

# CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS DA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

Sérgio Ricardo CHRISTOFOLETTI <sup>1</sup> & Maria Margarita Torres MORENO <sup>2</sup>

(1) Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente. Avenida Miguel Stéfano, 3900. São Paulo, SP. CEP 04301-903. Endereço eletrônico: sergio@igeologico.sp.gov.br. (2) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Avenida 24-A, 1515, Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: mmoreno@rc.unesp.br

Introdução  
Objetivos  
Localização e Contexto Geológico Regional  
Metodologia  
Resultados e Discussões  
    Características Geológicas  
    Características Químicas e Mineralógicas  
    Características Cerâmicas  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – A Formação Corumbataí é atualmente utilizada com sucesso pela indústria de revestimento cerâmico no pólo de cerâmica de Santa Gertrudes. Este engloba os municípios de Santa Gertrudes, Rio Claro, Cordeirópolis, Limeira, Piracicaba e Araras. De acordo com os estudos geológicos realizados, as argilas da Formação Corumbataí foram divididas em cinco litofácies cerâmicas, sendo elas: maciça, laminada, intercalada I, intercalada II e alterada. De acordo com suas características químicas, são consideradas como argilas com teores médios de elementos fundentes, com os valores da soma dos óxidos alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) variando de 2,9% na litofácies alterada até valores de 4,3% na litofácies intercalada I. Os argilominerais predominantes são a illita e a caulinita (presentes em todas as litofácies), além da montmorillonita que ocorre com frequência nas litofácies intercalada I e II e laminada. Outros minerais importantes são: quartzo, feldspato do tipo albíta, hematita e calcita. Os resultados cerâmicos possibilitaram enquadrar as litofácies cerâmicas dentro do Grupo BIIb na Classificação de Revestimentos Cerâmicos (BII – valores de resistência à flexão da ordem de 180-300  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ; b – valores de absorção de água (Abs) de 6 a 10%), porém, alguns valores de Abs ficaram acima de 10% nas litofácies intercalada I, intercalada II e na alterada.

**Palavras-chave:** Cerâmica, litofácies, revestimento, Formação Corumbataí.

**ABSTRACT** – S.R. Christofolletti & M.M.T. Moreno - *Characteristics of the rocks from the Corumbataí Formation used in the floor tiles industry.* The rocks from Corumbataí Formation, successfully used by the floor tiles industries of the Ceramic Cluster of Santa Gertrudes (SP, Brazil). This cluster is located in the region of the cities of Santa Gertrudes, Rio Claro, Cordeirópolis, Limeira and Araras. Geologically, the rocks may be classified into five ceramic lithofacies, as follows: massive, laminated, intercalated I, intercalated II and altered. Chemically, they are considered as clays with medium amount of fluxing agents, and their composition of  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  ranges from 2.9% in the altered lithofacies up to 4.31% in the intercalated I lithofacies. The main clay minerals are illite and kaolinite (both always present), but montmorillonite often occurs in the intercalated I and II, and in the laminated lithofacies. The other main minerals are quartz, albite-type feldspar and calcite. Based on the ceramic characterization the lithofacies are classified, according to the Floor Tiles Classification, within the group BIIb (BII stands for mechanical resistance ranging from 180 to 300  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ , and b stands for water absorption ranging from 6 to 10%), except for some intercalated I and II and altered lithofacies samples, which presented water absorption values above 10%.

**Keywords:** Ceramics, lithofacies, floor tile, Corumbataí Formation.

## INTRODUÇÃO

A Formação Corumbataí representa a unidade geológica da Bacia do Paraná mais importante para a indústria de revestimentos cerâmicos no processo via seca. O pólo cerâmico que engloba os municípios de Santa Gertrudes, Rio Claro, Cordeirópolis, Limeira e Araras ocupa uma posição de destaque no cenário nacional no segmento de revestimento cerâmico e é considerado atualmente o maior do país. Dados atualizados fornecidos pelo Sindicato Ceramista de Santa Gertrudes mostram que em 2001 foram produzidos

cerca de 25 milhões de  $\text{m}^2/\text{mês}$ , representando 50% da produção de revestimentos cerâmicos do mercado nacional e 75% do mercado do Estado de São Paulo. Atualmente, as 42 indústrias pertencentes a este pólo produzem revestimentos da Classe BIIb na Classificação de Revestimentos Cerâmicos (ABNT, 1997), que pode ser considerado como de classe média em termos de qualidade.

Nos últimos anos a indústria do pólo tem evoluído muito em qualidade, em consequência de investimentos

em equipamentos modernos e técnicas avançadas. O progresso do pólo atraiu novas indústrias, aumentando a produtividade e a competitividade entre elas. Com o aumento da produção, o mercado consumidor interno tende à saturação, obrigando as indústrias a lançarem produtos diferenciados e de melhor qualidade, inclusive procurando atingir o mercado externo.

Por outro lado, poucos investimentos têm sido feitos para se conhecer a matéria-prima em si. Nota-se por parte das indústrias cerâmicas um certo descaso em realizar estudos que realmente definam as reservas e permitam o conhecimento das características geológicas e tecnológicas dos materiais. Este descaso acarreta uma série de problemas quanto à garantia de qualidade dos produtos, que muitas vezes sofrem variações inesperadas nas propriedades físicas e químicas devido às variações que ocorrem nas matérias-primas utilizadas, resultando em perdas significativas durante o processo cerâmico.

Visando contribuir para o conhecimento destas matérias-primas, no ano de 1996 implantou-se no Departamento de Petrologia e Metalogenia, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, uma linha

de pesquisa denominada “Qualidade em Cerâmica Vermelha”. Esta linha tem como objetivo principal o conhecimento das características gerais desta unidade. Vários trabalhos foram realizados desde então (Christofoletti, 1999; Souza, 1999; Thomazella, 1999; Masson, 2002; entre outros), visando a caracterização química, mineralógica e cerâmica das rochas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias de revestimentos do pólo, para possibilitar a melhora da qualidade do produto final (revestimentos), bem como diminuir o custo e elevar a produtividade.

O objetivo deste trabalho é apresentar o resultado do estudo geológico realizado nas minas de argila da Formação Corumbataí, no Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes. Foi realizado o reconhecimento de litofácies e coletaram-se 101 amostras para posterior caracterização em laboratório, que constou de análises químicas (óxidos maiores), análises mineralógicas (caracterização da composição através de difração de raios X) e ensaios cerâmicos (absorção de água, tensão de ruptura à flexão, porosidade aparente, retração linear de queima, massa específica aparente e perda ao fogo).

## LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

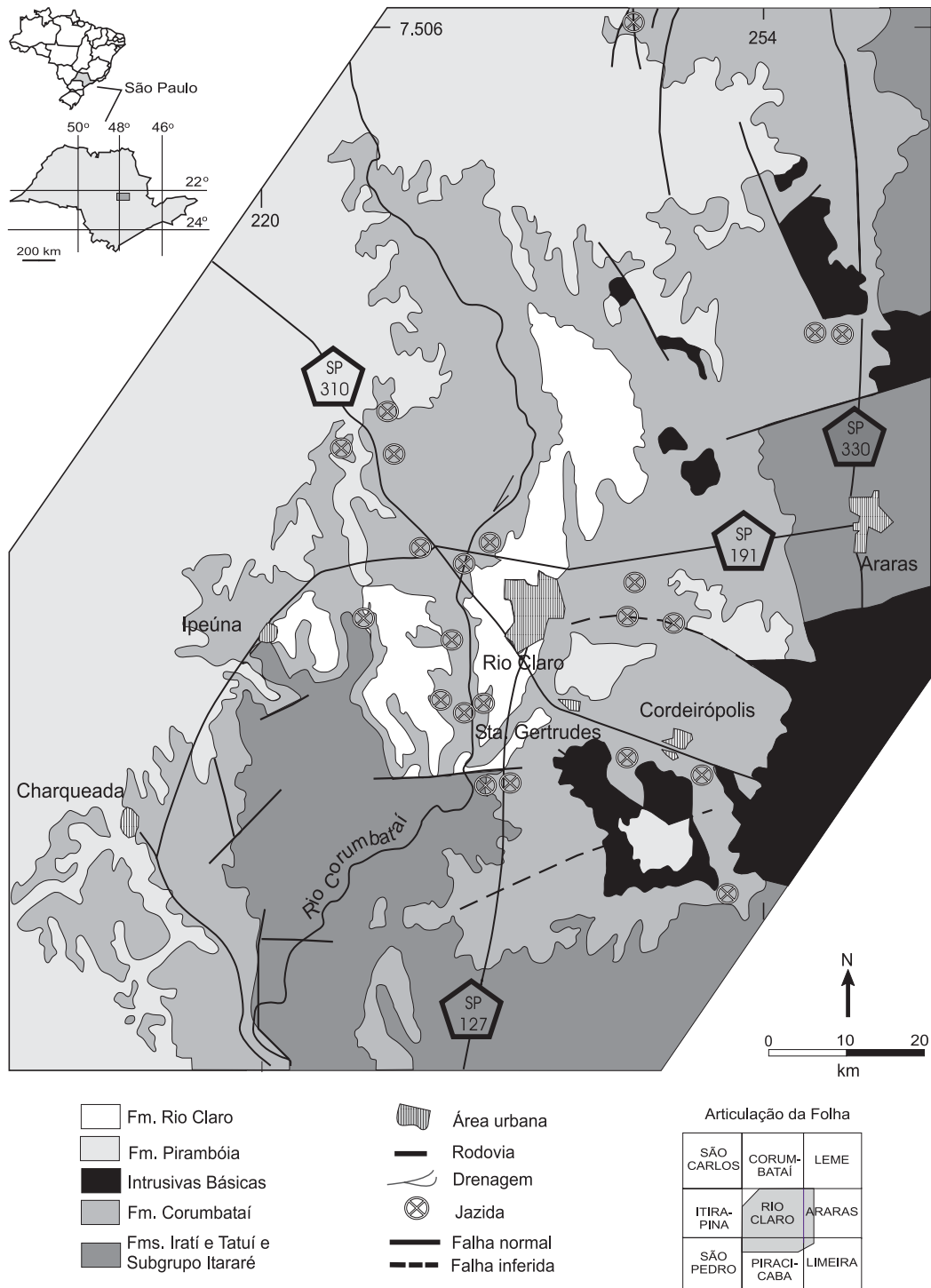
A área de estudo localiza-se na porção centro-sudeste do Estado de São Paulo circundando os municípios de Rio Claro, Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Limeira e Araras, entre as longitudes de 47°20" e 47°40"S e latitudes de 22°16" e 22°38"W. A área abrange partes das folhas topográficas de Rio Claro, Araras e Limeira na escala 1:50.000 e é drenada pela bacia do Rio Corumbataí, sendo seus afluentes principais os rios Cabeça, Passa Cinco, Ribeirão Claro e suas águas afluem para o Rio Piracicaba. Destaca-se um sistema viário bem desenvolvido, servido pela Rodovia Washington Luís (SP-310), Rodovia Bandeirantes (SP-330), Rodovia Anhangüera (SP-330), Rodovia Fausto Santomauro (SP-127) e a Rodovia Wilson Finardi (SP-191) (Figura 1).

Geologicamente, a área localiza-se no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, denominado por Petri & Fúlfaro (1983) de sub-bacia do Alto Paraná. Dentre as unidades lito-estratigráficas presentes pode-se destacar as formações Serra Geral, Botucatu, Pirambóia, Corumbataí, Irati e Tatuí, subgrupo Itararé, além de coberturas cenozóicas da Formação Rio Claro e os depósitos quaternários. No contexto econômico da Bacia do Paraná, pode-se destacar o grande potencial da área para minerais industriais, tais como areia, argila,

brita e calcário, importantíssimos na construção civil (Figura 2).

A Formação Corumbataí é a principal fonte de matéria-prima para as indústrias do pólo. Esta unidade representativa da Bacia do Paraná pertencente ao Grupo Passa Dois, tem idade do Permiano Superior/Triássico e, segundo Landim (1967), é composta por rochas essencialmente argilosas de coloração arroxeada ou avermelhada com intercalações de lentes de arenito muito fino aflorantes no vale do Rio Corumbataí. A espessura da Formação Corumbataí, junto à sua faixa aflorante, em território paulista, é da ordem de 130 m, adelgaçando para norte até se anular próximo à divisa com Minas Gerais (Figura 2).

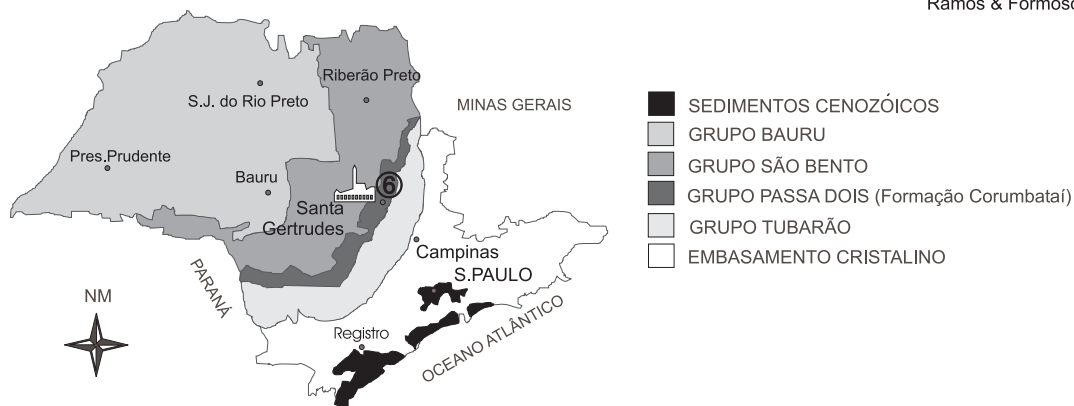
Como estruturas sedimentares observa-se a presença de laminação plano-paralela, característica da formação, laminação *flaser*, fendas de ressecamento, laminação cruzada, marcas ondulares, estruturas estromatolíticas associadas com calcários oolíticos e, nos corpos arenosos, estratificação cruzada de pequeno porte e laminação descontínua. O ambiente gerador é tema de controvérsia, mas parece ter sido, na parte inferior, marinho de águas rasas em condições climáticas redutoras, e, na porção superior, de águas rasas em condições oxidantes sob influência de marés (Schneider et al., 1974).



**FIGURA 1.** Mapa geológico da faixa aflorante na área de estudo. Adaptado de Melo & Souza (1985).

GEOCRONOLOGIA		LITOESTRATIGRAFIA	ARGILOMINERAIS DOMINANTES					RECURSOS MINERAIS	USO
PERÍODO	ÉPOCA		Ca	I	I-E	E	C		
			Caulinita	Illita	Illita Esmectita	Esmectita	Clorita		
CENOZÓICO		RIO CLARO						Areia silicosa Argilas esmectitas	Indústria de vidro Indústria cerâmica
	INFERIOR	SERRA GERAL						Água mineral Arenito britado Arenito silicoso	Indústria de vidro Construção civil Indústria de vidro
JURÁSSICO	SUPERIOR	BOTUCATU						Água mineral Arenito silicificado Arenito britado	Indústria de bebidas Construção civil Construção civil
	INTERMEDIÁRIO								
	INFERIOR								
TRIÁSSICO	SUPERIOR	PIRAMBOÍTA						Água mineral Arenito silicificado Arenito britado Arenito silicoso	Indústria de bebidas Construção civil Construção civil Indústria de vidro
	INTERMEDIÁRIO								
	INFERIOR								
PERMIANO	Gr. Passa Dois Superior	TERESINA						Argila	Indústria cerâmica de Revestimento e Estrutural
		S. ALTA							
		CORUMBATAÍ							
	Gr. Tubarão Inferior	IRATÍ						Calcário dolomítico Folhelho	Corretivo agrícola Material de empréstimo
		TATUI						Argila	Indústria cerâmica estrutural
		AQUIDAUANA						Argila (Indústria cerâmica)	Rocha p/ cantaria (Construção civil)
ITARARÉ						Argila (Indústria cerâmica)			
CARBONIFERO									

Ramos & Formoso, 1975



**FIGURA 2.** Coluna estratigráfica regional, mostrando os principais argilominerais, recursos minerais dominantes e seus respectivos usos e incluindo a localização do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes. Adaptado de Motta (1991).

## METODOLOGIA

A Figura 3 representa a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho.

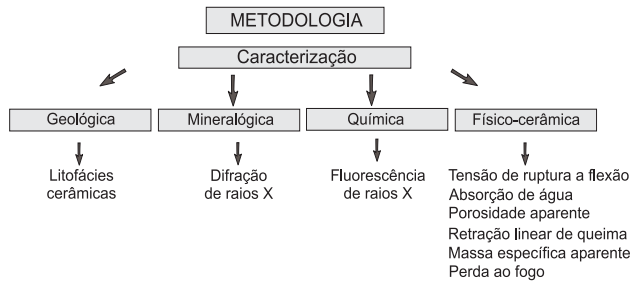


FIGURA 3. Metodologia utilizada.

Para a caracterização geológica utilizou-se a sistemática estratigráfica adotada no estudo das seqüências sedimentares, ou seja, reconhecimento de fácies e reconhecimento de assembléias de fácies, como proposto por Miall (1984) e modificado por Campanha (1994).

Para a identificação das fases mineralógicas existentes, o método utilizado foi a difratometria de raios X. As amostras foram analisadas na sua cons-

tituição total (sem separação granulométrica). O aparelho para a análise mineralógica foi o Difratorômetro Siemens D5000 (velocidade de goniômetro de 3° (2θ)/min e radiação CoK). A análise química restringiu-se à identificação e determinação quantitativa dos elementos maiores por fluorescência de raios X, utilizando-se o aparelho Philips PW 2510.

A última etapa foi a caracterização cerâmica. Após moagem e peneiramento, as amostras foram prensadas e submetidas a queima na temperatura de 1.120°C em forno de laboratório, tipo gradiente. Para a determinação das propriedades tecnológicas foram feitos os ensaios de TRF (tensão de ruptura à flexão), Abs (absorção de água), RLQ (retração linear de queima), entre outros. Estes ensaios seguiram a norma NBR 13818 – Especificações e métodos de ensaios para Revestimentos Cerâmicos (ABNT, 1997).

Os experimentos foram efetuados no LabGeo – Laboratório de Geoquímica e LabCer – Laboratório de Ensaio Cerâmicos, ambos do Departamento de Petrologia e Metalogenia, seguindo as metodologias usuais (Thiry, 1974; Brow & Brindley, 1980; outros).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados mostrados a seguir dizem respeito a 101 amostras coletadas nos trabalhos de campo, nas 25 jazidas distribuídas pela área de estudo (Figura 1).

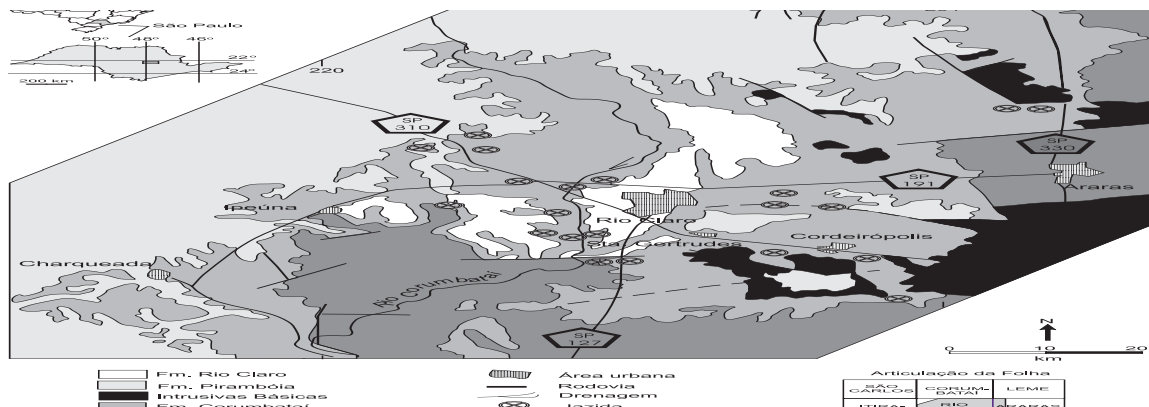
### CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

De acordo com critérios de reconhecimento de fácies, as argilas da Formação Corumbataí na área de estudo, podem ser classificadas em cinco litofácies cerâmicas: maciça, laminada, intercalada I, intercalada

II e alterada (Tabela 1). Estas podem ser divididas em diferentes subgrupos dentro destes grupos principais. O reconhecimento faciológico foi feito através de estudos detalhados de frentes de lavra na forma de seções colunares das jazidas.

As litofácies reconhecidas, por apresentarem características geológicas similares, podem ser divididas em duas grandes associações (Associação Siltito Argilosa e Associação Siltito Intercalada).

TABELA 1. Principais litofácies cerâmicas.



A associação Siltito Argilosa é representada pelas litofácies maciça, laminada e alterada, sendo a mais representativa e localizada na base da Formação Corumbataí. Esta unidade possui como estruturas sedimentares principais a laminação incipiente e maciça, coloração arroxeadada/acinzentada e granulometria argilosa.

Já o grupo Siltito Intercalado é representada pelas litofácies intercalada I e II e localiza-se no topo da formação. Estas litofácies são constituídas por intercalações rítmicas de siltitos arroxeados argilosos, ora intercalados com siltitos arenosos, ora com arenitos finos.

Na área sugere-se um ambiente deposicional marinho plataformar, o qual apresenta um empilhamento granocrescente ascendente, com aumento da quantidade de areia para o topo. Este processo inicia-se pela sedimentação mais profunda, dominada por processos de maré de baixa energia ou decantação (litofácies maciça), passando para domínios de maré de baixa energia em um nível mais raso com laminações incipientes (litofácies laminada), e termina nas porções mais rasas, onde ocorre o domínio das fácies mais arenosas (litofácies intercalada I e II), geradas por processos de maré de alta energia e, às vezes, ondas.

Alguns contaminantes minerais que ocorrem,

distribuídos nestas litofácies, podem acarretar sérios problemas durante o processamento cerâmico.

O termo “contaminante mineral”, definido por Christofolletti (1999), designa substâncias ou compostos minerais presentes na formação geológica em estudo, mas que não fazem parte da sua composição geral ou mais comum. São em geral níveis estratigráficos diferenciados ou preenchimentos de veios e fraturas com composições específicas, que podem influir ou não na qualidade do produto cerâmico quando presentes em grandes quantidades. Seis possíveis contaminantes minerais foram identificados e denominados: veios silico-carbonáticos “VSC”, veios carbonáticos “VC”, *bone bed* “BB”, *bone bed* “BB1”, arenito silicificado “AS” e argilito escuro “AE”.

### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E MINERALÓGICAS

Através da análise química por fluorescência de raios X, foram quantificados os óxidos maiores. Dentre estes, foram selecionados os elementos considerados fundentes ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) e ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ ), e os elementos considerados refratários ( $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), além do óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e da sílica ( $\text{SiO}_2$ ). A mineralogia foi obtida por difração de raios X através da análise qualitativa dos minerais e argilominerais

TABELA 2. Elementos maiores das amostras de rocha da Formação Corumbataí.

	Óxidos maiores (% em peso)				
	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}+\text{MgO}$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
<b>Litofácies cerâmica maciça</b>					
Média	3,9	2,6	67,7	14,1	5,8
DesvPad	1,3	1,6	2,5	1,8	1,6
MA-Valor	5,7	3,7	71,0	17,7	9,4
ME-Valor	2,0	0,8	64,0	11,3	3,1
<b>Litofácies cerâmica laminada</b>					
Média	4,2	3,0	67,0	14,7	5,3
DesvPad	1,3	1,5	2,4	1,6	0,7
MA-Valor	6,2	7,9	73,5	18,9	7,2
ME-Valor	2,1	1,2	58,3	10,2	4,0
<b>Litofácies cerâmica intercalada I</b>					
Média	3,5	2,9	67,4	15,0	4,6
DesvPad	1,5	3,6	3,5	2,5	1,2
MA-Valor	6,2	14,7	71,0	18,7	6,3
ME-Valor	1,3	1,1	56,0	10,2	2,4
<b>Litofácies cerâmica intercalada II</b>					
Média	4,3	5,4	64,4	14,0	5,0
DesvPad	1,4	3,8	3,10	3,4	1,3
MA-Valor	6,4	14,7	71,2	18,7	7,2
ME-Valor	1,2	2,0	56,0	10,2	2,9
<b>Litofácies cerâmica alterada</b>					
Média	2,9	1,8	64,8	17	6,0
DesvPad	1,2	0,5	4,0	2,7	1,4
MA-Valor	5,1	3,0	69,0	23	8,0
ME-Valor	1,3	1,1	56,4	14,6	3,8

DesvPad = Desvio padrão, MA-Valor = Valor máximo e ME-Valor = Valor mínimo

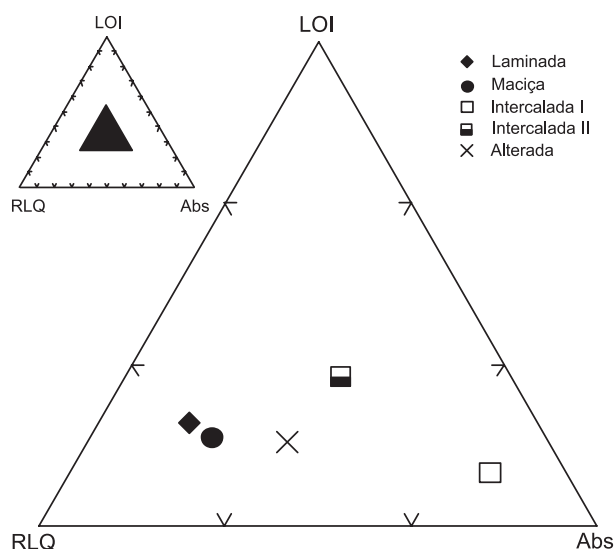


utilizando o software EVA 2.0. As Tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, as características químicas

e mineralógicas detectadas, e a Figura 4 ilustra as diferenças químicas destas litofácies.

**TABELA 3.** Mineralogia das rochas da Formação Corumbataí.

Litofácies Cerâmicas	Argilominerais e minerais
Maciça	illita, caulinita, quartzo, hematita e calcita
Laminada	illita, caulinita, montmorillonita e quartzo
Intercalada I	illita, caulinita, montmorillonita, quartzo, albita, hematita, calcita e dolomita
Intercalada II	illita, caulinita, montmorillonita, quartzo, albita, hematita, calcita e dolomita
Alterada	illita, caulinita, quartzo, hematita, albita e calcita



**FIGURA 4.** Diagrama ternário  $SiO_2$ - $Al_2O_3$ - $Na_2O+K_2O+CaO+MgO$  para as litofácies cerâmicas (médias das amostras ensaiadas).

O argilomineral predominante é a illita seguida da caulinita, que são encontrados em todas as litofácies. Um outro argilomineral que ocorre com frequência é a montmorillonita, presente nas litofácies laminada, intercalada I e intercalada II. Dentre os demais minerais encontrados, o quartzo é o mais representativo, sendo seguido pela albita, calcita, hematita e dolomita. Os minerais calcita, dolomita e albita predominam nas litofácies intercalada I e II.

As médias dos valores encontrados nas litofácies são mostrados na Tabela 2: para os óxidos alcalinos ( $Na_2O+K_2O$ ) variam de 2,9% com desvio padrão de 1,3 para a litofácies alterada, até 4,3% com desvio padrão de 1,4 para as litofácies laminada e intercalada II. Já a soma ( $CaO+MgO$ ) na litofácies intercalada II atinge valor médio de 5,4%, com desvio padrão de 3,8. Nas amostras coletadas existem algumas com altas concentrações nesses elementos, ou seja, 14,7% de

$CaO+MgO$  na litofácies intercalada II e de 9,4% de  $Fe_2O_3$  como valor máximo da litofácies maciça.

O óxido de silício,  $SiO_2$ , apresentou valores que variaram de 64,7% (com desvio padrão de 4,0) até valores de 67,7%, com desvio padrão de 2,5. O  $Fe_2O_3$  exibe valores médios da ordem de 4,6% até 5,3% para a litofácies laminada. A litofácies intercalada II foi a que apresentou características mais fundentes e menor conteúdo de refratários, tendo valores médios de 10,6% para o  $Al_2O_3$  e de 64,8% para  $SiO_2$ .

Na Figura 4, as litofácies maciça, laminada e intercalada I apresentam quantidades semelhantes de fundentes ( $Na_2O+K_2O+CaO+MgO$ ), exceção feita às litofácies alterada e intercalada II. A litofácies alterada é empobrecida em fundentes ( $Na_2O+K_2O+CaO+MgO$ ) devido ao fator intempérico, e a litofácies intercalada II distingue-se das outras pelo fato de conter maiores quantidades de  $CaCO_3$ , representado pelo valor de perda ao fogo (LOI). Este fato é comprovado pelas características geológicas, químicas e mineralógicas desta litofácies.

### CARACTERÍSTICAS CERÂMICAS

Os resultados cerâmicos foram obtidos em laboratório seguindo a NBR 13818 (ABNT, 1997). A Tabela 4 apresenta as propriedades cerâmicas obtidas para as rochas da Formação Corumbataí e na Figura 5 são ilustradas as diferenças das propriedades cerâmicas entre estas amostras.

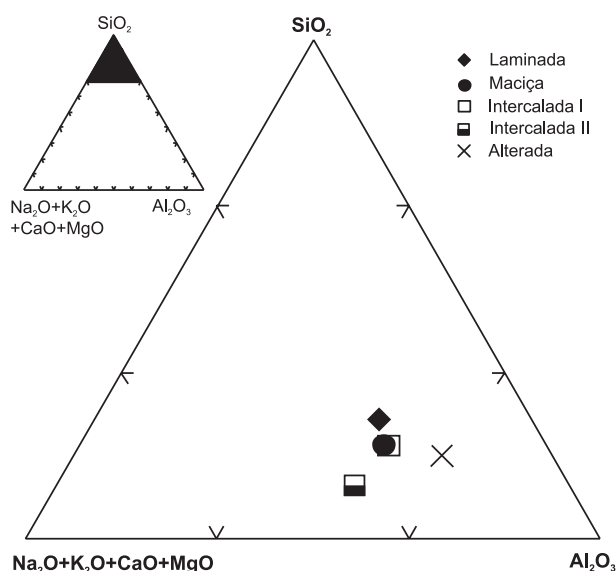
Os resultados possibilitaram enquadrar as litofácies cerâmicas dentro do Grupo BIIb da Classificação de Revestimentos Cerâmicos, sendo os valores entre 180-300 Kgf/cm<sup>2</sup> para a tensão de ruptura à flexão (TRF) e de 6-10% de absorção de água (Abs.). Alguns valores de Abs ficaram acima de 10% nas litofácies intercalada I, II e na alterada.

Os valores médios de TRF oscilaram entre 209 Kgf/cm<sup>2</sup> (desvio padrão de 73 para a intercalada I) e 265,2 Kgf/cm<sup>2</sup> (com desvio padrão de 86,2) para a litofácies laminada. Para valores de retração linear de queima (RLQ), os maiores resultados foram encon-

**TABELA 4.** Resultados Cerâmicos dos ensaios tecnológicos.

	TRF	Abs	PA	RLQ	MEA	LOI
<b>Litofácies cerâmica maciça</b>						
Média	261,0	7,8	14,6	8,1	2,1	5,4
DesvPad	59,1	6,2	9,6	1,8	0,3	2,5
MA-Valor	358,5	21,5	29,2	10,9	2,4	11,7
ME-Valor	193,3	1,2	0,3	5,7	1,4	2,9
<b>Litofácies cerâmica laminada</b>						
Média	265,2	6,5	11,6	7,2	2,1	4,9
DesvPad	86,2	4,9	8,3	2,6	0,2	2,5
MA-Valor	418	16	29,3	12,1	2,6	13,8
ME-Valor	155,2	0,5	1,0	0,8	1,8	2,6
<b>Litofácies cerâmica intercalada I</b>						
Média	209,0	12,0	21,5	5,5	1,9	5,3
DesvPad	72,7	6,6	10,1	2,5	0,2	2,0
MA-Valor	352,2	23,9	36,9	8,7	2,1	10,9
ME-Valor	151,9	1,9	4,2	0,4	1,6	2,7
<b>Litofácies cerâmica intercalada II</b>						
Média	258,9	10,0	18,8	7,0	1,9	7,0
DesvPad	103,8	7,4	11,7	2,6	0,3	4,4
MA-Valor	423,3	27,9	43,3	10,7	2,2	18,2
ME-Valor	133,2	0,2	0,4	1,5	1,1	2,0
<b>Litofácies cerâmica alterada</b>						
Média	233,5	9,7	19,6	8,1	2,0	6,0
DesvPad	74,9	5,3	8,9	2,6	0,2	1,0
MA-Valor	375,3	7,8	33	13,1	2,3	7,3
ME-Valor	115,6	4,4	13,1	4,7	1,8	4,8

MA = Valor (Valor máximo) e ME = Valor (Valor mínimo); TRF = tensão de ruptura à flexão, Abs = absorção de água, PA = porosidade aparente, RLQ = retração linear de queima, MEA = massa específica aparente, LOI = perda ao fogo.



**FIGURA 5.** Diagrama ternário das propriedades cerâmicas (LOI, AA e RLQ) das litofácies cerâmicas (médias das amostras ensaiadas).

trados nas litofácies maciça e alterada, com valores de até 8,1%. Os valores de porosidade aparente (PA) estão de acordo com os valores de Abs e TRF, refletindo o grau de sinterização ou de fundência das diferentes litofácies. Os valores da massa específica aparente (MEA) apresentaram uma pequena variação de 1,91g/cm<sup>3</sup> na litofácies intercalada II, até 2,08 g/cm<sup>3</sup> na litofácies laminada. Já a perda ao fogo (LOI) reflete a quantidade de argilominerais, que são maiores nas litofácies alterada e maciça, e principalmente os teores de carbonatos que são maiores nas litofácies intercaladas, em especial na intercalada II.

Nos ensaios cerâmicos, como mostrado na Figura 5, o fator granulométrico foi dominante no comportamento cerâmico das litofácies, separando as de granulometria mais argilosa (litofácies maciça e laminada) das outras três. Outro critério desta separação foi o teor de carbonatos (calcita e dolomita), demonstrado pela litofácies intercalada II, com valor de 5,4% de (CaO+MgO). A litofácies intercalada I situou-se no gráfico na região com alta concentração de Abs



(absorção de água), decorrente do fato desta possuir porcentagens mais elevadas de SiO<sub>2</sub> em relação às

demais, como comprovado pela difração de raios X e suportado pela análise química.

## CONCLUSÕES

Através de estudos geológicos detalhados nas jazidas, as argilas da Formação Corumbataí podem ser classificadas em cinco litofácies cerâmicas (maciça, laminada, intercalada I, intercalada II e alterada). De acordo com as características tecnológicas, todas elas podem ser aproveitáveis como matéria-prima para a indústria de revestimento cerâmico, uma vez que os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos cerâmicos possibilitaram enquadrar as referidas matérias-primas dentro do Grupo BIIb da Classificação de Revestimentos Cerâmicos. O argilomineral dominante é a illita, sendo este o principal agente responsável pela sinterização da peça durante a queima; outros minerais, tais como feldspatos do tipo albita e a hematita também auxiliam. As argilas da Formação Corumbataí podem ser consideradas argilas com teores médios de fundentes, atingindo valores que variam de 3,9% a 4,31% para a soma (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) e valores

de 2,6% a 5,41% para (CaO+MgO) nas litofácies cerâmicas.

As relações argila/areia e fundência/refratividade encontradas nas litofácies são muito importantes, ou seja, as litofácies que apresentam laminações incipientes de areia ou até mesmo intercalações de camadas de arenito de granulometria muito fina, têm maior empacotamento e facilidade de sinterização durante a queima no processo cerâmico. Isto pode ser constatado nos resultados cerâmicos obtidos nas litofácies laminada e intercalada II.

Pesquisas geológicas devem ser feitas nas jazidas a fim de encontrar a composição adequada ao processo cerâmico, evitando perdas decorrentes das variações na composição e controlando os principais contaminantes minerais presentes em determinada litofácies cerâmica ou posição estratigráfica, para aproveitar a jazida de forma racional.

## AGRADECIMENTOS

Este artigo é parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, que agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (Processo 99/00364-3) e aos Drs. Fabiano Tomazini da Conceição, Marcos Roberto Masson e Marcos Henrique de Oliveira e Souza, pelos auxílios na revisão e redação deste manuscrito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimentos – Especificação e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997, 78 p.
2. BROW, G. & BRINDLEY, G.W. X-Ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: BRINDLEY, G.W., BROWN, G. (Editors), **Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification**. London, Mineralogical Society, Monograph, n. 51.980, p. 305-360, 1980.
3. CAMPANHA, V.A. **A arquitetura deposicional da bacia sedimentar de Taubaté, SP, como subsídio à delimitação das zonas de produção mineral**. Rio Claro, 1994. 144 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
4. CHRISTOFOLETTI, S.R. **Estudo mineralógico, químico e textural das rochas sedimentares da Formação Corumbataí “Jazida Cruzeiro”, e suas implicações nos produtos e processos cerâmicos**. Rio Claro, 1999. 120 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
5. LANDIM, P.M.B. **O Grupo Passa Dois na Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Boletim, n. 252, 1967, 103 p.
6. MASSON, M.R. **Caracterização de jazidas visando à garantia de qualidade de matérias-primas para indústria cerâmica de revestimentos**. Rio Claro, 2002. 267 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
7. MELO E SOUZA, S.H. **Fácies sedimentares das formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1985, 142 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
8. MIALL, A.D. **Principles of sedimentary basin analysis**. Springer-Verlag, 1ª ed., 1984, 490 p.
9. MOTTA, J.F.M. **Avaliação do potencial geológico para argilas plásticas para cerâmica branca no Estado de São Paulo**. Rio Claro, 1991. 177 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
10. PETRI, S. & FÚLFARO, J.V. **Geologia do Brasil**. São Paulo, T.A. Queiroz/EDUSP, 1983, 623 p.
11. RAMOS, N.A. & FORMOSO, M.L.L. **Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná**. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES/DINEP, Série Científica-Técnica-Petróleo, Publicação, 1975, n. 9, 12 p.
12. SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A. Revisão estratigráfica da

- Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65.
13. SOUZA, M.H.O. **Caracterização das rochas sedimentares da Formação Irati e seus produtos intempéricos para utilização como aditivo no Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes**. Rio Claro, 1999. 121 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
14. THIRY, M. **Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse aux rayons X**. Strasbourg (França), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Centre de Sedimentologie et Géochimie de la Surface, 1974, 25 p.
15. THOMAZELLA, H.R. **A influência do sazonalidade na mudança das características mineralógicas, físico-químicas e tecnológicas das argilas para cerâmica vermelha na região de Rio Claro**. Rio Claro, 1999. 98 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
16. UNIVERSIDADE LOUIS PASTEUR. **Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des rayons-X**. Strasbourg, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 1978, 34 p.