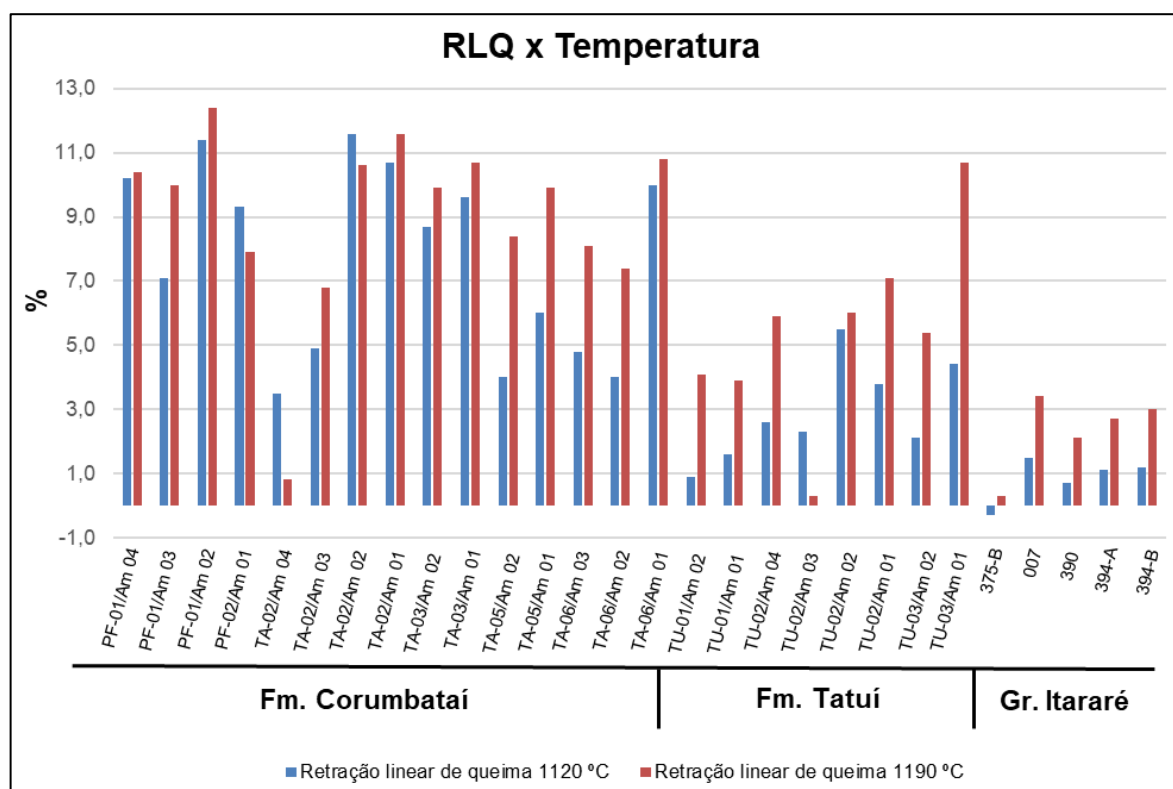


Figura 50 - Gráfico de retração linear de queima em 1.120 °C e 1.190 °C.

As amostras da Formação Corumbataí apresentaram, em média, os maiores valores de MRFQ após queima a 1.120 °C (Figura 51). Entretanto, em parte das amostras não são observadas variações expressivas e por vezes ocorre redução na MRFQ a 1.190 °C, que pode se associar à formação de quantidades elevadas de fase fluída, resultando em deformações, microfissuras, formação de bolhas e redução da resistência mecânica do material. Entretanto, a queda do MRFQ aqui apresentada não é, necessariamente, prejudicial ao produto cerâmico. Deve-se considerar que no processo industrial de queima há interação da argila com as demais matérias-primas e, para melhor avaliação do desempenho dessas amostras, devem ser realizados mais ensaios envolvendo misturas de componentes cerâmicos.

Na Formação Tatuí, as amostras exibem aumentos consideráveis no MRFQ a 1.190 °C, que se associa à redução da AA e PA e reforça a melhor eficácia da sinterização em temperaturas mais elevadas. Os corpos de prova do Grupo Itararé apresentam os menores valores em média, indicando menor eficiência das reações de queima, decorrente da mineralogia mais quartzosa e com menor teor illita e montmorillonita.

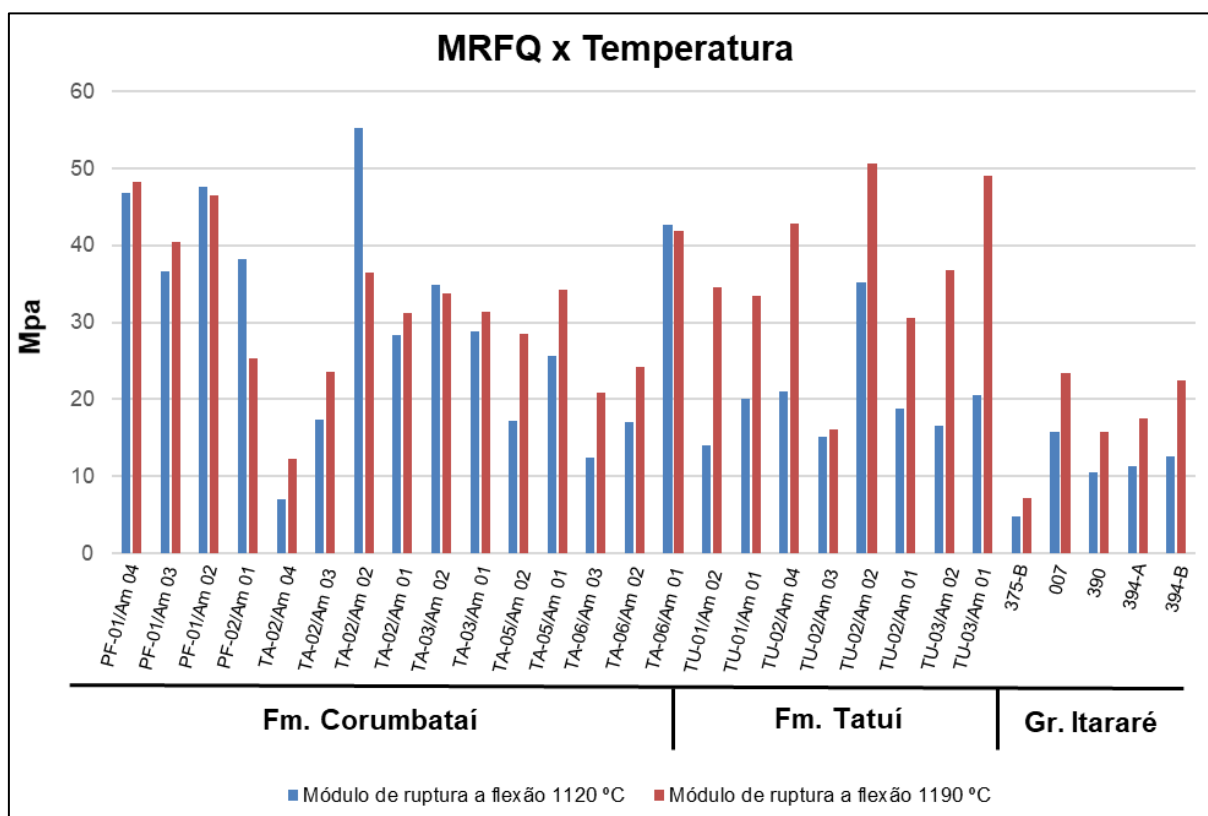


Figura 51 - Gráfico de módulo de ruptura à flexão após queima em 1.120 °C e 1.190 °C.

As cores de queima mais claras verificadas nos corpos de prova são as de tonalidades de bege, cinza ou marfim. Na Formação Corumbataí destacam-se as cores mais claras dos perfis PF-01 (amostra 02 e 03), TA-02 (amostra 03) e TA-06 (amostras 02 e 03) (Figura 52), enquanto as demais amostras possuem coloração marrom com tonalidades mais escuras ou avermelhadas. Na Formação Tatuí (Figura 53), a cor de queima dos corpos de prova são semelhantes às da Formação Corumbataí, porém prevalecem tonalidades mais claras, e as amostras do Grupo Itararé apresentaram tonalidades claras de bege e similares entre si (Figura 54), com exceção da amostra 394-A, de tom mais avermelhado.

A coloração mais escura e avermelhada das amostras da Formação Corumbataí coincide com teores médios de Fe_2O_3 mais elevados e com a ocorrência de ferro livre na forma de hematita e demais óxidos, a exemplo dos resultados de DRX e petrografia, ao passo que nas amostras da Formação Tatuí e Grupo Itararé o Fe_2O_3 está na maior parte incorporado aos silicatos.

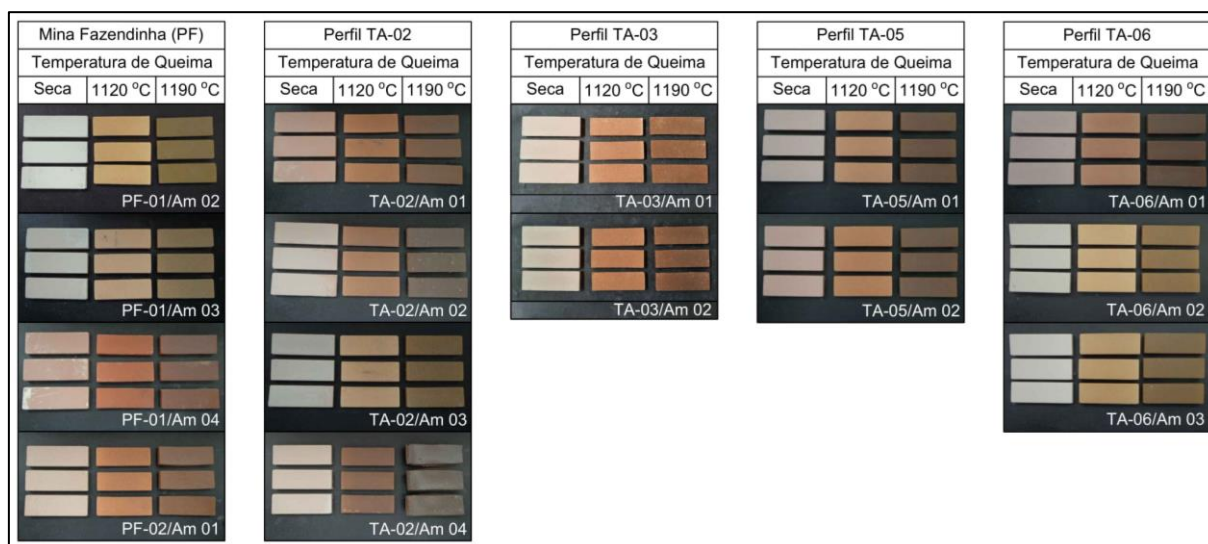


Figura 52 – Cores a seco e de queima nos corpos de prova da Formação Corumbataí.

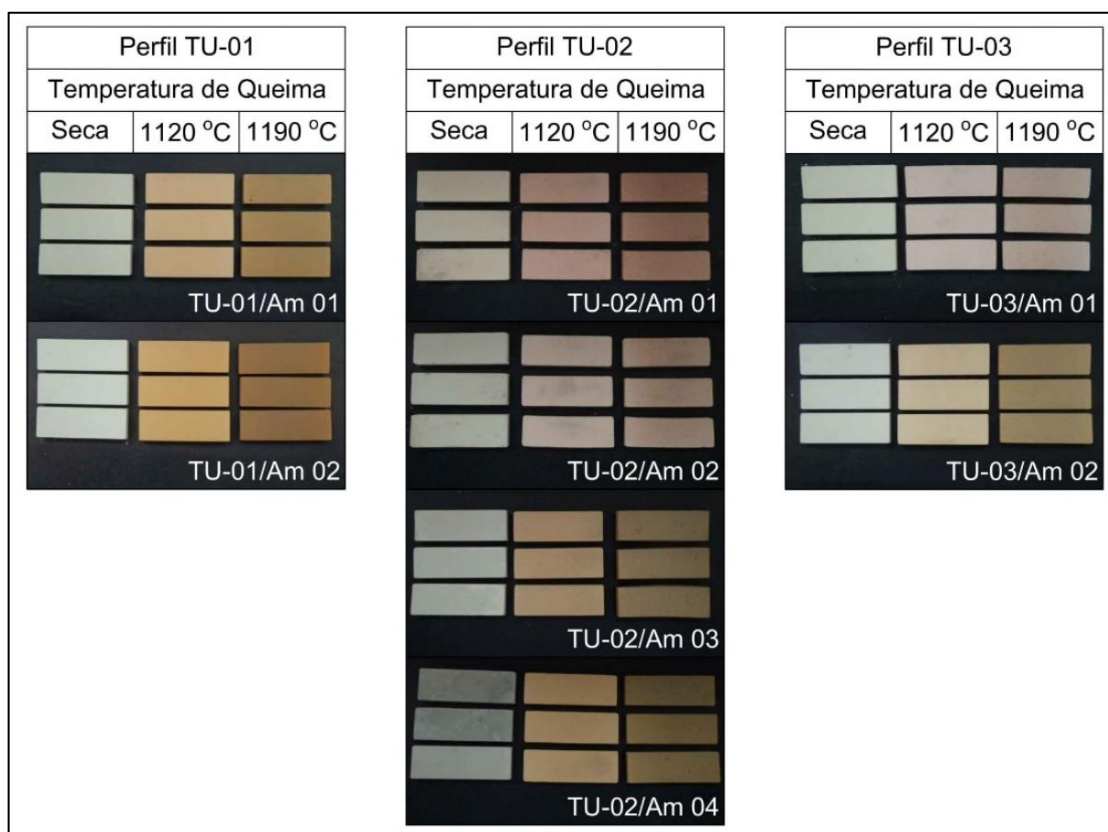
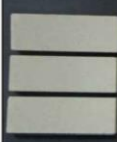
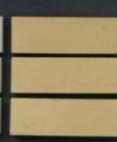


Figura 53 – Cores a seco e de queima nos corpos de prova da Formação Tatuí.

Seção LE-01								
Temperatura de Queima			Temperatura de Queima			Temperatura de Queima		
Seca	1120 °C	1190 °C	Seca	1120 °C	1190 °C	Seca	1120 °C	1190 °C
								
375-B			390			007		

Seção LE-02					
Temperatura de Queima			Temperatura de Queima		
Seca	1120 °C	1190 °C	Seca	1120 °C	1190 °C
					
394-A			394-B		

Figura 54 – Cores a seco e de queima nos corpos de prova do Grupo Itararé.

7.6.4 Capacidade de Troca Catiônica e Carbono Orgânico

Os resultados referentes às análises de carbono orgânico (CO) e da capacidade de troca catiônica (CTC) são apresentados na Tabela 8.

A porcentagem de CO varia de 0,0868 a 0,2704%, predominando valores abaixo ou próximos de 0,2%. Segundo ensaios cerâmicos realizados pelo Grupo de Pesquisa “Qualidade em Cerâmica” no campus da UNESP Rio Claro (ROVERI, 2010; GODOY, 2010), quando a concentração ultrapassa teores de 0,4 a 0,5% em rochas illíticas, podem ocorrer defeitos na fabricação de peças cerâmicas como coração negro e bolhas, devido à dificuldade de saída de gases durante o processo de queima.

Os resultados da CTC variam de 13,79 a 16,89 meq/100g para o Grupo Itararé, 10,75 e 26,36 meq/100g para a Formação Tatuí e entre 8,48 a 27,76 meq/100g para a Formação Corumbataí. Segundo Sobral *et al.* (2015), valores acima de 15 meq/100g (ou cmolc/dm³) indicam presença de argilominerais como illita e montmorillonita, ao passo que os inferiores a 5 cmolc/dm³ indicam baixos teores desses argilominerais ou a predominância de caulinita. Uma correlação semelhante é descrita por Christofolletti *et al.* (1999) na Formação Corumbataí, cujos

valores superiores a 14 cmolc/kg coincidem com maiores teores de montmorillonita, podendo alcançar 26 cmolc/kg.

As amostras com montmorillonitas detectadas na DRX quase sempre apresentam CTC próximo ou superior a 17 meq/100g, com exceção dos resultados do perfil TU-01 e das amostras 394, que podem indicar um menor percentual desse argilomineral e/ou quantidades maiores de feldspatos e quartzo. Os demais valores inferiores a 15 meq/100g estão associados a maiores proporções de caulinita, illita, além de tectossilicatos.

Tabela 8 – Resultados das análises de carbono orgânico (CO), em porcentagem, e capacidade de troca catiônica (CTC), em meq/100g.

Unidade	Amostras	CO	K	Ca	Mg	Na	H+Al	CTC
Formação Corumbataí	PF-01/Am 02	0,1678	1,04	13,1	7,4	0,13	1,4	23,07
	PF-01/Am 03	0,0868	0,58	7,0	5,6	0,07	3,6	16,85
	PF-01/Am 04	0,0198	0,83	13,5	8,8	0,12	1,4	24,65
	PF-02/Am 01	0,1145	1,3	9,9	4,4	0,09	6,0	21,69
	TA-02/Am 01	0,2408	0,47	0,1	0,7	0,04	7,6	8,91
	TA-02/Am 02	0,1579	0,58	0,2	3,0	0,03	7,1	10,91
	TA-02/Am 03	0,1243	0,6	9	2,9	0,03	5,0	9,43
	TA-02/Am 04	0,1579	1,29	8,1	5,8	0,14	1,4	16,71
	TA-03/Am 01	0,1797	0,47	0,1	1,9	0,03	8,5	11,00
	TA-03/Am 02	0,1500	0,71	0,6	3,6	0,04	7,0	11,95
	TA-05/Am 01	0,1638	0,96	5,9	5,9	0,11	9,0	21,87
	TA-05/Am 02	0,1106	0,84	14,7	7,2	0,12	4,9	27,76
	TA-06/Am 01	0,1382	0,64	0,2	1,3	0,03	7,1	9,27
	TA-06/Am 02	0,2231	0,55	0,7	2,9	0,03	4,9	9,08
	TA-06/Am 03	0,1954	1,04	1,7	2,1	0,04	3,6	8,48
Formação Tatuí	TU-01/Am 01	0,1362	0,84	5,5	5,8	0,19	1,4	13,73
	TU-01/Am 02	0,2704	0,98	2,6	4,4	0,19	4,3	12,47
	TU-02/Am 01	0,1776	0,42	3,9	5,1	0,26	3,8	13,48
	TU-02/Am 02	0,2408	0,6	1,0	6,1	0,12	9,0	16,82
	TU-02/Am 03	0,0987	0,8	4,4	18,4	0,26	2,5	26,36
	TU-02/Am 04	0,2270	0,71	2,5	3,1	0,1	11,2	17,61
	TU-03/Am 01	0,2290	0,46	0,1	1,1	0,09	9,0	10,75
	TU-03/Am 02	0,1046	0,79	5,2	7,8	0,27	6,2	20,26
Grupo Itararé	394A	0,2300	0,394	10,18	2,63	0,135	1,84	15,18
	394B	0,2200	0,519	7,49	3,09	0,109	2,57	13,79
	390	0,2100	1,304	10,01	3,03	1,479	1,07	16,89

8 GUIAS PROSPECTIVOS

Neste tópico serão apresentadas as características em comum dos depósitos de argilas superplásticas de fundo de vale e topo de morro que podem contribuir para a descoberta de novas jazidas. Em comum, os depósitos de ambos contextos geomorfológicos necessitam de litotipos pelíticos influenciados por ações intempéricas. Entretanto, particularidades das unidades litoestratigráficas associadas aos respectivos ambientes deposicionais, como a extensão lateral, espessura e distribuição granulométrica dos pacotes sedimentares também influenciarão nos formatos e volumes das mineralizações.

Apesar do presente estudo estar focado nas argilas superplásticas do Permiano/Carbonífero da Bacia do Paraná, tais guias prospectivos podem ser aplicados a outras unidades litoestratigráficas e/ou bacias sedimentares com condições geomorfológicas semelhantes, de modo que sejam testados e aprimorados.

8.1 Depósitos de Fundo de Vale

Os depósitos do Formação Corumbataí do município de Porto Ferreira e do Grupo Itararé são caracterizados por ocorrerem em vales abertos do Rio Moji-Guaçu, cujas planícies de inundação se estendem por mais de 1 km em pelo menos uma das margens. É importante destacar que essas amplas planícies de inundação geralmente estão associadas a rios de maior porte, a exemplo dos rios Tietê, Piracicaba e Pardo.

Apesar de não ter sido muito discutida no presente trabalho, a presença de cobertura aluvionar com alguns metros de espessura pode ter influência na gênese dos depósitos. A ocorrência de camadas turfosas contribui para alterar as condições físico-químicas da água que percola no perfil de alteração e podem corresponder a horizontes guias de prospecção. Já as faixas arenosas/conglomeráticas, permitem a infiltração da água com maior facilidade e promove um contraste de permeabilidade com os litotipos pelíticos, restringindo a drenagem em subsuperfície.

A ocorrência mais superficial desses depósitos, somada à pouca espessura das camadas mais claras de argilas superplásticas (máximo de 3 metros), sugerem processos de alteração mais recentes, influenciados pelo raso nível freático desses

locais, em comparação com os depósitos de topo de morro, cuja alteração pode ter atuado desde o estabelecimento da superfície de erosão. A pouca espessura do minério e a menor possibilidade de afloramentos nas planícies de inundação direcionam a pesquisa mineral para a execução de sondagens mais rasas, mas que dependem da profundidade da drenagem associada e da espessura da cobertura aluvionar e do manto de alteração. Considerando as ocorrências estudadas, as sondagens teriam profundidade máxima de 10 metros.

8.2 Depósitos de Topo de Morro

Os depósitos de topo de morro, sobretudo os da Formação Tatuí, cujos resultados cerâmicos são mais interessantes em comparação com os da Formação Corumbataí do município de Tambaú, encontram-se no contexto de superfície de erosão com topo normalmente marcado por folhelhos da Formação Irati. O topo aplainado, em conjunto com descontinuidades, favorece a infiltração de água e carreamento de íons para as porções mais profundas do perfil, onde os litotipos encontravam-se permanentemente submersos.

Nas porções mais superficiais dos perfis de alteração desses depósitos, foi observado solo de cor marrom avermelhado a vermelho escuro, sendo sucedidos por litotipos alterados com porções alaranjadas, eventualmente com níveis lateríticos de espessura decimétrica. Nos perfis estudados, essas camadas alaranjadas indicam, em subsuperfície, proximidade com as camadas mais claras de argila superplástica, correspondendo a um contraste de condições físico-químicas que influenciaram na lixiviação e deposição do ferro. Os pelitos sotopostos à faixa oxidada, a exemplo dos perfis da Formação Tatuí, tendem a apresentar maior quantidade de montmorillonita, devido à menor drenagem/oscilação da água subterrânea, influenciando nas reações de neoformação e/ou transformação.

Devido a maior profundidade e espessura desses depósitos, são necessários equipamentos de sondagem capazes de atingir 15 a 20 metros em subsuperfície e, como consequência, litotipos menos alterados. Diferentemente do fundo de vale, nesse contexto são mais comuns afloramentos associados a cortes de estrada e principalmente às drenagens, facilitando as etapas iniciais de campo e contribuindo para a locação de furos de sondagem.

9 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a análise e interpretação dos dados obtidos, entende-se que o intemperismo apresenta importante papel na gênese de argilas superplásticas de cor de queima clara de ambos os contextos geomorfológicos estudados, sobretudo na geração de montmorillonita e lixiviação parcial de Fe_2O_3 . Entretanto, as diferenças das paisagens de topo de morro e fundo de vale geraram diferentes perfis de alteração, espessura e profundidade dos minérios.

O ambiente de sedimentação, apesar de não ser o foco do presente estudo, interfere na proporção de frações mais finas e nas espessuras desses litotipos. As variações litológicas e descontinuidades das camadas no Grupo Itararé podem limitar a espessura e extensão lateral das mineralizações, enquanto que a maior homogeneidade favorece a existência de mais jazidas na Formação Tatuí. Na Formação Corumbataí, a presença de porções mais arenosas associadas a depósitos costeiros, a exemplo dos perfis de alteração de Tambaú, pode dificultar a pesquisa mineral de novas ocorrências e jazidas.

A DRX e estudos petrográficos indicaram nos perfis de topo de morro a maior quantidade de caulinita, hidróxido de ferro e hematita nas porções superiores, enquanto que em direção à base ocorre aumento dos teores de montmorillonita e/ou feldspatos. A illita e quartzo ocorrem ao longo de todo o perfil e eventualmente há porções ricas em carbonatos identificadas na Formação Corumbataí. Nos perfis de vale, a caulinita é mais comum na porção superior e ocorre aumento relativo de óxidos e hidróxidos de ferro na base, em função da menor ou inexpressiva lixiviação nos litotipos avermelhados. Illita e montmorillonita estão presentes em ambas as porções dos perfis, podendo ainda haver faixas ricas em materiais amorfos ou interstratificados não identificáveis em DRX. O contexto regional da Bacia do Paraná, estudos pretéritos na Formação Corumbataí na região de Rio Claro e as presentes observações sugerem gênese secundária da montmorillonita, a partir da alteração intempérica de illitas (transformação) e feldspatos (neoformação) em ambiente de pouca circulação de água, enquanto que a caulinita corresponderia à evolução desse processo em ambiente com maior facilidade de circulação de fluido e/ou melhor drenagem de água.

O clareamento das litotipos está associado à diminuição do teor de Fe_2O_3 , lixiviado em ambiente redutor e precipitado em determinadas porções dos perfis, sugerindo mudanças das condições físico-químicas nesses perfis. Essa lixiviação e demais reações foram favorecidas pela presença de descontinuidades como fraturas e filetes identificáveis nas amostras de mão e em lâmina, sobretudo nas frações mais siltosas.

Os estudos litogeoquímicos também indicaram na maioria das amostras aumento dos teores de álcalis e redução de alumina em direção à base, o que reflete em menores valores de CIA e CIW e menor proporção de caulinita.

Apesar de não descartada a possibilidade de variações composicionais dos estratos, os índices reforçam a influência do intemperismo na maioria dos perfis estudados, bem como posicionam as amostras de base para os campos da illita/montmorillonita e campo da caulinita para as porções superiores. Os estudos de proveniência com elementos traços posiciona a maior parte das amostras analisadas no campo de sedimentos provenientes de granitos e gnaisses, ocasionalmente em fontes metassedimentares.

Os ensaios cerâmicos, sobretudo do módulo de ruptura à flexão a seco e de cor de queima, indicam que o Grupo Itararé, Formação Tatuí e Formação Corumbataí de Porto Ferreira apresentam resultados favoráveis para utilização na composição de porcelanatos e outras massas cerâmicas. Os maiores valores de MRFS coincidem com a presença de montmorillonitas e illitas e/ou ausência de caulinitas, mas também tem importante influência do empacotamento das partículas, morfologia e superfície dos cristais, além de possíveis fases amorfas/deseestruturadas. Em Tambaú, apesar do elevado MRFS, as amostras apresentam cores de queima mais escuras, o que dificulta a incorporação desse material por parte da indústria. A coloração mais vermelha reflete na maior proporção de Fe_2O_3 livre, com menor incorporação desse elemento por parte de silicatos. Entretanto, cabe destacar os perfis TA-02 e TA-06, cujas camadas esverdeadas exibiram cores de queima mais promissoras. Os resultados pós-queima indicaram sinterização mais precoce para a Formação Corumbataí, sugerindo maior teor de fundentes, como o predomínio de illitas, presença de feldspatos e/ou menor conteúdo de quartzo/caulinita em relação ao Grupo Itararé e Formação Tatuí.

Dessa forma, considerando a cor de queima e os resultados do MRFS, os alvos da Formação Tatuí (perfil TU-01) e do Grupo Itararé se mostraram mais

promissores para a existência de novas mineralizações de argilas superplásticas do que os perfis da Formação Corumbataí de Tambaú. Entretanto, devido ao fato de os ensaios cerâmicos terem sido realizados somente com a argila superplástica, cabe ressaltar a necessidade de execução de mais testes em que haja a mistura do minério aqui estudado, sobretudo nas amostras cuja principal influência na resistência a seco seja o empacotamento das partículas, com os demais componentes das massas, de modo que seja avaliado o desempenho da argila superplástica no produto cerâmico de um cenário similar ao que é empregado na indústria.

Os guias prospectivos, somado às características dos litotipos em campo, como coloração, grau de alteração, camadas adjacentes e posicionamento geomorfológico, contribuem para a descoberta de novos depósitos de argilas superplásticas e podem ser aplicados ou testados em diferentes bacias sedimentares e cenários climáticos, desde que existam premissas como a presença de litotipos finos. Entretanto, estudos mais detalhados se fazem necessários para determinação do grau de influência dos guias prospectivos na gênese das argilas superplásticas, como por exemplo, a presença de camadas turfosas sobrepostas às camadas mineralizadas de fundo de vale, ou os fatores que influenciaram na ocorrência de camadas alaranjadas sobrepostas ao minério no contexto de topos de morros.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Construção Civil, 1997a. 4 p.

ABNT. **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento - Classificação. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Construção Civil, 1997b. 3 p.

ABNT. **NBR 13818 VERSÃO CORRIGIDA 1997**: Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Construção Civil, 1997c. 78 p.

ABNT. **NBR:15643**: Normas técnicas de classificação de placas cerâmicas para revestimento – porcelanato, 2013. 7 p.

ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo, n. 41, p. 169- 263, 1964.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVERK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARAL, S. E. **Geologia e Petrologia da Formação Irati (Permiano) no Estado de São Paulo**. 1967. 81 f. Tese (Livre Docência). Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1967.

ARAB, P. B.; PERINOTTO, J. A. J.; ASSINE, M. L. Grupo Itararé (P – C da Bacia do Paraná) nas regiões de Limeira e Piracicaba - SP: Contribuição ao estudo das litofácies. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 501-521, out, 2009.

ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e sequências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 33 n. 1, p. 33-40, mar, 2003.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA DOS REVESTIMENTOS (ANFACER). **Informações fornecidas ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)**. São Paulo, 2018.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DAS CERÂMICAS DE REVESTIMENTOS (ASPACER). **Informações fornecidas ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)**. São Paulo, 2018.

BARBA, A.; FELIU, C.; GARCIA, J.; GINÉS, F.; SÁNCHEZ, E.; SANZ, V. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. 2ª Edição. Castellón, Espanha: Instituto de Tecnología Cerámica, 2002. 292 p.

BARBOSA, O.; GOMES, F. A. Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí, Estado de São Paulo. **Boletim da Divisão de Geologia e Minas – DNPM**, Rio de Janeiro, n. 171, p. 1-40, 1958.

BARBOSA-GIMENEZ, N. L.; CAETANO-CHANG, M. R. Diagênese de arenitos da Formação Tatuí no estado de São Paulo Estudo petrográfico dos arenitos da Formação Tatuí no estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, v. 40, n.1, p. 68-79, 2010.

CABRAL JÚNIOR, M.; AZEVEDO, P. B. M.; CUCHIERATO, G.; MOTTA, J. F. M. Estudo estratégico da cadeia produtiva da indústria cerâmica no estado de São Paulo: Parte I – Introdução e a indústria cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**. v. 24 n. 1, p. 20-34, 2019.

CAETANO-CHANG, M. R. **Análise Ambiental e estratigráfica do Subgrupo Itararé (PC) no sudoeste do Estado de São Paulo**. 1984. 310 f. Tese (Doutorado em Paleontologia e Estratigrafia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

CHAHUD, A. **Geologia e paleontologia das formações Tatuí e Irati no centro-leste do Estado de São Paulo**. 2011. 299 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CHAHUD, A.; PETRI, S. The Tatuí Formation (Early Permian, Paraná Basin), Brazil: Paleontology and Paleoenvironmental Considerations. **Earth Sciences Research Journal**, Bogotá, v. 19, n. 2, p. 153-158, dez, 2015.

CHRISTOFOLETTI, S. R. **Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes**. 2003. 212 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

CHRISTOFOLETTI, S. R.; MORENO, M. M. T.; VALARELLI, J. V.; SOUZA, P. E. C. A Variação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em função da mineralogia das argilas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43, 1999, Florianópolis. **Anais[...]**, Florianópolis: ABC, 1999.

CHRISTOFOLETTI, S. R.; BATEZELLI, A.; MORENO, M. M. T. Caracterização geológica, mineralógica, química e cerâmica da Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú, Porto Ferreira e Santa Rosa do Viterbo-SP, visando aplicação e diversificação de produtos no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. **Geociências**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 768-783, ago, 2015.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 2006. Escala 1:750.000. 1 CD-ROM.

CULLERS, R.L. The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, Colorado, USA. **Chemical Geology**, v. 113, n. 3-4, p. 327-343, abr. 1994.

CURTOLO, M. Z. **Caracterização tecnológica de matérias-primas cerâmicas provenientes da Formação Tatuí na região de Ipeúna (SP)**. 2019, 90 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2019.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas: Uma introdução**. 3ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2008, 727 p.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **An Introduction to the Rock-Forming Minerals**. 3ª Edição. Londres: The Mineralogical Society, 2013, 498 p.

EYLES, C. H.; EYLES, N.; FRANÇA, A. B. Glaciation and tectonics in an active intracratonic basin: the Late Palaeozoic Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. **Sedimentology**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 1-25, fev. 1993.

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 Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2-4, p. 147-191, 1988.

FÚLFARO, V. J.; STEVAUX, J. C.; SOUZA FILHO, E. E.; BARCELOS, J. H. A Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro, **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBG, 1984, v. 2 p. 711-724.

GAMA JR, E. G.; PERINOTTO, J. A. J.; RIBEIRO, H. J. P. S.; PADULA, E. K. Contribuição ao estudo da ressedimentação no Subgrupo Itararé: Tratos de fácies e hidrodinâmica deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 2, p. 228-236, jun.1992.

GODOY, L. H. **Caracterização geoquímica e cerâmica das argilas do Grupo Itararé/ Formação Aquidauana, na faixa aflorante entre os estados de São Paulo e sul de Minas Gerais**. 2010, 94 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

HACHIRO, J. **Litotipos, associações faciológicas e sistemas deposicionais da Formação Irati no estado de São Paulo**. 1991. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

HACHIRO, J. **O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná**. 1997. 174 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

HARNOIS, L. The CIW index: A new chemical index of weathering. **Sedimentary Geology**, v. 55, n. 3-4, p. 319-322, mar. 1988.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. 1ª Edição. São Paulo: Beca-BALL, 2012. 906 p.

HOLZ, M.; FRANÇA, A. B.; SOUZA, P. A.; IANNUZZI, R.; ROHN, R. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, n. 2, p. 381–399, mar. 2010.

KÖPPEN, W. 1936: Das geographische System der Klimate. *In*: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (ed.): **Handbuch der Klimatologie**. Gebrüder Bornträger: Berlin, 1936, p. 5–44.

LANDIM, P. M. B. O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí (SP). **Boletim Divisão Geologia e Mineralogia - DNPM**, n. 252, 103 p., 1970.

LAVINA, E. L. The Passa Dois Group. *In*: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7., 1988. São Paulo. Field excursion guide book. São Paulo: Instituto de Geociências, 1988. p. 24-30.

LAVINA, E. L. & LOPES, R. C. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. **Paula-Coutiana**, Porto Alegre, v. 1, p. 51-103, 1987.

LOOMIS, G. A. Grain size of whiteware clays as determined by the Andreasen pipette. **Journal of the American Ceramic Society**, Nova Orleans, v. 21, n. 11, p. 393–399, nov. 1938.

MASSOLI, M.; AZEVEDO, A. A. B.; ODA, G. H.; SANTORO, J.; TOMINAGA, L. K.; PETRI, S. Contribuição à geologia do município de Cerquilho, SP. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 7, n. 1-2, p. 17-30, 1986.

MELO, M. S. **A Formação Rio Claro e depósitos associados: Sedimentação Neocenoica na Depressão Periférica Paulista**. 1995. 148 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MIALL, A. D. **Principles of sedimentar basin analysis**. 1ª Edição. Nova Iorque: Springer-Science, 1984. 490 p.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana Sul-Occidental**. 1997. v. 2. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E. J.; FACCINI, U. F.; SCHERER, C. M. S.; ARAÚJO, L. M.; CUPERTINO, J. A. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. **Boletim IG-USP (Série Científica)**, São Paulo, v. 29, p. 125-173. nov. 1998.

MILANI, E. J.; MELO J. H. G., SOUZA, P. A. da; FERNANDES L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, nov, 2007.

MILLOT, G. **Geology of Clays: Weathering, Sedimentology e Geochemistry**. Viena: Springer-Verlag GmbH, 1970, 429 p.

MILLOT, G., LUCAS, J. WEY, R. Researches on the evolution of clay minerals and argillaceous and siliceous neoformations. **Clay and Clay Minerals**, v. 10, p. 399-412, 1961.

MONTANHEIRO, T. J. **Prospecção e caracterização de pozolanas na Bacia do Paraná, Estado de São Paulo**. 1999, 159 p. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MONTIBELLER, C. C.; NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A. ROHN, R.; ROVERI, C.; ROCHA, R. R.; CONCEIÇÃO, F. T. Geochemistry of siltstones from the Permian Corumbataí Formation from the Paraná Basin (State of São Paulo, Brazil): Insights of provenance, tectonic and climatic settings. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 102, out, 2020.

MORENO, M. M. T; DEL ROVERI, C.; GODOY, L. H.; ZANARDO, A. Caracterização de argilas e composição de massas cerâmicas preparadas com base na análise de curvas de consistência de misturas argila-água. **Cerâmica**, v. 62, p. 21-31, 2016.

MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C.; CABRAL JÚNIOR, M. Argilas plásticas para cerâmica branca no Estado de São Paulo - Potencialidade geológica. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 23 n. 2, p. 158-173, jun, 1993.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JÚNIOR, M. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 28-39, mar/abr. 2001.

MOTTA, J. F. M.; LUZ, A. B. da; BALTAR, C. A. M.; BEZERRA, M. S.; CABRAL JÚNIOR, M.; COELHO, J. M. Argilas plásticas para cerâmica branca. In: LUZ, A. B. & LINS, F. A. F. (eds.), **Rochas e Minerais Industriais**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, cap. 34, p. 771 – 791, 2008.

NESBITT, H. W. & YOUNG, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. **Nature**, v. 299, p. 715-717, out.1982.

NESBITT, H. W. & YOUNG, G. M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 48, n. 7, p. 1523-1534, jul. 1984.

NESBITT, H. W. & YOUNG, G. M. Formation and diagenesis of weathering profiles. **The Journal of Geology**, v. 97, n. 2, p. 129-147, mar. 1989.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista**. 1976. 86 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

PERINOTTO, J. A. J. & ZAINÉ, J. E. **Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro/Limeira/Piracicaba**. Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 2008.

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

RAMOS, A. N. & FORMOSO, M. L. L. Clay mineralogy of the sedimentary rocks of the Paraná Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 6, n. 1, p. 15-42, 1976.

RIMMER, S. M. & EBERL, D. D. Origin of an underclay as revealed by vertical variations in mineralogy and chemistry. **Clay and Clay Minerals**, v. 30, n. 6, p. 422-430, dez. 1982.

ROCHA, R. R. **Propriedades Químico-Mineralógicas e Cerâmicas de Rochas da Formação Corumbataí: Aplicação na Diversidade de Produtos**. 2012, 203 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

ROCHA-CAMPOS, A. C. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. In: BIGARELLA, J. J. (ed.). **Problems in Brazilian Devonian geology**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1967. p. 27-102.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. P. B.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

ROSER, B. P. & KORSCH R. J. Provenance signatures of sandstonemudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data. **Chemical Geology**, v. 67, n. 1-2, p.119-139, jan. 1988.

ROSS, J. L. S. & MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1997. Escala 1:50.000.

ROVERI, C.D. **Petrologia aplicada da Formação Corumbataí (Região de Rio Claro – SP) e produtos cerâmicos**. 2010, 200 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

SAAD, A. R. **Estratigrafia do Subgrupo Itararé no Centro e Sul do Estado de São Paulo**. 1977, 107 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.

SANTOS, R. V.; SOUZA, P. A.; ALVARENGA, C. J. S.; DANTAS, E. L.; PIMENTEL, M. M.; OLIVEIRA, C. G.; ARAÚJO, L. M. Shrimp U-Pb Zircon dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Irati Formation, Paraná Basin, Brazil. **Gondwana Research**, Osaka, v. 9, n. 4, p. 456-463, jun. 2006.

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., 1974, Porto Alegre. **Anais[...]**, Porto Alegre: SBG, 1974, v. 1, p. 41-65.

SOARES, P. C. O limite glacial - pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v. 44, p. 333-341, 1972.

SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., 1973, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: SBG, 1973, v. 1, p. 243-256.

SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. Depósitos cenozóicos na região Centro-Sul do Brasil. **Notícia Geomorphologica**, Campinas, v. 16, n. 31, p. 17-39, 1976.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; SINELLI, O.; WERNICK, E.; WU, F. T.; FIORI, A. P. Associações litofaciológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 2, p. 131-149, 1977.

SOBRAL, F. L.; BARRETTO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia Prático para interpretação de resultados de análises do solo** 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, v.1, 2015. 15p.

SOUZA, S. H. M. **Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo**. 1985, 142 p. Dissertação (Mestrado em Paleontologia e Estratigrafia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

STEVAUX, J. C., SOUZA FILHO, E. E. DE, TEIXEIRA, J. A., LANDIM, P. M. B. Sistemas deposicionais do Subgrupo Itararé (P-C) na bacia Hidrográfica do Baixo Rio Capivari (SP): um modelo para prospecção de água subterrânea. *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6., 1987. Rio Claro. **Atas. [...]**, São Paulo: SBG-NSP, 1987, v. 1, p. 355-374.

STEVAUX, J. C., SOUZA FILHO, E. E., FÚLFARO, V. J. Trato deposicional da Formação Tatuí (P) na área aflorante do NE da Bacia do Paraná, Estado de São Paulo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: SBG, 1986, v.1, p. 219-229.

THIRY, M. **Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse aux rayons X**. Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Centre de Sedimentologie et Géochimie de la Surface, Strasbourg, 1974, 25 p.

VELDE, B. **Introduction to Clay Minerals: Chemistry, origin, uses and environmental significance**. 1ª Edição. Springer-Science, 1992. 198 p.

VESLEY, F. F. **Dinâmica sedimentar e arquitetura estratigráfica do Grupo Itararé (Carbonífero-Permiano) no centro-leste da Bacia do Paraná.** 2006, 226 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

WHITE, W. A. Atterberg plastic limits of clay minerals. **American Mineralogist**, v. 34, n. 7-8, p. 508-512, 1949.

ZALÁN, P. V.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; NETO, E. V. S.; CERQUEIRA, R. J.; ZANOTTO, O. A.; PAUMER, M. L.; MARQUES, A. **Análise da Bacia do Paraná.** Relatório Interno GT-05-009/85, Petrobras, 195 p., 1986.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V. T.; SANTOS NETO, E. V.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. *In*: LEIGHTON, M. W.; KOLATA, D. R.; OLTZ, D. F.; EIDEL, J. J. (ed.). **Interior cratonic basins.** Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1990. p. 681-708.

ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C. C.; NAVARRO, G. R. B.; MORENO, M. M. T.; ROCHA, R. R.; ROVERI, C.; AZZI, A. A. Formação Corumbataí na região de Rio Claro/SP: Petrografia e implicações genéticas. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 322-345, mai, 2016.

ZANELLI, C.; IGLESIAS, C.; DOMINGUÉZ, E.; GARDINI, D.; RAIMONDO, M.; GUARINI, G.; DONDI, M. Mineralogical composition and particle size distribution as a key to understand the technological properties of Ukrainian ball clays. **Applied Clay Science**, v. 108, p. 102-110, mai, 2015.