



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

Câmpus de Rio Claro



Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS
PROVENIENTES DA FORMAÇÃO TATUÍ NA REGIÃO DE IPEÚNA (SP)**

Murilo Zaine Curtolo

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro

Rio Claro (SP)

2019

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

MURILO ZAINE CURTOLO

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS
PROVENIENTES DA FORMAÇÃO TATUÍ NA REGIÃO DE IPEÚNA (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas do
Campus 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)

2019

C981c	Curtolo, Murilo Zaine Caracterização tecnológica de matérias-primas cerâmicas provenientes da Formação Tatuí na região de Ipeúna (SP) / Murilo Zaine Curtolo. -- Rio Claro, 2019 90 p. : il., tabs., mapas + 1 CD-ROM Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro Orientador: Guillermo Rafael Beltran Navarro 1. Matérias-primas. 2. Cerâmica. 3. Mineralogia. 4. 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.

MURILO ZAINE CURTOLO

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS
PROVENIENTES DA FORMAÇÃO TATUÍ NA REGIÃO DE IPEÚNA (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus 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

Prof^a. Dr^a. Carolina Del Roveri

Dr. Sergio Ricardo Christofolletti

Conceito: APROVADO

Rio Claro (SP), 18 de Junho de 2019.

*Ao meu avô, Michel Zaine (in
memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais por todo o apoio durante mais esta etapa, e por todo amor e carinho ao longo de toda minha vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro por acompanhar e supervisionar todas as etapas necessárias para a elaboração desta dissertação. Agradeço por toda preocupação e atenção dedicada não só a esse trabalho, mas também a mim como aluno e colega de trabalho.

Dedico agradecimento especial à Prof^a. Cibele Carolina Montibeller, cujos conhecimentos foram indispensáveis para que este trabalho atingisse todo seu potencial. Gostaria de agradecer por todo companheirismo, apoio e dedicação demonstrados ao longo dos últimos dois anos, e por sempre demonstrar competência e talento ímpares em todas as atividades que se dispõe a realizar.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, Thaís Güitzlaf Leme e Otávio Augusto R. P. Vieira, pela amizade e companhia de todos os dias. A aqueles que conheci durante a graduação e hoje carrego como amigos para toda a vida, Débora Andrade Targa e Saul Hartmann Riffel, e as integrantes do BONDE por estarem ao meu lado em todos momentos, sempre presentes como peças fundamentais da minha vida.

Aos técnicos Fábio de Oliveira Thomazini, Adilson José Rossini e Nelson Pereira Lopes Junior, pelo trabalho investido para que os ensaios cerâmicos e petrográficos pudessem ser realizados da melhor maneira possível.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“Poor is the man whose pleasures depend
on the permission of another” - Madonna*

RESUMO

Conhecido por ser um dos polos cerâmicos de maior destaque da América Latina, o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (PCSG), tem o diferencial de seus produtos associado aos argilitos e siltito provenientes da Formação Corumbataí (Neopermiano da Bacia do Paraná) aflorantes por toda a região dos municípios de Cordeirópolis, Ipeúna, Limeira, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes (SP). Devido à sua importância no mercado nacional e internacional, o PCSG tem sido objeto constante de estudos que visam aprimorar sua produção e buscar novas fontes de matérias-primas. O presente trabalho busca caracterizar os litotipos da Formação Tatuí (Neopermiano) quanto à sua composição química, mineralogia e aspectos tecnológicos, com o intuito de verificar se esses materiais podem ser aplicados como fonte alternativa de matéria-prima para o PCSG. Para isso foi realizado o levantamento geológico de duas colunas estratigráficas da Formação Tatuí na região do município de Ipeúna, cujos litotipos foram avaliados por meio de análises químicas, petrográficas e difratométricas, além de ensaios cerâmicos, os quais abrangeram testes de queima a 950° C, 1050° C e 1150° C, testes de carga de ruptura instantânea, resistência a flexura e absorção de água, além de análises de granulometria de moagem por difração de raios - X. As análises mostraram que os litotipos apresentam, de maneira geral, granulometria fina e são constituídos principalmente por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio (albita) e filossilicatos (biotita), com concentrações secundárias de zeólita e óxidos de ferro. Os resultados, combinados aos ensaios cerâmicos, indicaram que os litotipos da Formação Tatuí na região do município de Ipeúna possuem, com base em sua taxa de absorção de água, aplicabilidade na indústria cerâmica para a fabricação de revestimentos rústicos e não só para a cerâmica estrutural, como se acreditava baseado em sua utilização previa nas indústrias da região de Cesário Lange, Tatuí e Laranjal Paulista.

Palavras-chave: matérias-primas, cerâmica, mineralogia, geoquímica

ABSTRACT

Known for being one of the most important ceramic centers in Latin America, the Santa Gertrudes Ceramic Pole (PCSG) has the differential of its products associated with the high quality red clays of the Corumbataí Formation (Neopermian) found throughout the city areas of Cordeirópolis, Ipeúna, Limeira, Piracicaba, Rio Claro and Santa Gertrudes (SP). Due to its importance in the national and international market, the PCSG has been the object of constant studies that aim to improve its production and to look for new sources of raw materials. The present work aims to characterize the Tatuí Formation (Neopermian) lithotypes in their geochemistry, mineralogy and technological aspects, in order to verify if these materials can be used as an alternative source of raw materials for the PCSG. In order to achieve this goal, a geological survey of two stratigraphic profiles of the Tatuí Formation was carried out in the region of Ipeúna, with their lithotypes submitted to chemical, petrographic and diffractometric analyzes, as well as ceramic tests. These tests included burning at 950 ° C, 1050 ° C and 1150 ° C, instantaneous burst load, flexural strength, water absorption and particle size analysis by X - ray diffraction. The analysis showed that the lithotypes have, in general, fine granulometry and are constituted mainly by quartz, potassium feldspar, plagioclase (albite) and phyllosilicates, with secondary concentrations of zeolite and iron oxides and hydroxides. These results, combined with the ceramic tests, indicated that the lithotypes of the Tatuí Formation in this region, based on their water absorption rates, can be used in the ceramic industry for the manufacture of rustic coatings and not only for structural ceramic, as was believed based on its previous use in the industries Cesário Lange, Tatuí and Laranjal Paulista.

Keywords: raw materials, ceramic, mineralogy, geochemistry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma das etapas de produção de placas cerâmicas pelo método de via seca (Modificado de ROCHA; 2012).	6
Figura 2. Fluxograma das etapas de produção placas cerâmicas pelo método de via úmida (Modificado de ACIMAC, 1998).	7
Figura 3. Mapa de localização da área de estudo com destaque para os perfis MZ-T1 e MZ-T2. (Fonte: Autor)	8
Figura 4. Mapa de abrangência da Bacia do Paraná dentro do território sulamericano. (Fonte: Autor)	12
Figura 5. Empilhamento estratigráfico representativo da área de estudo com destaque para a Formação Tatuí (Modificado de Perinotto & Zaine, 2008).	13
Figura 6. Seção esquemática MZ-T1 com os principais litotipos da Formação Tatuí observados ao longo da estratigrafia; A – B = arenitos finos marrom-avermelhados ricos em óxidos de ferro encontrados na base do perfil; C – D = arenitos finos bege-claros/verde-claros.	30
Figura 7. Seção esquemática MZ-T2 com os litotipos observados ao longo do perfil MZ-T2; E = intercalação de arenitos finos bege-claros/cinza-claros com alto grau de empastilhamento e camadas de arenito finos; F = detalhe de concreção inserida; G = vulg de quartzo.	32
Figura 8. Seção esquemática MZ-T1 com fotomicrografias dos litotipos posicionadas de acordo com sua posição estratigráfica; A: visão geral da lâmina com destaque para os cristais de quartzo e plagioclásio; C: bandas de óxido de ferro intercaladas por cristais de filossilicatos e quartzo; E: cristal de albita com geminação segunda a Lei da Albita. Fotomicrografias à luz transmitida e polarizada, respectivamente. Qtz: quartzo; Pl: plagioclásio; Bt: biotita; Ox/Hidr: óxidos de ferro. B – D – F: nicóis cruzados.	33

Figura 9. Seção esquemática MZ-T2 com fotomicrografias dos litotipos posicionadas de acordo com sua estratigrafia (lâminas MZ-12C, MZ-12B e MZ-12D); destaque para os cristais de quartzo, plagioclásio e bandas de óxido de ferro; G-I-K = luz transmitida, H-J-L= nicóis cruzados.....	35
Figura 10. Difrátogramas referentes à porção de base da seção MZ-T1.....	36
Figura 11. Difrátogramas referentes à porção intermediária da seção MZ-T1.	36
Figura 12. Difrátogramas referentes à porção de topo da seção MZ-T1.....	37
Figura 13. Difrátogramas referentes à composição mineralógica da seção MZ-T2.....	37
Figura 14. Difrátogramas referentes às amostras da mina Nova Conquista.....	38
Figura 15. Gráfico da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ das amostras do perfil MZ-T1.....	40
Figura 16. Gráfico da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ das amostras do perfil MZ-T2.....	41
Figura 17. Gráfico comparativo da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ das amostras da mina Nova Conquista.	41
Figura 18. Proporção de CaO nas amostras do perfil MZ-T1.	42
Figura 19. Proporção de CaO nas amostras do perfil MZ-T2.	42
Figura 20. Proporção comparativa de CaO nas amostras da mina Nova Conquista.	43
Figura 21. Gráfico de comparação do teores de álcalis dos perfis MZ-T1 e MZ-T2.....	44
Figura 22. Gráfico de comparação do teores de álcalis das amostras provenientes da mina Nova Conquista.	44
Figura 23. Taxa de LOI (loss on ignition) referente às amostras do perfil MZ-T1.....	45
Figura 24. Taxa de LOI (loss on ignition) referente às amostras do perfil MZ-T2.....	45
Figura 25. Taxa de LOI (loss on ignition) referente às amostras da mina Nova Conquista.	46
Figura 26. Gráfico da proporção de Fe_2O_3 nas amostras do perfil MZ-T1.	46
Figura 27. Gráfico da proporção de Fe_2O_3 nas amostras do perfil MZ-T2.	47

Figura 28. Gráfico comparativo da proporção de Fe_2O_3 nas amostras da mina Nova Conquista.....	47
Figura 29. Gráfico comparativo entre as taxas de CaCO_3 teórico, Fe_2O_3 e Al_2O_3 nas amostras dos perfis MZ-T1 e MZ-T2.....	48
Figura 30. Distribuição granulométrica após a moagem em moinho de martelo. a) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras MZ-01 e MZ-02; b) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras MZ-4B, MZ-07; c) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras MZ-4T, MZ-05 e MZ-06.	49
Figura 31. Distribuição granulométrica das amostras MZ-12B, MZ-12C e MZ-12D após a moagem em moinho de martelo.....	50
Figura 32. Distribuição granulométrica das amostras MZC-4M, MZC-03 e MZC-12A após moagem por moinho de martelos.....	51
Figura 33. Prancha de fotos dos corpos de prova dos perfis MZ-T1 e MZ-T2, respectivamente (Dimensões médias de 7 cm X 2 cm). Destaque para a variação de cor e volume de acordo com cada uma das temperaturas de queima.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química média, em porcentagem de óxidos (%), dos litotipos da Formação Corumbataí utilizados na produção cerâmica no PCSG. * LOI: Loss On Ignition. Modificado de Zanardo et al., 2016.	6
Tabela 2. Composição química dos materiais provenientes da Formação Tatuí. Valores apresentados sob a forma de porcentagem de óxidos maiores. *: Teores médios de óxidos maiores da Formação Corumbataí.	39
Tabela 3. Picos de granulometria em ordem decrescente de volume.	52
Tabela 4. Média das densidades aparentes iniciais dos corpos de prova e seus respectivos desvios padrão.	53
Tabela 5. Características físico-mecânicas pós-queima. *: Sobrequeima.	56
Tabela 6. Média das densidade aparentes pós-queima e seus respectivos desvios padrão. *: Desvio padrão.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo com seu método de fabricação e a presença ou ausência de esmaltação (ABNT, 1997b).	4
Quadro 2. Classificação de revestimentos cerâmicos com base em seus grupos de absorção de água (ABNT, 1997b).	4
Quadro 3. Principais setores cerâmicos, matérias-primas utilizadas e características do processo de fabricação. Destaque para o setor de revestimentos (Modificado de MOTTA, ZANARDO & CABRAL JUNIOR, 2001).	5

LISTA DE ABREVIACÕES

ASPACER	Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento
PCSG	Polo Cerâmico de Santa Gertrudes
AA	Absorção de água
Cg	Conglomerado
Ag	Areia grossa
Am	Areia média
Af	Areia fina
Sl	Silte
Ar	Argila
Qtz	Quartzo
Al	Albita
Pl	Plagioclásio
Bt	Biotita
Ox	Óxidos
Hem	Hematita
Ill	Ilita
Kln	Caulinita
LOI	<i>Loss on ignition</i>
VAS	Volume aparente dos corpos de prova a seco
CRQ	Carga de ruptura instantânea
MRQF	Módulo de ruptura a flexão
RLQ	Retração linear pós-queima
DP	Desvio padrão

* As abreviações dos minerais seguem a nomenclatura sugerida por Krentz (1983).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS	1
1.2 PANORAMA HISTÓRICO DO PCSG E DA FORMAÇÃO TATUI NA INDÚSTRIA CERÂMICA	2
2. NORMAS TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO CERÂMICA	3
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	7
4. ASPECTOS FISIOGRAFICOS	9
4.1 RELEVO.....	9
4.2 CLIMA	9
4.3 VEGETAÇÃO.....	10
4.4 HIDROGRAFIA	10
4.5 SOLO	10
5. GEOLOGIA REGIONAL	11
5.1 CONTEXTO GERAL DA BACIA DO PARANÁ.....	11
5.2 ESTRATIGRAFIA E LITOTIPOS	12
5.3 ALTO ESTRUTURAL DE PITANGA (DOMO DE PITANGA)	14
5.4 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS AFLORANTES NA ÁREA	15
5.4.1 UNIDADES PALEOZOICAS.....	15
5.4.2 UNIDADES MESOZOICAS	21
5.4.3 UNIDADES CENOZOICAS	23
5.4.4 CONTEXTO GEOESTRUTURAL.....	24
6. METODOLOGIA APLICADA	24
6.1 AQUISIÇÃO DE DADOS	24
6.1.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	24
6.1.2 ATIVIDADES DE CAMPO	24
6.1.3 ANÁLISES LABORATORIAIS.....	25
6.1.4 ENSAIOS CERÂMICOS.....	26
6.1.5 TRATAMENTO DOS DADOS E ELABORAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	28
7. RESULTADOS	28

7.1	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DOS LITOTIPOS.....	28
7.1.1	SEÇÃO MZ-T1.....	29
7.1.2	SEÇÃO MZ-T2.....	31
7.2	DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DOS LITOTIPOS DA FORMAÇÃO TATUÍ	32
7.2.1	SEÇÃO MZ-T1.....	32
7.2.2	SEÇÃO MZ-T2.....	34
7.3	DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	35
7.3.1	SEÇÃO MZ-T1.....	35
7.3.2	SEÇÃO MZ-T2.....	37
7.3.3	MINA NOVA CONQUISTA	38
7.4	LITOGEOQUÍMICA.....	38
7.5	AVALIAÇÃO GRANULOMÉTRICA POR DIFRATOMETRIA A LASER	48
7.5.1	PARÂMETROS PÓS-QUEIMA	52
8.	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	57
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
10.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
11.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa e objetivos

O Brasil é considerado atualmente o segundo maior produtor mundial de revestimentos cerâmicos, com produção estimada em 790Mm² em 2017. Desse total, 62% compreendiam revestimentos para pisos; 20% para parede; 15% porcelanato e 3% para fachadas, com produção dividida em 73% pelo método de via seca e 27% pelo método de via úmida. Segundo à Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmicas para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres – ANFACER (2017). Os principais centros produtores estão situados nas regiões sul e sudeste, dentre eles tem destaque o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (PCSG), responsável por cerca de 30% das exportações nacionais e por movimentar pouco de mais de R\$ 26 milhões apenas no primeiro semestre de 2016 (ASPACER, 2016).

Atualmente, o Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes concentra dentro de sua área de abrangência 34 das 47 cerâmicas do Estado de São Paulo, dentre elas grandes fornecedores de matérias-primas e produtores de revestimentos cerâmicos pelo método da via seca, responsáveis por gerar cerca de 15 mil empregos diretos e 200 mil empregos indiretos. Dentre os produtos fabricados pelo PCSG têm destaque os revestimentos da Classe BIIB na Classificação de Revestimentos Cerâmicos, considerados como uma classe média em termos de absorção de água que compreende pisos e azulejos prensados e esmaltadas (ASPACER, 2016).

Grande parte da notoriedade do PCSG está associada à qualidade das matérias-primas utilizadas em seus produtos, sendo os litotipos provenientes da Formação Corumbataí (Permiano) sua principal fonte de insumos. Tais litotipos apresentam características que possibilitam redução no tempo produção, o que, por sua vez, propicia maior eficácia dos processos de fabricação e redução dos custos nos produtos finais, dentre os quais possuem destaque os revestimentos cerâmicos semi-porosos e porcelanatos fabricados pelos métodos de via seca e via úmida (ROCHA, 2012).

Apesar do grande potencial volumétrico das reservas ligadas à Formação Corumbataí, saídas alternativas quanto ao fornecimento e a diversificação das fontes de matérias-primas são sempre objeto de estudos realizados pelos membros da linha de pesquisa Qualidade em Cerâmica, do Grupo Acadêmico Recursos Minerais Metálicos e Não-Metálicos, do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) – Instituto de

Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE) - Campus de Rio Claro. Dentre essas fontes alternativas estão os sedimentos eopermianos constituintes da Formação Tatuí na região do município de Ipeúna.

O principal objetivo deste trabalho consiste em propor, por meio de caracterizações geoquímicas, mineralógicas e físico-mecânicas, possíveis aplicações para a Formação Tatuí nas indústrias do PCSG na região de Ipeúna e Rio Claro. Ademais, o trabalho também buscou avaliar os parâmetros comparativos entre o material proveniente da região de interesse com o material proveniente de regiões onde a Formação Tatuí já é utilizadas como matéria-prima para produção de cerâmica estrutural. Para isso foram utilizadas amostras provenientes da mina Nova Conquista, localizada no município de Tatuí (SP), citadas neste trabalho como amostras P1-A1, P1-A2, P1-A3 e P1-A4.

1.2 Panorama histórico do PCSG e da Formação Tatuí na indústria cerâmica

De acordo com o trabalho de Tanno et al. (1994) os principais polos cerâmicos do estado de São Paulo estão inseridos em duas províncias geomorfológicas distintas, a Depressão Periférica Paulista e o Planalto Ocidental. Dentre estes polos possuem destaque o polo Itú - Campinas, Tatuí - Campinas, Tambaú - Vargem Grande do Sul, Panorama - Paulicéia, José Bonifácio - Nova Avanhandava, Barra Bonita - Barueri, Mogi - Guaçu - Itapira, Ourinhos - Palmital e aquele estudado no decorrer do presente trabalho, o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.

Considerado o principal polo cerâmico de revestimentos da América latina e um dos maiores da América Latina, o PCSG iniciou suas atividades de maneira familiar entre o final da primeira década do século XX e o início da década de 30 com a produção de telhas paulistas e francesas, manilhas e lajotões coloniais fabricados de forma manual e, posteriormente, por meio de processos extrusão e queima em fornos do tipo garrafão. Na segunda metade do século, o polo passou por uma diversificação em seus produtos e métodos de produção com o início da confecção de tubos e pisos cerâmicos extrudados não-esmaltados com dimensões de 30 × 30 cm (MOTTA et al, 2004; CHRISTOFOLETI et al, 2009; ROCHA, 2012).

Desde o início das atividades do PCSG, os argilitos e siltitos da Formação Corumbataí (Permiano) têm sido fonte de matérias-primas para a indústria da região. Investimentos em pesquisas realizados a partir da década de 90 proporcionaram um avanço significativo na caracterização sedimentar, química, textural e mineralógica dos

litotipos da Formação Corumbataí e foram os responsáveis por torná-la a principal fornecedora de matérias-primas para do polo (MORENO, ZANARDO & ROVERI, 2012).

A Formação Tatuí é atualmente a principal fonte de matérias-primas para o polo cerâmico da região de Tatuí e Laranjal Paulista, juntamente com Formação Aquidauana e o Grupo Itararé (DEL ROVERI, 2010). Nessa região, a Formação Tatuí é constituída essencialmente por sedimentos argilosos compostos por quartzo, feldspato, clorita e illita (RAMOS & FORMOSO, 1975). Esses pacotes são explotados atualmente para a produção de cerâmica estrutural por meio do processo via úmida na fabricação de tijolos, blocos, telhas, entre outros.

2. NORMAS TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO CERÂMICA

Em âmbito nacional, os parâmetros que norteiam a fabricação de revestimentos cerâmicos são estabelecidos por quatro documentos principais:

- Norma ABNT NBR 13816:1997 (ABNT, 1997a), a qual se trata de um resumo da terminologia mais utilizada na indústria cerâmica;
- Norma ABNT NBR 13817:1997 (ABNT, 1997b), que abordam as regras de classificação para revestimentos cerâmicos;
- Norma ABNT NBR 13818:1997 Versão Corrigida:1997 (ABNT, 1997c), documento que apresenta em anexo as principais especificações técnicas para ensaios de qualidade de revestimentos cerâmicos;
- Normas ABNT 15643:2013: normas técnicas de classificação de placas cerâmicas para revestimento - porcelanato.

Como citado anteriormente, as normas ABNT (1997a) apresentam um resumo referente aos principais termos utilizados para a classificação de materiais cerâmicos. Segundo esse documento, revestimentos cerâmicos são todos aqueles materiais formados pelo conjunto de placas cerâmicas, pela argamassa de assentamento e pelo rejunte, enquanto “placas cerâmicas para revestimento” são os materiais utilizados como revestimentos de pisos e paredes, moldadas por processos de extrusão (conformadas em estado plástico) ou prensagem (a seco). Essas peças podem ser esmaltadas ou não, sendo que a norma define “esmalte” como uma cobertura impermeável vitrificada (Quadro 1).

A ABNT (1997b) caracteriza as placas cerâmicas de acordo com os critérios exigidos pelo consumidor final, dentre esses critérios estão a esmaltação, o método de fabricação, o grupo de absorção de água e as classes de resistência (ao manchamento, à abrasão e ao ataque químico).

Quadro 1. Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo com seu método de fabricação e a presença ou ausência de esmaltação (ABNT, 1997b).

1. Esmaltação: aplicação de revestimento liso e cristalino, brilho ou textura à superfície da peça.
1.1 Esmaltadas (Glazed) - GL
1.2 Não Esmaltadas (Unglazed) - UGL
2. Método de Fabricação: procedimentos utilizados para moldar as peças cerâmicas.
2.1. Placas Cerâmicas Extrudadas - tipo A
2.1.1. Tipo precisão
2.1.2. Tipo artesanal
2.2. Placas Cerâmicas Prensadas - tipo B
2.3. Placas Cerâmicas produzidas por outros processos - tipo C

As melhores características dos revestimentos cerâmicos são representadas por parâmetros como método de fabricação, esmaltação e taxa de absorção de água, este último é utilizado como principal parâmetro de classificação dos tipos comerciais de revestimentos cerâmicos.

De acordo com a nomenclatura sugerida pela CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL DOS PRODUTOS CERÂMICOS (2014), os produtos cerâmicos também podem ser classificados com base na sua taxa de absorção de água, o que resulta numa divisão em quatro tipos principais de materiais: grês, semi-grês, semi-poroso e poroso (Quadro 2).

Como exemplificado na quadro 2, o grês e o porcelanato são produtos com baixa absorção de água e alta resistência mecânica, o semi-grês possui características intermediárias de absorção e resistência, já os produtos classificados como semi-poroso e poroso apresentam alta absorção de água, com média e baixa resistência mecânica, respectivamente.

Quadro 2. Classificação de revestimentos cerâmicos com base em seus grupos de absorção de água (ABNT, 1997b).

PRODUTOS	GRUPOS	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
Porcelanato	Ia	$0 < AA \leq 0,5$
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	$AA > 10,0$

Outra classificação, com base no uso das peças produzidas, na natureza de seus constituintes, na textura da massa base e em outros parâmetros cerâmicos ou técnico-econômicos, pode ser encontrada no trabalho de Motta et al. (2001). Esse documento correlaciona os setores cerâmicos, seus processos produtivos e as respectivas matérias-primas utilizadas (Quadro 3).

Quadro 3. Principais setores cerâmicos, matérias-primas utilizadas e características do processo de fabricação. Destaque para o setor de revestimentos (Modificado de MOTTA, ZANARDO & CABRAL JUNIOR, 2001).

CLASSIFICAÇÃO			PRODUTO	Matéria-prima								Moagem via úmida	Moagem via seca	Processo de conformação				Temperatura de Queima (°C)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tipo de cerâmica*	GRUPO**/ SETOR			Plástica		Não-plástica								Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	>1.200																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
				Argila comum	Argila plástica	Caulim	Feldspato (***)	Filito	Talco	Calcário	Quartzo	Outros																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lajes	P									P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

A composição química média das matérias-primas utilizadas PCSG está apresentada na tabela 1. Nesta tabela, os principais óxidos constituintes desses materiais são apresentados sob a forma de sua porcentagem (%) no peso total da massa. Este material são caracterizadas de acordo com Motta et al. (2004) como um material de ampla distribuição geográfica e bom desempenho cerâmico, cujo uso é a base da produção em larga escala de revestimentos cerâmicos via seca.

Tabela 1. Composição química média, em porcentagem de óxidos (%), dos litotipos da Formação Corumbataí utilizados na produção cerâmica no PCSG. * LOI: Loss On Ignition. Modificado de Zanardo et al., 2016.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	LOI
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
64,29	13,99	4,92	0,58	1,69	2,27	3,14	2,14	0,06	0,15	6,55

Em relação aos processos utilizados no PCSG para a produção de revestimentos, têm destaque os processos por meio de via seca (Figura 1) e via úmida (Figura 2). O primeiro método é caracterizado pela utilização de massas compostas por matérias-primas de queima avermelhada, a qual é seca até atingir níveis de umidade abaixo de 5%, em seguida o material é submetido ao processo de cominuição em moinhos de martelo e/ou pendulares. Por fim a massa umidificada é encaminhadas às etapas de prensagem a seco, secagem, decoração e queima.

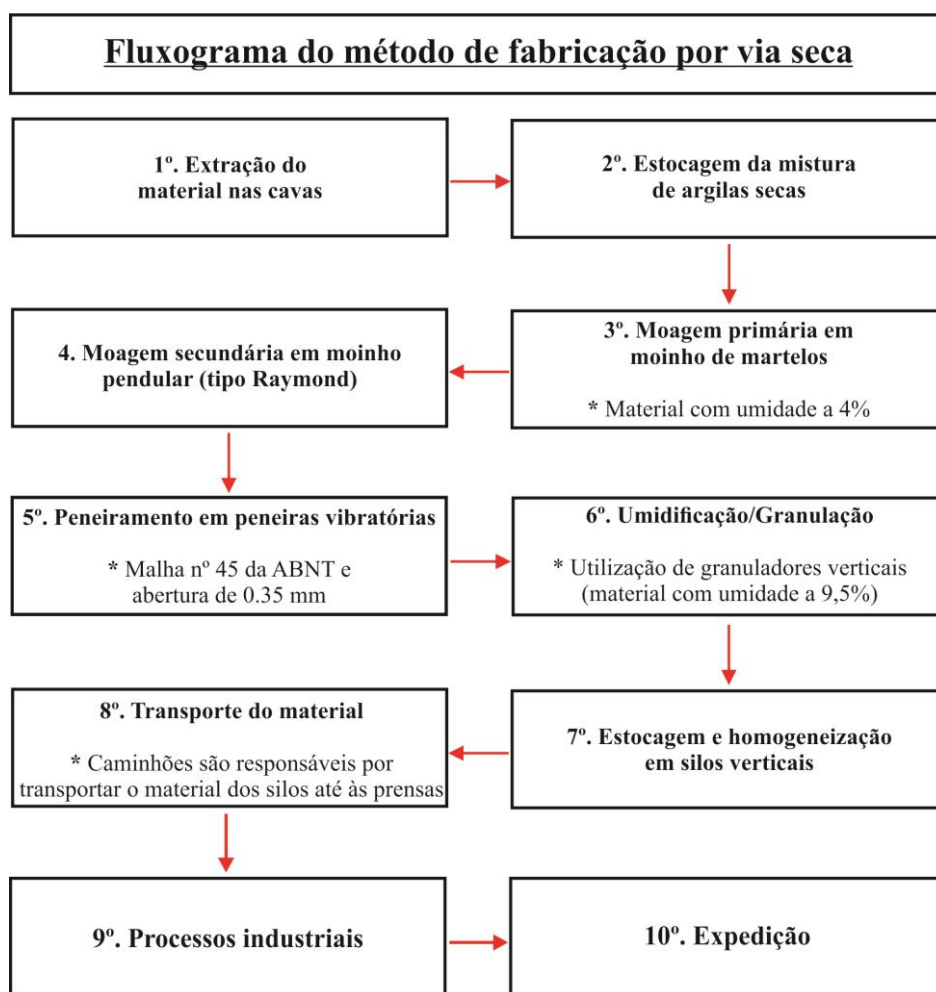


Figura 1. Fluxograma das etapas de produção de placas cerâmicas pelo método de via seca (Modificado de ROCHA; 2012).

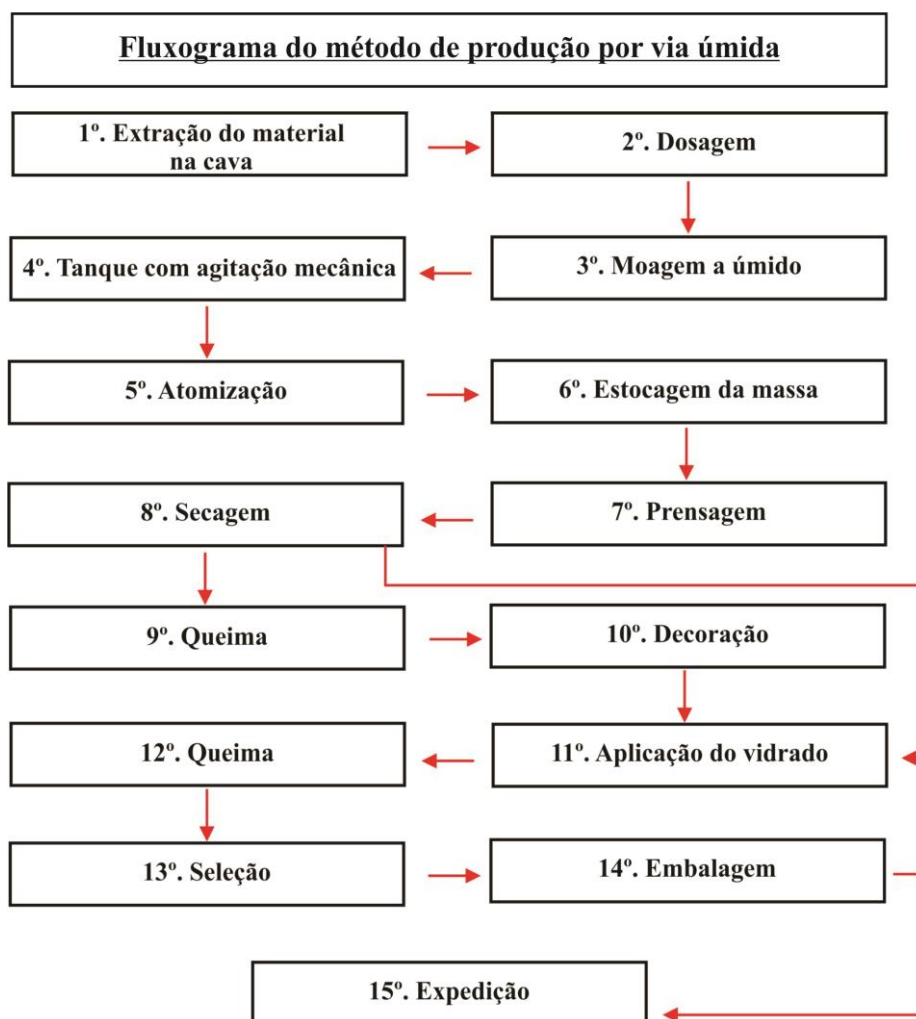


Figura 2. Fluxograma das etapas de produção placas cerâmicas pelo método de via úmida (Modificado de ACIMAC, 1998).

O método de produção por via úmida utilizam massas de base clara de composição composta ou artificial constituída de argilas, caulim, filito, rochas feldspáticas, talco, carbonatos e quartzo. Durante o processo essa mistura é cominuída e homogeneizada em meio aquoso por meio da utilização de moinhos de bola, na sequência a mistura é seca e granulada em *spray dryer* (atomizador). Por fim a massa é prensada a seco e encaminhada a decoração e queima (MOTTA, ZANARDO & CABRAL JUNIOR, 2001).

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O PCSG está localizado na porção centro – oeste do estado de São Paulo e abrange porções dos municípios de Rio Claro (SP), Cordeirópolis (SP), Ipeúna (SP), Limeira (SP),

Piracicaba (SP) e Santa Gertrudes (SP). Localizada cerca de 200 km da capital do Estado de São Paulo, a área de estudo está situada na macrorregião administrativa de Campinas (SP), atendida por diversas rodovias, com destaque para a Rodovia Washington Luiz (SP-310). Em relação ao município de Rio Claro (SP), a mesma está localizada a cerca de 15 km, entre as rodovias Fausto Santo Mauro e Irineu Penteado, e abrange porções dos municípios de Rio Claro e Ipeúna dentro da folha topográfica de Rio Claro (Figura 3).

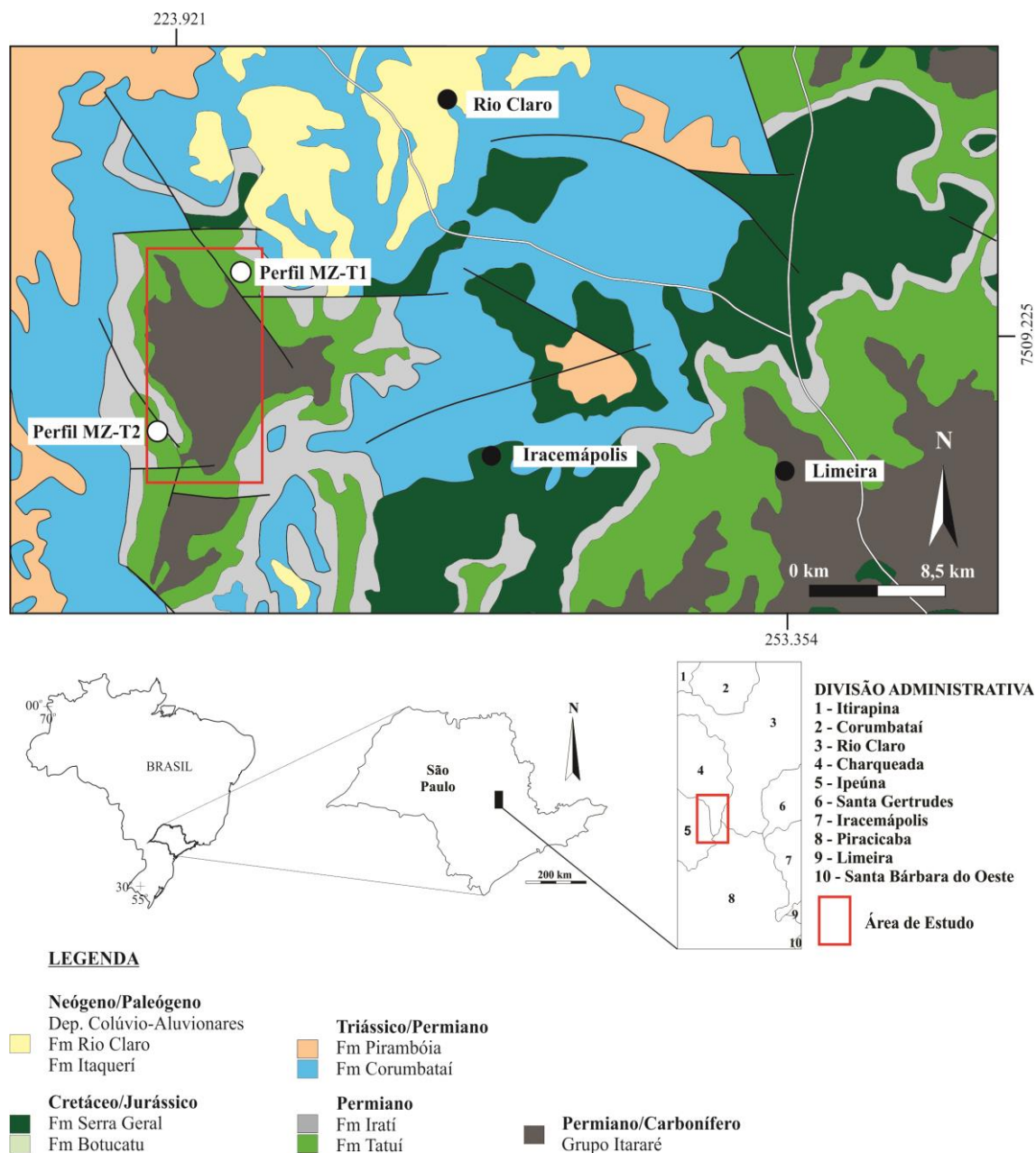


Figura 3. Mapa de localização da área de estudo com destaque para os perfis MZ-T1 e MZ-T2. (Fonte: Autor)

4. ASPECTOS FISIOGRAFICOS

4.1 Relevo

A área de estudo está inserida na Província Geomorfológica Ocidental, denominada “Depressão Periférica Paulista”, na Zona do Médio Tietê (IPT, 1981). Segundo Penteado (1976) a região apresenta topografia plana, relativamente pouco acidentada, com predominância de colinas amplas e médias. Quanto aos seus níveis altimétricos, a região apresenta altitudes que variam desde 700 m (morros Grande e Guarita), até 540 m, nas regiões de fundos de vales.

Pires Neto (1996) também descreveu algumas outras feições características como pequenos morros alongados e espigões subnivelados com cotas entre 520 m a 680 m. Além de formas residuais, do tipo mesas basálticas. Outras feições foram descritas por Penteado (1976), como a presença de depressões elípticas fechadas, caracterizadas por Zaine (1994) como meandros abandonados.

Na área de estudo, o relevo apresenta feições similares à aquelas descritas por Pires Neto (1996), com relevos acidentados e cotas altimétricas entre 580 m e 630 m. Dentro desse contexto, as exposições da formação Tatuí estão associadas à quebras de relevo bem acentuadas, situadas às encostas de pequenos morros alongados.

4.2 Clima

Em relação a sua caracterização climática, a região apresenta duas estações bem definidas, uma seca e uma úmida, alternância característica do clima tropical segundo a classificação climática de Koppen (ROLIM et al., 2007).

Os maiores índices pluviométricos marcam os meses de outubro a março, período que concentra 80% das precipitações anuais, com médias mensais podendo atingir 550 mm. Esse mesmo período marca as maiores temperaturas anuais, que ultrapassam os.

O período seco abrange os meses de março a setembro e apresenta menos de 20% das precipitações, com médias próximas de 250 mm, estando a maior taxa pluviométrica concentrada no mês de setembro (45 mm).

4.3 Vegetação

Segundo a classificação de Classificação Fisionômico-Ecológica de Veloso & Góes Filho (1982), a região de estudo apresenta duas regiões fundamentais de vegetação, a primeira é caracterizada pela presença de Savana (ou cerrado) e outra é denominada Floresta Estacional Semidecidual.

Atualmente, pouco resta das coberturas vegetais originais. A paisagem atual vem sendo substituída cada vez mais pela atividade agrícola (cana-de-açúcar) e por outras coberturas de caráter homogêneo, como o eucalipto. No âmbito da área de estudo, a cobertura vegetal corresponde à pastagens e áreas destinadas ao cultivo de culturas agrícolas, principalmente a cana-de-açúcar, com pontos de cobertura vegetal original, caracterizada por árvores e arbustos de pequeno a médio porte, ao longo das margens de córregos e rios.

4.4 Hidrografia

A área de estudo é caracterizada pela presença de um rio principal, o rio Corumbataí, e seus três afluentes principais, os rios Cabeça, Passa-Cinco e Ribeirão, os quais têm suas águas drenadas para o rio Piracicaba.

O rio Corumbataí apresenta cerca de 120 km desde a sua nascente na Serra do Santana, em cotas próximas a 800 m, até desaguar no rio Piracicaba a cerca de 470 m de altitude. A vazão média anual é de 22 m³/s e a vazão mínima, de 5 m³/s (ZAINE, 1994).

Segundo Soares (1974), o rio Corumbataí apresenta forte controle litológico e estrutural devido ao fato de sua jusante estar situada sobre uma faixa de ocorrência de soleiras de diabásio e à presença de estruturas relacionadas ao Alto Estrutural de Pitanga.

A área de estudo se encontra na confluência dos rios Cabeça e Passa-Cinco, os quais, como avaliado por Soares (1974), possuem forte controle estrutural por correrem sob soleiras de diabásio associadas à Formação Serra Geral.

4.5 Solo

Segundo o que é estabelecido pela Carta Pedológica Semi-Detalhada do Estado de São Paulo, Folha de Piracicaba (1989) e pela carta de classificação da EMBRAPA (2006) a cobertura pedológica, na região da área de estudo, é composta por solos de caráter

podzólico de cor vermelho-amarelado de textura arenosa/argilosa e latossolos vermelho-escuros de textura argilosa.

De acordo com Jiménez-Rueda (1993), esses solos correspondem a sedimentos fluvios-coluvionares ou coluvionares quaternários de pedogênese incipiente a moderada, depositados diretamente sobre os litotipos do Grupo Itararé e das formações Tatuí, Irati, Corumbataí, Piramboia, Serra Geral e Rio Claro.

5. **GEOLOGIA REGIONAL**

5.1 **Contexto geral da Bacia do Paraná**

A região da área de estudo está inserida no contexto da Depressão Periférica Paulista (ALMEIDA, 1964), localizada na porção nordeste da Bacia do Paraná, e abrange porções dos municípios de Rio Claro (SP) e Ipeúna (SP), estabelecidos próximos ao Alto Estrutural de Pitanga, estrutura responsável por expor unidades dos grupos Tubarão (Neopaleozoico), Passa Dois (Neopaleozoico e Mesozoico) e São Bento (Mesozoico), além dos depósitos cenozoicos da Formação Rio Claro e coberturas coluviais recentes (RICOMINNI, 1992).

De acordo com os trabalhos de Bally & Snelson (1980) e Cordani et al. (1984), a Bacia do Paraná compreende uma sinéclise intracratônica de aproximadamente 1.700.000 km² situada na porção central da placa Sul-Americana e compreende áreas do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, sendo 1.100.000 km² apenas em território brasileiro (HACHIRO, 1996) (Figura 4). Morfologicamente, a bacia apresenta formato ovalado e eixo preferencial de direção NNE – SSW com 1700 km de comprimento por 1000 km de largura (HACHIRO, 1996) (Figura 4).

Quanto aos litotipos constituintes do empilhamento estratigráfico regional, estes correspondem a ciclos transgressivos-regressivos de idade paleozoica, associados às unidades aloestratigráficas Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano) e Gondwana I (Carbonífero – Eocretáceo), e também aos ciclos sedimentares continentais com rochas ígneas associadas referentes às supersequências Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico – Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo) (MILANI, 1997).



Figura 4. Mapa de abrangência da Bacia do Paraná dentro do território sulamericano. (Fonte: Autor)

Em relação à área de estudo, os litotipos reconhecidos na região abrangem desde os diamictitos do Grupo Itararé (Carbonífero/Permiano), passando pelos siltitos e folhelhos das formações Tatuí, Irati e Corumbataí (Permiano), até os arenitos de origem continental das formações Pirambóia (Triássico), Botucatu (Jurássico), Itaqueri (Terciário) e Rio Claro (Quaternário), além dos derrames de caráter básico de Formação Serra Geral (Cretáceo). Estas unidades encontram-se inseridas em um contexto estrutural regido pelos sistemas de falhas Passa Cinco-Cabeças e Ipeúna-Piracicaba.

5.2 Estratigrafia e litotipos

Considerados como trabalhos pioneiros relacionados ao empilhamento estratigráfico da Bacia do Paraná, a coluna estratigráfica proposta por Oliveira (1889) e o relatório de White (1908) marcam o início de uma sequência de trabalhos que adotaram

a Bacia do Paraná como objeto de estudo (SANFORD & LANGE, 1960; NORTHFLEET ET AL., 1969; SCHNEIDER et al., 1974; SOARES ET AL., 1978; ALMEIDA, 1980; FULFARO et al., 1980; ZALÁN et al., 1990). No âmbito da área de estudo, o empilhamento estratigráfico da Bacia do Paraná corresponde à coluna estratigráfica definida por Soares & Landim (1975) e modificada mais recentemente no trabalho de Perinotto & Zaine (2008) (Figura 5).

Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro/Limeira/Piracicaba					
Era	Períodos	Grupo	Formação	Litologia	Espessura média (m)
Cenozoica	Quaternário		Rio Claro	Arenitos, lentes de argila e conglomerados	30
	Terciário		Itaqueri	Arenitos conglomeráticos	100
Mesozoica	Cretáceo	São Bento	Serra Geral	Derrames de basalto, diques e soleiras de diabásio	100
	Jurássico		Botucatu	Arenitos bem selecionados	100
	Triássico		Pirambóia	Arenitos médios e argilitos	150
Paleozoica	Permiano	Passa Dois	Corumbataí	Siltitos, argilitos, arenitos finos calcários e coquinas	100
			Irati Mb. Assistência Mb. Taquaral	Folhelhos, siltitos, calcários	40
			Tatuí	Siltitos e siltitos arenosos	50
	Carbonífero	Itararé	Grupo Itararé	Arenitos, siltitos, varvitos e diamictitos	900
Pré-Cambriano			Embasamento	Granitos, gnaisses migmatitos, xisto e quartzitos	

Figura 5. Empilhamento estratigráfico representativo da área de estudo com destaque para a Formação Tatuí (Modificado de Perinotto & Zaine, 2008).

Tal empilhamento teria início no Carbonífero com a deposição dos sedimentos de origem glacial do Grupo Itararé, o qual avança por boa parte do Permiano. Em seguida, tem-se o início da fase deposicional pós-glacial marinha transicional da Bacia do Paraná, período marcado pela deposição de unidades como a Formação Tatuí e o Grupo Passa Dois, constituído pelas formações Irati e Corumbataí.

Após esse período de transição marinho-regressivo, inicia-se a consolidação dos pacotes sedimentares de origem continental das formações Pirambóia e Botucatu, as quais, juntamente com os derrames da Formação Serra Geral, constituem o Grupo São Bento (Mesozoico). Por fim, a coluna apresenta como topo os depósitos terciários e quaternários inconsolidados da Formação Rio Claro, respectivamente.

5.3 Alto Estrutural de Pitanga (Domo de Pitanga)

Desde a década de 1920, vários autores têm estudado os altos estruturais que delimitam a borda leste da Bacia do Paraná, dentre os quais se destaca o Alto Estrutural de Pitanga, uma grande estrutura anticlinal situada no vale do rio Corumbataí. Essa estrutura corresponde a um domo com eixo maior de 30 km orientado na direção NNE-SSW e eixo menor, de 15 km, orientado na direção WNW-ESSE.

Uma das primeiras interpretações para essa estrutura foi sugerida por Washburne (1930), o qual sugere que essa elevação teria sido originada por dobramentos associados à intrusão de magmas por meio de camadas menos competentes.

Amaral & Souza (1936), em seus ensaios geofísicos no estado de São Paulo, chegaram à conclusão que a teoria proposta por Washburne (1930) não era válida, uma vez que não foram identificadas elevações no embasamento cristalino que poderiam estar relacionadas às elevações observadas em superfície. Trabalhos posteriores passaram a interpretar essa estrutura como fruto de falhamentos derivados de esforços compressivos atuantes durante o Permo-Triássico (FULFARO et al.; 1982).

Andrade & Soares (1971) elaboraram o mapa geológico de detalhe dessa estrutura durante levantamentos geológicos realizados na região de Rio Claro e Piracicaba, e verificaram a existência de uma íntima relação entre o alinhamento das camadas mais antigas, o sistema de falhas Rio das Pedras-Piracicaba-Ipeúna e o sistema de falhas Passa Cinco-Cabeça.

Soares (1974) propõe que essa estrutura foi originada por meio de esforços compressivos associados à subsidência da própria bacia, relacionados a um sistema de

movimentação de falhas inversas no embasamento. Posteriormente, diversos autores postularam que este alto teria sido originado por uma combinação de dobramentos e falhamentos de caráter regional (SOARES, 1974; RICCOMINI, 1992; RICCOMINI & VASSILIOU, 1993; RICCOMINI, 1995).

Riccomini (1995) divide a evolução do Domo de Pitanga em seis fases desenvolvidas entre o Paleozoico e o Quaternário. Esta evolução associa o alto a um sistema de tectônica transcorrente dextral e sinistral que ocasionou a reativação de um sistema de lineamentos estruturais da própria bacia, responsável por gerar falhas sintéticas e antitéticas de orientação preferencial NNW. Sua configuração atual teria sido gerada sob regime tectônico de esforço horizontal com direção preferencial ENE-WNW e, subordinadamente, NNE-SSW.

5.4 Unidades estratigráficas aflorantes na área

A área de estudo abrange litotipos referentes ao Grupo Itararé e às formações Tatuí, Irati, Corumbataí (Paleozoicas), Pirambóia, Serra Geral (Mesozoicas) e Rio Claro (Cenozoica), expostos devido à influência de feições estruturais associadas ao Alto Estrutural de Pitanga.

5.4.1 Unidades paleozoicas

5.4.1.1 Grupo Itararé

O termo “Itararé” foi apresentado pela primeira vez no trabalho de Oliveira (1927), baseado no relatório de White (1908) sobre a Série Tubarão, que caracterizava essa unidade como um pacote sedimentar de origem glacial.

A definição dessa unidade como “grupo” foi proposta pela primeira vez no trabalho de Gordon (1947), quando este propôs a mudança de nomenclatura de “Série Itararé” para “Grupo Itararé”. Trabalhos posteriores como o de Fulfaro et al. (1980) e Gama Jr et al. (1982) tentaram retomar o termo “Formação Itararé” adotada em trabalhos de Northfleet et al. (1969) e Schneider et al. (1974). Porém França & Potter (1988) determinaram que “grupo” seria a melhor classificação para esta unidade, baseados em sua grande espessura e no fato de que este pacote sedimentar poderia ser subdividido em unidades litoestratigráficas mapeáveis.

Saad (1977) subdividiu os litotipos do Grupo Itararé, na região centro-sul do estado de São Paulo, em quatro conjuntos distintos (A, B, C e D) distribuídos ao longo de um pacote sedimentar com cerca de 1.300 metros de espessura, os quais abrangem desde litotipos clásticos finos como argilitos, folhelhos, siltitos e arenitos finos até arenitos médios, conglomerados e diamictitos.

Arab, Perinotto & Assine (2009) definiram uma associação de 12 fácies distintas para as rochas do Grupo Itararé, representadas por litotipos que abrangem desde diamictitos com lentes de arenito até lamitos intercalados por barras arenosas e siltitos.

Em relação ao seu ambiente de deposição, Chang (1984) sugere que essa unidade foi influenciada por uma série de ambientes, os quais compreendem ambientes glacio-fluviais, planícies de *outwash*, glacio-lacustre e glacio-marinho.

França & Potter (1988), por meio da análise de perfis de raios gama, definiram três ciclos de deposição para as rochas do Grupo Itararé. O primeiro (Ciclo Inferior) teria ocorrido devido à ação de leques aluviais e rios entrelaçados em conjunto com a ação de geleiras. O segundo (Ciclo Médio) seria resultado da interação entre planícies de *outwash*, depósitos transgressivos e depósitos glaciais; e por fim, o terceiro ciclo (Ciclo Superior) estaria associado à uma combinação de deltas, correntes turbidíticas e depósitos de *outwash*.

5.4.1.2 Formação Tatuí

Desde a época da Comissão Geográfica e Geológica no final do século XIX, o termo “Tatuí” já era utilizado para designar os sedimentos da fase pós-glacial do Grupo Tubarão no estado de São Paulo (PACHECO, 1927 apud SCHNEIDER et al., 1974; WASHBURN, 1930).

Na região de estudo, o Grupo Tubarão foi dividido por Barbosa & Almeida (1949) em cinco formações, das quais a mais nova, Formação Itapetininga, foi posteriormente subdividida em dois membros, o membro Tupi (inferior) e o membro Tatuí (superior).

Este último deixou de designar os sedimentos de origem pós-glacial da Bacia do Paraná na década de 50, quando Barbosa & Gomes (1958) redefiniram o membro Tupi, conferindo a este o nome de “tilito Pitanga”. Porém Rocha-Campos (1967) e Landim (1970) retomaram em seus trabalhos o termo “Tatuí”, para designar a sequência pós-glacial da Bacia do Paraná no estado de São Paulo.

Northfleet et al. (1969) correlacionam a Formação Tatuí, no estado de São Paulo, à Formação Aquidauana e às formações Rio Bonito e Palermo (Grupo Guatá), representativas da fase pós-glacial da Bacia do Paraná nos estados do sul do Brasil.

Por meio de levantamentos estratigráficos, Soares (1972) reconheceu para esta unidade quatro descontinuidades principais. A primeira e mais expressiva, L1, corresponde ao contato basal Tatuí/Itararé, uma superfície irregular de erosão, definida por Rocha-Campos (1967), que separa os ciclos de deposição glacial (Grupo Itararé) e pós-glacial (Formação Tatuí). A superfície L2, classificada como um diastema, limita dois pacotes intermediários de siltitos (inferior e superior), enquanto que a superfície L3, contida no pacote superior, separa uma sequência de siltitos argilosos maciços de um pacote de lamitos cinza esverdeados intercalados por arenitos médios. Por fim, a descontinuidade L4 marca o contato entre o topo da Formação Tatuí e a base da Formação Irati (Membro Taquaral), reconhecida pela presença da “ fácies Ibicatu ”.

Em relação aos seus litotipos, Soares (1972) sugeriu para Formação Tatuí uma divisão em dois pacotes sedimentares distintos. Um inferior, constituído majoritariamente por siltitos marrom arroxeados e amarelo esverdeados, e um superior, constituído por siltitos cinza e amarelados. Esta divisão foi posteriormente expandida por Fulfaro et al. (1984), que classificaram essas rochas como um pacote de arenitos de granulação fina a média, intercalado por arenitos finos e siltitos com a presença de lentes, e camadas de calcário.

Barbosa-Gimenez & Chang (2010) definiram a Formação Tatuí como um empilhamento sedimentar constituído predominantemente por espessas camadas de siltitos argilosos intercaladas por camadas de arenitos, calcários, folhelhos e sílex.

Assine, Zacharias & Perinotto (1999, 2003), por sua vez, propuseram uma divisão para a porção superior Formação Tatuí em cinco fácies principais constituídas, respectivamente, por arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky*, conglomerados, arenitos seixosos com estratificação cruzada planar, arenitos com gradação normal e arenitos com estratificação cruzada sigmoide.

Chahud (2011) e Chahud & Petri (2015) definiram a Formação Tatuí como uma sequência de arenitos finos a muito finos com estratificações do tipo *hummocky* que apresentam variação lateral para siltitos maciços até finamente laminados. Por fim, conglomerados associados à facies Ibicatu podem ser observados em suas porções de topo.

Em relação ao seu conteúdo fóssil, Chahud (2007) reconheceu três classes principais de fósseis, sendo eles grandes caules de pteridófitas e espermatófitas, conchostráceos, e fragmentos de escamas e dentes de peixes ósseos.

Quanto ao paleoambiente desta unidade, Soares (1972) propõem que as rochas da Formação Tatuí foram depositadas em ambiente marinho raso, com praias, barreiras, lagunas e planícies de maré.

Fulfaro et al. (1984) e Stevaux et al. (1986) concordam que o transporte dos sedimentos que hoje constituem a Formação Tatuí está diretamente relacionado aos movimentos verticais atuantes na borda norte da Bacia do Paraná, associados a Flexura de Goiânia, os quais deram origem a complexos deltaicos, prosseguidos por uma sequência de eventos marinhos transgressivos.

Fulfaro et al. (1984) afirma que os litotipos da Formação Tatuí são indicadores de um ambiente marinho transgressivo com a influência de rios de padrão anastomosado com alta carga sedimentar, além da ocorrência de complexos de *fan-delta*.

Stevaux et al. (1986), por sua vez, sugere três associações faciológicas que caracterizam um complexo deposicional que engloba ambientes continentais (leques aluviais), litorâneos (dominado por maré) e costeiros (barras de maré).

O contato entre as formações Tatuí e Irati, superfície L4 de Soares (1972), corresponde ao limite entre um trato de sistemas de mar alto (Formação Tatuí) e um sistema marinho transgressivo (Membro Taquaral), contato este caracterizado por uma superfície de ravinamento, sobre a qual podem ser observados depósitos residuais transgressivos conglomeráticos (ASSINE, ZACHARIAS & PERINOTTO, 2003).

5.4.1.3 Formação Irati

Quando propôs o primeiro modelo de coluna estratigráfica da Bacia do Paraná, White (1908) utilizou o termo “Irati” para designar um espesso pacote de folhelhos pretos pirobetuminosos, situado próximo a cidade de Irati (PR). Porém, foi apenas na década de 1940 que esta unidade passou a receber a denominação formal de Formação Irati.

Segundo Schneider et al. (1974), a Formação Irati corresponde à unidade basal do Grupo Passa Dois (Permiano), que sobrepõe à Formação Palermo do Grupo Guatá nos estados do sul do país.

Subdividida em Membro Taquaral (BARBOSA & ALMEIDA, 1949) e Membro Assistência, a Formação Irati é composta por uma sequência de folhelhos pretos, siltitos

argilosos e folhelhos pretos betuminosos. Essa sequência também pode apresentar nódulos de sílex e intercalações de rochas carbonáticas, siltitos maciços, além de arenitos em sua porção de base (LAGES, 2004).

Os litotipos que constituem o Membro Taquaral são representados por siltitos argilosos e folhelhos cinza-escuros a cinza-claros, não betuminosos, com laminação paralela e intercalações ocasionais de lentes carbonáticas e nódulos de sílex (HACHIRO, 1996). A base dessa unidade marca o contato entre a Formação Irati e a Formação Tatuí, caracterizado por Barbosa & Almeida (1949) e Barbosa & Gomes (1958) como uma discordância associada a depósitos conglomeráticos.

O Membro Assistência, na região de estudo, é representado por um pacote de siltitos e folhelhos cinza-escuros, intercalados por folhelhos pirobetuminosos de cor preta, associados a camadas de calcário dolomítico. Tais intercalações entre folhelhos e calcários acabam gerando estratificações rítmicas (LAGES, 2004).

É válido ressaltar que Hachiro et al. (1993) propuseram elevar a Formação Irati e os membros Taquaral e Assistência às categorias de subgrupo e formação, respectivamente. Tais propostas, por sua vez, não se consolidaram dentro da comunidade científica e por isso os termos formação e membro ainda são utilizados para designar essas unidades.

Quanto ao paleoambiente da Formação Irati, existe um consenso entre autores de que esta unidade foi depositada em ambiente marinho raso (BEURLIN, 1957; SCHNEIDER et al. 1974; HACHIRO, 1996; LAGES, 2004; HOLZ et al. 2010).

O Membro Taquaral, especificamente, teria sua origem associada a um ambiente marinho transgressivo (CASTRO et al., 1993; HACHIRO, 1996; ARAÚJO, 2001).

Hachiro (1996), em uma de suas subdivisões para a Formação Irati, propôs que o empilhamento estratigráfico do Membro Taquaral seria o resultado de um trato de sistemas transgressivo com nível do mar alto. Posteriormente, esta proposta seria corroborada por Araújo (2001) em seu trabalho sobre os parâmetros estratigráficos da Formação Irati.

Amaral et al. (1967) interpretou o Membro Assistência como produto de um ambiente de plataforma marinha com áreas restritas, nas quais se acumularam os folhelhos pirobetuminosos e evaporitos, nas áreas de maior restrição.

Lavina (1991) em seu estudo acerca do Neopermiano da Bacia do Paraná, considera que os ritmitos carbonáticos e folhelhos dessa unidade estão associados a correntes de turbidez e a eventos de deposição de caráter constante.

5.4.1.4 Formação Corumbataí

Segundo Mezzalira (1964), o termo Corumbataí foi utilizado pela primeira vez no relatório de 1916 da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo para representar uma sequência de “xistos argilosos e xistos betuminosos com fósseis”. Porém, na década de 70, este termo passou a ser utilizado para designar os sedimentos argilosos com lentes de arenito aflorantes no vale do Rio Corumbataí (LANDIM, 1970).

Washburne (1930) e Pacheco (1952) propuseram em seus trabalhos que a Formação Corumbataí seria correlacionável à Formação Estrada Nova, devido à natureza de seus litotipos, entretanto Landim (1970) sugeriu que, baseado na descrição desses autores para as rochas dessa unidade, a Formação Corumbataí teria uma maior correlação com a Série Passa Dois, juntamente com as rochas da Formação Irati, proposta aceita até os dias de hoje.

Estratigraficamente, dentro do contexto do Alto Estrutural de Pitanga, essa formação encontra-se sotoposta à Formação Pirambóia e sobreposta à Formação Irati (SCHNEIDER et al., 1974). Seu contato com a Formação Irati é predominantemente abrupto, enquanto que seu contato superior com a Formação Pirambóia possui caráter transicional (HACHIRO, 1996)

Mezzalira et al. (1981) caracteriza os litotipos da Formação Corumbataí, no estado de São Paulo, como um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros a arroxeados, com fraturas conchoidais e concreções calcíferas, sotoposto a uma sequência de argilitos e arenitos finos/argilosos de cores verdes, roxas e avermelhadas.

Na região de estudo, a Formação Corumbataí corresponde a uma sequência psamo-pelítica caracterizada por siltitos de granulação média a fina, com estratificação plano-paralela. Também podem ocorrer, localmente, laminações cruzadas e onduladas, flaser e gretas de ressecamento (ZANARDO et al., 2016).

Rohn (1994) registrou, na porção superior dessa unidade, coquinas e níveis de conchas, geralmente silicificados.

Vários autores definiram litofácies distintas para a Formação Corumbataí dentro do estado de São Paulo (ANDREIS & CARVALHO, 2001; CASTRO et al., 2001;

PERINOTTO et al., 2007, 2009). Porém, para a região de estudo, Zanardo et al. (2016) propôs uma divisão desta unidade em cinco litofácies principais: siltito argiloso rico em material terrígeno e biogênico, siltito argiloso ilítico/clorítico com lentes de siltito albítico, siltito argiloso ilítico vermelho a roxo com intercalações de siltito albítico de cor creme, siltito argiloso ilítico com leitos de calcário impuro e intercalações de siltito argiloso ilítico/carbonático com diques clásticos e coquinas.

Em relação ao seu ambiente de deposição, a Formação Corumbataí é interpretada por diversos autores como resultado de processos sedimentares atuantes em um extenso mar epicontinental raso com ligação com o oceano (SCHNEIDER et al., 1974; PETRI & COIMBRA, 1982, PETRI & FULFARO, 1983 e SOUSA, 1997). Zanardo et al. (2016) também evidenciaram episódios de exposição aérea baseado na presença de grânulos de argila retrabalhados.

5.4.2 Unidades Mesozoicas

5.4.2.1 Formação Pirambóia

Inicialmente tratada como depósitos indiferenciados dentro dos “arenitos Botucatu” (PACHECO, 1927; WASHBURN, 1930), a Formação Pirambóia (Triássico) foi definida formalmente apenas na década de 70 no trabalho de Soares (1972).

Em termos litológicos, a Formação Pirambóia foi definida por Almeida & Barbosa (1953) e Almeida (1954) como um pacote de arenitos finos a grossos, localmente seixosos e sem a presença expressiva de litotipos de granulação fina.

Soares (1973), em seu trabalho sobre o Gondwana durante o Mesozoico, dividiu esta unidade em dois membros. Um inferior constituído por fácies argilosas com estratificações plano-paralelas e cruzadas acanaladas de pequeno porte, e um superior representado por bancos de arenitos sotopostos a uma intercalação rítmica de lamitos e argilitos.

Assine & Soares (1995) definiram duas fácies distintas para a Formação Pirambóia. A primeira é constituída por arenitos de granulação fina a média com estratificações cruzadas e acanaladas, já a segunda é composta por arenitos finos a grossos, ocasionalmente conglomeráticos, com granodecrescência ascendente e estratificação cruzada e acanalada.

Outro litotipo constituído por arenitos grossos, mal selecionados, com estratificações cruzadas acanaladas de médio porte foi identificado por Caetano-Chang & Wu (2006) e denominado de “Arenitos Itirapina”.

Durante a década de 70, diversos autores propuseram que o paleoambiente da Formação Pirambóia estaria associado a um sistema fluvial meandrante (BÓRIO, 1973, SOARES, 1973; SCHENEIDER et al., 1974).

Foi apenas ao final da década de 80, com o trabalho de Lavinia & Lopes (1986), que a hipótese de um modelo de sedimentação eólica para essa unidade passou a ser considerada, hipótese corroborada posteriormente nos trabalhos de Caetano-Chang et al. (1991) e Assine & Soares (1995), os quais acabaram propondo um trato de sistemas fluvio-eólico para esta unidade.

5.4.2.2 Formação Serra Geral

Estabelecida durante a quinta sequência evolutiva da Bacia do Paraná (Gondwana III), a Formação Serra Geral, datada do Eocretáceo, é caracterizada por uma associação de diabásios de afinidade toleítica aflorantes na porção norte da Província Magmática do Paraná, particularmente no centro-oeste do Estado de São Paulo (MACHADO et al., 2005).

Ainda dentro de seu contexto evolutivo, essa unidade é correlacionável à Província Magmática de Etendeka na Namíbia, a qual, juntamente com a Província Magmática do Paraná, marcam o evento responsável pela separação da América do Sul da África e a posterior abertura do Oceano Atlântico (PETRY et al., 2007).

Posicionada estratigraficamente entre os arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, e as rochas do Grupo Bauru, a Formação Serra Geral, na região de estudo, configura um conjunto de diques e sills cuja colocação antecedeu a abertura do Atlântico Sul, com auge da atividade vulcânica entre 133 e 130 Ma (NARDY, MACHADO & OLIVEIRA, 2008).

Regionalmente, esta formação é constituída por uma série de fluxos de lavas toleíticas intercaladas por fluxos de composição andesítica e riodacítica (PETRY et al., 2007). Roisenberg & Viero (2000) descreveram também a ocorrência de magmatismo subordinado de afinidade picrítica a alcalina, porém em volumes menos expressivos.

Na região de estudo, as rochas dessa unidade estão encaixadas nos arenitos, diamictitos, siltitos e argilitos do Supergrupo Tubarão, nos folhelhos negros da Formação

Irati, nos siltitos, argilitos, e folhelhos da Formação Corumbataí e também nos arenitos da Formação Pirambóia (MACHADO et al., 2005).

5.4.3 Unidades Cenozoicas

5.4.3.1 Formação Rio Claro

Os depósitos da Formação Rio Claro têm sido caracterizados desde o século passado (década de 1930) como um pacote de sedimentos fluviais estratificados de textura variada até coberturas areno-argilosas maciças e indiferenciadas (MORAES REGO, 1933).

Björnberg et al. (1964) classificou os depósitos dessa formação como uma sequência predominantemente arenosa, com intercalação de níveis conglomeráticos e níveis argilosos, os quais denotam ciclos de deposição distintos.

Zaine (1994) compilou as informações acerca dessa unidade e definiu que, de modo geral, os sedimentos da Formação Rio Claro são majoritariamente arenosos, brancos, amarelos ou rosas, mal consolidados, com cobertura pedogênica bem desenvolvida (latossolo), especialmente no topo dos interflúvios. Intercalações de lentes argilosas e níveis conglomeráticos também são comuns.

Na área de estudo, essa unidade recobre os depósitos das formações Corumbataí, Pirambóia, em cotas mais elevadas, e, próximo ao Domo de Pitanga, a mesma chega a estar acomodada diretamente sobre os sedimentos da Formação Irati, atingindo até 30 metros de espessura (Zaine, 1994). O contato da Formação Rio Claro com as demais unidades é geralmente delimitado pela presença de uma camada de caráter conglomerático.

No que se refere ao seu ambiente de deposição, Björnberg & Landim (1966) e Penteado (1976) sugerem para esta unidade um capeamento clástico residual derivado de depósitos torrenciais desorganizados originados em contexto de clima semi-árido.

Soares & Landim (1975), com base na associação de fácies, sugerem para esta unidade um ambiente fluvial de rios meandrantess.

Zaine (1994) admite um ambiente fluvial de rios já parcialmente organizados, com a influência de depósitos torrenciais gerados por processos morfoclimáticos.

5.4.4 Contexto geoestrutural

Dentro do contexto do Alto Estrutural de Pitanga, a área de estudo é delimitada por dois conjuntos de falhas principais, o sistema de falhas Passa Cinco-Cabeças e o sistema de falhas Ipeúna-Piracicaba.

O sistema de falhas Passa Cinco-Cabeças foi dividido por Sousa (2002) em dois conjuntos distintos de falhas normais, um de direção preferencial NE-SW e um segundo de orientação NW-SE (*trend* regional). As falhas de orientação NW-SE possuem mergulhos superiores a 40° para SW e para NE, enquanto que o conjunto preferencial (NE-SW) apresenta uma concentração de mergulhos superiores a 40° com direção SE.

Segundo Sousa (2002), o sistema de falhas Ipeúna-Piracicaba apresenta-se como dois conjuntos de falhas normais, o primeiro de direção preferencial NW-SE e NE-SW, e um segundo conjunto, menos expressivo, de *trend* N-S e E-W. Dentro desse sistema também ocorrem falhas direcionais NW-SE, majoritariamente dextrais e com mergulhos de alto ângulo.

6. METODOLOGIA APLICADA

6.1 Aquisição de dados

6.1.1 Levantamento bibliográfico

Foram consultadas também bibliografias referentes aos aspectos ensaios cerâmicos mais utilizados pelos principais polos cerâmicos nacionais para a caracterização de matérias-primas. Ademais, foram revisadas as principais normas ABNT para a classificação desse tipo de produto. A pesquisa inicial utilizou como base de dados o sistema Athena da Biblioteca da UNESP de Rio Claro, além das bases *Web of Science* e *Science Direct*. Bibliografias específicas referentes aos litotipos da Formação Tatuí foram obtidas ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho.

6.1.2 Atividades de campo

Os trabalhos de campo foram divididos em duas etapas principais durante os meses de Fevereiro a Setembro de 2018, na região dos municípios de Rio Claro (SP) e Ipeúna (SP). Essas etapas tiveram como objetivos principais o reconhecimento da área de estudo, a coleta de amostras referentes aos litotipos constituintes da Formação Tatuí para análises

petrográficas, litogeoquímicas e físico-mecânicas. Além disso, para maior detalhamento, também foram levantadas duas seções colunares distintas, MZ-T1 e MZ-T2. Durante ambas as etapas, foram coletados cerca de 3 kg de cada uma das 12 amostras coletadas, para a confecção de lâminas delgadas e análises laboratoriais.

6.1.3 Análises laboratoriais

6.1.3.1 Petrografia

As oito amostras mais resistentes coletadas no decorrer das etapas de campo foram separadas para a confecção de lâminas delgadas com dimensões de aproximadamente 4 cm e largura de 2 a 2,5 cm, e espessura média entre 30 e 60 μm , recobertas por lamínula de aproximadamente 24 mm x 32 mm. As análises foram realizadas sob luz transmitida, em microscópio petrográfico da marca Zeiss (Axioscope A1), com aumentos de 25, 100, 200, 500 e 1000 vezes.

6.1.3.2 Difração de raios – X

Para complementar a caracterização mineralógica, foi utilizada a técnica de difração de raios - X em lâminas de pó de fração total da rocha, com intuito de identificar fases minerais não observadas de forma adequada por meio da petrografia convencional.

As análises foram realizadas em Difratorômetro de Raios - X da marca PANalytical EMPYREAN, com medidas empregando radiação $\text{CuK}\alpha 1$ ($\text{WL}=1,54056 \text{ \AA}$), e filtro de Ni. Foi utilizado módulo *flat*, com leitura contínua do goniômetro. O ângulo 2θ inicial foi de 3° e o final de 65° , com passo de $3,08''$ e tamanho do passo de $0,008^\circ$ (velocidade de *scan* de $0,27^\circ/\text{s}$). Foi acoplado ao difratômetro um módulo acelerador X'Celerator, responsável por reduzir o tempo de análise em cerca de 40%. O tempo total de análise foi de $3'52''$, sob corrente 30mA e voltagem de 40kV.

Os difratogramas gerados foram interpretados por meio do *software* X'Pert Highscore Plus, utilizando a base de dados ICDD PDF2. Essas análises, assim como a caracterização granulométrica por difração a laser, foram realizadas no Laboratório de Difração de Raios – X do Departamento de Petrologia e Metalogenia (UNESP).

6.1.3.3 Geoquímica de óxidos maiores

Foram selecionadas 12 amostras representativas dos litotipos da Formação Tatuí, para análises de elementos maiores pela empresa SGS Geosol – Laboratórios Ltda (Belo Horizonte, MG). Os elementos maiores foram 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, com LOI determinada pela diferença de peso da amostra antes e depois do aquecimento a 1000°C por quatro horas.

6.1.4 Ensaio cerâmicos

As amostras selecionadas foram caracterizadas fisicamente, e aquelas que apresentaram melhores resultados foram classificadas de acordo com normas estabelecidas pela ABNT para materiais cerâmicos:

- NBR 13816: Placas Cerâmicas para Revestimento - Terminologia - (Abril/1997)
- NBR 13817: Placas Cerâmicas para Revestimento - Classificação - (Abril/1997)
- NBR 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaio (Abril/1997), anexos: Anexo B - Determinação da absorção de água; Anexo C-Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência a flexão e Anexo T-Grupos de absorção de água.

Dentre os testes realizado estão determinação da densidade aparente dos corpos de prova a seco e após a queima (DAS), retração linear a pós-queima (RLQ), módulo de resistência à flexão (MRQF), carga de ruptura instantânea (CRQ), absorção de água (AA). Todos os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Cerâmica I e II, situados no Departamento de Petrologia e Metalogenia da Unesp, campus de Rio Claro.

6.1.4.1 Secagem e moagem do material

Para tornar possível a confecção dos corpos de prova, o material foi submetido ao processo de secagem em estufa da marca ORION, modelo 515, a uma temperatura de 70° C, por cerca de 48 horas, para que toda a água superficial fosse removida. Durante esse processo, os arenitos referentes às amostras MZ-01, MZ-02, MZ-03 e MZ-04B necessitaram de um tempo maior de secagem que as demais devido à maior concentração

de água intraporos (cerca de 72 horas). Em seguida as amostras já secas foram cominuídas em moinho de martelos da marca SERVITECH, modelo CT-058.

6.1.4.2 Caracterização granulométrica por difração a laser

Após serem cominuídas, aproximadamente 20g de cada uma das amostras foram separados para análise por difratometria a laser, com o intuito de caracterizar a granulometria de moagem das amostras. Para tal foi aplicada a técnica de difração a laser com o uso do equipamento Mastersizer 2000 da Malvern. Durante o processo, uma fração de cada uma das amostras foi adicionada a solução de água e hexametáfosfato de sódio (10%), e submetida ao ultra-som com *ultrasonic displacement* durante 15 segundos, com os diagramas sendo gerados por meio do *software* Mastersize 2000.

6.1.4.3 Confecção dos corpos de prova

Todos os ensaios, com exceção da avaliação granulométrica por difratometria a laser foram realizados em corpos de prova confeccionados por meio da prensagem de 45 g de cada uma das amostras em prensa hidráulica da marca SERVITECH, sob pressão de 10 toneladas em molde com dimensões aproximadas de 10 cm x 6 cm. A prensagem dos corpos de prova foi realizada após a umidade de cada uma das amostras ser corrigida a 10% de seu peso total por meio da adição manual de água. Em seguida, as amostras foram peneiradas para remover quaisquer grumos que pudessem eventualmente surgir durante o processo.

Durante a prensagem foram confeccionados 20 corpos de prova individuais para cada uma das amostras (com exceção das amostras MZ-01, MZ-02, MZ-03 e MZ-04B). Desses 20 corpos, cinco foram separados para queima à 950° C, cinco para a queima à 1050°C, cinco para a queima a 1150° C e, por fim, os últimos cinco foram mantidos como parâmetro de comparação.

6.1.4.4 Queima dos corpos de prova

Os corpos de prova conformados foram levados de cinco em cinco para queima em forno de rolo a gás natural da marca FLYEVER, modelo FE50RP, a temperaturas de 950° C, 1050° C e 1150° C, respectivamente, durante período de 24 horas (não houve requeima).

6.1.4.5 Ensaaios pós – queima

Durante esta etapa foram realizados ensaios de retração linear de queima (RLQ), carga de ruptura instantânea (CRQ), módulo de ruptura à flexão (MRFQ) e absorção de água após a queima (AA) a 950°C podem ser observados na tabela 8, já os mesmos resultados obtidos para demais temperaturas, 1050° C e 1150° C, podem ser observados nas tabelas 9 e 10, respectivamente. Valores de retração linear de queima são apresentados com sinal negativo (-) para destacar o tipo de variação nas dimensões dos corpos de prova.

Para a obtenção dos valores de CRQ e MRFQ foi utilizado equipamento da marca Nannetti, modelo CC-96-2006.

6.1.5 Tratamento dos dados e elaboração da dissertação

Os resultados das análises foram tratados e apresentados sob a forma de tabelas e gráficos de coluna obtidos com a utilização dos *softwares* Microsoft Excel 2010, Mastersize 2000 e Highscore Plus. As etapas finais do trabalho abrangeram a consolidação dos produtos da pesquisa sob a forma desta dissertação e do artigo científico a ser submetido durante a conclusão do presente trabalho.

7. RESULTADOS

7.1 Descrição macroscópica dos litotipos

Durante os trabalhos de campo foram descritas duas seções colunares verticais, MZ-T1 e MZ-T2. Dentre os motivos que levaram a escolha dessas seções em questão estão o fato de serem exposições significativas da Formação Tatuí na área de estudo, sua expressão vertical, fácil acesso aos litotipos e baixo grau de alteração intempérica das rochas.

Neste trabalho não foi dado enfoque aos aspectos sedimentológicos, assim como estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero. O estudo se limitou em analisar as características granulométricas, mineralógicas, litogeoquímicas e tecnológicas desses litotipos, pois estas foram consideradas como os principais fatores de importância dentro do campo da caracterização de produtos cerâmicos.

A descrição de ambas as seções estudadas nesse trabalho foi pautada de acordo com as observações realizadas durante os trabalhos de campo, nas análises realizadas em laboratório (descrição petrográfica, difração de raios - X e análises litogeoquímicas) e em informações retiradas da bibliografia durante a etapa de levantamento bibliográfico.

7.1.1 Seção MZ-T1

A seção MZ-T1 está inserida nas coordenadas X: 226751/Y: 7510869 e é representada por um corte de estrada de aproximadamente 20 metros de espessura, constituída por litotipos de colorações que variam de marrom-avermelhado, bege-claro até verde-pálido, com camadas de empacotamento maciço altamente fraturado (Figura 6).

Quanto a classificação de seus litotipos, estes compreendem uma sucessão que se inicia com arenitos siltosos marrom-arroxeados em sua porção de base (cerca de três metros e meio de espessura) que evoluem para arenitos finos de coloração bege-claro/verde-pálido em suas porções intermediárias, o que, por sua vez, corrobora, pelo menos quanto ao aspecto granulométrico, com o pacote sedimentar inferior sugerido por Soares (1972).

As camadas inferiores apresentam aspecto homogêneo e coloração marrom-avermelhada (concentração de óxidos de ferro), enquanto que nas camadas superiores as colorações passam a bege-claro/bege-esverdeado devido à diminuição na concentração de óxidos e hidróxidos de ferro.

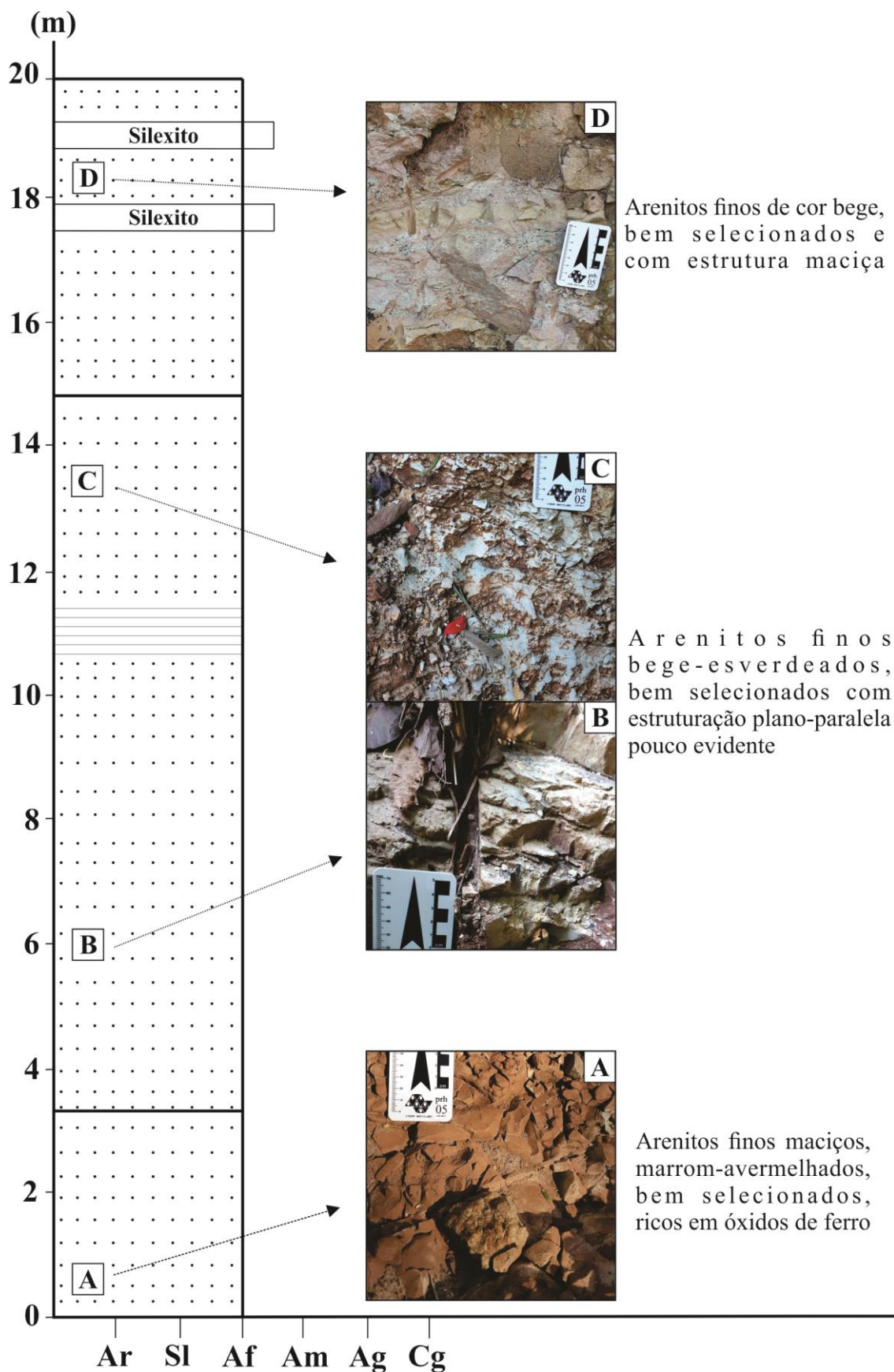


Figura 6. Seção esquemática MZ-T1 com os principais litotipos da Formação Tatuí observados ao longo da estratigrafia; A – B = arenitos finos marrom-avermelhados ricos em óxidos de ferro encontrados na base do perfil; C – D = arenitos finos bege-claros/verde-claros.

Ambos os pacotes (topo e base) apresentam seleção moderada a boa, com cristais angulosos a subangulosos, com baixo grau de arredondamento. Não foram observadas estruturas sedimentares. Uma avaliação mais aprofundada da mineralogia só foi possível por meio das análises petrográficas e difratométricas.

A transição entre os litotipos de base e intermediários ocorre de forma gradual, não sendo observadas transições abruptas de coloração ou granulometria entre os litotipos. Esse mesmo tipo de transição ocorre com os litotipos intermediários e os de topo, porção na qual passam a ser observados arenitos finos de coloração bege-clara/verde-pálido. Nessa mesma porção foram observados duas camadas de silexito, com cerca de 20 centímetros cada, intercaladas por arenitos finos.

7.1.2 Seção MZ-T2

A seção MZ-T2 corresponde a um corte de estrada de aproximadamente 10 metros de espessura, inserida nas coordenadas X: 221586/Y: 7505548. Esta seção é constituída por uma sequência rítmica de arenitos finos cinza-claros com alto grau de empastilhamento e espessura média de oito a dez centímetros, intercalada por camadas de arenitos finos de cor bege-clara e aspecto maciço, com espessuras que variam de dois a 15 centímetros (Figura 7).

Nessa seção, foram observadas estruturas como concreções carbonáticas arredondadas com, em média, um centímetro de diâmetro, associadas aos níveis mais siltosos, e também *vugs* com cerca de dois a três centímetros, preenchidos por cristais de quartzo. Assim como na seção MZ-T1, a mineralogia das amostras de mão não pode ser bem definida sob a análise macroscópica devido à textura das amostras, podendo ser definida apenas após as análises petrográficas e difratométricas.

A análise petrográfica dessa sequência mostrou características semelhantes às observadas nos litotipos da seção MZ-T1 com grãos de seleção moderada a boa, cristais angulosos a subangulosos e baixo grau de arredondamento, com variação apenas na dimensão dos cristais, os quais apresentam dimensões menores quando comparados às da seção MZ-T1.

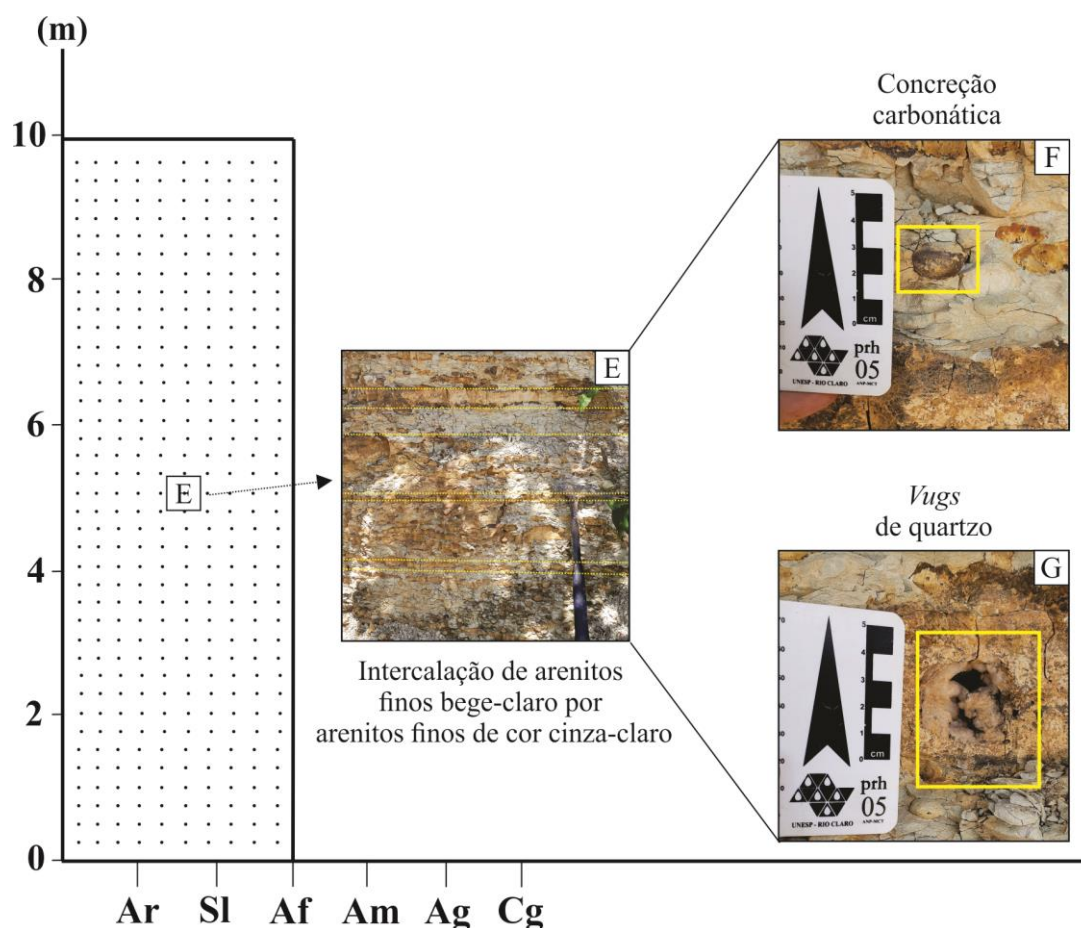


Figura 7. Seção esquemática MZ-T2 com os litotipos observados ao longo do perfil MZ-T2; E = intercalação de arenitos finos bege-claros/cinza-claros com alto grau de empastilhamento e camadas de arenito finos; F = detalhe de concreção inserida; G = vulg de quartzo.

7.2 Descrição petrográfica dos litotipos da Formação Tatuí

7.2.1 Seção MZ-T1

Para a análise petrográfica da seção MZ-T1 foram confeccionadas oito lâminas representativas de seus respectivos litotipos. Entretanto, devido ao alto grau de alteração apresentada por duas das lâminas referentes ao topo da seção foi possível a análise de apenas seis lâminas, as quais são apresentadas aqui (Figura 8).

A petrografia mostrou que as porções intermediária e de base dessa seção são constituídas principalmente por quartzo, plagioclásio (albita) e óxidos de ferro. Também foram verificadas concentrações secundárias de biotita e feldspato potássico (FK).

As lâminas da porção de base apresentam estrutura maciça e homogênea de coloração marrom-avermelhada em sua fração mais basal, passando para uma estruturação fracamente bandada, com bandas intersticiais de aspecto lenticular contínuo,

compostas por óxidos de ferro (8%) intercaladas por bandas de aspecto granular marcado pela concentração de cristais de plagioclásio, FK e quartzo.

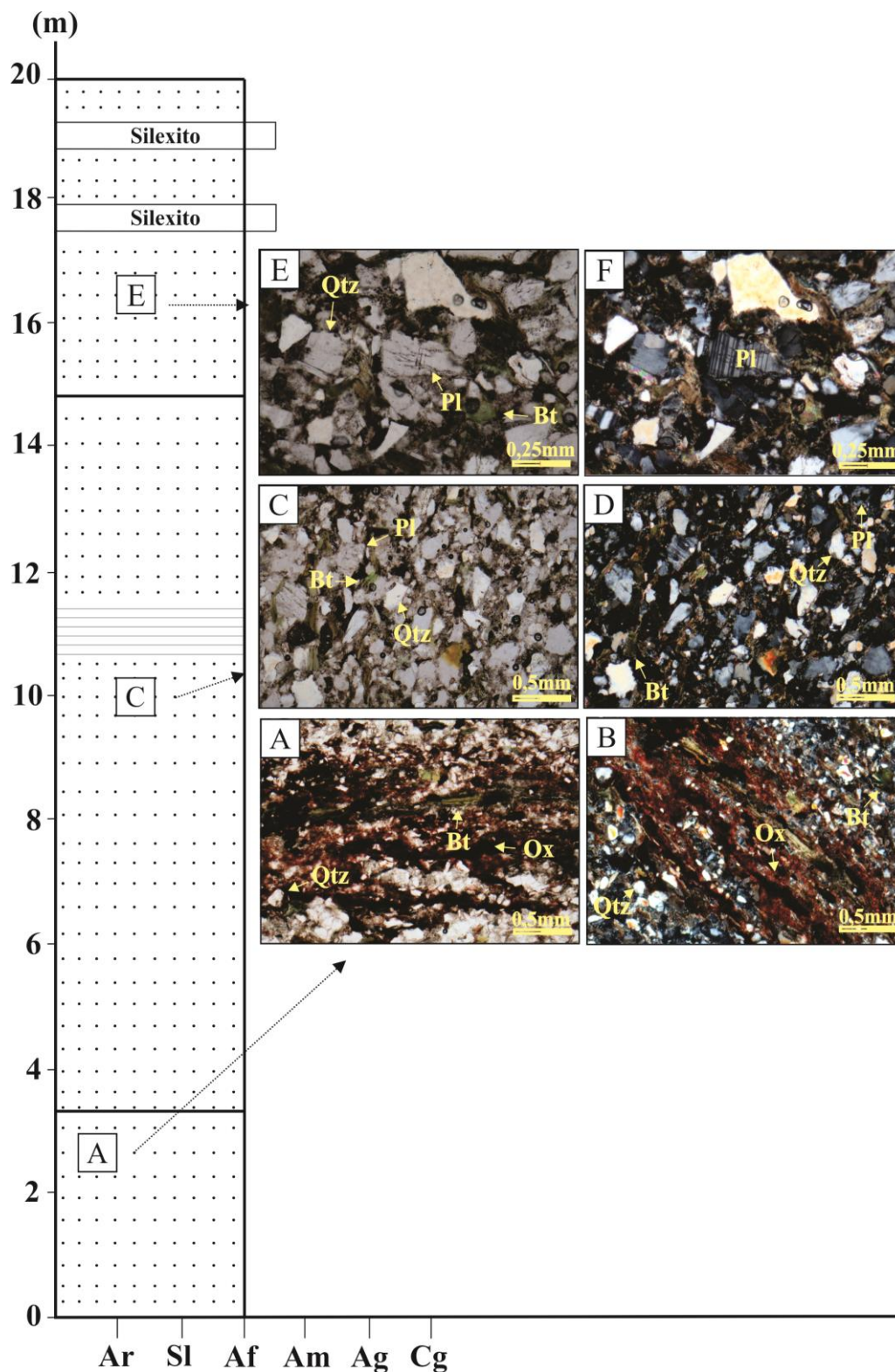


Figura 8. Seção esquemática MZ-T1 com fotomicrografias dos litotipos posicionadas de acordo com sua posição estratigráfica; A: visão geral da lâmina com destaque para os cristais de quartzo e plagioclásio; C: bandas de óxido de ferro intercaladas por cristais de filossilicatos e quartzo; E: cristal de albita com geminação segunda a Lei da Albite. Fotomicrografias à luz transmitida e polarizada, respectivamente. Qtz: quartzo; Pl: plagioclásio; Bt: biotita; Ox/Hidr: óxidos de ferro. B – D – F: nicóis cruzados.

Segundo à análise petrográfica, os litotipos podem ser caracterizados como arenitos finos constituídos por quartzo, FK/plagioclásio e biotita. De maneira geral, os grãos de quartzo ($\pm 50\%$), ao longo de todo o perfil, apresentam boa seleção com dimensões entre 100μ até 500μ , hábito granular, subangulosos a angulosos com médio a baixo grau de arredondamento e esfericidade.

Os cristais de plagioclásio (30%), assim como os de quartzo, apresentam hábito granular com dimensões que variam de 100μ a 400μ , médio a baixo grau de arredondamento, com alguns cristais apresentando geminação tipo Lei da Albita. Os cristais de biotita (12%) são observados em toda porção intermediária e apresentam cor verde, fraco pleocroísmo verde/marrom, hábito granular/lamenar e dimensões que variam de 50μ a 300μ . É importante ressaltar que, pelo fato dos litotipos terem apresentado similaridades quanto à sua mineralogia, a seção esquemática a seguir foi confeccionada com base nas fotomicrografias que apresentaram melhor resolução e maior facilidade na identificação dos minerais.

Apesar de apresentar cristais com dimensão de areia grossa, a proporção das granulometrias permite classificar os litotipos como arenitos finos pois a concentração de grãos entre 100μ e 150μ é maior que 50% do total de grãos.

7.2.2 Seção MZ-T2

A análise petrográfica da seção MZ-T2 foi baseada em três lâminas representativas de aspecto homogêneo, sem estruturação preferencial e constituídas principalmente por cristais de quartzo e albita imersos em uma matriz isotrópica composta predominantemente por uma cimentação albítica pós-diagenética (Figura 9).

Os litotipos dessa seção foram classificados como arenitos finos de textura psamítica com grãos de quartzo em uma proporção de 30% e dimensões que variam de 50μ a 200μ , baixo grau de esfericidade e arredondamento, hábito granular pouco anguloso a subanguloso. O óxido de ferro presente compreende cerca de 5% do total.

A albita pode ser observada tanto sob a forma de cristais, quanto como material constituinte da matriz em uma concentração total de cerca de 65%, em que 40% compreendem a matriz e 25% os cristais que, assim como os cristais de quartzo, são subangulosos e subesféricos, possuem baixo grau de arredondamento e hábito granular.

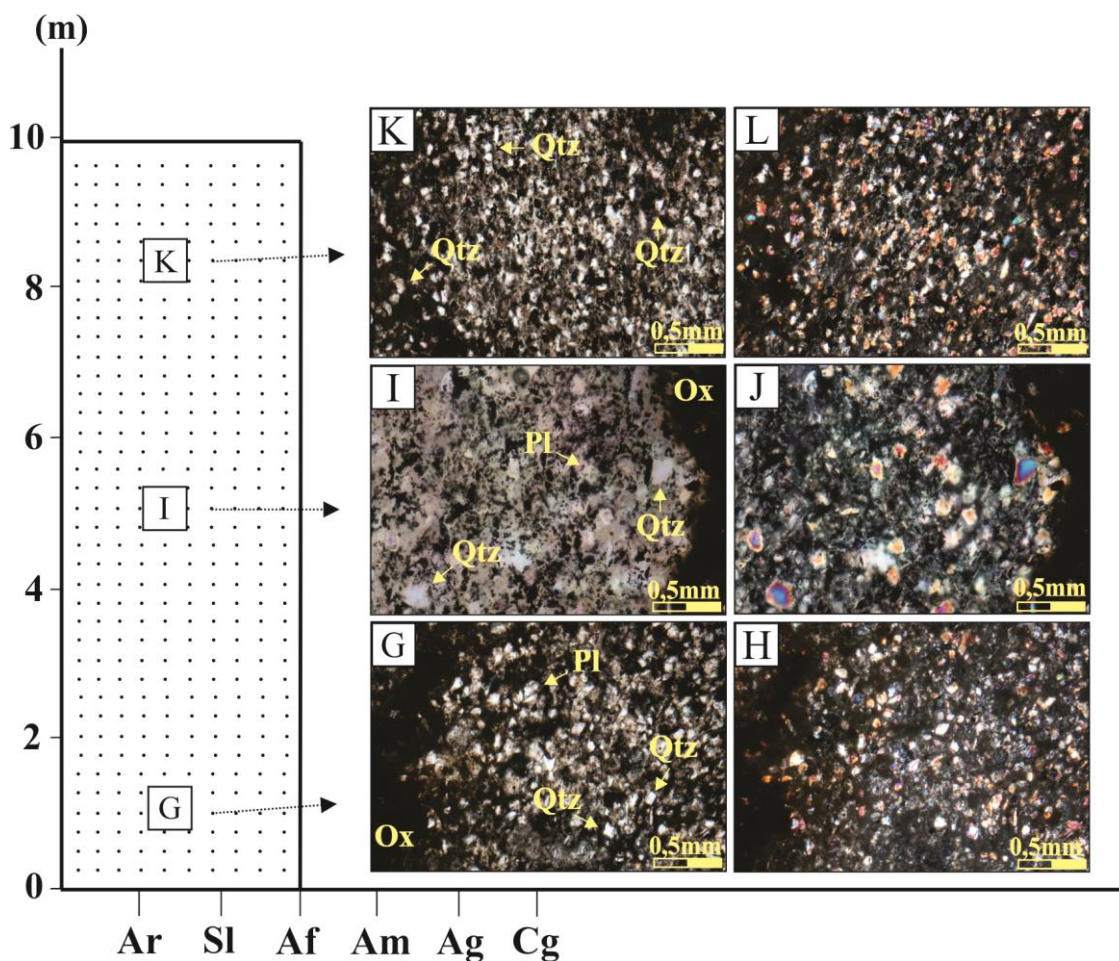


Figura 9. Seção esquemática MZ-T2 com fotomicrografias dos litotipos posicionadas de acordo com sua estratigrafia (lâminas MZ-12C, MZ-12B e MZ-12D); destaque para os cristais de quartzo, plagioclásio e bandas de óxido de ferro; G-I-K = luz transmitida, H-J-L= nicóis cruzados.

7.3 Difração de raios-X

Nas etapas que abrangeram as análises difratométricas e litogeoquímicas foram utilizadas, como parâmetro comparativo, amostras coletadas na mina Nova Conquista (23° 19'632''/47°49'407'', localizada no município de Tatuí, onde a Formação Tatuí já utilizada como fonte de matéria-prima para as cerâmicas da região.

7.3.1 Seção MZ-T1

Os difratogramas referentes às amostras da seção MZ-T1 mostram que, conforme subimos na estratigrafia, a mineralogia caminha de uma composição mais rica em ferro, com amostras de base (MZ-01, MZ-02 e MZ-03) compostas por óxido de ferro (Figura 10), para uma composição mais sódico-potássica marcada pela presença de albita, feldspato potássico e biotita nas porções intermediárias (Figura 11).

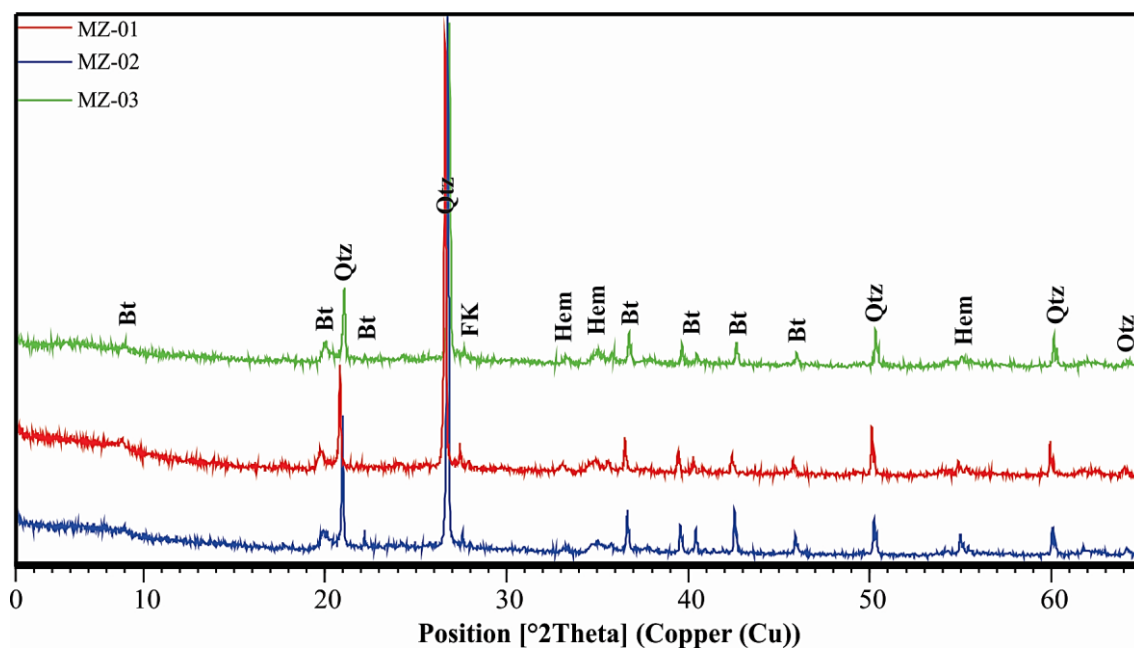


Figura 10. Difratogramas referentes à porção de base da seção MZ-T1.

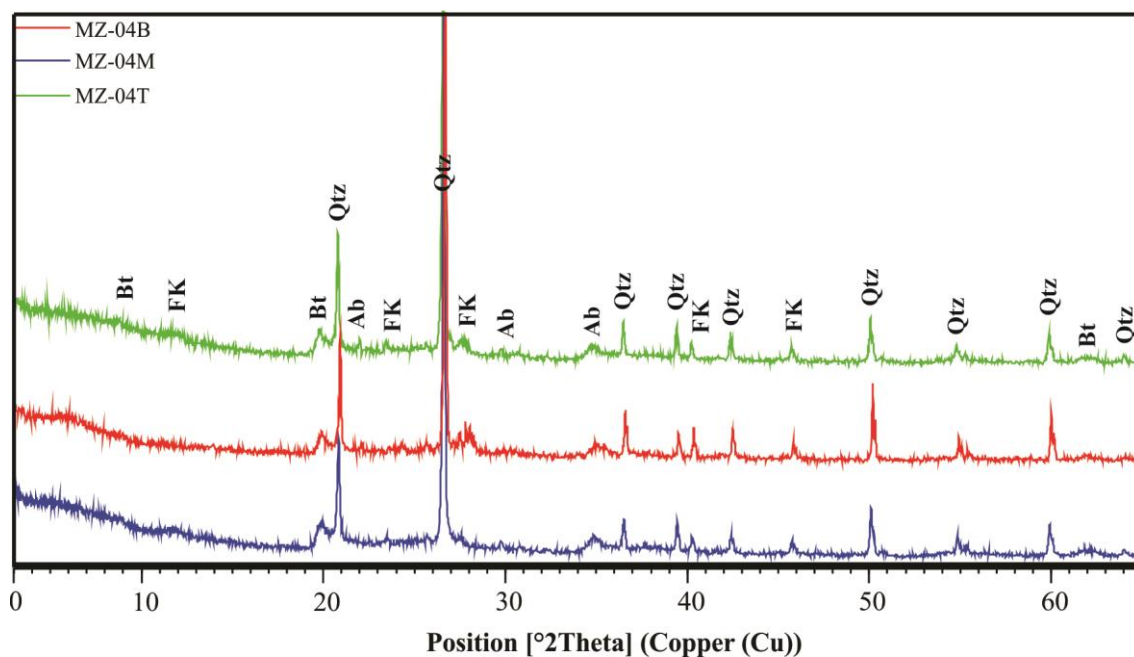


Figura 11. Difratogramas referentes à porção intermediária da seção MZ-T1.

Próximo ao topo da seção, é possível inferir lixiviação de sódio na composição dos litotipos, devido à ausência de albita nos difratogramas referentes às amostras coletadas nessa porção (Figura 12), empobrecimento confirmado pela análise geoquímica. Entretanto, tais amostras passam a apresentar novamente minerais ricos em ferro, assim como observado nas amostras da base da seção.

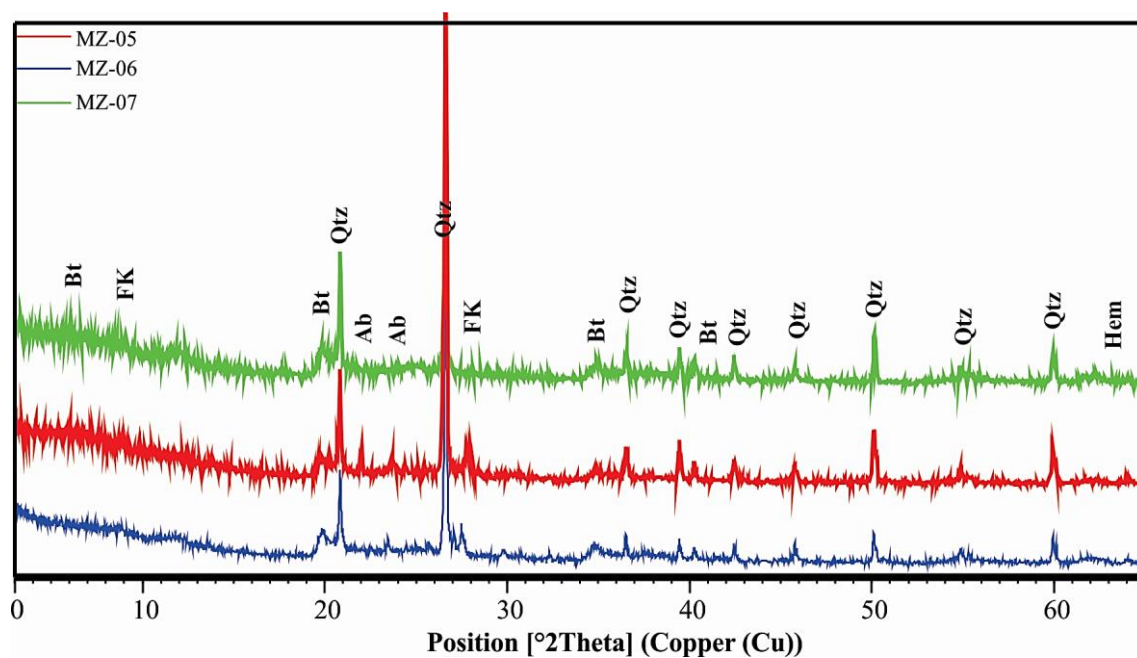


Figura 12. Difratomogramas referentes à porção de topo da seção MZ-T1.

7.3.2 Seção MZ-T2

As amostras de base da seção MZ-T2 (MZ-12A e MZ-12B) são marcadas pela presença de quartzo, alta concentração de minerais ricos em sódio (albita) e alguma concentração secundária de biotita. Essa composição permanece constante por toda a extensão da seção (Figura 13).

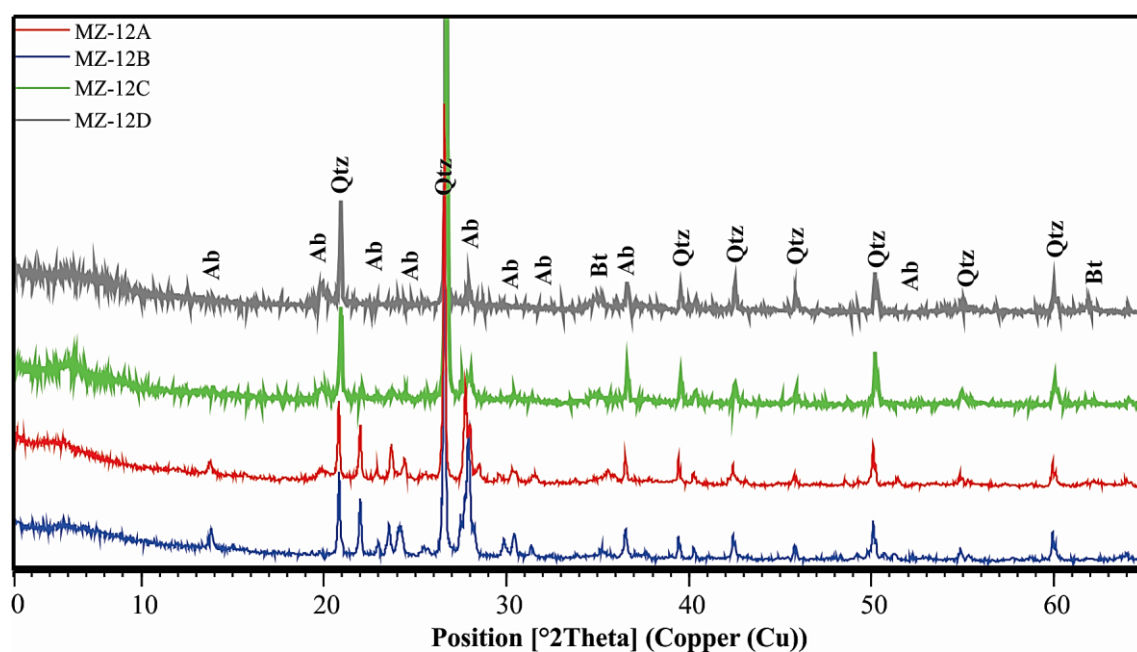


Figura 13. Difratomogramas referentes à composição mineralógica da seção MZ-T2.

7.3.3 Mina Nova Conquista

Quando comparadas as amostras da mina Nova Conquista, é possível notar que as amostras de ambos os perfis apresentam certas similaridades, como, por exemplo, o alta concentração de quartzo, zeólitas e, secundariamente, biotita. Entretanto, as amostras da mina também apresentaram concentrações significantes de minerais de caulinita, minerais não identificados nos difratogramas das seções MZ-T1 e MZ-T2 (Figura 14).

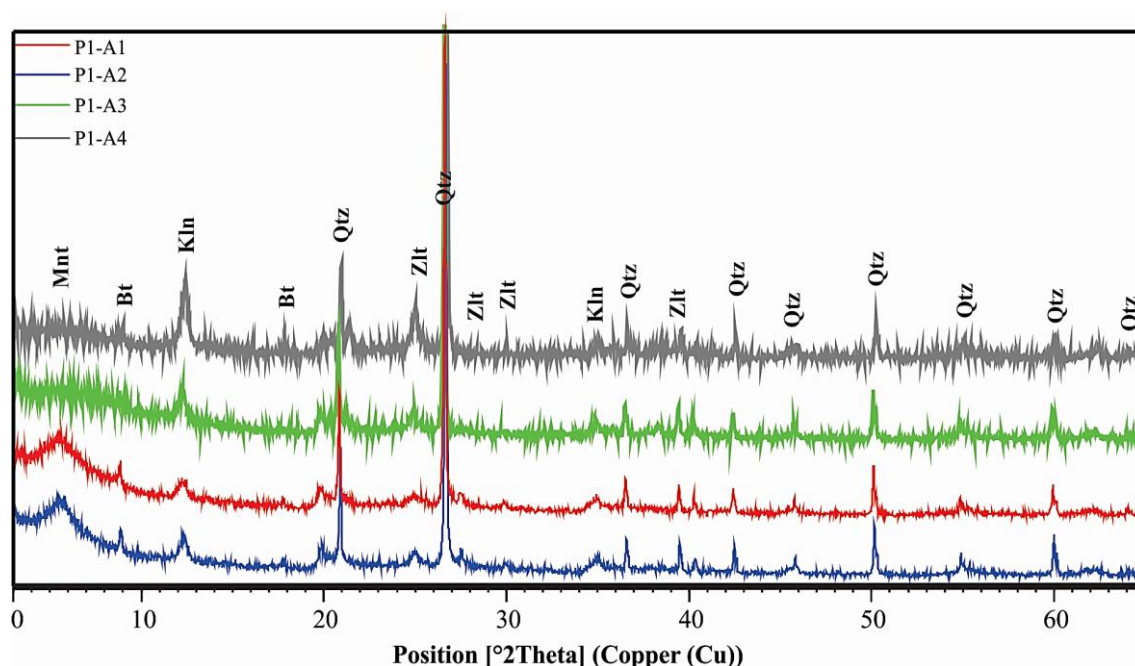


Figura 14. Difratogramas referentes às amostras da mina Nova Conquista.

7.4 Litogeoquímica

Dentro do campo da caracterização tecnológica de matérias-primas cerâmicas, a análise geoquímica de elementos maiores é de fundamental importância, uma vez que a proporção desses elementos na massa atua como principal fator condicionante das propriedades físicas dos produtos finais. As amostras provenientes da Formação Tatuí foram agrupadas de acordo com seus respectivo perfil de origem e os valores obtidos pela análise geoquímica de elementos maiores são apresentados na Tabela 6.

Os valores apresentados pelas amostras P1-A1 a P1-A4 servem como parâmetro de comparação, assim como os teores médios de óxidos maiores das matérias-primas provenientes da Formação Corumbataí.

A partir desta etapa as seções analisadas passaram a ser tratadas como perfis litogeoquímicos.

Tabela 2. Composição química dos materiais provenientes da Formação Tatuí. Valores apresentados sob a forma de porcentagem de óxidos maiores. *: Teores médios de óxidos maiores da Formação Corumbataí.

Amostra	SiO₂ %	Al₂O₃ %	CaO %	Fe₂O₃ %	K₂O %	Na₂O %	LOI %
Perfil MZ-T1							
MZ-01	69,65	14,97	0,23	6,18	2,9	0,19	4,54
MZ-02	71,6	15,89	0,23	4,91	2,92	0,12	4,63
MZ-03	67,66	16,03	0,31	2,48	2,55	0,35	5,68
MZ-4B	78,38	12,84	0,38	2,24	1,91	0,75	3,61
MZ-4T	72,85	15,74	0,07	2,08	2,65	0,5	5,29
MZ-4M	71,77	16,6	0,12	1,63	2,46	0,13	6,06
MZ-05	75,23	13,11	0,26	1,75	1,52	1,4	4,33
MZ-06	65,34	14,99	0,1	2,07	2,83	0,09	5,32
MZ-07	65,73	17,17	0,1	2,54	1,65	0,02	7,07
Perfil MZ-T2							
MZ-12A	68,44	15,53	0,77	1,46	0,33	4,31	3,58
MZ-12B	73,2	11,36	0,25	2,03	1,36	5,22	1,09
MZ-12C	75,17	10,9	0,15	2,57	1,93	1,23	3,25
MZ-12D	69,07	14,83	0,32	3,91	2,05	0,38	5,13
Mina Nova Conquista							
P1-A1	70,69	15,67	0,35	4,42	2,65	0,12	5,2
P1-A2	72,96	15,95	0,32	3,58	2,2	0,1	5,14
P1-A3	67,45	16	0,1	5,61	1,41	0,05	5,87
P1-A4	60,05	19,04	0,03	8,41	0,9	0,04	7,73
*	64,29	13,99	1,69	4,92	3,14	2,14	6,55

O teor de SiO₂ nas amostras do perfil MZ-T1 varia de 65,34%, em amostras mais próximas ao topo do perfil, até 78,85% naquelas coletadas em porções intermediárias. A média dos teores obtidos para esse perfil é de 69,98%, com exceção da amostra MZ-4B que apresenta uma concentração mais elevada (78,38%) de SiO₂. Para o perfil MZ-T2, esses mesmos teores variam de 68,44%, em amostras de topo e base (MZ-12A e MZ-12B), até 75,17% para aquelas em porções mais intermediárias (MZ-12B e MZ-12C). Quanto ao teor de Al₂O₃, as amostras do perfil MZ-T1 apresentam valores que variam de

12,84% até 17,17%, enquanto que nas amostras do perfil MZ-T2, esse mesmo teor varia de 10,90% a 15,53%.

A título de comparação, as amostras provenientes da mina Nova Conquista possuem concentração média de SiO_2 de 67,79% e de 16,67% para Al_2O_3 , ou seja, valores próximos aqueles obtidos nas amostras de ambos os perfis estudados e ao teores observados no material proveniente da Formação Corumbataí.

A razão entre esses elementos ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) é um parâmetro importante a ser considerado na análise de matérias-primas cerâmicas, uma vez esta fornece a proporção de elementos refratários presentes na massa, os quais, de maneira geral, são considerados inertes quando encontrados na composição de matérias-primas cerâmicas (ROCHA, 2012).

Em relação às amostras analisadas, aquelas referentes ao perfil MZ-T1 apresentam valores relativamente altos para essa razão (3,83 – 6,10) (Figura 15), enquanto que a mesma razão apresenta valores ainda mais elevados para as amostras provenientes do perfil MZ-T2 (4,41 a 6,90) (Figura 16). Para essa mesma razão, o material proveniente da mina Nova Conquista apresenta valores que variam de 3,15 a 4,57, valores relativamente mais baixos quando comparados aos de ambos os perfis (Figura 17).

A linha vermelha presente nos gráficos destaca o limite máximo adequado de cada componente na massa cerâmica, de acordo com a média apresentada pelos materiais já utilizados na indústria para que não ocorram defeitos nos produtos finais.

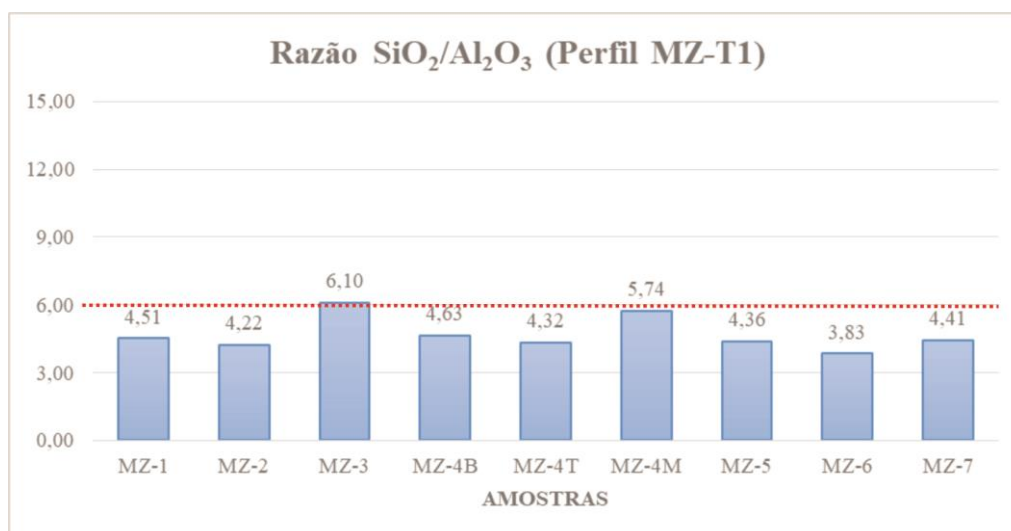


Figura 15. Gráfico da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ das amostras do perfil MZ-T1.

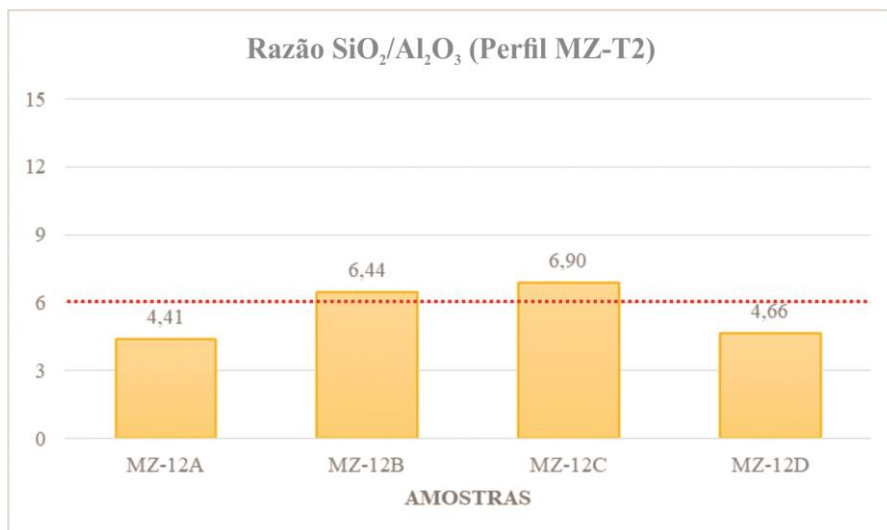


Figura 16. Gráfico da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ das amostras do perfil MZ-T2.

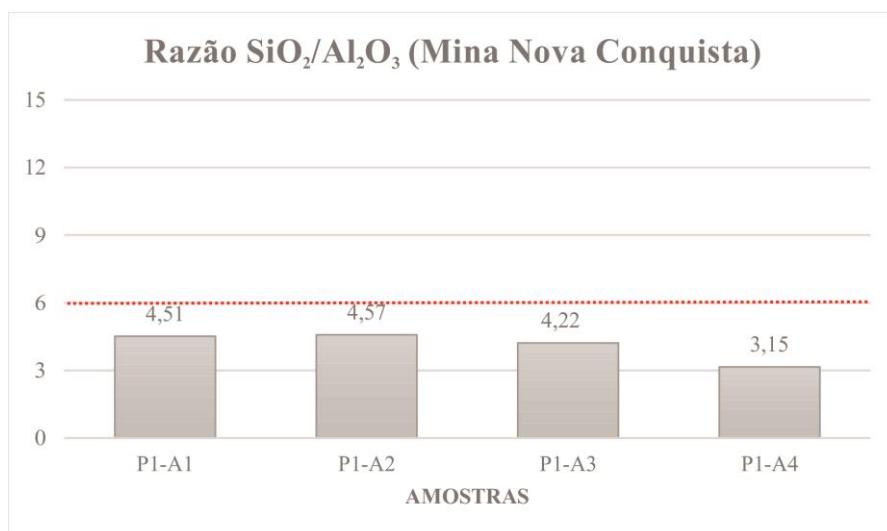


Figura 17. Gráfico comparativo da razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ das amostras da mina Nova Conquista.

Outro fator condicionante na produção de produtos cerâmicos é a concentração de cálcio (CaO) na massa, pois, quando encontrado em concentrações elevadas, tal componente pode causar deformações no produto final devido às altas taxas de volatilização do CO_2 , quando encontrado em concentrações muito elevadas. O limite máximo do eixo vertical (2%) nos gráficos a seguir representa a proporção máxima adequada de óxido de cálcio para que tal componente não provoque defeitos nos produtos finais.

As amostras do perfil MZ-T1 apresentam majoritariamente teores menores que 0,5%, com uma concentração mínima na amostra MZ-4T (0,07%) e máxima em MZ-4B

(0,38%) (Figura 18). Para as amostras do perfil MZ-T2, os valores máximos e mínimos são de 0,15% para a amostra MZ-12C e 0,77% para a amostra MZ-12A, respectivamente (Figura 19).

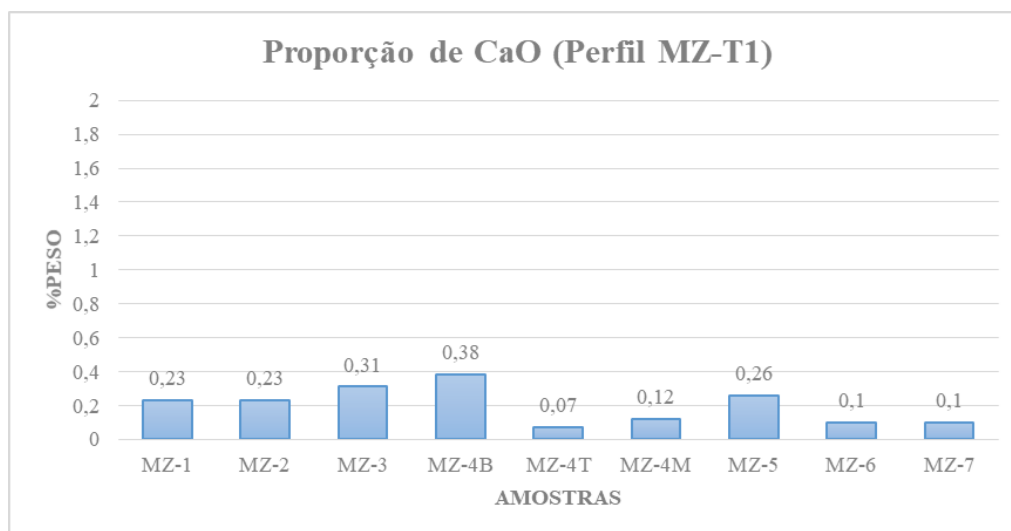


Figura 18. Proporção de CaO nas amostras do perfil MZ-T1.

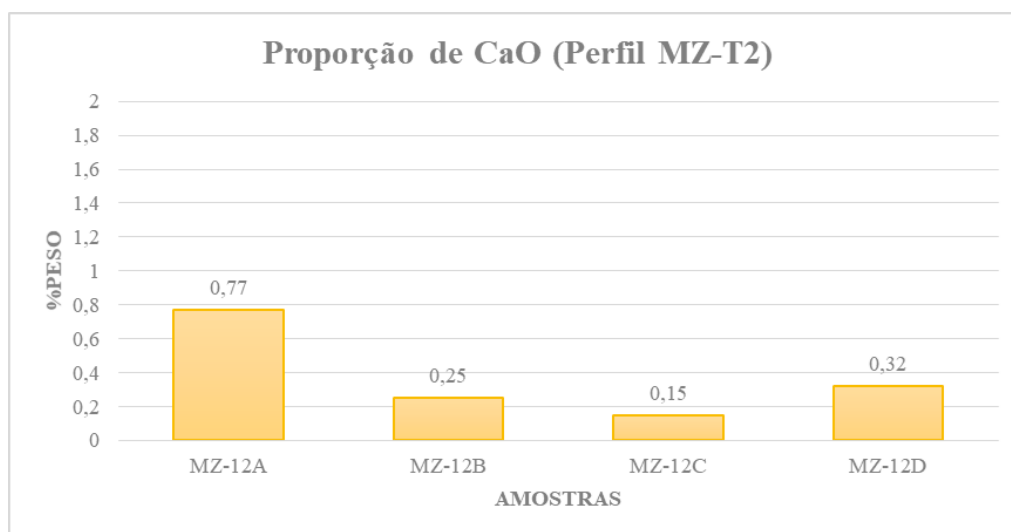


Figura 19. Proporção de CaO nas amostras do perfil MZ-T2.

Os teores de CaO observados nas amostras P1-A1 a P1-A4 são, em média, próximos a aqueles observados em ambos os perfis, com exceção da amostra MZ-12A que apresenta teor de 0,77% (Figura 20).

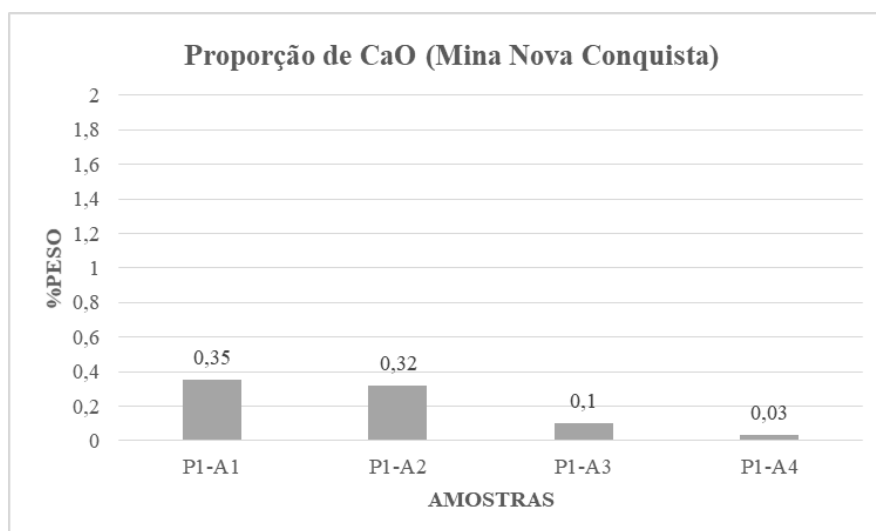


Figura 20. Proporção comparativa de CaO nas amostras da mina Nova Conquista.

Juntamente ao teor de CaO, é possível considerar que todo cálcio pode ser convertido a um teor teórico de carbonato de cálcio ou em carbonato de cálcio e magnésio, o qual, dependendo de sua concentração na massa, pode causar variações na taxa de absorção de água e retração linear do produto final (COUTINHO JUNIOR, CARVALHO, ZANARDO, 2012).

Segundo Barba et al. (2012), para que uma massa cerâmica seja considerada com “baixo teor de carbonatos” é necessário que esta apresente menos de 5% de carbonatos em sua composição total, teor que pode ser observado em todas as amostras analisadas.

Em relação aos teores de Na_2O e de K_2O (álcalis), estes geralmente estão associados à presença de feldspatos e filossilicatos. A presença desses elementos nas matérias-primas favorece, sob determinadas condições de temperatura, a formação de fases líquidas durante a queima, condição que se reflete nas características de absorção de água e de resistência mecânica à flexão dos produtos finais (BARBA et al, 2002; MONTIBELLER, 2015).

Os teores verificados nas amostras mostram uma variação acentuada na taxa de Na_2O (0,02% - 5,22%), com predomínio de valores menores que 1,5%, salvo as amostras MZ-12A e MZ-12B que apresentam teores de 4,31% e 5,22%, respectivamente. Quanto à proporção de K_2O , esta apresenta maior homogeneidade, com valores entre 1,52% e 2,92%, novamente com exceção das amostras MZ-12A e MZ-12B cujos valores são 1,36% e 0,33%, respectivamente. (Figura 21).

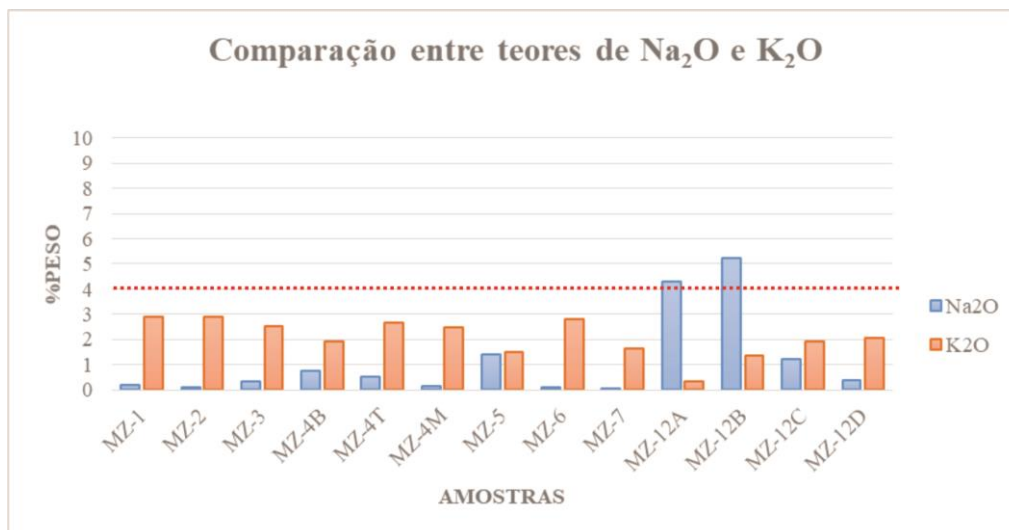


Figura 21. Gráfico de comparação do teores de álcalis dos perfis MZ-T1 e MZ-T2.

Comparativamente, as amostras dos perfis estudados apresentam comportamento similar às amostras P1-A1 a P1-A4 quanto à sua proporção de álcalis, sendo que estas apresentam valores entre 0,04% e 0,12% de Na₂O, e entre 0,9% e 2,65% para o K₂O (Figura 22).

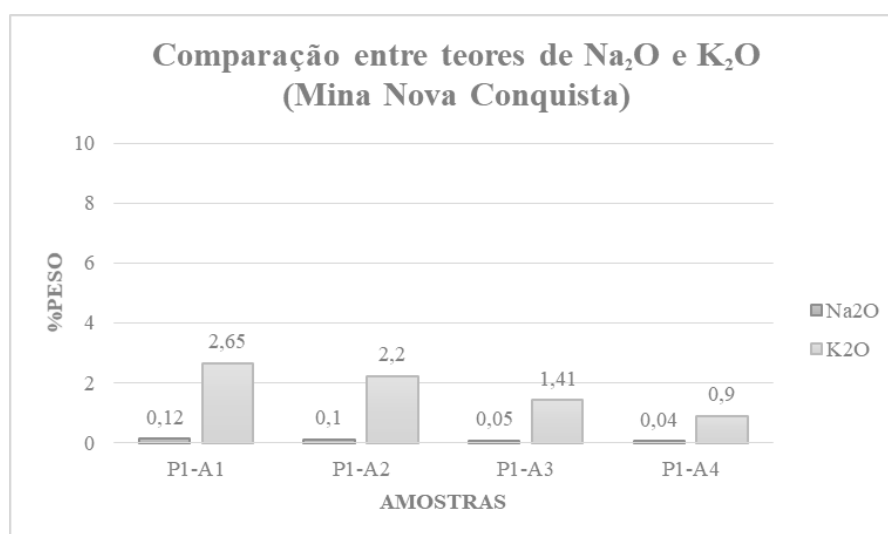


Figura 22. Gráfico de comparação do teores de álcalis das amostras provenientes da mina Nova Conquista.

Quanto à influência do LOI (*loss on ignition*) nos produtos cerâmicos esta é diretamente associada à presença de carbonatos e/ou matéria orgânica na composição das matérias-primas, o que, por sua vez, pode resultar na liberação de CO₂ durante o processo de queima, resultando em defeitos no produto final, devido à expansão do material. Outro fator que pode influenciar os valores de LOI seria uma mineralogia rica em filossilicatos, cuja água intersticial, também seria liberada durante o processo de queima.

Para as amostras do perfil MZ-T1, os valores de LOI variam de 3,61% até 7,07% ao passo que as amostras do perfil MZ-T2 apresentam teores relativamente menores que 3,6%, com exceção da amostra MZ-12D, que apresenta teor de 5,13% (Figura 23). O gráfico de LOI referente ao perfil MZ-T2 apresenta valores entre 3,25% e 5,13%, salvo a amostra MZ-12B, cujo teor é de apenas 1,09% (Figura 24).

Apesar dos teores de LOI da mina Nova Conquista serem mais elevados quando comparados aos de ambos os perfis (5,20% – 7,73%), estes ainda apresentam valores próximos aos verificados nas possíveis matérias-primas (Figura 25).

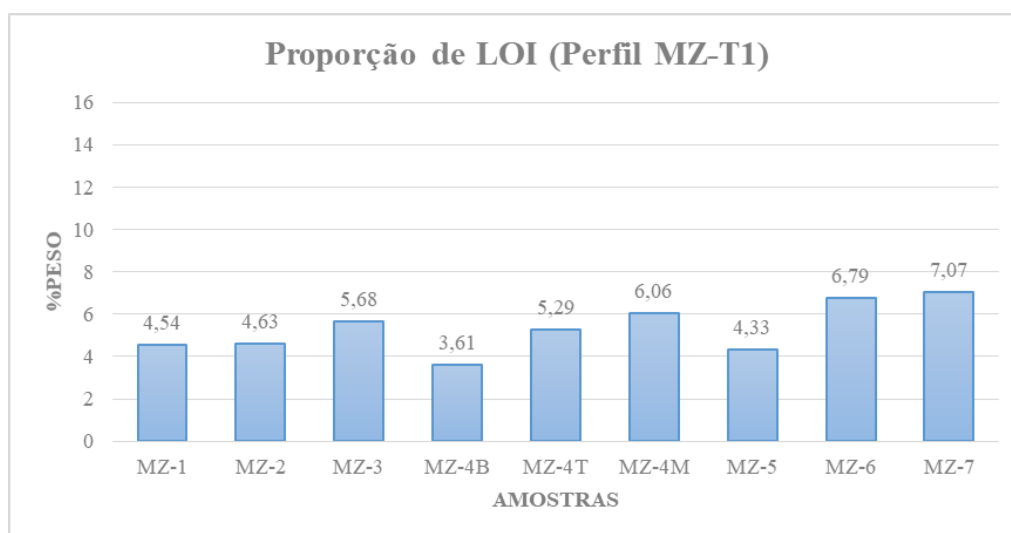


Figura 23. Taxa de LOI (loss on ignition) referente às amostras do perfil MZ-T1.

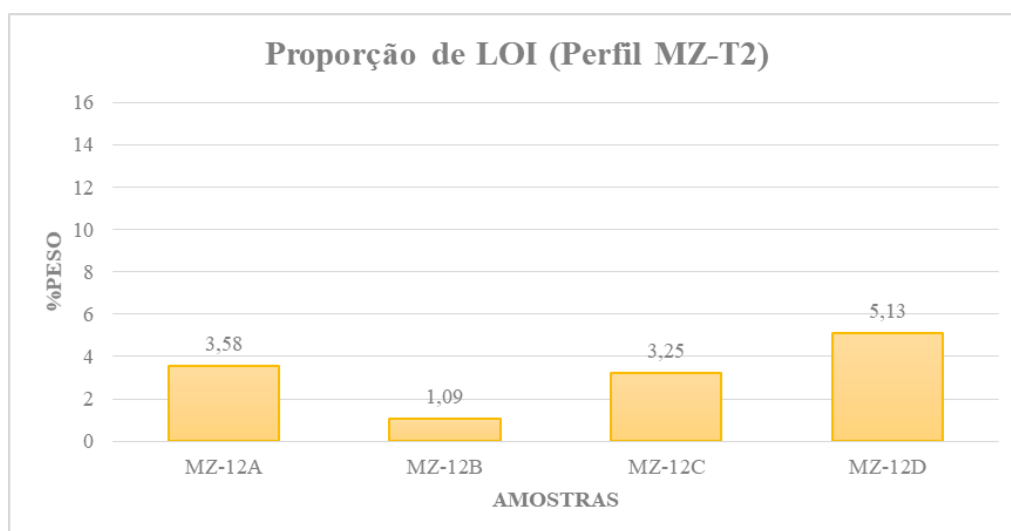


Figura 24. Taxa de LOI (loss on ignition) referente às amostras do perfil MZ-T2.

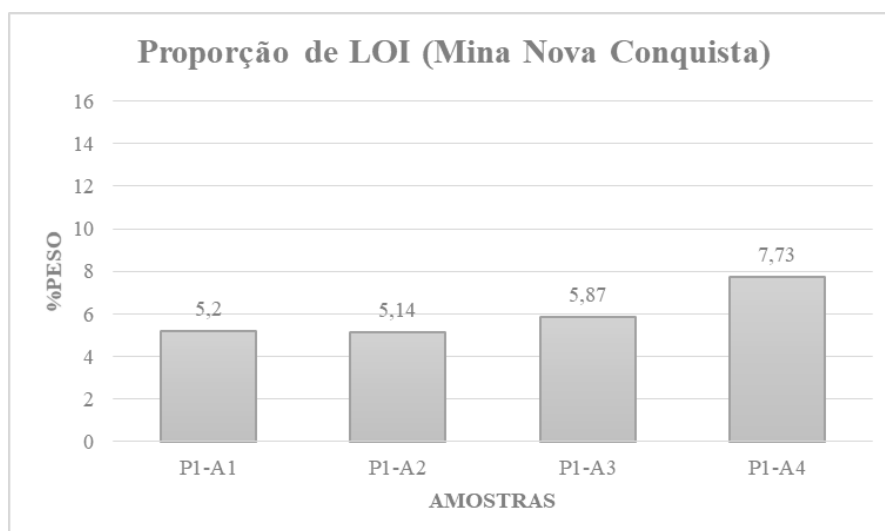


Figura 25. Taxa de LOI (loss on ignition) referente às amostras da mina Nova Conquista.

Por fim, o teor de óxidos de ferro na massa é outro fator que deve ser levado em consideração durante a produção de placas cerâmicas, uma vez que o Fe^{3+} atua como um ótimo condutor térmico quando disperso de forma homogênea na massa e em quantidades não muito elevadas. Caso o Fe^{3+} se apresente em grandes quantidades ou disperso na massa de maneira desigual pode ocasionar sobrequeima interna das peças, o que resulta em deformações devido às altas taxas fusão e transformações rápidas das fases minerais (BARBA et al, 2002).

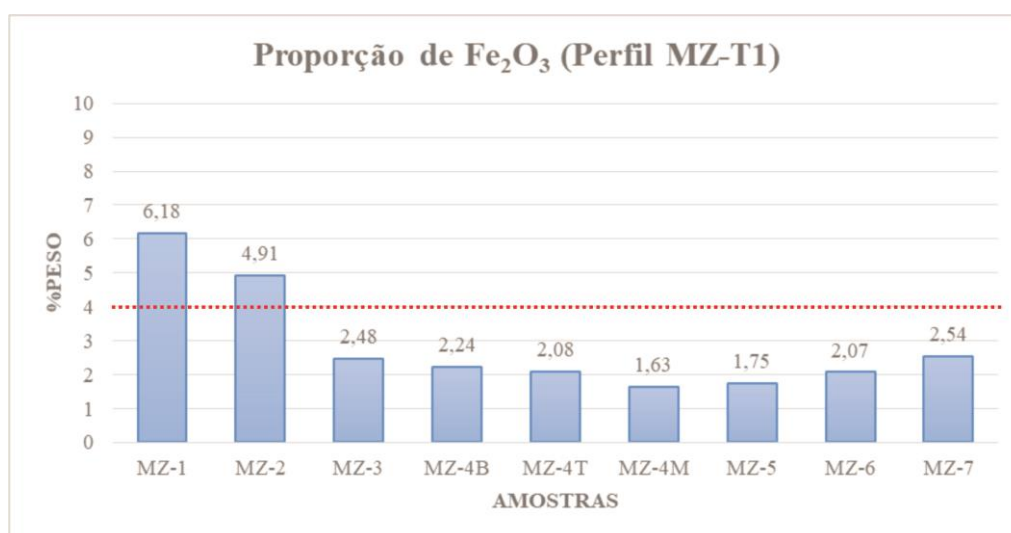


Figura 26. Gráfico da proporção de Fe_2O_3 nas amostras do perfil MZ-T1.

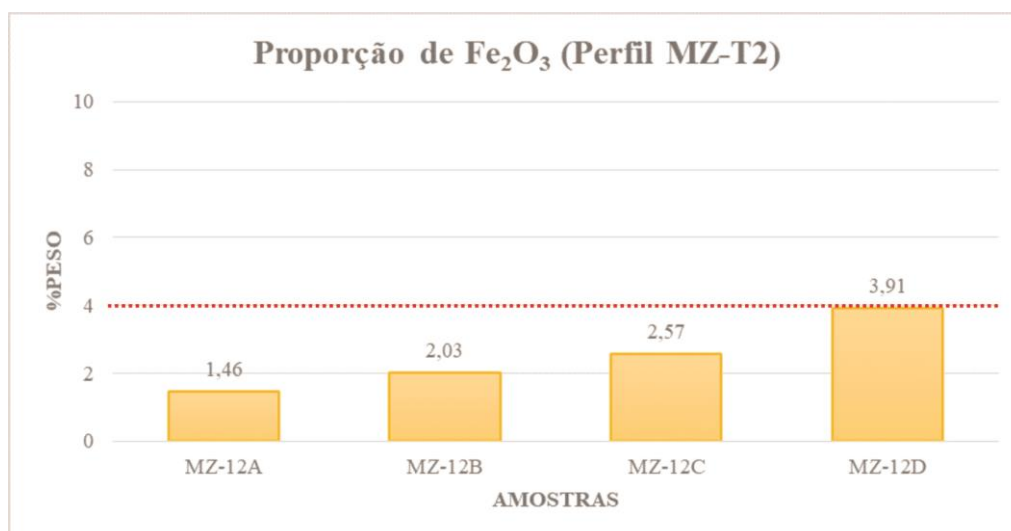


Figura 27. Gráfico da proporção de Fe_2O_3 nas amostras do perfil MZ-T2.

Dentre as amostras analisadas, aquelas referentes ao perfil MZ-T1 apresentam, de maneira geral, teores de Fe_2O_3 inferiores a 3%, sendo as amostras MZ-1 e MZ-2 as únicas com teores acima do valor ideal de limite de 4% (Figura 26). As amostras do perfil MZ-T2 apresentam a mesma tendência em seus teores de Fe_2O_3 (1,46% - 2,57%), com exceção da amostra MZ-12D, cujo teor (3,91%) encontra-se próximo ao teor limite (Figura 27).

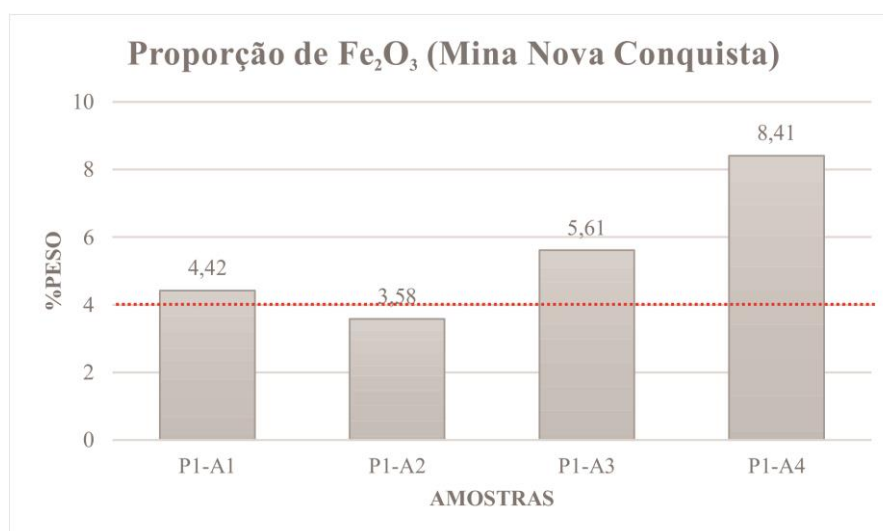


Figura 28. Gráfico comparativo da proporção de Fe_2O_3 nas amostras da mina Nova Conquista.

Quando comparadas às amostras da mina Nova Conquista, as amostras de ambos os perfis apresentam valores de Fe_2O_3 relativamente mais baixos, visto que todas apresentam teores superiores a 3%, podendo atingir valores de até 8,41%, como no caso da amostra P1-A4 (Figura 28). No gráfico de comparação entre os teores de CaCO_3

teórico, Fe_2O_3 e Al_2O_3 de ambos os perfis (Figura 29) é possível observar que todas as amostras apresentam alto teor de elementos refratários (superiores a 9% do peso total) ao passo em que os teores de óxidos de ferro não ultrapassam 5%, com exceção da amostra MZ-1, e os teores de carbonato teórico não ultrapassam 1,5%. Essas características indicam que o material analisado pode apresentar elevada resistência térmica e por isso possam precisar de temperaturas mais elevadas para que ocorra sinterização.

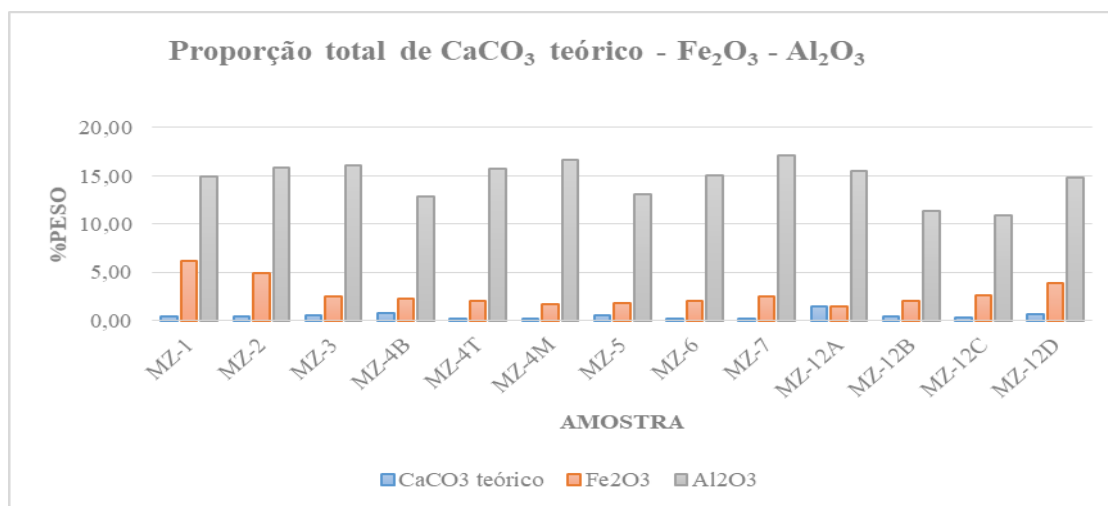


Figura 29. Gráfico comparativo entre as taxas de CaCO_3 teórico, Fe_2O_3 e Al_2O_3 nas amostras dos perfis MZ-T1 e MZ-T2.

7.5 Avaliação granulométrica por difratometria a laser

Apesar de algumas amostras apresentarem respostas distintas das demais (MZ-03, MZ-04M e MZ-12A) (Figura 32), as amostras provenientes de um mesmo perfil possuem, de maneira geral, respostas de granulometria próximas, como no caso das amostras MZ-01 e MZ-02/ MZ-04B e MZ-07/ MZ-04T, MZ-05 e MZ-06 no perfil MZ-T1 (Figura 30) e MZ-12B, MZ-12C e MZ-12D, no perfil MZ-T2 (Figura 31).

A amostra MZ-01 possui caráter bimodal com a primeira moda em 4μ ($\pm 3\%$) e a segunda em 400μ (4%), já a amostra MZ-02 possui caráter trimodal com as duas primeiras modas semelhantes às da amostra MZ-01 (2,5% e $\pm 3,75\%$, respectivamente) e a terceira ($\pm 2,5\%$) em 200μ . As curvas referentes às amostras MZ-04B e MZ-07 variam de 0,3 a 300μ com pico bem marcado em 90μ para ambas as amostras em concentrações de, aproximadamente, 7 e 6%, respectivamente. A curva da amostra MZ-04B apresenta pequeno pico pouco marcado em 10μ em proporção de 2,5%.

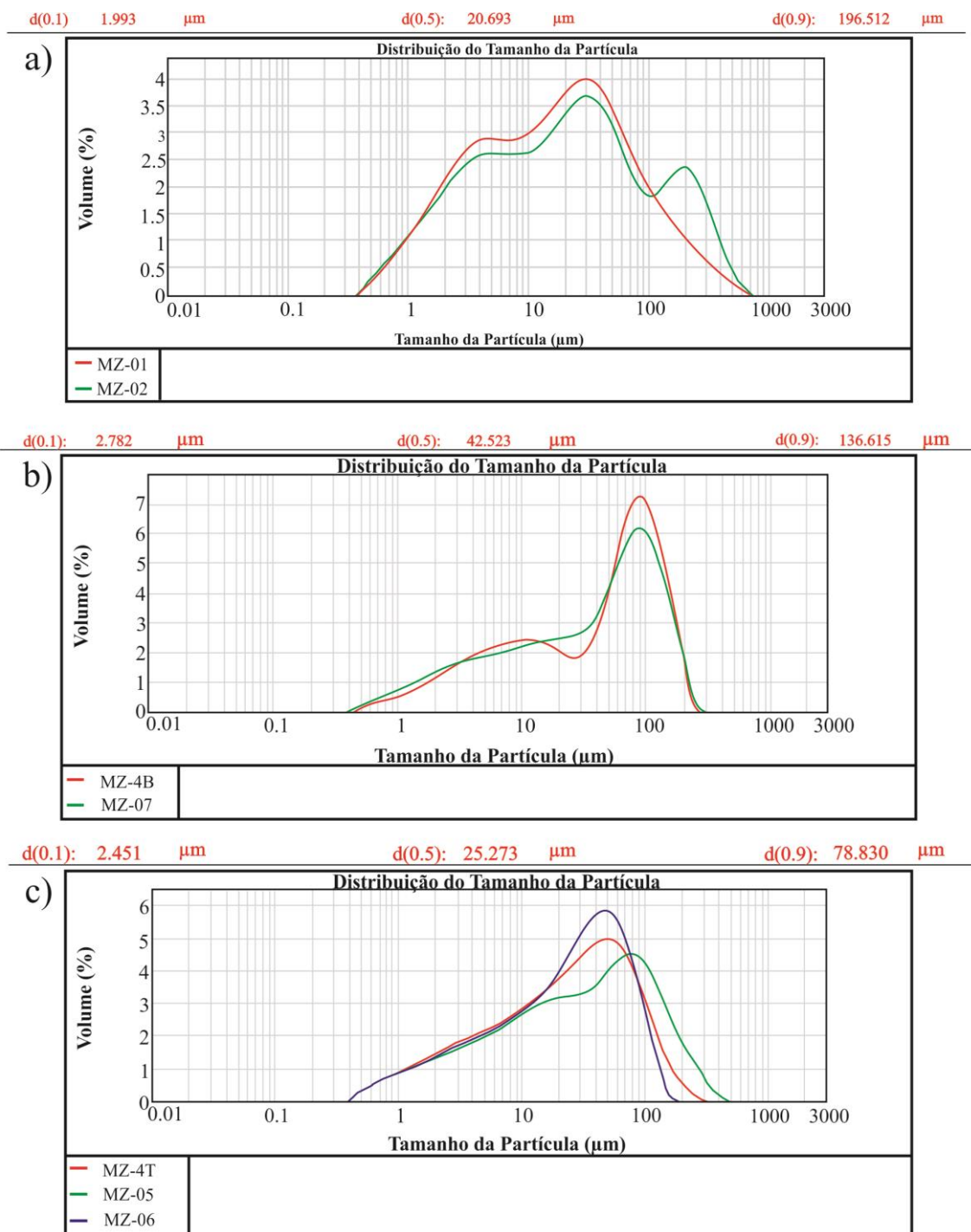


Figura 30. Distribuição granulométrica após a moagem em moinho de martelo. a) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras MZ-01 e MZ-02; b) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras MZ-4B, MZ-07; c) comparação entre as curvas de distribuição granulométrica das amostras MZ-4T, MZ-05 e MZ-06.

Por fim, ainda no perfil MZ-T1, as curvas das amostras MZ-04T, MZ-05 e MZ-06 apresentam caráter unimodal com variações de $0,4\mu$ a 200μ , $0,4\mu$ a 300μ e $0,4\mu$ a 500μ , respectivamente. A moda das amostras MZ-04 e MZ-05 encontra-se em 50μ (5%

e 6%, respectivamente), enquanto que a moda da amostra MZ-06 fica próxima a 80% em uma concentração de 4,5%.

Em relação à granulometria de moagem das amostras MZ-12B, MZ-12C, MZ-12D provenientes do perfil MZ-T2 (Figura 31), suas curvas apresentaram caráter unimodal com intervalos de $0,4\mu$ a 200μ , $0,4\mu$ a 300μ e $0,4\mu$ a 500μ , respectivamente. A moda das amostras apresenta variação de 20μ entre o maior e o menor valor, com média de 75μ e concentração de aproximadamente 5%.

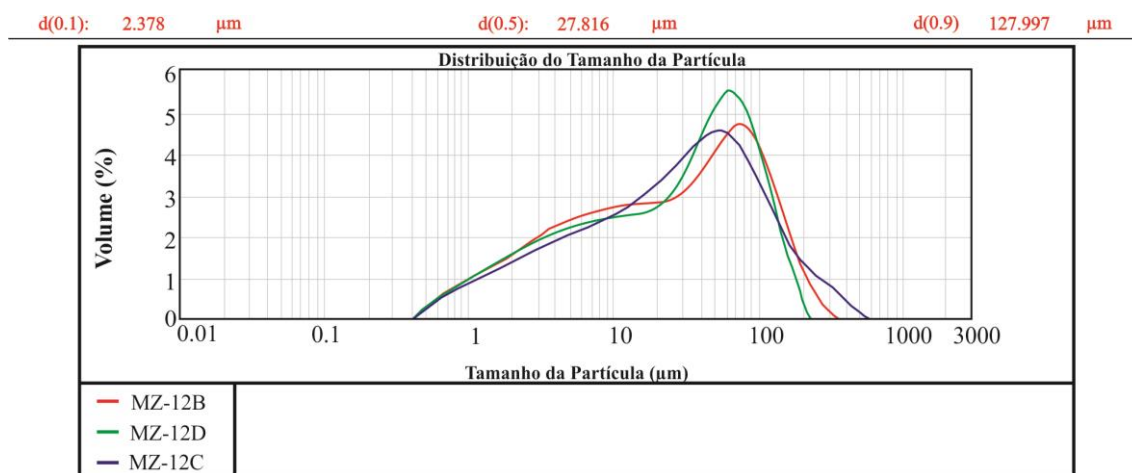


Figura 31. Distribuição granulométrica das amostras MZ-12B, MZ-12C e MZ-12D após a moagem em moinho de martelo.

Respostas distintas das demais foram observadas nos gráficos referentes às amostras MZ-04M, MZ-03 e MZ-12A (Figura 32). Respectivamente, a primeira apresenta caráter bimodal com modas em 9μ (4,5%) e 400μ (0,5%) dentro de um intervalo de $0,3$ a 600μ , enquanto que a segunda possui caráter unimodal com a moda estabelecida em 20μ ($\pm 6\%$) e variação de $0,3$ a 300μ . Por fim, a terceira possui aspecto trimodal com as modas posicionadas nos picos de 5 ($\pm 3\%$), 60 (3,25%) e 600μ (1,75%), respectivamente, distribuídas em um intervalo de $0,4$ a 1000μ .

Em relação à simetria das curvas, houve grande heterogeneidade nos resultados obtidos, com poucas amostras apresentando picos simétricos, como no caso das amostras MZ-03 e MZ-4M. Enquanto que as demais apresentaram assimetria acentuada em suas curvas, o que, do ponto de vista granulométrico, pode representar uma maior diversidade na granulometria constituinte das amostras.

Outro aspecto a ser analisado está associado à simetria apresentada pelas curvas, a qual deve ser verificada com base em cada um dos picos verificados. Em relação às amostras estudadas, foi possível notar que, de maneira geral, todas apresentaram grau

acentuado de assimetria, com exceção das amostras MZ-03 e MZ-04M, as quais apesar de não serem totalmente simétricas, foram as que mais se aproximaram desse tipo de resposta.

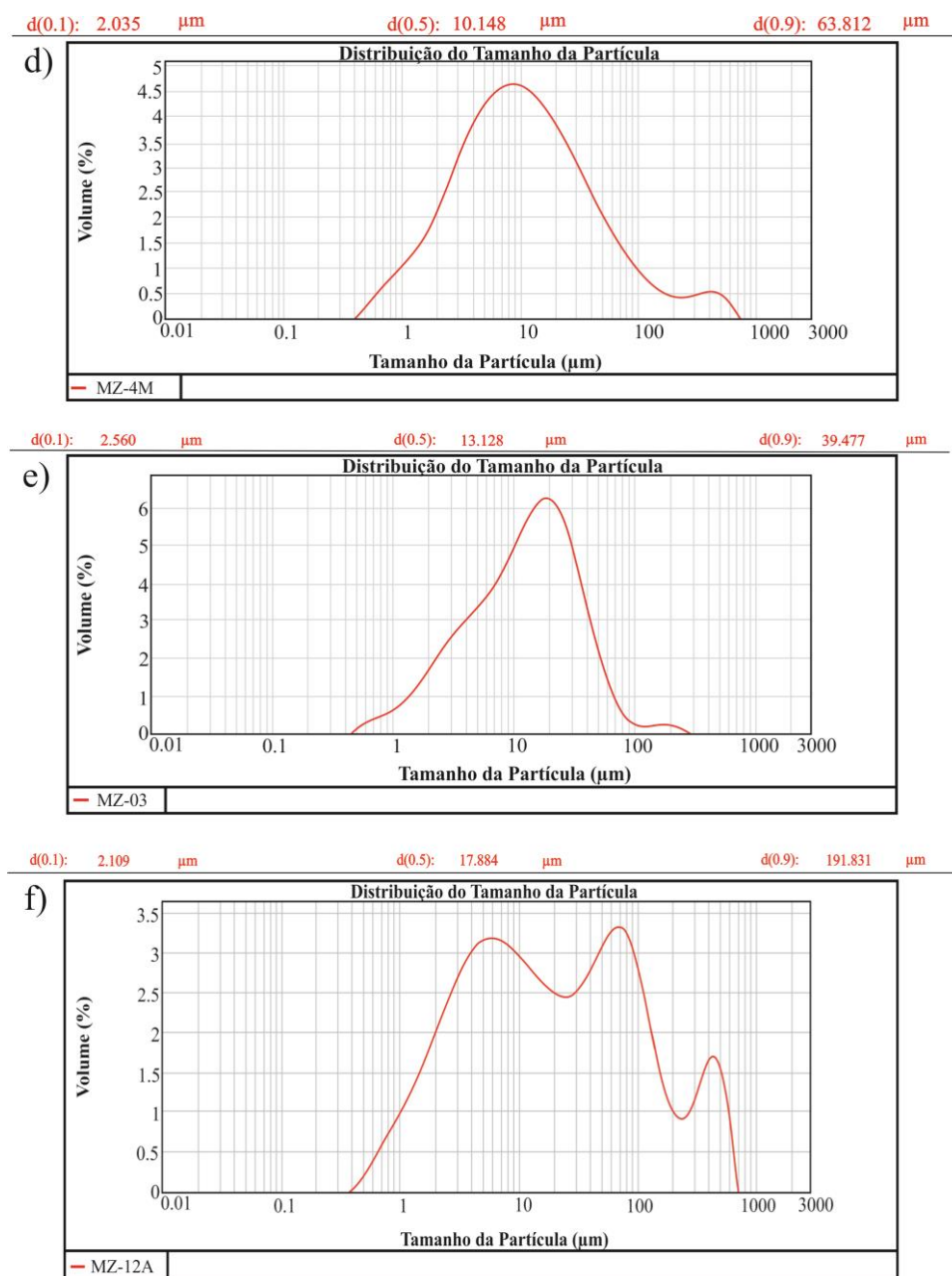


Figura 32. Distribuição granulométrica das amostras MZC-4M, MZC-03 e MZC-12A após moagem por moinho de martelos.

Os picos de granulometria de moagem estão apresentados individualmente na tabela 3. Os intervalos são apresentados em ordem decrescente de concentração.

Tabela 3. Picos de granulometria em ordem decrescente de volume.

Amostra	Pico 1º ordem	Pico 2º ordem	Pico 3º ordem
Perfil MZ-T1			
MZ-01	10µ - 50µ		
MZ-02	10µ - 50µ	100µ - 300µ	
MZ-03	2µ - 80µ		
MZ-4B	30µ - 200µ		
MZ-4M	1µ - 100µ	200µ - 800µ	
MZ-4T	20µ - 100µ		
MZ-05	20µ - 100µ		
MZ-06	20µ - 100µ		
MZ-07	30µ - 200µ		
Perfil MZ-T2			
MZ-12A	50µ - 90µ	3µ - 20µ	300µ - 800µ
MZ-12B	20µ - 100µ		
MZ-12C	20µ - 100µ		
MZ-12D	20µ - 100µ		

7.5.1 Parâmetros pós-queima

Durante a etapa de peneiramento, as amostras MZ-01, MZ-02, MZ-03 e MZ-04B, não se mostraram apropriadas para prensagem, uma vez que a adição de água fez com que esses materiais formassem agregados extremamente coesos, o que não permitiu o seu peneiramento e, conseqüentemente, a conformação de corpos de prova. Por esse motivo, tais amostras não foram submetidas aos demais ensaios de pós-queima.

Após a prensagem, os corpos de prova foram medidos e seus volumes e densidades médias foram calculadas. Com os valores médios em mãos, foi possível o cálculo das densidades médias de cada um dos conjuntos dos corpos de prova (Tabela 5). Foi escolhido manter os valores de densidade em torno de 2,0 g/cm³, valores que se mantiveram mesmo após a queima do material.

Os corpos de prova de ambos os perfis submetidos a queima a 950° C apresentaram retração, com variação entre -0,36 % (MZ-12A) e -5,45 % (MZ-07). Na queima a 1050° C foi possível verificar o mesmo comportamento na maioria das amostras, com exceção da amostra MZ-05, a qual demonstrou expansão de 1,76, o que pode estar associado a presença de minerais expansivos que não foram identificados nas análises

petrográficas e difratométricas. Quanto as demais amostras a taxa de retração apresentou variação de -1,69 % (MZ-12C) a -10,41 % (MZ-07).

Tabela 4. Média das densidades aparentes iniciais dos corpos de prova e seus respectivos desvios padrão.

Amostra	Densidade aparente inicial (g/cm³)	Desvio padrão
Perfil MZ-T1		
MZ-4M	1,85	0,05
MZ-4T	1,73	0,04
MZ-05	1,79	0,03
MZ-06	1,93	0,04
MZ-07	1,84	0,01
Perfil MZ-T2		
MZ-12A	1,78	0,04
MZ-12B	1,91	0,04
MZ-12C	1,83	0,02
MZ-12D	1,82	0,02

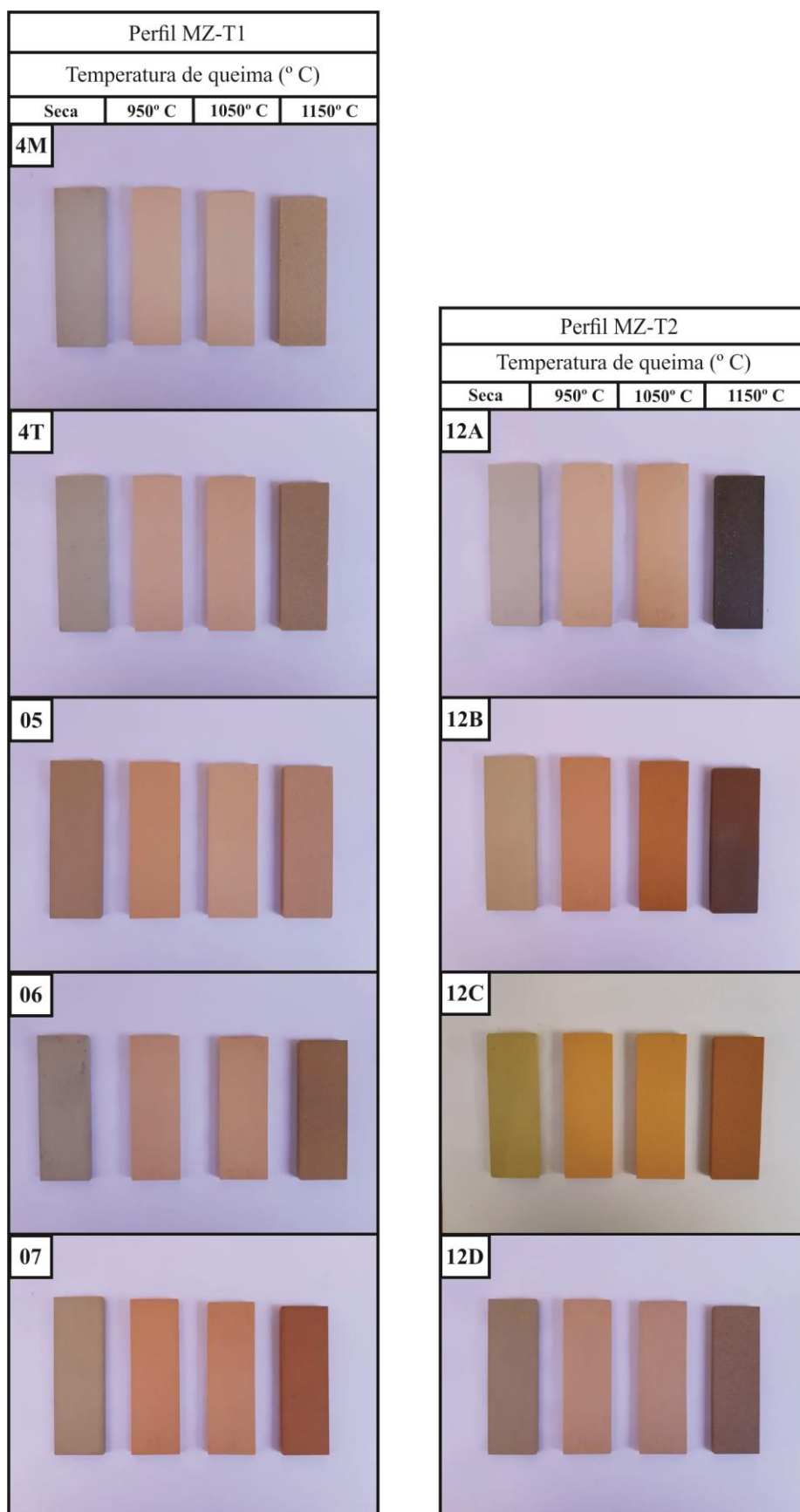


Figura 33. Prancha de fotos dos corpos de prova dos perfis MZ-T1 e MZ-T2, respectivamente (Dimensões médias de 7 cm X 2 cm). Destaque para a variação de cor e volume de acordo com cada uma das temperaturas de queima.

Em relação à queima a 1150° C, esta foi a que demonstrou maior heterogeneidade no comportamento dos corpos de prova e única a resultar em sobrequeima de algumas das amostras, como no caso das amostras MZ-4M, MZ-12A e MZ-12B. A começar pela amostra MZ-4T, a qual não só foi a única do perfil MZ-T1 a sofrer expansão, como também apresentou taxa consideravelmente alta para tal (18,03 %). Outro ponto marcante a ser destacado está relacionado à taxa de absorção de água da amostra MZ-05, uma vez que esta apresentou taxas mais elevadas de absorção (10,18 %) quando comparada às outras amostras.

Ainda sobre às amostras desse perfil, a queima à 1150° C proporcionou aumento gradual na carga de ruptura instantânea e resistência à flexura de todas as amostras, com exceção da MZ-4M, a única a apresentar valores inconclusivos de absorção de água, fato que pode indicar sobrequeima do material.

Quanto às amostras do perfil MZ-T2, as amostras MZ-12A e MZ-12B, assim como a amostra MZ-4M, foram as únicas a apresentar valores inconclusivos de absorção de água, fato que novamente pode ser indicativo de sobrequeima. Quanto aos valores de retração linear, os corpos de prova desse perfil apresentaram variação de -7,6% a 17,82% (Tabela 6).

As densidades aparentes de cada um dos conjuntos de corpos de prova e seus respectivos desvios padrões estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 5. Características físico-mecânicas pós-queima. *: Sobrequeima.

Queima - 950° C				
Amostra	RLQ (%)	CRQ (N)	MRFQ (N/mm ²)	AA (%)
Perfil MZ-T1				
MZ - 4M	-4,61	171,76	12,41	6,88
MZ - 4T	-3,44	109,09	9,63	12,13
MZ - 05	-2,7	122,61	10,15	12,06
MZ - 06	-3,37	130,78	11,52	6,81
MZ - 07	-5,45	152,78	13,77	8,51
Perfil MZ-T2				
MZ - 12A	-0,36	87,75	7	14,4
MZ - 12B	-1,53	114,13	9,78	8,71
MZ - 12C	-0,91	71,36	5,83	11,74
MZ - 12D	-1,31	66,78	5,93	11,34
Queima - 1050° C				
Perfil MZ-T1				
MZ - 4M	-9,86	187,94	18,79	2,64
MZ - 4T	-5,52	161,7	14,27	10,43
MZ - 05	1,76	141,67	11,13	12,89
MZ - 06	-5,37	153,98	13,77	5,14
MZ - 07	-10,61	174,83	16	6,83
Perfil MZ-T2				
MZ - 12A	-3,91	157,78	13,55	8,21
MZ - 12B	-8,68	198,94	18,49	3,07
MZ - 12C	-1,69	118,26	9,22	12,49
MZ - 12D	-3,44	117,13	10,67	10,12
Queima - 1150° C				
Perfil MZ-T1				
MZ - 4M	-18,99	245,44	25,11	*
MZ - 4T	18,03	291,64	28	3,95
MZ - 05	-4,86	194,21	15,95	10,18
MZ - 06	-13,13	184,87	17,19	2,21
MZ - 07	-19,29	246,35	25,15	1,83
Perfil MZ-T2				
MZ - 12A	-17,82	282,97	25,57	*
MZ - 12B	-15,56	274,45	26,52	*
MZ - 12C	-7,6	205,69	16,98	8,12
MZ - 12D	-12,67	206,72	20,13	4,32

Tabela 6. Média das densidade aparentes pós-queima e seus respectivos desvios padrão. *: Desvio padrão.

Amostra	Densidade aparente					
	950°C (g/cm ³)	DP*	1050°C (g/cm ³)	DP*	1150°C (g/cm ³)	DP*
Perfil MZ-T1						
MZ-4M	1,80	0,02	1,88	0,02	2,01	0,02
MZ-4T	1,67	0,06	1,71	0,03	1,97	0,02
MZ-05	1,74	0,02	1,72	0,03	1,79	0,02
MZ-06	1,87	0,02	1,92	0,05	2,07	0,01
MZ-07	1,81	0,01	1,90	0,02	2,11	0,02
Perfil MZ-T2						
MZ-12A	1,72	0,01	1,75	0,03	2,09	0,03
MZ-12B	1,82	0,01	1,95	0,04	2,13	0,02
MZ-12C	1,79	0,01	1,76	0,01	1,86	0,03
MZ-12D	1,72	0	1,76	0,02	1,96	0,02

8. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Na região do município de Ipeúna (SP), a Formação Tatuí é constituída por uma sequência de arenitos finos de coloração bege a marrom-arroxeados, ricos em óxidos de ferro em suas porções basais que evoluem de forma gradual para arenitos finos bem selecionados de cor bege-clara e bege-esverdeado compostos principalmente por quartzo, FK/plagioclásio (albita), mica/illita e albita. De maneira secundária, estes litotipos também apresentaram concentrações variáveis de zeólita. Petrograficamente, o material é, de maneira geral, bem selecionados, com graus de arredondamento e esfericidade variando entre baixo a médio, e granulometria fina a muito fina.

Em relação a sua mineralogia, dentro da divisão proposta, ambos os perfis apresentaram variações mineralógicas da base para o topo, conforme ficou evidenciado pelas análises petrográficas e difratométricas. O perfil MZ-T1 mostra uma gradação de níveis mais hematíticos em sua porção de base para uma composição mais rica em sódio e potássio, observada pela maior concentração de minerais como albita e feldspato potássico próximos à sua porção de topo. Quanto ao perfil MZ-T2, esse demonstrou uma composição mineralógica semelhante à aquela observada no perfil MZ-T1, as únicas diferenças observadas estão associadas à concentração mais elevada de albita nos litotipos

referentes à amostras MZ-12A e MZ-12B, e à concentração secundária de zeólita na amostra MZ-12C.

A composição mineralógica de ambos os perfis apresentou diferenças significativas quando comparadas à da mina Nova Conquista, pois esta é marcada por uma composição mais aluminosa, destacada pelo alto teor de caulinita das amostras, e também pela alta concentração de zeólitas nas amostras P1-A1 e P1-A2. Ainda no âmbito da mineralogia, as concentrações anômalas de muscovita e montmorillonita observadas na amostra MZ-12D podem estar associadas ao fato de que esses minerais apresentam respostas difratométricas próximas às da biotita, mineral confirmado pela análise petrográfica.

Do ponto de vista geoquímico, as amostras dos perfis MZ-T1 e MZ-T2 apresentam concentrações de elementos refratários (razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) consideradas satisfatórias para sua aplicação na indústria cerâmica, pois, por serem componentes inertes, sua alta concentração favorece uma distribuição mais homogênea do calor na massa durante os processos de queima. Outro aspecto da composição química das amostras que atua como fator favorável à sua aplicabilidade são as concentrações dos óxidos de CaO e Fe_2O_3 . A concentração de CaO se reflete na concentração de carbonato de cálcio (CaCO_3), componente que quando encontrado em taxas adequadas na massa, como no caso das amostras estudadas, pode atuar como agente fundente, o que, por sua vez, favorece os processos de sintetização e concede maior estabilidade às microestruturas, prevenindo deformações no produto final.

Quanto aos teores de óxido de ferro (Fe_2O_3), quando estes apresentam valores elevados, podem ocasionar superaquecimento interno das peças devido ao excesso de fusão e de transformações rápidas das fases minerais durante os ensaios de queima, o que, da mesma forma que as concentrações de CaO, pode ocasionar deformações nos produtos finais. As concentrações de Fe_2O_3 também atuam como fator condicionante na mudança de coloração das peças durante a queima, pois o processo de oxidação do Fe^{3+} em Fe^{2+} concede às peças tonalidades marrons a marrons-avermelhadas.

Os teores de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$), como dito anteriormente, refletem diretamente a proporção de feldspatos e filossilicatos presente nas amostras. Esses componentes, quando distribuídos de forma homogênea e em baixas proporções, atuam como bons agentes fundentes na formação de fases líquidas, o que favorece o processo de sinterização das amostras. No caso das amostras estudadas, esses elementos se

apresentam em baixas concentrações, nunca ultrapassando a marca dos 3% no peso total do material, proporção tal considerada adequada em massas cerâmicas. A exceção a esse comportamento pode ser observado nas amostras MZ-12A e MZ-12B, que, diferentemente das demais, apresentam concentração de Na_2O superiores às de K_2O , o que pode ser justificado pela concentração de albita em taxas superiores a 4% e 5%, respectivamente. Tais concentrações, caso não estejam distribuídas de forma adequada, podem acarretar defeitos no produto final.

As correlações químico-mineralógicas evidenciaram que as amostras provenientes da Formação Tatuí na região de Ipeúna, em sua maioria, possuem alta concentração de elementos refratários, baixos teores de CaO , Fe_2O_3 e álcalis, e taxas adequadas de LOI, combinação de fatores considerada adequada para massas cerâmicas.

Em relação à etapa do trabalho que abrangeu os ensaios cerâmicos, esta foi a etapa responsável por determinar de forma objetiva se as amostras estudadas apresentavam potencial para serem utilizadas como matéria-prima cerâmica. De maneira geral, as amostras apresentaram comportamentos próximos quanto aos parâmetros aplicados em sua caracterização, como, por exemplo, aumentos graduais nos valores na retração linear pós-queima (RLS), carga de ruptura instantânea (CRS) e módulo de resistência à flexura (MRFS). Entre as exceções a esse comportamento está a taxa de RLS das amostras MZ-4T e MZ-05.

A taxa de retração linear das amostras apresentou valores que variam de -0,36% até -5,45% para a queima realizada a 950° C até variações de -7,6% a 19,29% na queima a 1150° C. Tal retração é justificada pelo processo de sinterização sofrido pelas amostras, durante o qual ocorre redução na quantidade de poros presentes no material devido à formação de novas fases minerais e, de maneira secundária, pela expulsão de gases que possam estar contidos nessas cavidades. As amostras que apresentaram taxas positivas de retração linear, ou seja, sofreram expansão, podem ter esse comportamento justificado pela rápida perda de água intraporos durante a queima, o que se reflete na maior taxa de absorção de água (AA), como observado na amostra MZ-05 durante a queima 1050° C.

Ambos os parâmetros de carga de ruptura instantânea e resistência à flexura apresentaram aumentos graduais em seus valores, comportamento que se justifica devido ao aumento da taxa de sinterização das amostras conforme ocorre aumento da temperatura queima. Os valores de CRS estão diretamente associados à mineralogia das amostras, valores muito baixos de CRS (< 100N) podem significar que, nas temperaturas utilizadas,

não houve reação entre as fases minerais presentes, havendo apenas dilatação térmica dos corpos de prova, como no caso das amostras MZ-12A, MZ-12B e MZ-12D na queima a 950° C. Com exceção desses três casos, todas as amostras de queima apresentaram valores de CRS superiores a 100N após a queima nas demais temperaturas, principalmente na queima a 1150° C.

Quanto aos valores de MRFS para revestimentos cerâmicos, estes também refletem diretamente o grau de sinterização das amostras, pois quanto menor a concentração de poros no material, maior será sua resistência a flexura. O efeito da sinterização também pode ser observado na taxa de AA, as amostras que apresentaram valores elevados de MRFS, também demonstraram os menores valores de AA.

Por fim, a taxa de absorção de água atua como principal parâmetro de classificação de peças cerâmicas. No caso das amostras analisadas, a taxa de AA mostrou diminuição gradativa em seus valores. Comportamento que, assim como o dos demais parâmetros analisados, está associado à taxa de sinterização das amostras durante os ensaios de queima. As amostras que apresentaram valores negativos de AA (MZ-4T, MZ-12A e MZ-12B), devem esse resultado ao fato de que, como sua taxa de sinterização já havia atingido seu limite na queima sob temperaturas mais baixas (950° C e 1050° C), estas amostras não só haviam liberado todo seu conteúdo intraporos, como ainda demonstraram diminuição seu peso total por conta dos processos de sobrequeima.

Em resumo, do ponto de vista industrial, as análises realizadas sobre as amostras provenientes da Formação Tatuí mostraram resultados satisfatórios para sua aplicação como fonte de matéria-prima para as indústrias do PCSG, mais especificamente na fabricação de revestimentos rústicos prensados. As características geoquímicas e mineralógicas das amostras analisadas, apesar de apresentarem resultados distintos daquelas cujo potencial cerâmico já foi comprovado, ainda se mostraram adequadas quando combinadas com os resultados obtidos por meio dos ensaios cerâmicos.

A partir dos resultados obtidos durante a etapa de caracterização cerâmica foi possível classificar o material proveniente da Formação Tatuí de acordo com os padrões estabelecidos nas normas ABNT NBR 13817: 1997 (ABNT, 1997b) para revestimentos cerâmicos. Dentre as classificações atingidas estão revestimentos do tipo BIIb e BIII para as amostras submetidas a queima a 950° e 1050° C, como exceção estão as amostras MZ-4M e MZ-06 que podem ser classificadas como revestimentos BIb e BIIa, respectivamente. Já as amostras submetidas a queima a 1150° C obtiveram resultados

mais heterogêneos, os quais abrangeram revestimentos do tipo BIa para as amostras MZ-4M, MZ-12A e MZ-12B, BIb para as amostras MZ-06 e MZ-07, BIIa para as amostras MZ-4T e MZ-12D, e, por fim, BIII e BIIb para as amostras MZ-05 e MZ-12C, respectivamente. Tais classificações, de acordo com a tabela de classes de absorção de água de produtos cerâmicos, correspondem desde de revestimentos do tipo grês até azulejos finos.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos litotipos da Formação Tatuí na região do município de Ipeúna, estes apresentaram um conjunto de características físico-mecânicas satisfatório para a produção de peças cerâmicas prensadas utilizadas como revestimentos rústicos, diferentemente das amostras provenientes da mina Nova Conquista, na região de Tatuí, as quais são utilizadas atualmente na fabricação de cerâmica estrutural.

Entretanto, para que tal aplicabilidade seja garantida, estudos mais aprofundados em relação aos possíveis impactos ambientais, métodos de otimização dos processos de produção, melhorias na qualidade do produto final e custos de produção precisam ser desenvolvidos. Para que essas próximas etapas sejam realizadas, cabe aos investidores avaliar se tais investimentos trarão melhorias à economia da região.

10. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho se posiciona como um dos primeiros a caracterizar tecnologicamente a Formação Tatuí na região de Ipeúna, porém as informações aqui apresentadas ainda necessitam de maior complementação e, como citado anteriormente, estudos mais aprofundados ainda são necessários para que a aplicabilidade do material estudado como possível fonte de matérias-primas seja dado como certa.

Para maior complementação é sugerida a realização de ensaios difratométricos em amostras de rocha total submetidas a queima e glicolagem, e análise da fração fina. Também são indicados ensaios que foquem na análise da taxa de porosidade do material, ensaios de plasticidade (curvas de consistência), ensaios granulométricos a seco em peneiras, estudos de queima mais aprofundados e ensaios de caracterização reológica.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do centro-leste matogrossense. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineração – DNPM/DGM**, Rio de Janeiro, v. 150, p. 1-97, 1954.

ALMEIDA, F.F.M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geológico e Geográfico**, São Paulo, v. único, n. 41, p. 169-263, 1964.

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

ALMEIDA, F.F.M. DE & BARBOSA, O. Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional da Produção Mineral**, v. 143, p. 1-97, 1953.

AMARAL, I & SOUZA, H. Prospecção geofísica em São Paulo. **Bol. Dept. Nac. Prod. Min.** 10:8. 1936.

AMARAL, G. et al. Potassium-argon age of alkaline rocks from southern Brazil. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 31, p. 117-142, 1967.

AMARAL, S. E. Geologia e Petrologia da Formação Irati (Permiano) no Estado de São Paulo. **Bol. Instit. Geociências e Astronomia**, São Paulo, n. 2, p. 3-81, 1971.

ANDRADE, S.M., SOARES, P.C. Geologia de semi-detalle do centro-leste de São Paulo. Ponta Grossa: PETROBRÁS/DESUL, Relatório DESUL, 1971, n. 407, 46p.

ANDREIS, R. R. & CARVALHO, I. S., 2001. A Formação Corumbataí (Permiano Superior Triássico Inferior, Bacia do Paraná) na pedreira de PauPetro, Município de Taguaí, São Paulo, Brasil: Análise paleoambiental e das pegadas fósseis. **Rev. Bras. De Paleontologia**, v. 2, p. 33 – 46.

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.

Revista Geociências, v. 28, n. 4, p. 501-521, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/71387>>.

ARAÚJO, L. M. **Análise da expressão estratigráfica dos parâmetros de geoquímica orgânica e inorgânica nas sequências Irati**. 2001. Tese de Doutorado - UFRS, Porto Alegre/RS, 2v, 301p, 2001.

ASSINE, M.L.; SOARES, P.C. Interação Flúvio - Eólica na Formação Piramboia. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, Águas de São Pedro. **Boletim do Simpósio de Geologia do Sudeste**. Aguas de São Pedro: SBG, 1995.

ASSINE M.L., ZACHARIAS A.A., PERINOTTO J.A.J. O trato deposicional Tatuí e a transgressão Taquaral no centro-leste do Estado de São Paulo. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, São Pedro, Resumos, p. 53, 1999.

ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. Á.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e sequências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Geology**, v. 33, n. 1, p. 33–40, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia**. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Construção Civil, 1997a. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817: Placas cerâmicas para revestimento - Classificação**. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Construção Civil, 1997b. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DAS CERÂMICAS DE REVESTIMENTO (ASPACER). Estatísticas, 2017. Disponível em: <http://www.aspacer.com.br/>. Acesso em: 01 jun. 2019.

BALLY A.W, SNELSON S. **Realms of subsidence**. Cano Soe. Petrol. Geol., Memoir 6, p. 9-75, 1980.

BARBA, A. et al. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. 2. ed. Castellón, Espanha: Instituto de Tecnología Cerámica – ITC/AICE; Castañeda, 2002.

BARBOSA, O.; ALMEIDA, F. F. M. A Série Tubarão na Bacia do Rio Tietê, Estado de São Paulo. D.N.P.M., D.G.M., Not. Prel. Est., 48, 1949.

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. **Revista Geociências**, v. 40, n.1, p. 68-79, 2010.

BEURLIN, K. Faunas salobras fósseis e o tipo ecológicopaleogeográfico das faunas Gondwânicas no Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 29, n. 2, p. 229-241, 1957.

BJÖRNBERG, A.J.S. et al. Notas sobre os depósitos modernos da região de Rio Claro - São Paulo. Boletim Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Geologia 11, p. 21-36, 1964.

BJORNBERG, A.; LANDIM, P.M.B. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neocenoico). **Boletim Sociedade Brasileira Geologia**, São Paulo, v.15, n.4, p. 43-67, 1966.

BÓSIO, N. J. **Geologia da Área de São Pedro, SP. Rio Claro**, 1973. Tese de Doutorado -Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro, 125 p, 1973.

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

CAETANO-CHANG, M.R. et al. Caracterização eólica de arenitos da Formação Pirambóia, proximidades de São Pedro (SP). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, 1991, São Paulo. **Atas...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, p. 53-58, 1991.

CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T. Arenitos flúvio-eólicos da porção superior da Formação Pirambóia na porção centro-leste paulista. **Rev. Bras. Geol.**, São Paulo, v.36, p. 296-304, 2006.

CASTRO, J. C. Eventos, ritmos e ciclos do Membro Assistência (Formação Irati) na margem leste da Bacia do Paraná. In: 1º SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, Rio Claro/Sp, p. 75-87, 1993.

CHAHUD, A. **Paleontologia de Vertebrados da Transição entre os grupos Tubarão e Passa Dois no Centro-Leste do Estado de São Paulo**. 2007. Dissertação de Mestrado -Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar IGC-USP/São Paulo.172p, 2007.

CHAHUD, A. **Geologia e paleontologia das formações Tatuí e Irati no centro-leste do Estado de São Paulo**. 2011. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

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

CHRISTOFOLETTI, S.R. **Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do pólo cerâmico de Santa Gertrudes**. 2003. 187f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CHRISTOFOLETTI, S.R. et al. La Formación Corumbataí y su importancia em la industria cerámica del estado de São Paulo – Brasil. **Revista Matéria**. Rio de Janeiro, v.14, n.1, p.705-715 ,2009.

CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL DOS PRODUTOS CERÂMICOS. Elaborado por Cerâmica ATLAS. Disponível em: <http://www.ceratlas.com.br/ceramicaatlas/upload/manuais/Novo/classificacao_comercial.pdf> Acesso em: 15 dez. 2014.

CORDANI, H.G. et al. Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. **Ciência-Técnica - PETROBRAS**, Rio de Janeiro, n. 15, 70p., 1984.

COUTINHO JUNIOR, T., CARVALHO, S., ZANARDO, A. Influência do Teor e Granulometria de Carbonatos na Produção de Revestimentos Cerâmicos no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. **Cerâmica Industrial** (Impresso), v. 17, p. 37, 2012.

DEL ROVERI, C. **Petrologia aplicada da formação Corumbataí (região de Rio Claro - SP) e produtos cerâmicos**. 2010. 200 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2010.

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

FULFARO, V.J. et al. Compartimentação e Evolução Tectônica da Bacia do Paraná. **Rev. Bras. Geoci.** v. 12, n. 4, p. 590-611.

FULFARO, V.J. et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. São Paulo: PAULIPETRO, Consórcio IPT/CESP (Relatório 008/80), 1980.

FULFARO, V.J. et al. Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. **Rev. Bras. Geoci.** v. 12, p. 590-611, 1982.

GAMA JR, E.G. et al. Distribuição espacial e temporal das unidades litoestratigráficas paleozóicas na parte central das Bacia do Paraná. **Rev. Bras. Geoci.** v. 12, n. 4, p. 578-589, 1982.

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

HACHIRO, J. et al. O Caráter cronoestratigráfico da Unidade Irati. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1, 1993, Rio Claro. Resumos, IG-UNESP, 1993, p. 62-63.

HACHIRO, J. **O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná.** 1996. 174p. Tese (Doutorado em Geologia). IG/USP, São Paulo.

HOLZ, M. et al. 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, p. 381-399, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo 1:250.000.** Relatório IPT, no 28.545. 1981.

JIMENEZ-RUEDA, J.R. Caracterização das coberturas de alteração intempéricas e suas múltiplas aplicações na região centro oeste do Estado de São Paulo. Rio Claro, Relatório Final de projeto auxílio a pesquisa FAPESP (nº 89/3495-0), 1993.

LAGES, L. C. **A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR).** 2004. Dissertação de Mestrado - UNESP, Rio Claro/SP, 105p.

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

LAVINA, E.L. **Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná**. 1991. Tese de Doutorado - UFRGS, Porto Alegre, RS. Instituto de Geociências, 2 vols., 333p.

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, n.1, p. 51-103, 1986.

MACHADO, F. B. et al. As rochas intrusivas da Formação Serra Geral na porção leste da bacia do Paraná no Estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos – resultados preliminares. São Paulo. **Geociências**, v. 24, p. 5-17, 2005.

MEZZALIRA, S. Grupo Estrada Nova. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 63-84, 1964.

MEZZALIRA, S. Contribuição ao conhecimento da geologia de subsuperfície e da paleontologia da Formação Irati. In: Anais da Academia Brasileira de Ciências, suplemento, v. 43, p. 273-336, 1971.

MEZZALIRA, S. et al. Léxico estratigráfico do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico, **Boletim do Instituto Geológico**, v. 5, p. 161, 1981.

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

MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. In: Cartas Estratigráficas. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 2007. v. 15, n. 2, p. 265-287.

MILANI E. J., RAMOS V. A. Orogenias Paleozóicas no domínio sul-occidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Rev. Bras. Geoci.** v. 38, p. 473-484, 1998.

MORAES REGO, L.F. Contribuição ao estudo das formações pré-devoneanas de São Paulo. Inst. Astron. Geof. São Paulo, 1933.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JUNIOR, 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, 2001.

MOTTA, J.F.M. et al. Características do pólo de revestimentos cerâmicos de Santa Gertrudes – SP, com ênfase na produção de argilas. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.9, n.1, p.7-13, jan./fev. 2004.

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F.B.; OLIVEIRA, M. A. F. de. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Rev. Bras. Geoci.** v. 38, 2008.

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

OLIVEIRA, F. de P. Reconhecimento geológico do Vale do Rio Paranapanema. São Paulo, Comissão Geográfica e Geológica da Província de São Paulo (Boletim, 2), 1889.

OLIVEIRA, E.P. **Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná**. Brasil, Serviço Geológico e Mineralógico, 1927, 172p. (Monografia 6).

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista**. 1976. 86p. Série Monografias - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro.

PETRELLI, M. et al. Petrograph: a new software to visualize, model, and present geochemical data in igneous petrology. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Wiley Online Library, v. 6, n. 7, p.1-15, jul, 2005. DOI 10.1029/2005GC000932.

PERINOTTO, J. A. J. et al. Diques Clásticos na Formação Corumbataí (P), Nordeste da Bacia do Paraná: Análise Sistemática e Significações Estratigráfico-Sedimentológicas. Relatório Interno FAPESP. 2007.

PERINOTTO, J. A. J. et al. Diques Clásticos na Formação Corumbataí (P) no Nordeste da Bacia do Paraná, SP: Análise Sistemática e Significações Estratigráficas e Tectônicas. **Geociências**. São Paulo, v.27, p. 469-491, 2009.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, M. F. Patrimônios Naturais e História Geológica da Região de Rio Claro-SP. **Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro**, v. 1. 2008.

PETRI, S. & COIMBRA, A M. Estruturas sedimentares das Formações Irati e Estrada Nova (Permiano) e sua contribuição para a elucidação dos seus paleoambientes geradores, Brasil. In: **Atas 5º Congr. Latino-Americano de Geologia**, v. 2, p. 353-371, 1982.

PETRI, S.; FULFARO, V.J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico)**. São Paulo: USP, 1983. p.631.

PETRY, K. et al. Volcanic-sedimentary features in the Serra Geral Fm., Paraná Basin, southern Brazil: Examples of dynamic lava-sediment interactions in an arid setting. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v.159, p. 313-325, 2007.

PIRES NETO, A.G. **Estudo Morfotectônico das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí e áreas adjacentes no Planalto Atlântico e Depressão Periférica**. 1996. 71p. Relatório (Pós - Doutorado em Geociências) - IGCE/UNESP, Rio Claro.

RAMOS, A.N.; FORMOSO, M.L.L. Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro, Petrobrás, CENPES, DINTEP, 1975.

RAMOS, V.A. et al. Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. **Tectonics**, v. 5, n. 6, p. 855-880, 1986.

RICCOMINI, C. Estilos Estruturais da Região do Domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. **Boletim do Instituto de Geociências**, São Paulo, n. 12, p.93, 1992.

RICCOMINI, C. **Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondwânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas**. 1995. 200p. Tese (Livre Docência). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

RICCOMINI, C.; VASSILOU, A. P. Geologia da porção ocidental do Domo de Pitanga, Bacia do Paraná – SP. SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1. São Paulo. **Resumo...** São Paulo, USP/CNPq, p. 8, 1993.

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

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

ROHN, R. **Evolução Ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná**. São Paulo-SP. 1994. Tese de Doutorado - IG-USP, 2v, 327p.

ROISENBERG A. e VIERO, A.P. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: M. HOLZ e L.F. De ROS (eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**, CIGO/ UFRGS. p. 335- 354, 2000.

ROLIM, G.S et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, p. 711-720, 2007.

ROSTIROLLA S.P. et al. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 16, p. 287–300, 2003.

ROVERI, C. D. **Petrologia aplicada da formação Corumbataí (região de Rio Claro - SP) e produtos cerâmicos**. 2010. 200 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

SAAD, A.R. **Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo. São Paulo**. 1977. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP. 1977.

SANFORD, R.M.; LANGE, F.W. Basin Study approach to oil evaluation of Parana miogeosyncline, South Brazil. **AAPG Bull.**, Tulsa, v. 44, n. 8, p. 1316-1370, 1960.

SCHNEIDER, R.L. et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. **Anais ...** Porto Alegre: SBG, v. 1, p. 41-65, 1974.

SOARES, P.C. O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. **Anais Academia Brasileira Ciências**, n. 44, p. 333-342 (suplemento), 1972.

SOARES, P.C. Elementos Estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e Gênese. In: Cong.Bras. Geol, 28, Porto Alegre, 1974. **Anais...**, Porto Alegre: SBG, 1974, v.4, p.121.

SOARES, P.C., LANDIM, P.M.B. Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil. **An. Acad. Bras. Ciênc.** v. 48 (supl.): 313-324, Rio de Janeiro, 1975.

SOARES P.C., LANDIM P.M.B, FULFARO V.J. Tectonic cycles and sedimentary sequences in Brazilian intracratonic basins. **Geological Society of America Bulletin**, v. 89, p. 181-191, 1978.

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

SOUSA, M.O.L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Paul d'Álho e Jibóia – centro do Estado de São Paulo**. Rio Claro, 2002. 206 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista/Campus de Rio Claro.

STEVAUX, J.C. et al. Trato Depositional da Formação Tatuí (P) na Área Aflorante do NE da Bacia do Paraná, estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBG, 1986, v.1, p. 219-228.

TANNO, L.C. et al. Pólos de cerâmica vermelha no Estado de São Paulo: aspectos geológicos e econômicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 38, 1994, Blumenau. **Anais** Blumenau: Associação Brasileira de Cerâmica, 1994, v. 1, p. 378-383.

VELOSO, H. P.; GOES-FILHO, L. Fitogeografia Brasileira: classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. PROJETO RADAMBRASIL, 1982, Salvador. 85 p. (Bol. Tec. Serie Vegetacao,1).

WASHBURN C.W. 1930. Petroleum geology in the State of São Paulo, Brazil. São Paulo, Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, **Boletim** 22, 282 p.

WHITE, I.C. Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1908, 100p.

ZAINE, J.E. **Mapeamento Geológico – Geotécnico por meio do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP).** 2000, 120p. Tese de Doutorado - IGCE-UNESP. Rio Claro. 2000.

ZAINE, J.E. **Geologia da Formação Rio Claro, na Folha Rio Claro (SP).** 1994, 105p. Dissertação de Mestrado - IGCE-UNESP, Rio Claro. 1994.

ZALAN, P. et al. Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro: ANP, 1990, v.1, p.1-5.

ZANARDO et al. Formação Corumbataí na Região de Rio Claro/SP: Petrografia e Implicações Genéticas. **Revista Geociências**, Rio Claro, v. 35, n. 3, p. 322 – 345, 2016.