

## CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS DA FORMAÇÃO ESTRADA NOVA COMO MATÉRIA-PRIMA CERÂMICA NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

Sergio Ricardo CHRISTOFOLETTI

Rogers Raphael da ROCHA

## RESUMO

O presente artigo tem como objetivo estudar as características geológicas e tecnológicas das rochas argilosas da Formação Estrada Nova na região sudoeste do Estado de São Paulo, a fim de buscar novas matérias-primas para a indústria de revestimentos cerâmicos. Os estudos desenvolvidos mostraram que as rochas das diversas litofácies da Formação Estrada Nova, essencialmente constituídas por folhelhos e siltitos, quando submetidas à queima na temperatura de 950 °C adquirem características para serem utilizadas na produção de revestimentos porosos e na cerâmica estrutural. Em condições laboratoriais e industriais, nas temperaturas de 1120 e 1040 °C, algumas amostras das litofácies maciça e laminada apresentaram resultados satisfatórios para uso na produção de revestimento cerâmico pelo processo via seca, ou para incorporação na composição de massa para a produção de porcelanatos. As litofácies basais (maciça e laminada) são constituídas por partículas com curvas de frequência de tamanho mais homogêneas, enquanto as litofácies superiores (intercalada e arenosa) apresentam maior variação de tamanho de partículas. A homogeneidade da distribuição de tamanho das partículas encontrada nas amostras da litofácies maciça favoreceu o processo de moagem via seca, facilitando as etapas de densificação do produto. A presença mais elevada do CaCO<sub>3</sub> no Membro Teresina em relação ao Membro Serra Alta ocasionou aumento de defeitos e queda na resistência mecânica. Nas amostras da litofácies folhelho síltico laminado (Membro Serra Alta), os altos valores de Perda ao Fogo aliados a baixos valores de CaCO<sub>3</sub> evidenciam uma presença elevada de matéria orgânica, que resultou no inchaço dos corpos de prova devida a liberação de gases no seu interior, o que sugere uso destas como argilas expansivas.

*Palavras-chave:* Formação Estrada Nova; Cerâmica; Granulometria; Litofácies; Matéria-prima.

## ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF THE ROCKS OF THE ESTRADA NOVA FORMATION AS CERAMIC RAW MATERIAL IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL. The present article presents the geological and technological characteristics of the clayey rocks of the Estrada Nova Formation in the southwest region of the State of São Paulo, as part of the search for new raw materials for the ceramic tile industry. Several lithofacies of shale and siltstones of the Estrada Nova Formation, when submitted to heating at 950 °C showed characteristics adequate for the production of porous coatings and to structural ceramics. However, some samples of the massive and laminated lithofacies submitted to heating under laboratory and industrial conditions at temperatures of 1120 and 1040 °C presented results satisfactory for the production of ceramic coatings by the dry process, or incorporation in the mass composition for the production of porcelain tiles. The massive and laminated basal lithofacies presented more homogeneous particle size distributions than the intercalated and sandy upper lithofacies, which showed two populations of particle sizes. The homogeneity of particle distribution in the samples of the massive lithofacies favored the dry milling process, facilitating the densification stages of the product. A greater presence of CaCO<sub>3</sub> was observed in the Teresina Member in relation to the Serra Alta Member, which was

responsible for increased numbers of defects and decreased mechanical resistance. In samples of the laminated silty shale lithofacies of the Serra Alta Member, high values for Loss on Ignition allied to low CaCO<sub>3</sub> content indicated high organic matter content, which resulted in the swelling of the proof bodies due to internal release of gases. This, however, suggests their possible use as expansive clays.

*Keywords:* Estrada Nova Formation; Ceramics; Grain size; Lithofacies; Raw materials.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de revestimento cerâmico no Estado de São Paulo tem se desenvolvido muito nos últimos anos. Este crescimento é decorrente de investimentos em novas tecnologias de equipamentos e nos processos de produção e na exploração de novas matérias-primas. Atualmente o maior polo produtor de revestimento cerâmico do Brasil encontra-se na região do município de Santa Gertrudes, representado por 32 plantas fabris. No ano de 2016 foi responsável pela produção de 550 milhões de m<sup>2</sup>, sendo 496 pelo processo via seco e 54 pela via úmida, respondendo por 91% de toda a produção de revestimento do estado de São Paulo. Os principais produtos desenvolvidos, de acordo com os grupos de absorção de água ABNT (1997), são: placas cerâmicas dos grupos (BIa e BIb), denominados tecnicamente de porcelanato e semi-poroso. Atualmente os porcelanatos da região de Santa Gertrudes são produzidos pelo processo via úmida, onde é necessária a combinação de diversas matérias-primas para que o produto final adquira uma resistência mecânica alta, uma baixa absorção de água e uma cor de queima desejável. Já a produção de placas cerâmicas semi-porosas é obtida a partir do processo de queima por via seca utilizando apenas como matéria-prima os sedimentos argilosos da unidade geológica Formação Corumbataí. Também existem empresas na região iniciando a produção de porcelanato utilizando como matéria-prima única as rochas da Formação Corumbataí. No estado de São Paulo as principais reservas de matérias-primas para a produção de revestimentos cerâmicos encontram-se nos depósitos sedimentares de idade permiana do Grupo Passa Dois.

O objetivo deste trabalho foi investigar as propriedades cerâmicas das argilas da Formação Estrada Nova, pertencente ao Grupo Passa Dois, com o intuito de descobrir novas reservas de matérias-primas para o segmento cerâmico, em especial para a indústria de revestimento, tanto para a pro-

dução de porcelanatos por via seca e úmida, como de revestimento por via seca, buscando a melhora das propriedades tecnológicas, bem como disseminar e agregar conhecimentos para o setor e para a toda região envolvida. Atualmente as empresas da região de estudo utilizam como matéria-prima principal as argilas da Formação Tatuí em composição com argilas da Formação Estrada Nova e argilas quaternárias. O presente trabalho tem caráter inédito, pois as argilas da Formação Estrada Nova não tinham sido alvo de estudos tecnológicos anteriores voltados para o setor cerâmico.

## 2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na região centro-sul do estado de São Paulo abrangendo os municípios de Saltinho, Laranjal Paulista, Tatuí, Pereiras, Cesário Lange, Guareí, Porongaba e Conchas (Figura 1). Os acessos principais para a área se dão pelas Rodovias Marechal Rondon (SP-300), Cornélio Pires (BR-373) e Presidente Castelo Branco (SP-280). A região possui inúmeras empresas do setor cerâmico, especialmente voltadas para a produção de cerâmica estrutural, com destaque para os seguintes produtos: tijolos, blocos, elementos vazados, lajes, telhas e tubos cerâmicos. A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná composta pelas seguintes unidades: Grupo Tubarão (Subgrupo Itararé e Formação Tatuí), Grupo Passa Dois (Formação Irati e Formação Estrada Nova), Grupo São Bento (Formação Pirambóia e Formação Botucatu), Formação Serra Geral, coberturas cenozoicas e sedimentos quaternários (Figura 1).

A Formação Estrada Nova é composta pelos membros Serra Alta (inferior) e Teresina (superior), aflorando na porção sudoeste do estado de São Paulo, desde a divisa do estado do Paraná até o município de Rio das Pedras, próximo a Piracicaba (SP); a partir daí, a formação torna-se indivisa, sendo então aplicada a denominação Formação Corumbataí.

O Membro Serra Alta faz parte da seção do Permiano Superior da Bacia do Paraná (SANFORD & LANGE 1960, BRITO 1982, SCHNEIDER *et al.* 1974), ocorrendo imediatamente sobreposto à Formação Irati. É composto por uma sequência de folhelhos e siltitos cinza-escuros a pretos, apresentando como estrutura principal a fratura conchoidal. Normalmente são maciços ou possuem laminação plano-paralela incipiente; quando intemperizados mostram cores cinza-claros, esverdeados e amarelados. Já o Membro Teresina representa a porção superior do Grupo Estrada Nova, sendo correlato aos argilitos da Formação Corumbataí, sendo sua ocorrência restrita a partir do sudoeste do estado de São Paulo, próximo ao município de Rio das Pedras. É constituído por argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e esverdeados, ritmicamente intercalados com arenitos muito finos, cinza-claros.

Do ponto de vista geológico, destacam-se os trabalhos de SOUZA (1985) e WARREN *et al.* (2015), que estudaram as fácies da Formação Corumbataí e Estrada Nova aflorantes no estado de São Paulo, com o intuito de estabelecer a subdivisão estratigráfica e fornecer subsídios para a reconstrução paleoambiental e caracterização dos sistemas deposicionais.

### 3 MATERIAIS E METÓDOS

Inicialmente, realizou-se o mapeamento litofaciológico a partir de seções verticais em minerações ativas, inativas e em exposições ao longo da área. A descrição litofaciológica baseou-se na metodologia empregada por MIALL (1994), onde os principais parâmetros avaliados em campo foram: cor, granulometria, estruturas sedimentares e conteúdo paleontológico. Estruturas pós-deposicionais e bioclastos também foram observados. Após a descrição litofaciológica, amostras foram coletadas e encaminhadas para o laboratório para a realização da caracterização cerâmica. Inicialmente as amostras foram quarteadas, moídas em moinhos de martelo da marca Servitech (CT058), munido de peneira de 1 mm. Após moagem, uma alíquota das amostras foi reservada para a realização das análises de difração de raios X, fluorescência de raios X e análise granulométrica de difração a laser. Contrapartes das amostras moídas foram reservadas para a realização dos ensaios cerâmicos. Inicialmente as amostras foram umidificadas a 9% e posteriormente prensadas na prensa da marca Servitech (CT320). Foram confeccionados 20 corpos de prova de dimensão 3 x 10 cm, sendo que destes, 5 foram secos à 110 °C, 10

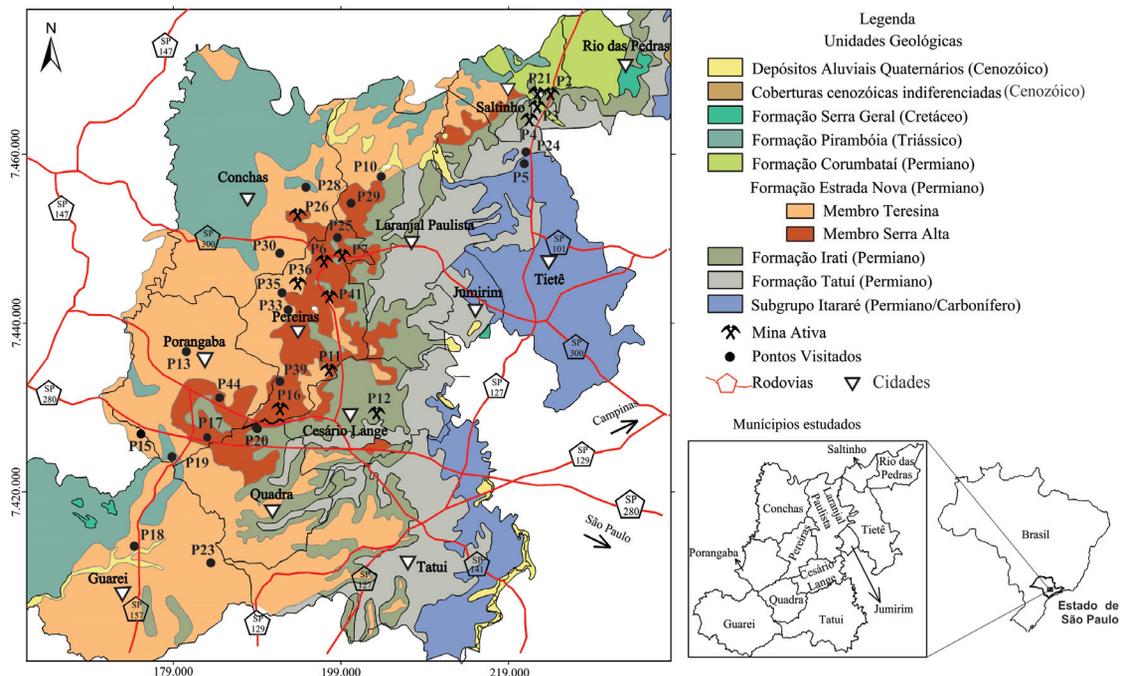


FIGURA 1 – Mapa geológico da área de estudo, incluindo os pontos estudados. Modificado de PERROTA *et al.* (2005). Em função da escala regional do mapa, algumas ocorrências da Formação Estrada Nova, associados aos pontos P2, P3, P4, P5, P21 e P24, não foram representadas cartograficamente.

queimados em forno de laboratório da marca Maitec (FE50RP), programado na temperatura máxima de 950 e 1120 °C, e 5 queimados em uma empresa cerâmica pertencente ao Polo Cerâmico de Santa Gertrudes na temperatura de 1040°C, num ciclo de 27 min. Foram realizados os testes de absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente, retração linear de queima e de secagem, módulo de resistência à flexão seca e queimada, cor de queima e perda ao fogo. Todos os ensaios cerâmicos seguiram a norma ABNT (1997) para cerâmica de revestimentos. Após a realização dos testes cerâmicos, alguns corpos de prova queimados foram analisados em estereomicroscópio Carl Zeiss, modelo Discovery V8 do Laboratório de Microscopia do Instituto Geológico/SMA/SP, com o intuito de observar características superficiais e, em especial, os defeitos.

Para a realização da análise química, uma alíquota das amostras previamente moídas foi encaminhada para a SGS GEOSOL Laboratórios Ltda., onde foram determinados os óxidos maiores por fluorescência de raios X. Outra alíquota foi encaminhada para o Laboratório de Petrologia do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências da UNESP, Rio Claro para realização da análise granulométrica. Esta análise foi realizada pela técnica de difração de laser no equipamento Mastersizer 2000 da Malvern, na qual uma alíquota da amostra moída foi colocada em uma solução de água com três gotas de hexametáfosfato de sódio (10%), aplicando 15 s de ultra-som com deslocamento ultrassônico de 12,5, conforme escala do equipamento.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Geologia

De acordo com os trabalhos de campo foi possível identificar seis litofácies na Formação Estrada Nova (Figura 2):

- Litofácies folhelho siltico laminado: é composta por folhelhos/siltitos finos de cores acinzentadas, intensamente pastilhados com estrutura sedimentar laminada dada por laminações milimétricas de areia de granulometria muito fina. Observa-se nesta litofácies a presença de nódulos, fragmentos ou camadas de fósseis (*bone beds*) e veios carbonáticos milimétricos.

- Litofácies laminada: predominam siltitos de granulometria média a grossa intensamente pastilhados, apresentando laminações plano-paralelas,

colorações amarela, vermelha e cinza. Observa-se nesta litofácies a presença de camadas de arenito/silito carbonático de granulometria fina a média.

- Litofácies maciça: composta por siltitos de granulometria fina a média, de coloração variando de cinza, verde a creme; apresenta estrutura maciça, por vezes, com laminações de areia muito fina de espessura milimétrica.

- Litofácies intercalada siltosa: ocorre nas porções intermediária a superior dos perfis estudados; corresponde a intercalações de siltitos de granulometria média a grossa de cores acinzentada e avermelhada com camadas de siltitos grossos e arenitos de coloração vermelho claro, às vezes com presença de carbonato em sua matriz; as camadas de arenitos apresentam espessuras variando de 5 a 40 cm de espessura.

- Litofácies intercalada arenosa: ocorre nas porções superiores das seções; corresponde a intercalações de arenitos de granulometria média a grossa de cor esbranquiçada com camadas de siltitos médios avermelhados, com presença de carbonato em sua matriz; as camadas de arenitos apresentam espessuras variando de 0,3 a 0,6 m de espessura, com estruturas cruzadas e *flaser*; também ocorrem camadas de silexitos.

- Litofácies alterada: encontra-se nas porções superficiais dos perfis estudados, em contato com o solo; as rochas apresentam-se modificadas pelos processos supérgenos de intemperismo, sem estruturas sedimentares preservadas, com granulometria fina, alta plasticidade e coloração variada (branca e vermelha clara, principalmente).

### 4.2 Caracterização química

Foram analisadas 40 amostras por fluorescência de raios X, sendo: 31 do Membro Serra Alta e 9 do Membro Teresina (Tabela 1). Observou-se diferenças nas porcentagens dos óxidos maiores constituintes das amostras do Membro Serra Alta em relação às do Membro Teresina. O óxido mais abundante nas amostras estudadas é o SiO<sub>2</sub>, com valores médios de 68,43% para as amostras do Membro Serra Alta e de 58,98% para as do Membro Teresina.

Todos os demais elementos quantificados apresentaram maiores porcentagens nas amostras do Membro Serra Alta em relação às do Membro Teresina, exceção feita para o CaCO<sub>3</sub>, com valor médio de 1% nas amostras do Membro Serra Alta e 9,07% nas do Membro Teresina.

Os valores de Perda ao Fogo apresentaram-se mais altos nas amostras do Membro Teresina,



FIGURA 2 – Litofácies da Formação Estrada Nova. Membro Serra Alta: (A) Folhelho Siltico Laminado, (B) Intercalada Siltosa, (C) Laminada, (D) Maciça. Membro Teresina: (E) Intercalada e (F) Alterada. A linha tracejada indica camadas de siltito arenoso/arenito.

com média de 9,98%, em relação ao Membro Serra Alta, com média de 5,50%. Nas amostras do Membro Teresina, os valores elevados de Perda ao Fogo estão relacionados à presença de  $\text{CaCO}_3$ , enquanto nas amostras do Membro Serra Alta, em especial na litofácies folhelho siltico laminada, ao elevado conteúdo de matéria-orgânica.

Em relação aos óxidos que conferem fundência ao processo cerâmico, tais como  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , verifica-se valores médios relativamente baixos, sendo 1,0% e 2,85%, respectivamente, para as amostras do Membro Serra Alta e de 0,92% e 2,60% para as amostras do Membro Teresina (Tabela 1).

#### 4.3 Características Cerâmicas

As amostras do membros Serra Alta e Teresina, quando queimadas a 950 °C, apresentaram valores médios de absorção de água superiores a 10% e de resistência mecânica entre 10,04 e 27,30 N/mm<sup>2</sup>, enquadrando-se no Grupo BIII, conforme classificação de grupos de absorção de água (Tabela 2).

Quando submetidas à queima industrial na temperatura de 1040 °C, as amostras apresentaram resultados semelhantes aos obtidos na queima em laboratório, com valores de absorção de água entre 3,23 e 9,78% e de resistência mecânica entre 15,72

TABELA 1 – Composição química dos elementos maiores obtida por fluorescência de raios X. Litofácies: FSL – folhelho siltico laminada, M – maciça, L – laminada, I – intercalada e A – alterada.

		<i>Óxidos maiores constituintes (%)</i>										
<i>Litofácies</i>		<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>TiO<sub>2</sub></i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>MnO</i>	<i>PF</i>
<i>Formação Estrada Nova (Membro Serra Alta)</i>												
P2-A1	FSL	70,0	11,5	4,78	1,13	2,87	0,54	0,38	1,10	2,58	0,05	4,30
P2-A2	L	71,8	12,7	4,64	0,54	2,36	0,56	0,11	1,05	2,88	0,05	4,18
P2-A3	I	72,5	12,4	4,52	0,54	2,46	0,53	0,19	0,95	2,86	0,03	4,34
P2-A4	A	65,6	15,6	5,69	0,18	2,14	0,54	0,06	0,31	2,57	0,02	6,59
P3-A1	L	76,3	10,5	3,53	0,70	1,89	0,50	0,15	1,18	2,35	0,03	3,60
P3-A2	L	70,5	12,6	4,65	0,97	2,53	0,56	0,36	1,31	2,82	0,04	4,14
P4-A1	FSL	72,3	11,9	4,38	0,80	2,82	0,54	0,09	1,26	2,74	0,04	4,14
P4-A2	L	68,0	14,7	5,39	0,59	2,52	0,60	0,15	1,02	3,37	0,04	4,79
P5-A1	A	70,9	15,6	3,26	0,11	1,42	0,46	0,01	0,11	2,09	0,02	5,82
P6-A1	FSL	60,4	9,31	5,90	0,71	1,65	0,47	0,27	1,57	1,97	0,04	16,91
P6-A2	L/A	73,3	12,9	4,27	0,12	1,31	0,51	0,17	0,11	1,53	0,02	5,53
P7-A1	FSL	57,1	10,3	6,85	0,67	1,92	0,50	0,22	1,85	2,38	0,03	16,27
P7-A2	L	75,5	10,5	3,25	0,74	1,35	0,50	0,42	1,03	2,12	0,03	3,69
P11-A1	FSL	73,1	13,0	2,52	0,70	1,76	0,52	0,26	0,85	2,25	0,02	4,57
P11-A2	M	68,6	14,7	5,03	0,57	2,82	0,61	0,11	1,13	3,50	0,04	4,41
P12-A1	FSL	66,8	14,2	5,49	0,89	3,18	0,62	0,13	1,42	3,44	0,05	4,48
P12-A2	L	70,2	13,4	4,74	0,81	2,31	0,56	0,24	1,02	3,07	0,07	4,43
P13-A1	FSL	67,9	12,9	4,19	3,08	2,27	0,51	0,35	1,46	2,76	0,11	5,57
P16-A1	FSL	67,4	13,5	5,34	0,96	2,62	0,58	0,27	1,46	3,10	0,06	3,93
P16-A2	M	70,5	13,3	4,67	0,65	1,69	0,56	0,24	1,77	3,11	0,04	3,25
P16-A4	M	65,5	14,7	5,89	0,49	2,68	0,65	0,14	1,15	3,44	0,05	4,17
P16-A5	M	68,1	14,7	5,49	0,60	2,39	0,62	0,15	1,44	3,28	0,05	4,07
P17-A1	FSL	62,5	11,5	3,53	6,45	2,19	0,49	0,12	2,13	2,26	0,15	8,44
P21-A1	L	68,4	13,3	5,15	0,91	2,52	0,56	0,13	0,96	3,21	0,03	4,66
P21-A2	I	67,5	15,9	5,21	0,25	2,39	0,68	0,06	0,11	2,62	0,05	5,80
P24-A1	I	64,1	17,4	5,83	0,23	1,92	0,63	0,01	0,11	3,27	0,05	6,14
P25-A1	I	66,9	13,6	5,40	1,11	2,48	0,59	0,09	1,07	3,32	0,04	4,09
P29-A1	L	65,4	14,5	6,52	0,28	2,87	0,66	0,12	0,24	4,00	0,07	5,37
P35-A1	I	66,8	13,1	4,56	2,45	2,05	0,56	0,13	1,51	2,98	0,09	5,68
P35-A2	I	68,2	12,2	3,36	3,72	1,49	0,51	0,16	2,29	2,44	0,20	5,86
P39-A1	M	67,8	14,7	5,76	0,43	2,89	0,64	0,11	1,05	3,65	0,04	4,38
Média		68,43	13,29	4,85	1,00	2,23	0,56	0,17	1,06	2,85	0,05	5,50
<i>Formação Estrada Nova (Membro Teresina)</i>												
		<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>TiO<sub>2</sub></i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>MnO</i>	<i>PF</i>
P10-A1	I	40,6	8,35	2,97	22,0	1,43	0,35	0,17	0,38	2,16	0,12	19,54
P15-A1	I	68,7	12,4	3,62	2,04	2,78	0,54	0,21	0,99	3,39	0,05	4,62
P15-A2	I	52,0	9,15	2,72	15,60	1,84	0,37	0,28	0,81	2,22	0,10	14,37
P30-A1	I	63,8	12,6	4,17	5,27	1,76	0,54	0,15	1,01	2,70	0,12	7,19
P19-A1	I	61,5	11,4	2,93	8,31	2,12	0,44	0,16	1,12	2,51	0,07	9,21
P23-A1	I	63,9	11,1	2,48	7,71	1,86	0,42	0,20	1,01	2,30	0,10	8,70
P26-A1	I	59,8	11,1	3,10	9,73	1,45	0,44	0,15	1,28	2,28	0,16	10,37
P33-A1	I	62,4	12,2	3,84	6,41	1,90	0,52	0,14	0,89	2,71	0,19	8,17
P41-A1	L	61,4	11,9	3,72	7,26	1,98	0,51	0,13	0,88	2,57	0,14	9,21
P44-A1	I	60,6	12,6	4,69	6,38	2,52	0,56	0,16	0,79	3,03	0,08	8,40
Média		58,98	11,28	3,42	9,07	1,96	0,47	0,18	0,92	2,60	0,11	9,98

TABELA 2 – Codificação dos grupos de absorção de água em função dos métodos de fabricação (NBR 13817, ABNT 1997). B = processo de prensagem.

Grupos	Absorção (%)	Tipos
Bla	<0,1	Porcelanato técnico
	<0,5	Porcelanato esmaltado
BIIb	0,5 a 3,0	Grés
BIIa	3,0 a 6,0	Semi grés
BIIBb	6,0 a 10,0	Semi poroso
BIII	10,0 a 20,0	Poroso

a 25,30 N/mm<sup>2</sup>, o que as classificam em sua maior parte, de acordo com a absorção de água, em BIIB e BIIa. Alguns corpos de prova não resistiram à queima nesta temperatura vindo a se danificar.

Já na temperatura de queima de 1120 °C, foram obtidos resultados mais interessantes, devido a uma melhora na sinterização dos corpos de prova. Os valores médios de absorção de água ficaram entre 0,5 e 2,30% e de resistência mecânica entre 28,54 a 41,40 N/mm<sup>2</sup>, os quais as classificam como BIIBb, BIb e Bla. Os melhores resultados foram encontrados nas seções P2 (P2-A2, P2-A3 e P2-4), P15 (P15-A1 e P15-A2) e P16 (P16-A2, P16-14 e P16-A5) (Tabelas 2 e 3).

Alguns corpos de provas apresentaram trincas, inchaços e deformações pirolásticas com o aumento da temperatura de queima. GRIMSHAW (1971) explica que a deformação pirolástica ocorre em temperaturas mais elevadas resultante da formação de gases oriundos da sublimação de

minerais (principalmente minerais alcalinos) presentes nas argilas. A formação destes gases gera um aumento da pressão no interior das peças, que somado ao excesso de fluxo líquido, promove a deformação pela expansão e o surgimento de bolhas. A composição da matéria-prima com elevada presença de matéria-orgânica e carbonatos potencializa a formação destes defeitos.

Em relação ao aspecto visual, observou-se que as cores dos corpos de prova variaram nas temperaturas de queima a que foram submetidos, na temperatura de 950 °C apresentaram tonalidades variando de bege a marrom claro e nas temperaturas de 1040 e 1120 °C de marrom claro à marrom escuro (Figura 3).

Em relação aos defeitos, apenas a P2-A4 (litofácies alterada) apresentou trincas quando submetida à temperatura de queima de 950 °C. Nas temperaturas de 1040 °C e 1120 °C alguns corpos de prova apresentaram defeitos dimensionais, trincas e furos (Figuras 3 e 4). Nas amostras P2-A1 e P12-A1, pertencentes a litofácies folhelho siltito laminado, os corpos de provas incharam provavelmente pela presença de gases e matéria orgânica (Figura 3). Trincas ocorreram nas amostras P2-A3 e P2-A4 (litofácies intercalada e alterada) na temperatura de 1020 °C, enquanto os defeitos dimensionais nas amostras P2-A1, P2-A2 e P11-A2 (litofácies folhelho siltico laminada, laminada e maciça, respectivamente) na temperatura de 1120 °C.

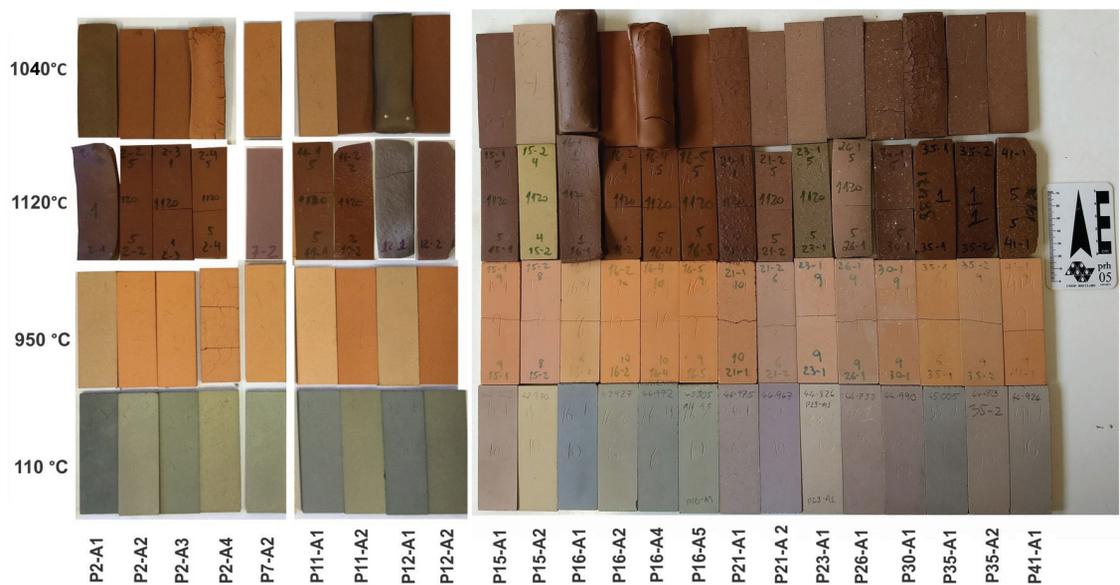


FIGURA 3 – Cores obtidas dos corpos de prova submetidos à secagem (110 °C), queima em mufla de laboratório (950 °C e 1120 °C) e queima industrial (1040 °C). Escala em cm.

TABELA 3 – Caracterização cerâmica. MRF: módulo de ruptura a flexão, AA: absorção de água, PA: porosidade aparente, RLQ: retração linear de queima, Ds: densidade a seco e GABS: grupos de absorção de água. (X): não foi possível a realização dos ensaios cerâmicos.

<i>Amostras</i>	<i>Litofácies</i>	<i>Ds (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>MRF (CRU)</i>	<i>MRF Nmm<sup>2</sup></i>	<i>AA (%)</i>	<i>PA (%)</i>	<i>RLQ (%)</i>	<i>GABS</i>
<i>Queima a 950°C (Laboratório - Unesp)</i>								
P2-A1	FSL	1,93	0,54	17,13	11,94	22,90	1,02	BIII
P2-A2	L	1,96	0,67	20,46	13,25	25,50	2,02	BIII
P2-A3	I	1,82	0,60	13,41	13,93	26,40	1,99	BIII
P2-A4	A	1,75	0,82	X	X	17,40	X	
P6-A2	FSL	1,78	2,25	12,65	19,93	34,00	0,99	BIII
P7-A1	FSL	X	X	X	X	X	X	
P7-A2	L	1,86	X	15,45	48,65	28,30	0,75	BIII
P11-A1	FSL	1,88	0,40	20,23	12,90	24,70	1,39	BIII
P11-A2	M	1,83	0,80	19,59	12,49	24,60	3,19	BIII
P12-A1	FSL	1,89	X	23,60	13,69	26,40	1,11	BIII
P12-A2	L	1,89	X	5,60	11,80	40,60	2,30	BIII
P15-A1	I	1,93	1,04	8,45	14,15	26,74	1,20	BIII
P15-A2	I	1,99	3,22	18,17	18,38	32,39	0,82	BIII
P16-A1	FSL	1,95	1,90	20,37	13,43	26,00	1,13	BIII
P16-A2	M	1,85	1,85	18,84	15,97	29,91	0,81	BIII
P16-A4	M	1,91	2,20	28,34	11,95	24,00	2,79	BIII
P16-A5	M	1,87	2,44	26,20	13,92	27,00	2,17	BIII
P21-A1	L	1,82	0,10	7,83	14,55	26,87	1,87	BIII
P21-A2	I	1,81	2,40	20,07	14,48	27,18	2,85	BIII
P23-A1	I	2,07	1,67	10,26	17,31	30,80	0,26	BIII
P26-A1	I	1,86	2,09	8,75	19,94	34,05	0,21	BIII
P30-A1	I	1,84	2,70	13,45	16,18	29,00	1,38	BIII
P35-A1	I	1,85	2,00	11,54	14,92	27,60	1,44	BIII
P35-A2	I	1,78	1,94	6,45	18,96	32,74	0,52	BIII
P41-A1	L	1,87	1,38	10,60	17,44	30,9	0,97	BIII
<i>Queima a 1120°C (Laboratório da Unesp)</i>								
P2-A1	FSL	1,93	0,54	X	X	X	X	
P2-A2	L	1,88	0,67	39,70	0,34	0,70	7,61	Bla
P2-A3	I	1,87	0,60	35,70	0,27	0,60	7,65	Bla
P2-A4	A	1,78	0,82	28,00	0,90	2,10	12,09	BIIb
P6-A2	FSL	1,78	2,25	21,54	13,00	24,94	4,25	BIII
P7-A1	FSL	X	X	X	X	X	X	
P7-A2	L	X	X	X	X	X	X	
P11-A1	FSL	1,87	0,40	36,70	1,30	2,80	7,42	Bib
P11-A2	M	1,90	0,80	Envervou	0,77	1,20	X	
P12-A1	FSL	X	X	X	X	X	X	
P12-A2	L	X	X	X	X	X	X	
P15-A1	I	1,93	1,04	28,94	0,4	0,84	5,32	BIIb
P15-A2	I	1,99	3,22	41,13	1,18	2,37	4,92	Bib
P16-A1	FSL	1,95	1,90	Envervou	0,43	0,92	Envervou	
P16-A2	M	1,84	1,85	42,30	0,32	0,73	7,55	Bla
P16-A4	M	1,91	2,20	41,61	0,35	0,78	5,91	Bla
P16-A5	M	1,87	2,44	40,30	0,26	0,57	6,62	Bla
P21-A1	L	1,82	0,10	23,02	2,06	4,08	5,47	BIIb
P21-A2	I	1,81	2,40	34,07	2,53	5,84	9,32	Bib
P23-A1	I	1,92	1,67	35,75	0,86	1,86	6,47	Bib
P26-A1	I	1,86	2,09	31,93	0,99	2,19	7,34	Bib
P30-A1	I	1,85	2,70	27,56	0,33	0,70	5,40	BIIb
P35-A1	I	1,85	2,00	X	1,76	3,17	X	
P35-A2	I	1,95	1,94	36,90	0,38	0,85	7,70	Bib
P41-A1	L	1,88	1,38	25,90	0,80	1,6	5,5	BIIb
<i>Queima a 1040°C (Indústria Cerâmica)</i>								
P2-A1	FSL	1,92	0,54	Estufou	23,00	25,4	X	
P2-A2	L	1,86	0,67	23,53	4,55	9,40	5,87	BIIa
P2-A3	I	1,81	0,60	Trincou	5,45	23,45	X	
P2-A4	A	1,74	0,82	Estufou	24,42	26,60	X	
P7-A1	FSL	X	X	X	X	X	X	
P7-A2	FSL	1,85	X	15,72	9,78	19,4	3,10	BIIb
P11-A1	L	1,88	0,40	16,34	5,83	11,1	5,83	BIIa
P11-A2	FSL	1,83	0,80	34,27	0,64	1,45	0,64	Bib
P12-A1	M	1,88	X	Estufou				
P12-A2	FSL	1,89	X	20,17	4,41	40,31	4,41	BIIa
P15-A1	L	1,98	1,04	17,00	1,29	2,8	5,02	Bib
P15-A2	I	2,00	3,22	27,95	14,11	25,10	1,27	BIII
P16-A1	I	1,95	1,90		Inchou			
P16-A2	FSL	1,85	1,85	X	2,42	4,80	X	
P16-A4	M	1,94	2,20		Inchou			
P16-A5	M	1,85	2,44	X	0,93	2,10	8,32	
P21-A1	L	1,88	0,10	X	6,54	12,70	X	X
P21-A2	I	1,89	2,40	15,30	4,60	10,30	7,21	BIII
P23-A1	I	1,95	1,67	18,07	13,00	24,00	1,63	BIII
P26-A1	I	1,91	2,09	18,80	14,28	25,90	2,06	BIII
P30-A1	I	1,90	2,70	X	5,63	11,30	4,38	BIIb
P35-A1	I	1,88	2,00	X	9,04	13,80	X	
P35-A2	I	1,80	1,94	20,14	10,33	20,10	X	BIII
P41-A1	L	X	1,38	X	X	X	X	

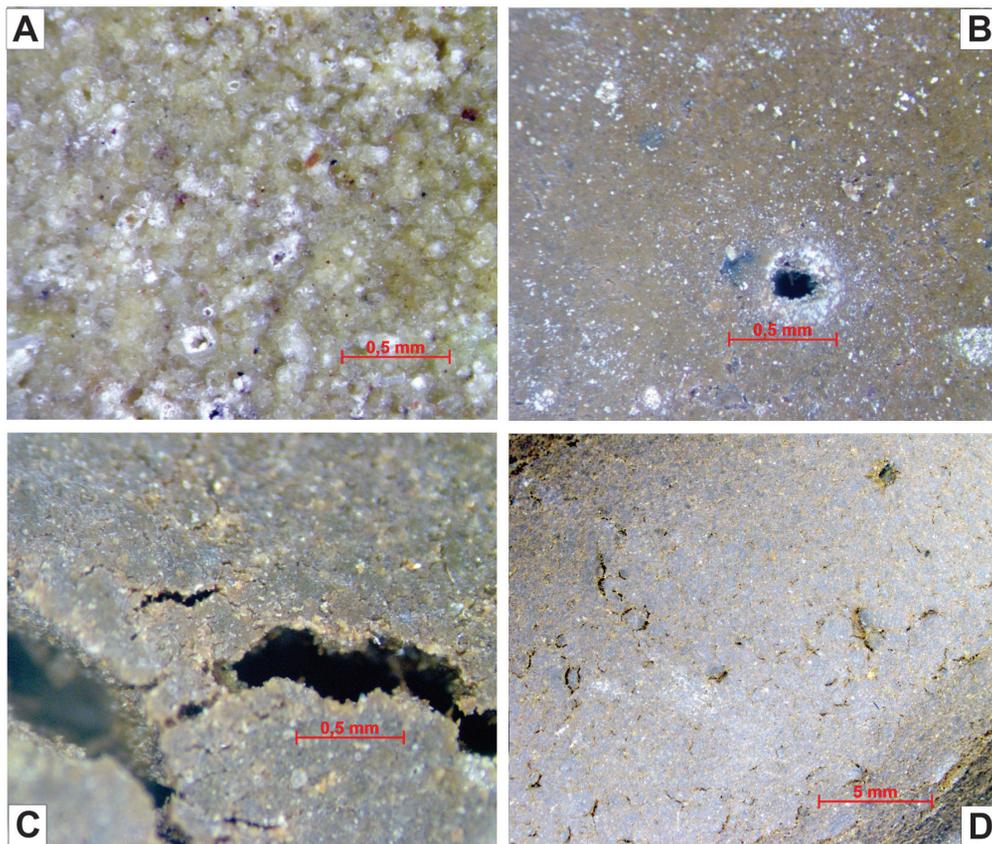


FIGURA 4 – Imagens dos corpos de prova queimados na temperatura de 1020 °C em forno mufla de laboratório, obtidas pelo estereomicroscópio marca Carl Zeiss. (A) amostra P15-A2 mostra um processo de sinterização eficiente com formação de fase vítrea por toda a superfície, (B) amostra P16-A4: furo ocasionado provavelmente por excesso de carbonato, (C) amostra P35-A1: trincas e (D) amostra P16-A1: trincas e inchaço provocado pelo excesso de matéria orgânica.

As amostras que apresentaram as melhores características visuais pós-queima foram a P11-A1 (litofácies folhelho síltico laminada) e P15-A2 (litofácies intercalada), não apresentando defeito e uma coloração clara após queima nas temperaturas de 1040 °C (Figuras 3 e 4).

Os furos e as bolhas observados em corpos de prova de algumas amostras foram provocados pela decomposição incompleta do carbonato, o que resultou na formação de gases de forma concentrada e aparecimento de defeitos; para a redução destes defeitos é necessário que a moagem seja mais fina. Estudos relacionados à presença do  $\text{CaCO}_3$  em massas cerâmica foram desenvolvidos por diversos autores (MARINO & BOSCHI 1998, SOTÉRIO *et al.* 1999, REBMANN & SALVETTI 2000, CHRISTOFOLETTI *et al.* 2003, COUTINHO JÚNIOR *et al.* 2012, CHRISTOFOLETTI & MORENO 2017). Esses autores estabelecem que

até 5% de calcita na composição da matéria-prima torna-se interessante no controle da retração linear de queima e a cor de queima tende a apresentar tonalidades mais claras. Acima destes valores, a presença da calcita torna-se um contaminante prejudicial para as características tecnológicas cerâmicas, em especial o aumento da absorção de água e consequente diminuição da resistência mecânica.

#### 4.4 Difração a laser

Os gráficos das análises granulométricas obtidos por difração a laser (Tabela 4 e Figura 5) mostram a distribuição do tamanho das partículas. Observou-se um comportamento de seleção multimodal em diferentes faixas granulométricas. Para fins comparativos, as amostras foram agrupadas a partir dos gráficos de frequência acumulada nos intervalos de diâmetro esférico equivalente (D.E.E.). As maiores concentrações das partículas foram encontradas no

TABELA 4 – Distribuição granulométrica das partículas em % das amostras das seções estudadas. Litofácies: FSL: folhelho siltico laminada, M: maciça, L: laminada, I: intercalada e A: alterada.

<i>Amostra</i>	$0,01 \leq \phi \leq 1 \mu m$	$1 \leq \phi \leq 10 \mu m$	$10 \leq \phi \leq 100 \mu m$	$100 \leq \phi \leq 1000 \mu m$	<i>litofácies</i>
P2-A1	2,41	29,36	52,98	15,22	FSL
P2-A2	3,45	31,67	45,45	19,36	L
P2-A3	2,83	27,65	39,97	29,48	I
P2-A4	3,18	36,69	56,25	3,90	A
<i>P2 (média)</i>	<i>3,00</i>	<i>29,60</i>	<i>48,66</i>	<i>21,35</i>	
P3-A1	3,46	27,21	51,75	17,42	L
P3-A2	3,59	30,98	47,21	18,09	L
<i>P3 (média)</i>	<i>3,50</i>	<i>29,10</i>	<i>49,50</i>	<i>19,80</i>	
P4-A1	2,43	29,95	52,33	15,22	FSL
P4-A2	2,94	33,82	48,32	14,82	L
<i>P4 (média)</i>	<i>2,70</i>	<i>31,90</i>	<i>50,32</i>	<i>15,02</i>	
P5-A1	4,20	29,63	57,72	8,33	A
P6-A1	2,08	19,01	52,28	26,56	FSL
P6-A2	2,79	29,30	60,26	7,50	L/A
<i>P6 (média)</i>	<i>2,43</i>	<i>24,20</i>	<i>56,30</i>	<i>17,00</i>	
P7-A1	2,29	27,98	48,09	21,57	FSL
P7-A2	3,64	27,79	54,94	13,44	L
<i>P7 (média)</i>	<i>2,97</i>	<i>27,90</i>	<i>51,50</i>	<i>17,50</i>	
P10-A1	5,78	40,37	42,56	11,22	I
P11-A1	2,92	30,85	55,00	11,20	FSL
P11-A2	4,72	41,00	43,86	10,36	M
<i>P11 (média)</i>	<i>3,82</i>	<i>35,92</i>	<i>49,43</i>	<i>10,80</i>	
P12-A1	5,06	39,65	41,04	14,25	FSL
P12-A2	3,84	37,14	49,18	9,90	L
<i>P12 (média)</i>	<i>4,45</i>	<i>38,40</i>	<i>45,11</i>	<i>12,08</i>	
P13-A1	4,72	34,68	44,67	15,86	FSL
P14-A1	3,19	36,96	54,54	5,23	A
P15-A1	3,10	32,69	58,44	5,70	I
P15-A2	4,23	35,11	50,74	9,74	I
<i>P15 (média)</i>	<i>3,66</i>	<i>33,90</i>	<i>54,60</i>	<i>7,72</i>	
P16-A1	3,89	32,12	43,82	20,08	FSL
P16-A2	5,26	35,66	42,51	16,51	M
P16-A4	4,62	36,35	45,13	13,89	M
P16-A5	5,53	36,36	41,10	16,94	M
<i>P16 (média)</i>	<i>4,83</i>	<i>35,12</i>	<i>43,14</i>	<i>16,86</i>	
P17-A1	4,41	32,25	49,77	13,50	FSL
P19-A1	2,81	29,48	57,38	10,36	I
P20-A1	3,31	33,45	51,00	12,1	I
P21-A1	2,01	19,92	46,55	31,44	L
P21-A2	2,48	31,28	58,60	7,57	I
<i>P21 (média)</i>	<i>2,24</i>	<i>25,60</i>	<i>52,57</i>	<i>19,50</i>	
P26-A1	3,75	27,30	51,10	17,74	I
P33-A1	2,88	29,01	48,28	19,72	I
P35-A1	3,02	27,61	46,99	22,30	I
P35-A2	3,01	24,89	53,00	19,00	I
<i>P35 (média)</i>	<i>3,01</i>	<i>26,25</i>	<i>50,00</i>	<i>20,65</i>	
P41-A1	2,01	27,09	47,85	22,20	L
P44-A1	2,09	27,24	48,71	21,91	I

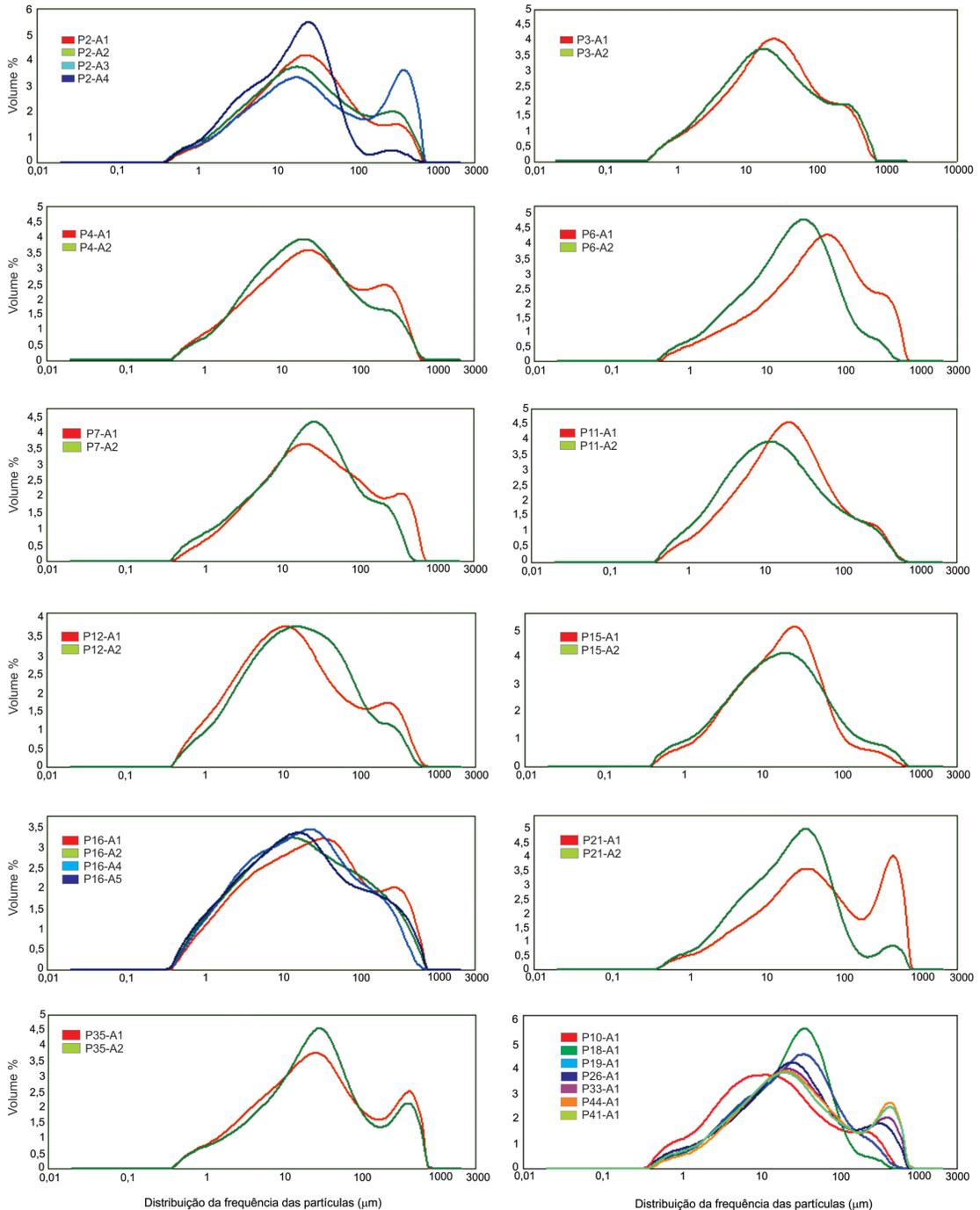


FIGURA 5 – Distribuição granulométrica obtida por difração a laser das amostras dos perfis estudados.

intervalo de  $10 \leq \phi \leq 100 \mu\text{m}$  (siltito médio a arenito muito fino), com valores médios que variaram de 45,11% a 56,30%; na sequência vem o intervalo de  $1 \leq \phi \leq 10 \mu\text{m}$  (argila a siltito fino), com valores médios que variam de 24,20% até 38,40%. No intervalo de  $100 \leq \phi \leq 1000 \mu\text{m}$  (arenito muito fino a grosso), foi observada uma concentração média de

7,32% a 21,35%, enquanto no intervalo  $0,01 \leq \phi \leq 1 \mu\text{m}$  (argila a siltito muito fino), valores médios de 2,24% a 4,83%. As definições dos valores granulométricos estão de acordo com a classificação de UDDEN (1914) e WENTWORTH (1922).

De acordo com os gráficos de frequência de tamanho de partículas e baseado na metodologia

descrita em CHRISTOFOLETTI & MORENO (2017), que estabelece a relação entre litofácies e curvas de frequência obtidas pela difração a laser, as amostras analisadas foram agrupadas (Figura 6). As curvas de frequência simples das amostras presentes nas litofácies maciça (B) apresentaram distribuição lognormal caracterizando uma única população de tamanho de partículas nas faixas granulométricas analisadas, centradas na faixa granulométrica de  $10 \leq \phi \leq 100 \mu\text{m}$ . As amostras das litofácies laminadas (A e C) apresentaram distribuição

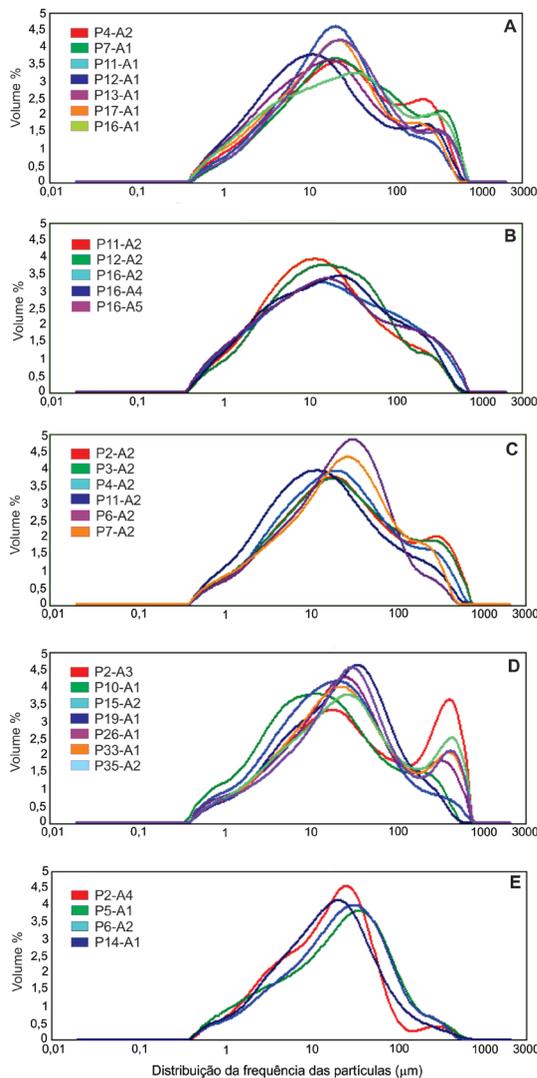


FIGURA 6 – Distribuição granulométrica obtida por difração a laser das amostras dos perfis estudados. (A) Litofácies Folhelho Siltico Laminado, (B) Litofácies Maciça, (C) Litofácies Laminada, (D) Litofácies Intercalada e (E) Litofácies Alterada.

com tendência bimodal com população preponderante centrada no intervalo  $10 \leq \phi \leq 100 \mu\text{m}$  e pequena população no intervalo de  $100 \leq \phi \leq 1000 \mu\text{m}$ . Em relação às litofácies alterada (E), observou-se uma maior concentração na faixa de  $10 \leq \phi \leq 100 \mu\text{m}$ , e uma frequência bem mais baixa no intervalo de  $100 \leq \phi \leq 1000 \mu\text{m}$ , refletindo maior homogeneidade de tamanho de partículas que as demais litofácies. Nas litofácies intercaladas (D), encontradas nas porções superiores das seções estudadas, a presença de intercalações de camadas de arenito/siltito arenoso de granulometria fina a média com cimentação carbonática favoreceu uma concentração de partículas na faixa de  $100 \leq \phi \leq 1000 \mu\text{m}$ .

Esta característica menos uniforme da frequência das partículas indica uma granulometria mais grossa dada pela presença de minerais de quartzo, feldspato e calcita, difíceis de serem moídos. A característica bimodal também é influenciada pelo tipo de moagem realizada, em moinhos de martelos por processo via seca.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos mostraram que as características geológicas e químicas das litofácies encontradas na Formação Estrada Nova condicionam o comportamento das propriedades cerâmicas.

A litofácies folhelho siltico laminado, encontrada na base do Membro Serra Alta, apresentou granulometria fina com uma distribuição granulométrica concentrada na frequência  $10 \leq \phi \leq 100 \mu\text{m}$  e presença pouco significativa de partículas mais grossas; esta configuração não favoreceu um empacotamento adequado na prensagem dos corpos de prova. Em algumas amostras desta litofácies não foi possível a confecção de corpos de prova e aquelas que foram submetidas à queima apresentaram defeitos dimensionais, trincas, deformações e inchaços derivados principalmente do elevado conteúdo de matéria-orgânica.

As amostras da litofácies maciça, encontrada no Membro Serra Alta, foram as que apresentaram os melhores resultados cerâmicos. Este melhor desempenho ocorreu devido à presença elevada do  $\text{K}_2\text{O}$ , que se somou a uma distribuição granulométrica de frequência mais uniforme e ocorrência de níveis milimétricos de areia muito fina. Estas características possibilitaram um melhor empacotamento das partículas durante a prensagem, assegurando assim uma melhor sinterização e estabilidade dimensional dos corpos de prova pós-queima.

As amostras da litofácies laminada, encontrada nas porções médias a superiores dos membros Serra Alta e Teresina, apresentaram uma distribuição granulométrica entre as litofácies maciça e intercalada, com predomínio de frequência no intervalo granulométrico de  $10 \leq \phi \leq 100 \mu\text{m}$ , tendo apresentado bons resultados cerâmicos quando queimadas a 1120 °C.

Nas amostras da litofácies intercalada, com especial destaque para a Formação Teresina, observou-se a presença de intercalações centimétricas de arenito/siltito arenoso de granulometria fina a média com cimentação carbonática. Estas características favoreceram maior concentração de tamanho de partículas na faixa de  $100 \leq \phi \leq 1000 \mu\text{m}$ , gerando uma curva de frequência bimodal. Esta concentração de partículas grossas é dada pela presença elevada do óxido de cálcio, com valores médios de 9,71% CaO para o Membro Teresina. A presença de carbonato em excesso na matéria-prima prejudicou o processo de sinterização das peças pela não decomposição completa no processo de queima, resultando em defeitos e na diminuição da resistência mecânica devido a um aumento da absorção de água.

As amostras da litofácies alterada, nas porções superiores das seções, apresentaram granulometria mais fina dada pelo seu estado de alteração supérgena. A distribuição das partículas nesta litofácies apresentou deslocamento da curva de distribuição de tamanhos de partículas em direção ao intervalo de  $0,01 \leq \phi \leq 1 \mu\text{m}$ .

De acordo com os resultados da caracterização tecnológica, as amostras da Formação Estrada Nova (Membros Serra Alta e Teresina) apresentaram comportamentos tecnológicos diferentes durante as queimas realizadas. Quando queimadas a 950 °C apresentaram resultados satisfatórios para serem utilizadas na produção de porosos (BIII), sendo que a maioria mostrou coloração satisfatória durante a queima, sem apresentar defeitos nos corpos de prova.

Já na temperatura de 1040 °C houve uma melhora nas propriedades tecnológicas, possibilitando classificar as amostras nos grupos BIIa e BIB, enquanto na temperatura de 1120 °C os resultados foram ainda melhores, sendo as amostras classificadas como BIB e BIIa. Esta melhora nas características das propriedades cerâmicas deve-se a uma maior sinterização dos corpos de prova decorrente de uma temperatura de queima mais elevada, auxiliada pelo tipo de forno (mufla), que prevê um maior tempo de permanência na temperatura de pico. Por outro lado,

a elevada temperatura provocou a geração de defeitos, entre estes: trincas, deformidades pirolásticas, furos e bolhas, e, em algumas amostras, os corpos de provas se danificaram por completo não possibilitando a execução dos ensaios tecnológicos.

As amostras, quando foram submetidas a queima em temperaturas mais elevadas, tanto na empresa cerâmica (1040 °C) como em forno laboratorial (1120 °C), apresentaram um melhor desempenho nas suas propriedades cerâmicas. Por outro lado, algumas apresentaram defeitos oriundos do excesso da temperatura de queima, das impurezas como matéria orgânica e de uma mineralogia preponderante de argilominerais em relação aos minerais do tipo quartzo e feldspato.

As amostras das seções P2 e P16 apresentaram os melhores resultados, classificando-se a maioria no Grupo BIIa. Na temperatura de 950 °C as amostras da seção P16 foram classificadas, de acordo com o Grupo de Absorção, como BIIb, enquanto na temperatura de 1040 °C, como BIIa. A presença de valores mais elevados do K<sub>2</sub>O nas amostras da seção P16 (P16-A2, P16-A4 e P16-A5), aliada a um melhor empacotamento das partículas, possibilitou melhor sinterização dos corpos de prova. Esses melhores resultados devem-se a uma distribuição granulométrica das partículas mais uniforme.

Dentre as amostras do Membro Teresina, apenas a amostra P15-A1 apresentou um comportamento tecnológico satisfatório, classificando-se dentro do Grupo BIB, o que indica adequação para ser adicionada na composição de massa para porcelanatos. As amostras das litofácies folhelho siltico laminado (P2-A1, P12-A1) apresentaram inchaço, dado pela liberação de gases, sugerindo que estas poderão ser testadas para uso como argilas expansivas.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que as rochas da Formação Estrada Nova apresentaram características adequadas à sua utilização como matéria-prima na produção de revestimentos cerâmico de média à alta absorção de água, em especial na produção de porosos. Algumas amostras, porém, apresentaram resultados satisfatórios para uso na produção de revestimento cerâmico semi-poroso pelo processo via seca, ou para incorporação de massa para a produção de grés, porcelanatos, bem como de argilas expandidas.

O direcionamento do seu uso como matéria-prima cerâmica é condicionado pelas características de suas litofácies. As litofácies encontradas na

base das seções estudadas (maciça e laminada), com exceção da litofácies folhelho siltico laminada, apresentaram os melhores resultados para uso na indústria de revestimentos cerâmicos. Estas litofácies apresentaram uma granulometria argilosa o que possibilitou uma moagem mais uniforme e conseqüentemente melhor distribuição das partículas, favorecendo o empacotamento dos grãos durante o processo de prensagem, fato que melhorou a sinterização durante o processo de queima. Os valores altos de perda ao fogo da litofácies folhelho siltico laminada provavelmente são decorrentes da presença de matéria-orgânica, característica que resultou no inchaço dos corpos de prova.

As amostras das litofácies intercalada siltosa e arenosa, encontradas nas porções superiores das seções estudadas, apresentaram uma distribuição granulométrica bimodal, com populações de tamanhos nos intervalos de  $10 \leq \phi \leq 100 \mu\text{m}$  e  $100 \leq \phi \leq 1000 \mu\text{m}$ . Esta não uniformidade da distribuição de tamanho das partículas é resultado das características destas litofácies, que são compostas por uma granulometria mais grossa e pela presença de camadas de siltitos/arenitos carbonáticos de difícil desagregação, o que dificultou o processo de moagem e conseqüentemente o empacotamento dos grãos durante o processo de prensagem.

A presença de defeitos está condicionada às características das matérias-primas, à temperatura de queima e ao tipo de moagem realizado. Observou-se que a maioria das amostras quando queimadas em laboratório na temperatura de 950 °C não apresentaram defeitos. Com o aumento da temperatura de queima para 1040 e 1120 °C, observou-se que muitas amostras apresentaram defeitos e mudança de sua coloração para tonalidades mais escuras, o que não as tornam atraentes para serem comercializadas. Os defeitos encontrados nas amostras do Membro Teresina são relacionados principalmente à presença elevada de  $\text{CaCO}_3$  (calcita).

Os resultados desta pesquisa trarão subsídios para pesquisas mais aprofundadas da Formação Estrada Nova como fonte de matéria-prima para o segmento cerâmico.

## 7 AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), Processo 2016/03055-9, pelo apoio financeiro. Aos pesquisadores Dr. José Francisco Marciano Motta e MsC. José Maria de Azevedo Sobrinho pelo apoio científico. Aos relatores da Revista do

Instituto Geológico que contribuíram com sugestões para a melhoria do artigo.

## 8 REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1997. Placas Cerâmicas para Revestimentos: Especificações e Métodos de Ensaio. NBR 13.817, 78 p.
- BRITO, I.M. 1982. Estratigrafia da Bacia do Paraná III: O Grupo Passa Dois. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 54(2): 460-461.
- CHRISTOFOLETTI, S.R.; MORENO, M.M.T. 2017. Granulometria por difração a laser e sua relação com a faciologia das rochas argilosas da Formação Corumbataí-SP. *Cerâmica*, 63: 303-310.
- CHRISTOFOLETTI, S.R.; MASSON, M.R.; MIJOLARO, W.; MORENO, M.M.T.; VALARELLI, J.V. 2003. Os Principais Contaminantes Minerais das Rochas Sedimentares da Formação Corumbataí e sua Influência na Matéria Prima Cerâmica. *Cerâmica Industrial*, 8(1): 35-41.
- COUTINHO JUNIOR, T.A.; CARVALHO S.G.; ZANARDO A. 2012. A Influência do Teor e Granulometria de Carbonatos na Produção de Revestimentos Cerâmicos no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. *Cerâmica Industrial*, 17(3): 37-46.
- GRIMSHAW R.W. 1971. The Chemistry and Physics Of Clays. Ernest Benn, London, 1024 p.
- MARINO, L.F.B., BOSCHI, A.O. 1998. A Expansão Térmica de Materiais Cerâmicos: Parte I: Introdução, Aplicação e Composição da Massa. *Cerâmica Industrial*, 3(1/2): 17-21.
- MIALL, A. D. 1994. Principles of sedimentary basin analysis. Springer-Verlag, New York, 490 p.
- PERROTA, M.M; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. 2005. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil, CPRM, São Paulo.

- REBMANN, R.S.; SALVETTI, A.R. 2000. Efeito da adição de carbonatos em corpos cerâmicos. Parte II: Influência da granulometria. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 44, São Pedro, *Anais*, p. 701-711.
- SANFORD, R.M.; LANGE F.W. 1960. Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, South Brazil. *AAPG Bulletin*, 44: 1316-1370.
- SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28, Porto Alegre, *Anais*, v. 1, 41-65.
- SOUZA, S.H.M. 1985. Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 142 p.
- SOTÉRIO, J.; MELCHIADES, F.G., BOSCHI, A.O. 1999. Estudo da influencia do teor de calcita em diferentes tamanhos em diferentes tamanhos de partículas sob as características de revestimentos cerâmicos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 43, Florianópolis, *Anais*, p. 1-12.
- UDDEN, J.A. 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 25: 655-744.
- WARREN, L.V.; ASSINE, M.L.; SIMÕES, M.G.; RICCOMINI, C.; ANELLI, L.E. 2015. A Formação Serra Alta, Permiano, no centro-leste do Estado de São Paulo, Bacia do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 45(1): 109-126.
- WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5): 377-392.

*Endereço dos autores:*

Sergio Ricardo Christofolletti – Instituto Florestal, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Avenida Navarro de Andrade S/N, CEP: 13500-970, Rio Claro, SP. *E-mail*: sergioricardoc@gmail.com

Rogers Raphael da Rocha – Cerâmica Rocha Forte, Rod. Washington Luiz, s/n, CEP: 13490-000, Cordeirópolis, SP. *E-mail*: rogers.rocha@rochaforte.com.br

*Artigo submetido em 7 de março de 2018, aceito em 25 de abril de 2018.*