

UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO TRATAMENTO DE DADOS APLICADOS A MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS

Sergio Ricardo CHRISTOFOLETTI
Helber Roberto THOMAZELLA
Maria Margarida Torres MORENO
Marcos Roberto MASSON

RESUMO

O trabalho mostra a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas (análise hierárquica de agrupamentos e análise de componentes principais), a partir da análise de sete variáveis cerâmicas (perda ao fogo, retração linear de queima, retração linear total, tensão de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente) em amostras de três minas de argila da unidade geológica Formação Corumbataí, fonte de matéria-prima para as indústrias cerâmicas do Pólo de Santa Gertrudes/Cordeirópolis/Rio Claro. Com a aplicação da análise estatística multivariada de agrupamento, as amostras foram subdivididas em três grupos, apresentando características geológicas similares, sendo a variável densidade aparente (DA) a maior responsável pela variabilidade do conjunto (0,832 %), seguida pela perda ao fogo (0,776 %). Observou-se que existe uma estreita relação entre os grupos encontrados e as características geológicas identificadas nos trabalhos de campo.

Palavras-chave: Formação Corumbataí; matérias-primas cerâmicas; análise estatística multivariada.

ABSTRACT

This paper shows an application of multivariate statistical techniques (hierarchical cluster analysis and principal component analysis) to seven ceramic variables (loss on ignition, firing linear shrinkage, total linear shrinkage, flexion rupture module, absorption of water, apparent porosity and apparent density) in samples belonging to three mines which provide raw materials for ceramic industries of the Santa Gertrudes/Cordeirópolis/Rio Claro Province. With the application of cluster analysis, the samples were divided into three groups, which have similar geological characteristics. The apparent density (DA) was the main cause of the variability (0,832 %). The loss on ignition LOI accounted for 0,776 % of total variance. It was observed that a narrow relationship exists among identified groups and the geological characteristics based on field works.

Keywords: Corumbataí Formation; ceramic raw materials, multivariate statistical analysis.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento econômico das rochas da Formação Corumbataí pela indústria cerâmica de revestimento segue, normalmente, os parâmetros da norma técnica NBR 13818, estabelecida pela ABNT (1997), que caracteriza o produto final. Os princi-

pais índices físicos para caracterização tecnológica são: absorção de água, porosidade aparente, retração linear de queima, massa específica aparente, tensão de ruptura à flexão e densidade aparente. Destes parâmetros físicos, a absorção de água e a tensão de ruptura à flexão são os que classificam o produto final em termos de qualidade (Tabela 1).

TABELA 1 - Classificação dos grupos cerâmicos de revestimentos segundo ABNT (1997), aplicadas a peças de dimensão 2x7cm.

Absorção de água	Grupo de ABS	Módulo de ruptura	Denominação atual
0-0,5 %	BIa	350 -500 Kgf/cm ²	porcelana
0,5-3%	BIb	300 -450 Kgf/cm ²	grés
3-6%	BIIa	320 -350 Kgf/cm ²	baixa ABS
6-10%	BIIf	180 -300 Kgf/cm ²	semi -poroso
10-20%	BIII	150 -200 Kgf/cm ²	poroso

As empresas ligadas ao setor cerâmico raramente utilizam como ferramenta, no tratamento dos dados de caracterização cerâmica, a análise estatística univariada para cálculos da média, do desvio padrão e na preparação de histogramas etc. Esta tem como objetivo analisar uma única variável em espécie de uma mesma amostra. Porém, se os valores de diversas variáveis forem obtidos em cada um dos espécimes dessa mesma amostra, as técnicas para a análise destes dados são fornecidas pela análise estatística multivariada.

A análise estatística multivariada é a área da estatística que se preocupa com as relações entre as variáveis e como tal apresenta duas características principais: os valores das diferentes variáveis devem ser obtidos sobre os mesmos indivíduos e estas devem ser independentes e consideradas simultaneamente (KENDALL 1969).

A análise de componentes principais e a análise de agrupamento hierárquico são técnicas de análise multivariada com fundamentos teóricos bem diferentes, podendo ser aplicadas independentemente. Estas técnicas podem até ser complementares na informação sobre o conjunto de dados, dependendo do sistema analisado. Ambas fornecem a visão mais global possível das amostras dentro do conjunto de dados, conforme as variáveis usadas (CAZAR 2003).

O presente trabalho visa aplicar técnicas multivariadas (análise de componentes principais e a análise de agrupamentos hierárquicos) nos dados de caracterização cerâmica em três minas de argila, fornecedoras de matéria-prima para a indústria de revestimentos. A aplicação destas técnicas permitiu selecionar os parâmetros de controle das matérias-primas, facilitando o mapeamento e planejamento da lavra.

2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

As minas estudadas localizam-se na porção centro-sudeste do estado de São Paulo, circundando os municípios de Rio Claro e Araras na região adminis-

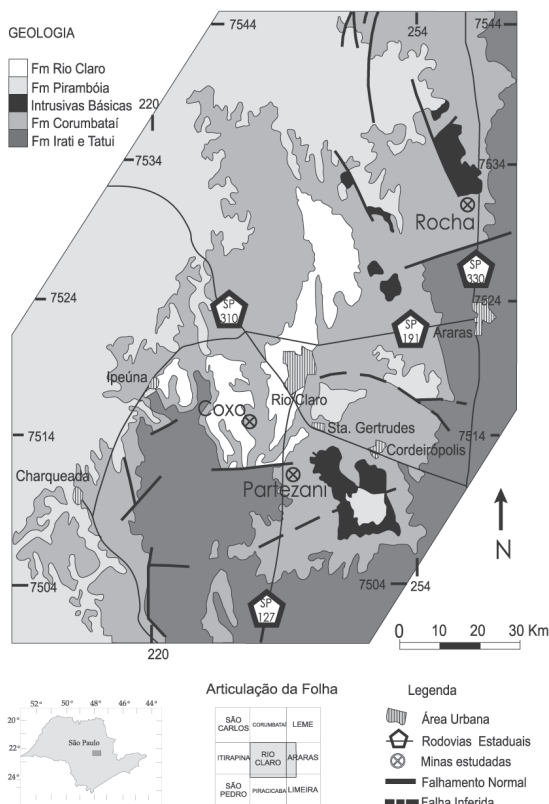
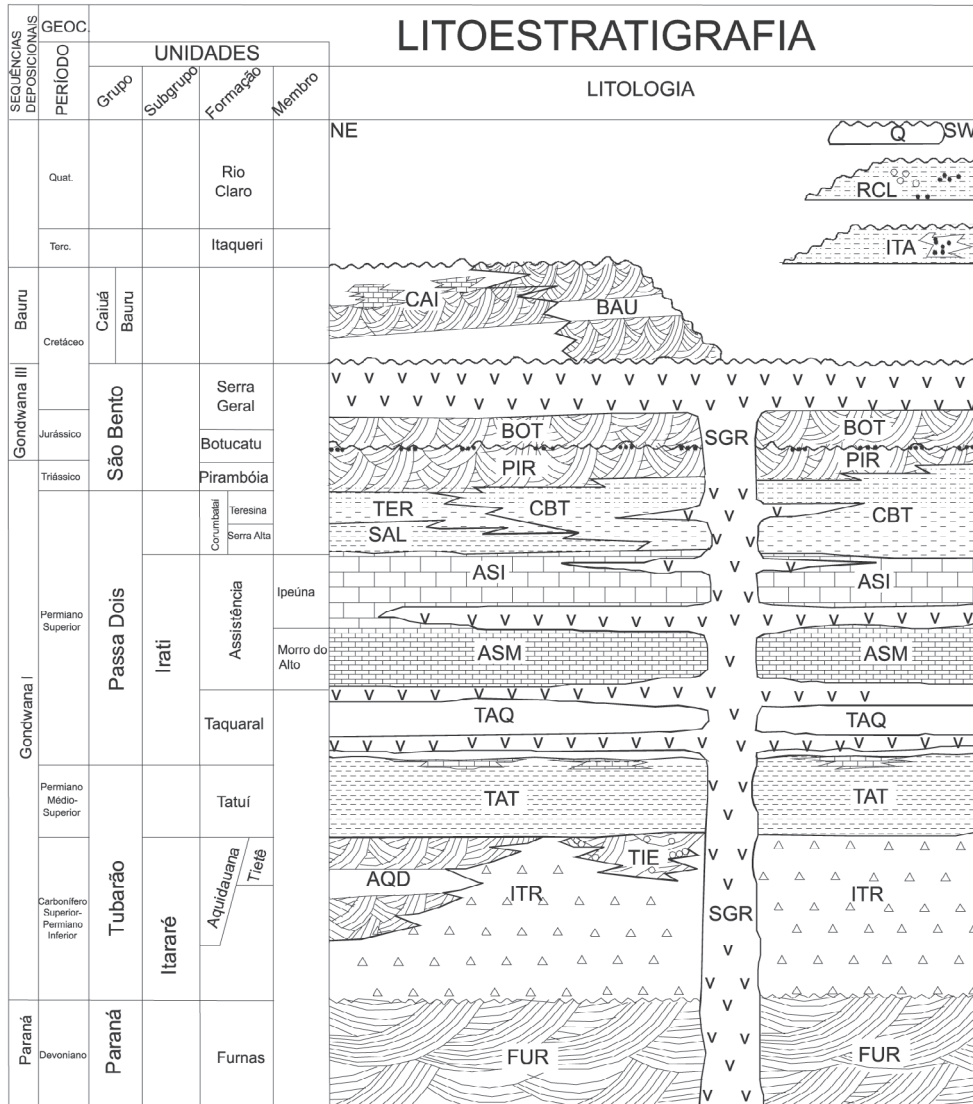


FIGURA 1 - Mapa geológico da área de estudo

trativa de Campinas, nas folhas topográficas de Rio Claro (SF-23-M-I-4) e Araras (SF-23-M-II-3). A região possui um sistema viário privilegiado, no qual se destacam as rodovias Washington Luís (SP-310), dos Bandeirantes (SP-348) e Fausto Santomauro (SP-191), além da estrada de ferro da Fepasa S.A. (Figura 1).

O termo Corumbataí foi mencionado pela primeira vez no Relatório da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo (1916), para designar xistos argilosos e xistos betuminososossilíferos. PACHECO (1927) descreveu as exposições que ocorrem ao longo do vale do Rio Corumbataí, no município de Piracicaba, como área tipo. LANDIM (1970) atribuiu às rochas sedimentares, essencial-



LEGENDA

	Basalto/diabásio		Siltito/folhelho		Arenito maciço
	Arenito com estratificações cruzadas		Calcários e folhelhos rítmicos		Diamictito
	Conglomerado		Calcário calcífero		
	Siltito laminado		Folhelho		

FIGURA 2 - Bacia do Paraná e suas unidades litoestratigráficas no estado de São Paulo (MONTANHEIRO, 1999).

mente argilosas, de cores arroxeada ou avermelhada, intercaladas com lentes de arenito muito fino, que afloram na mesma localidade, a denominação de

Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí, de idade neopermiana, pertence ao Grupo Passa Dois e está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, que corresponde a

uma extensa depressão deposicional situada no sudeste da Placa Sul Americana, abrangendo uma área de 1.600.000 km². Sua maior parte, aproximadamente 1.000.000 km², encontra-se em território brasileiro (MILANI 1997) (Figura 2).

Esta unidade é constituída principalmente por siltitos (maciços, laminados, ou intercalados), argilitos, folhelhos e arenitos finos a médios, de cores variadas, intercalados com siltitos arenosos ou

argilosos (CHRISTOFOLETTI 2003). Sua distribuição no estado de São Paulo apresenta-se na direção sudoeste-nordeste, podendo chegar a espessuras da ordem de 130m, adelgaçando para norte até se anular, próximo ao limite com Minas Gerais, não ultrapassando 60 metros nas proximidades da cidade de Leme (LANDIM 1970). Seu contato subjacente faz-se concordantemente com a Formação Irati, mas o contato de topo com a Formação Pirambóia se faz por discordância erosiva (SOARES *et al.* 1973)

A partir da década de 90, a unidade litoestratigráfica Formação Corumbataí, na região da cidade de Rio Claro, vem sendo utilizada com muito sucesso como fonte de matéria-prima para fabricação de revestimentos cerâmicos. Concomitantemente ao crescimento deste referido pólo cerâmico, a Universidade Estadual Paulista estabeleceu no ano de 1996 uma nova linha de pesquisa denominada *Qualidade em cerâmica vermelha*, que visou contribuir com pesquisas geológicas sobre esta unidade. Diversos trabalhos, teses e projetos foram desenvolvidos, alguns utilizando técnicas estatísticas multivariadas (MASSON *et al.* 2000, THOMAZELLA *et al.* 2000, MONTEIRO *et al.* 2000, BERNARDES *et al.* 2000).

No âmbito estratigráfico, MELLO E SOUZA (1985) estudou as fácies da Formação Corumbataí e Estrada Nova (Grupo Passa Dois) aflorante no estado de São Paulo. Além disto, a autora realizou a reconstrução paleoambiental e reconheceu a compartimentação da Bacia do Paraná durante o Permiano Superior.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos iniciaram-se com o mapeamento geológico, visando identificar as principais litofácies cerâmicas da Formação Corumbataí na região, utilizando critérios básicos de reconhecimento de fácies segundo a estratigrafia moderna (MIALL 1994). Nas três minas estudadas, a amostragem das litofácies foi realizada por canaletas. As amostras foram encaminhadas para o LabCer (Laboratório de Cerâmica da Unesp-Rio Claro), para identificação das suas características cerâmicas, mineralógicas e químicas.

Os principais parâmetros identificados na caracterização cerâmica foram: absorção de água, porosidade aparente, módulo de resistência à flexão e retração linear de queima. Estes ensaios foram realizados conforme as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas, nº13818 - especificações e métodos de ensaios para revestimento cerâmico).

Para a identificação das fases mineralógicas existentes, o método utilizado foi a difratometria de

raios - X, pelo difratômetro Siemens D5000 (velocidade de goniômetro de 3° (2 θ)/min e radiação CoK). Os difratogramas obtidos foram interpretados pelo *software* EVA 2.0.

A composição química dos elementos maiores principais (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MnO, CaO, MgO, Na₂O, K₂O e P₂O₅) foi determinada pelo método da fluorescência de raios X com o aparelho da marca Philips PW 2510.

3.1 Método experimental

A tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios cerâmicos em treze amostras oriundas das minas Coxo, Partezani e Rocha. As variáveis cerâmicas analisadas foram: perda ao fogo-PF (%); retração linear de queima-RLQ (%); retração linear total-RLT (%); tensão de ruptura à flexão-TRF (Kg/cm²); absorção de água-AA (%); porosidade aparente-PA (%) e densidade aparente-DA (%).

O tratamento estatístico dos dados foi realizado e fundamentado nas técnicas multivariadas: análise de agrupamentos e análise das componentes principais (PCA) utilizando o *software* Minitab 11.12 *for windows*.

O interesse da utilização destas técnicas é verificar como as amostras se relacionam, ou seja, o quanto estas são semelhantes segundo as variáveis utilizadas no trabalho.

A análise de agrupamento é utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre os indivíduos (modo Q), ou entre as variáveis (modo R), definindo-se grupos que consideram simultaneamente, no primeiro caso, todas as variáveis observadas em cada indivíduo e, no segundo, todos os indivíduos nos quais foram feitas as medidas.

A análise dos componentes principais (PCA) nada mais é que o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variância-covariância, ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis. Em síntese, a análise dos componentes principais tem por objetivo obter um pequeno número de combinações lineares (componentes principais) de um conjunto de variáveis, que retenham o máximo possível da informação nelas contida.

4 RESULTADOS

Os resultados retratados neste trabalho enfocam estudos geológicos, mineralógicos e cerâmicos, bem como suas relações entre si. Os resultados dos ensaios cerâmicos serviram de base para a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas.

TABELA 2 - Resultados dos ensaios cerâmicos (base de dados para a análise estatística multivariada).

Variáveis Cerâmicas							
Amostras	PF%	RLQ%	RLT%	MRF Kg/cm ²	AA%	PA%	DA%
1Pa	4.60	10.90	11.45	291.23	2.65	6.11	2.30
2Pa	4.80	9.56	9.99	263.82	4.76	10.57	1.73
3Pa	5.44	6.55	6.95	284.86	12.42	23.68	1.74
4Pa	5.66	6.85	7.24	265.70	11.19	22.16	1.70
5Pa	6.00	5.69	5.69	198.81	18.51	32.98	1.78
1Ro	5.74	8.94	9.07	314.81	5.74	12.34	2.20
2Ro	8.88	6.10	6.26	159.04	14.45	26.47	1.83
3Ro	10.04	2.39	2.55	105.86	22.66	36.84	1.64
4Ro	6.79	5.39	5.52	133.15	12.34	23.83	1.93
1Cx	4.56	5.71	6.24	194.34	11.26	21.88	1.72
2Cx	4.71	8.14	8.40	256.78	10.88	21.19	1.97
3Cx	3.18	4.56	4.70	159.80	13.37	24.96	1.74
4Cx	5.36	4.67	4.94	211.87	16.54	29.83	1.72

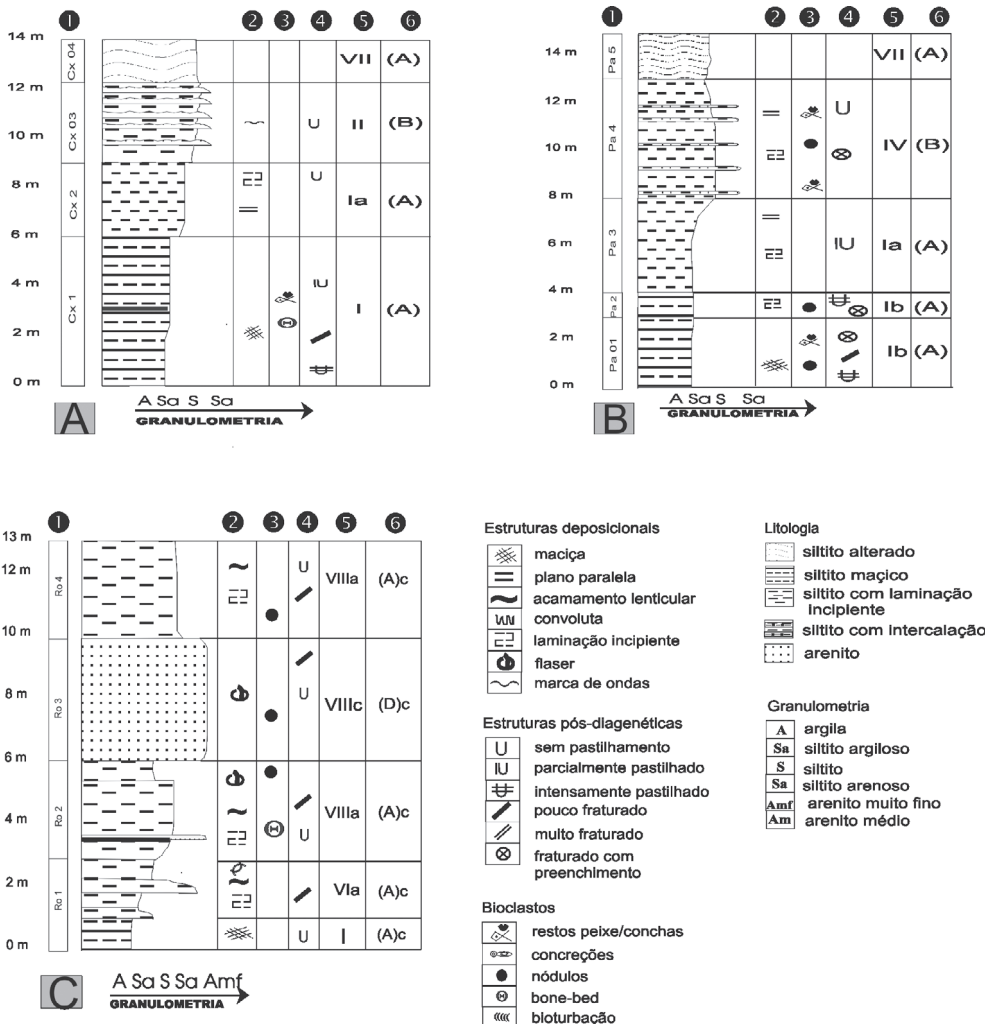


FIGURA 3 - Seções colunares das minas estudadas: A) mina Coxo, B) mina Partezani e C) mina Rocha. Nestas seções estão contidas: (1) amostras, (2) estruturas diagenéticas, (3) bioclastos, (4) estruturas pós deposicionais, (5) fácies e (6) associações de fácies.

4.1 Geologia

As características geológicas das minas estudadas estão representadas por seções colunares (Figura 3). Nestas seções estão descritas as litofácies, sua divisão em associações de fácies (A e B), litologia, granulometria, estruturas diagenéticas e pós-diagenéticas, bioclastos e espessura. A tabela 3 ilustra as características específicas das litofácies, como estruturas sedimentares e processos.

As seções colunares mostraram empilhamento granocrescente ascendente, com predomínio das litofácies mais argilosas na base (I, Ia e Ib), geradas por processos de decantação, apresentando estruturas sedimentares maciça e laminação incipiente. Em direção ao topo, as litofácies tornam-se mais arenosas (II, IV, VIIIa e VIIIc), caracterizadas por processos de tempestade média a distal, apresentando estruturas de acamamento ondulado "wave bedding" e *mHCS* (micro-hummock) (Figura 4).

4.2 Análises químicas, mineralógicas e propriedades cerâmicas

As argilas das minas estudadas, de acordo com suas propriedades químicas, podem ser con-

sideradas argilas fundentes. A fundência é medida principalmente pelos elementos alcalinos (Na_2O , K_2O , CaO e MgO), sendo estes responsáveis pela sinterização da peça quando submetida à queima. Outra propriedade de grande importância no comportamento cerâmico é a refratariedade determinada, principalmente, pelos elementos SiO_2 e Al_2O_3 . Quando estes elementos encontram-se em excesso, o processo de sinterização fica comprometido, prejudicando a resistência mecânica.

As amostras da mina Rocha apresentaram porcentagens elevadas dos elementos fundentes, sendo 7,84% para a soma de MgO e CaO e de 5,22% para a soma de Na_2O e K_2O . Os elevados valores de $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ advêm dos minerais illita e albita. Já os valores elevados de $\text{CaO}+\text{MgO}$ estão relacionados com a presença dos minerais calcita e dolomita, e o Al_2O_3 , ao mineral caulinita. Estes minerais e argilominerais foram identificados pela difração de raios X.

Apesar da elevada porcentagem dos elementos alcalinos (Na_2O , K_2O , MgO e CaO) nas amostras da mina Rocha, estas apresentaram resultados ruins nas propriedades tecnológicas, sendo o fator litológico o principal responsável. Nestas amostras predominam as litofácies intercaladas, compostas

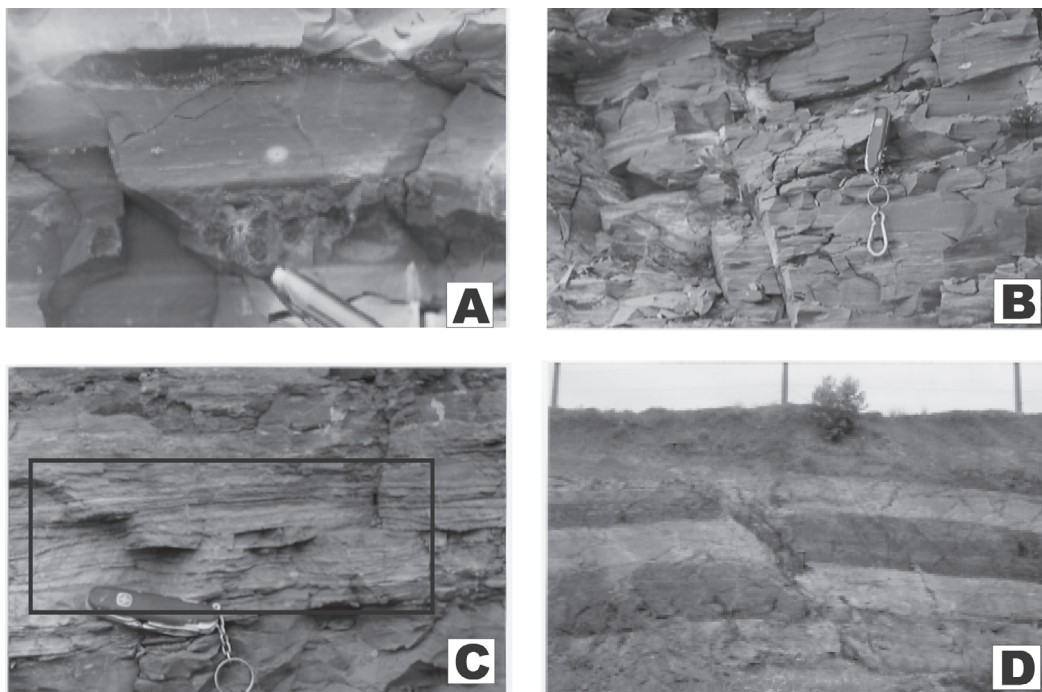


FIGURA 4 - (A) siltito arroxeadado maciço apresentando estrutura rosácea de manganês -Litofácies I, (B) siltito fino apresentando laminação incipiente - Litofácies Ia, (C) intercalação entre siltito argiloso e siltito arenoso apresentando *mHCS* (micro hummock), Litofácies - VIa e (D) intercalação entre siltito argiloso e siltito arenoso fálhados - VIa.

por arenito de granulação fina a média que, em excesso, prejudica o processo de sinterização, diminuindo a resistência mecânica.

As amostras das minas Partezani e Coxo apresentaram bons resultados cerâmicos, sendo que a maioria delas enquadra-se no Grupo BIIb na Classificação de Revestimentos (Tabela 1).

4.3 Análise de Agrupamentos

A figura 5 ilustra o dendrograma obtido de acordo com as sete variáveis cerâmicas. A interpretação do dendrograma permitiu dividir as amostras em três grupos: Grupo I (1Pa, 3Pa, 2Pa, 4Pa, 2Cx e 1Ro), Grupo II (5Pa, 4Cx, 1Cx) e Grupo III (2Ro, 3Cx, 4Ro e 3Ro). Os resultados cerâmicos (Tabela 2) mostram que, de modo geral, a tensão de ruptura à flexão foi responsável pela configuração do dendrograma.

4.4 Análise das componentes principais

A figura 6A apresenta o gráfico de extremos e quartis (*box plot*). A amplitude inter-quartis (quartis superior-quartis inferior) do MRF (módulo de ruptura à flexão) é muito maior que as demais

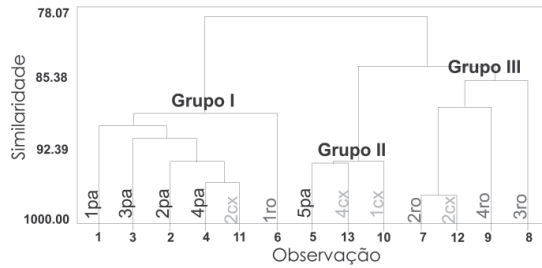


FIGURA 5 - Dendrograma obtido na análise de agrupamento.

variáveis, por isso foi necessário padronizar os dados existentes. Os resultados analíticos obtidos das componentes principais (Tabela 4) indicaram que a densidade aparente (DA) é a maior responsável pela variabilidade das amostras, representando 0,832 %, seguida pela perda ao fogo, 0,776 %. Estes resultados evidenciam a DA como controladora da variabilidade dos conjuntos de dados cerâmicos, de acordo com os trabalhos internacionais desenvolvidos pelo ITC (Instituto de Tecnologia Cerâmica) e como a tese de doutorado de MASSON (2002).

A Figura 6 B, C e D mostra os gráficos de dispersão referentes à análise do PCA, onde a relação

TABELA 3 - Descrição das litofácies encontradas nas minas estudadas. Obs: HCS corresponde a *hummock* e mHCS a *micro-hummock*.

LitofÁCie	Litologia	Granulometria	Cor	Estruturas	Processos
Ia	siltito	argiloso	arroxeadado	maciço	decantação/maré
Ia	siltito	argiloso	arroxeadado	laminação incipiente	decantação/maré
Ib	siltito	argiloso	arroxeadado	laminação incipiente/maciça	decantação/maré
II	intercalação centimétrica entre	siltito médio a arenoso	acinzentado/esbranquiçada	lenticular bedding e (mHCS) com estrato de topo ondulado	estrutura de tempestito médio a distal
		siltito médio	arroxeadado	laminação incipiente	
IV	intercalação centimétrica entre	siltito arenoso	avermelhado	laminação plano - paralela com estrato de topo plano	decantação/maré
		siltito médio	arroxeadado	laminação incipiente	
VIa	intercalação centimétrica entre	siltito fino	vermelho	maciça	Tempestito distal
		siltito arenoso	vermelho rosado	mHCS com estratos de topo plano	
VII	siltito com muita alteração	material argilo - arenoso fino	cores variadas	Obliteradas pela alteração	Alteração superficial
VIIIa	intercalação centimétrica entre	siltito arenoso	avermelhado	acamamento ondulado	Ondas de tempestade média a proximal
		arenito muito fino pouco carbonático	vermelho rosado, esbranquiçado	"wave bedding" e mHCS	
VIIIc	arenito carbonático	médio	esbranquiçado	HCS, herringbone (espinha de peixe) e marcas de ondas	Temp. prox/canal de maré

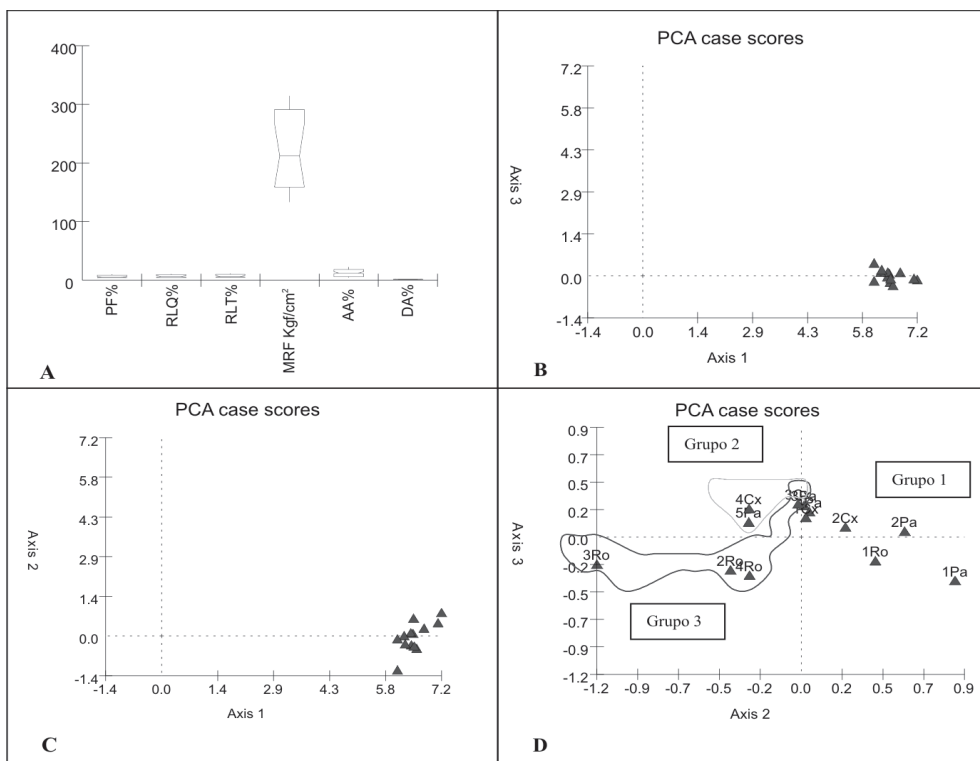


FIGURA 6 - (A) Gráfico da amplitude das variações dos dados não padronizados. (B, C, D) Gráficos da relação espacial 2D entre as amostras (B): Eixos 1 x 3 - (DA x PF), (C) Eixos 1 x 2 - (DA x AA) e (D) Eixos 2 x 3 - (AA x PF).

das amostras é dada pelo grau de similaridade determinada pelas matrizes de covariância envolvidas no cálculo dos autovetores. Estes são apresentados em duas dimensões, cruzando-se dois a dois, os eixos das variáveis com maior influência na variabilidade da base de dados. Nota-se na Figura 6 D maior clareza na relação espacial entre as amostras, pois nos gráficos (Figura 6 B e C) os planos de majoração não permitiram essa visualização. É importante salientar que os grupos obtidos no gráfico foram os mesmos encontrados no dendrograma apresentado anteriormente, havendo ainda um ponto em comum que liga todos os grupos, indicando uma raiz de consangüinidade geológica entre as amostras, o que também pode ser visto no dendrograma.

4.5 Análise estatística multivariada versus fácies e associações de fácies

Os resultados obtidos com a análise de agrupamento (Figura 5) permitiram identificar três grupos:

Grupo I: predomínio das litofácies I e Ia, que correspondem a siltitos argilosos com estrutura maciça ou laminada, de coloração arroxeada, gerado por processo de decantação ou maré de baixa energia (Tabela 5). As características tecnológicas semelhantes permitiram agrupar a litofácies IV (amostra 4Pa) no grupo I. Observou-se na amostra 4Pa características mineralógicas e químicas que a distinguem das demais amostras deste grupo, uma delas é a presença

TABELA 4 - Análise dos componentes principais com os dados padronizados.

<i>Dados padronizados sem a variável PA (Porosidade Aparente)</i>			
Variáveis do PCA			
PF	0,289	-0,498	-0,776
RLQ	0,242	0,394	-0,192
RLT	0,244	0,396	-0,196
MRF	0,278	0,338	0,176
AA	0,170	-0,568	0,492
DA	0,832	-0,055	0,223

TABELA 5 - Características das fácies, associações de fácies, mineralogia e análise química dos grupos I, II e III. (A) associação siltito argiloso e (B) associação siltito arenoso. Obs. (c) indica caráter carbonático; qz=quartzo, il=illita, alb=albita, cal=calcita, caul=caulinita, dol=dolomita e hm=hematita.

amostras	fácies	Associação de fácies	mineralogia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO+CaO	K ₂ O+Na ₂ O
Grupo I								
1Pa	I	A	qz, il, alb, cal	67.88	14.60	5.34	2.76	4.25
3Pa	Ia	A	qz, il, cal, hm	69.09	15.36	5.53	1.68	3.05
2Pa	Ia	A	qz, alb, ill	69.20	14.01	5.37	2.41	4.87
4Pa	IV	B	qz, il, caul, hm	66.20	17.14	6.39	1.35	2.60
2Cx	Ia	A	qz, il, alb, cal	66.85	15.47	5.70	2.50	4.34
1Ro	I	A ^(c)	qz, il, alb, cal, hm	63.26	13.54	4.86	5.70	6.22
Grupo II								
5Pa	VII	A	qz, il, caul, hm	67.60	16.55	6.26	1.05	2.20
4Cx	VII	A	qz, il, caul, hm	68.83	16.08	4.77	1.59	2.71
1Cx	I	A	qz, alb, ill, hm	70.58	13.86	5.06	2.24	3.17
Grupo III								
2Ro	VIa	A ^(c)	qz, alb, il, cal	59.99	11.70	3.49	9.45	5.41
3Cx	II	B	qz, alb, il, cal	71.75	13.66	3.98	2.71	5.05
4Ro	VIIIa	A ^(c)	qz, alb, il, dol	65.80	11.32	5.02	6.24	4.58
3Ro	VIIIa	A ^(c)	qz, alb, cal, hm	61.68	10.54	2.88	10.0	4.69

do argilomineral caulinita, comprovada pela elevada quantidade de Al₂O₃ (17,14%) e a outra é a inexistência do mineral feldspato do tipo albita, pelos baixos valores de Na₂O+K₂O (2,60%). Estes elementos maiores foram quantificados pela análise química por fluorescência de raios X.

Grupo II: predomínio da litofácies VII e da associação de fácies argilosa (A), representada por um siltito alterado de granulometria argilosa sem estruturas evidentes (Tabela 5). Entretanto, no Grupo II ocorre a presença da litofácies I (amostra 1Cx), representada por um siltito maciço, com valores baixos de Al₂O₃ dado pela inexistência do argilomineral caulinita; porém, nesta amostra, ocorre o mineral feldspato do tipo albita, refletindo assim maiores valores de fundentes (3,17% para Na₂O+K₂O e 2,24% de MgO+CaO).

Grupo III: observou-se uma relação evidente das fácies com a sua respectiva associação de fácies, predominando as litofácies intercaladas: VIa (intercalação entre siltito argiloso e arenoso) e VIIIa (intercalação entre siltito arenoso com arenito de granulometria muito fina), gerando uma associação de fácies siltito argiloso com caráter carbonático (Tabela 5). A amostra 3Cx apresentou propriedades cerâmicas similares por conter quantidades próximas de Na₂O+K₂O. Apesar desta amostra apresentar pouco carbonato, ela tem maior quantidade do argilomineral illita, o que possibilitou situar-se no mesmo grupo.

5 CONCLUSÕES

Análises multivariadas de agrupamento e de componentes principais mostraram-se muito úteis e eficazes como ferramentas no tratamento preliminar de matrizes numéricas de dados cerâmicos. Com a sua aplicação nas variáveis cerâmicas, foi possível encontrar uma relação dos agrupamentos obtidos com as litofácies geológicas identificadas nos trabalhos de campo. De acordo com o dendrograma obtido, três grupos principais foram encontrados, sendo que as amostras de cada um destes grupos apresentaram características similares de fácies e associações de fácies.

Apesar de serem provenientes de minas diferentes, as amostras estudadas apresentam uma relação de consangüinidade. Como ficou demonstrado, em função de seu parentesco genético, seria de se esperar uma relação estatística.

O Grupo I, reunindo amostras das três minas estudadas com fácies e associação de fácies bem semelhantes, apresentou os melhores resultados. Em termos de resultados cerâmicos dos agrupamentos encontrados, os Grupo I e II apresentam os melhores resultados, com suas amostras classificadas no Grupo BIIb e BIIa. Já as amostras do Grupo III, apresentam resultados ruins, sendo classificadas no grupo BIII (Tabela 1).

Os resultados da análise dos componentes principais revelaram que a variável *densidade apa-*

rente é a responsável pela variabilidade do conjunto, representando 0,832 %, seguida pela perda ao fogo, 0,776 %.

A análise de agrupamento reuniu as amostras de acordo com as propriedades cerâmicas. O fato de aparecerem fácies e associações de fácies diferenciadas nos agrupamentos (exemplo, amostra 3Cx, Grupo I) demonstra que fácies e associações de fácies diferentes podem proporcionar propriedades cerâmicas semelhantes, desde que as relações entre os argilominerais e os teores de fundentes sejam equilibradas.

A partir da identificação geológica das fácies e associações de fácies das minas é possível prever o tipo de *grupo* em que a amostra poderá ser enquadrada, bem como suas características tecnológicas.

Os aspectos litológicos, granulométricos e a relação entre os elementos fundentes e refratários são os fatores determinantes na obtenção de um produto final de boa qualidade. Dentre estes, o litológico é o principal. Verificou-se que as fácies argilosas com presença de laminações ou intercalações de areia muito fina são as mais adequadas como fonte de matéria-prima.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem em especial à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), Processo 99/00364-3, e ao CNPq, Processo 140634/1999-1, pelo apoio logístico e financeiro. Ao Pesquisador Científico Tarcísio José Montanheiro do Instituto Geológico, pelas sugestões.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1997. Placas cerâmicas para revestimentos – especificações e métodos de ensaio, 78p.
- BERNARDES, E. S.; MASSON, M.R.; MONTEIRO, R.C.; THOMAZELLA, H.R.; MORENO, M.M.T. 2000. Compartimentação de uma jazida de matéria-prima cerâmica da região de Jundiá com vistas ao plano de lavra por meio de técnicas estatísticas multivariadas. *In: ABC, CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 44, São Pedro, Anais, 205-209.
- CAZAR, R. A. 2003. An exercise on chemometrics for a quantitative analysis course. *Journal of Chemical Education*, 80(9): 1026-1029.
- CHRISTOFOLETTI, S.R. 2003. Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 307p.
- KENDALL, M.G. 1969. Discrimination and classification: *In: Krishnaian (Ed.), Proc. Int. Symp. on Multivariate Analysis*, New York, Academic Press, 165-185.
- LANDIM, P.M.B. 1970. O Grupo Passa Dois na bacia do Rio Corumbataí (SP). Departamento Nacional de Produção Mineral, 103p. (Boletim 252).
- MASSON, M. R. 2002. Caracterização de jazidas visando à garantia de qualidade de matérias-primas para indústria cerâmica de revestimento. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 267p.
- MASSON, M.R.; THOMAZELLA, H.R.; CHRISTOFOLETTI, S.R.; ZANARDO, 2000. A análise estatística multivariada aplicada ao mapeamento e caracterização de jazidas de matérias-primas para revestimentos cerâmicos. *In: ABC, CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 44, São Pedro, Anais, 801-814.
- MELLO E SOUZA, S.H. 1985. Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, São Paulo, 142p.
- MIALL, A. D. 1994. Principles of sedimentary basin analysis. Springer-Verlag, New York, 490p.
- MILANI, E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, Porto Alegre, 255p.
- MONTANHEIRO, T. J. 1999. Prospecção e caracterização de pozolanas na Bacia do Paraná, Estado de São Paulo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 226p.

- MONTEIRO, R.C.; BERNARDES, E.S.; MASSON, M.R. 2000. Análise estatística multivariada para materiais cerâmicos. *Geociências*, 19(1): 133-140.
- PACHECO, J. A. 1927 Relatório elucidativo do esboço geológico da região compreendida entre o meridiano 4 Rio Itararé e os paralelos 23 34 e 24 38. *In: Exploração da região compreendida pelas folhas topográficas de Sorocaba, Itapetininga, Bury, Sete Barras, Capão Bonito, Ribeirão Branco e Itararé*. São Paulo: Comissão Geográfica e Geológica, 9-12.
- SOARES, P. C.; NELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, P.R.M. 1973. Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. *In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 27, Aracaju, Anais: 243-256.
- THOMAZELLA, H.R.; ZANARDO, A.; MASSON, M.R.; CHRISTOFOLETTI, S.R.; BERBET, B. C. 2000. Utilização da Formação Corumbataí em processo de fabricação cerâmica via úmida. *In: ABC, CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 44, São Pedro, Anais, 301-306.

Endereço dos autores:

Sergio Ricardo Christofoletti – Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Av. Miguel Stefano, 3900, CEP 04301-903, Água Funda, São Paulo, SP. E-mail: sergio@igeologico.sp.gov.br

Helber Roberto Thomazella e Maria Margarita Torres Moreno – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Petrologia e Metalogenia, UNESP, Rio Claro. Av. 24 A, 1515 CEP 13506-900, Bela Vista, Rio Claro, SP. E-mail: hrthomazella@rc.unesp.br; mmoreno@rc.unesp.br

Marcos Roberto Masson – Geocat-Geologia, Caracterização e Meio Ambiente Ltda. Rua 8, 3028, Santa Cruz, Rio Claro, SP. E-mail: masson@claretianas.com.br