

## **COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES QUÍMICAS, MINERALÓGICAS E TECNOLÓGICAS DAS ARGILAS ALUVIONARES DE ALGUNS MUNICÍPIOS DO SUDOESTE DE MINAS GERAIS**

Gaspar Junior, L. A.<sup>(1)</sup>, Varajão, A. F. D. C.<sup>(2)</sup>, Souza, M. H. O.<sup>(3)</sup>; Moreno, M. M. T.<sup>(4)</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciências da Natureza, Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro - Alfenas/MG. CEP: 37.130-000

<sup>2</sup>Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto-MG

<sup>3</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Geografia, Uberlândia-MG

<sup>4</sup>Universidade Estadual Paulista, Departamento de Petrologia e Metalogenia, Rio Claro-SP.

e-mail: [lineo.gaspar@unifal-mg.edu.br](mailto:lineo.gaspar@unifal-mg.edu.br)

### **RESUMO**

área de estudo, situa-se na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, abrangendo as cidades de Alfenas, Areado, Machado, Poço Fundo, Campestre, Serrania, Monte Belo, Bandeira do Sul, Botelhos e Cabo Verde. Essa região é dominada por rochas pré-cambrianas bem alteradas em associação com sedimentos colúvios-aluvionares. O presente trabalho consistiu numa comparação entre as propriedades mineralógicas (Difração de Raios X), texturais (Granulometria a Laser), químicas (Fluorescência por Raios X) e tecnológicas (Módulo de Ruptura à Flexão; Absorção de Água, etc. realizados em corpos de prova) das argilas coletadas nas olarias dessas cidades. Pelas análises mineralógicas e químicas constatou-se que as argilas da região são cauliniticas, com pequenos teores de interestratificados, e grande proporção de quartzo. Os melhores resultados de ensaios físicos cerâmicos foram obtidos para as argilas

dos municípios de Cabo Verde e Monte Belo devido à presença de menores teores de SiO<sub>2</sub> (quartzo) associados a uma distribuição granulométrica mais fina.

**Palavras Chave:** argilas, alúvios, caulinita.

## INTRODUÇÃO

As argilas são os materiais, que essencialmente, constituem e dão corpo ao solo ou ao chão que nos sustenta, além de serem utilizadas na construção civil, compondo a paisagem urbana, e nas artes plásticas e, é claro, de serem a base primordial para a agricultura.

A área de estudo deste trabalho, corresponde à região dos municípios de Alfenas, Areado, Machado, Poço Fundo, Campestre, Serrania, Monte Belo, Bandeira do Sul, Botelhos e Cabo Verde localizados no Sudoeste do Estado de Minas Gerais a 320 km de São Paulo. Essa região está inserida geologicamente ao sul da faixa Brasília em uma unidade de alto grau metamórfico da fácies granulito, com formato aproximadamente triangular<sup>(1)</sup>, cujo limites são marcados pelo recobrimento por rochas sedimentares da bacia do Paraná (a leste) e por duas grandes estruturas tectônicas, a N-NE a Zona de Cisalhamento Campo do Meio e a S-SE a Zona de Cisalhamento Ouro Fino. Essa unidade tem sido ultimamente denominada Complexo Guaxupé<sup>(2)</sup>. Esta formação geológica é constituída por rochas pré-cambrianas de alto grau metamórfico como hiperstênio granulitos, granulitos básicos, gnaisses graníticos bandados em associação com rochas neopaleozóicas e sedimentos colúvio-aluvionares do Quaternário e coberturas pedológicas como latossolos e paleo-solos<sup>(3)</sup>.

Nos municípios da região encontram-se pequenas olarias onde o trabalho é rústico e manual. As argilas são retiradas de locais relativamente próximos das olarias, através de trabalho braçal.

As argilas em questão, ocorrem em dois compartimentos geomorfológicos distintos: 1) são retiradas de áreas de várzea de rios (aluvionares), sendo estas de coloração escura (matéria orgânica) e 2) produtos de alteração dos gnaisses do Complexo Guaxupé ou Campos Gerais, que geram argilas de cores avermelhadas.



**Tabela 1:** Nomenclatura e localização das amostras utilizadas.

Amostras	Localização	Cidade	Descrição
P-1	Olaria Geraldo, Rod Alfenas-Areado Km 3	Alfenas- MG	várzea
S-2	Afloramento - Represa de Furnas	Alfenas-MG	solo (Horiz B)
AR-08	Olaria – Rod. BR-491	Areado-MG	várzea
PF-03	Olaria São Sebastião – Bairro Piedade	Poço Fundo-MG	várzea
MAC-01	Olaria Mendes - periferia	Machado-MG	várzea
SER-01	Cerâmica Murilo Gonzaga	Serrania-MG	várzea
MB-01	Olaria – Sítio Rancharia	Monte Belo-MG	várzea
CV-02	Cerâmica Nossa Senhora de Fátima	Cabo Verde-MG	várzea
BOT-01	Cerâmica Nossa Senhora de Fátima – Distrito de S. Gonçalo	Botelhos-MG	várzea
BS-01	Olaria – Sítio Marambaia	Bandeira do Sul-MG	várzea

Os ensaios laboratoriais foram efetuados sobre as amostras, depois de secas a temperatura ambiente.

As distribuições granulométricas das amostras foram realizadas utilizando-se as peneiras 30, 40, 60, 120 e 200 mesh em base vibratória. Na granulometria a laser as amostras foram preparadas em solução dispersante de hexametáfosfato de sódio (0,1 g/l) e depois passadas no granulômetro a laser (particle size analyser) da marca CILAS, modelo 1064 do Departamento de Geologia da Escola de Minas da UFOP-MG. O aparelho fornece os valores cumulados característicos e um gráfico com uma curva de distribuição granulométrica para cada amostra.

A descrição macroscópica das amostras foi realizada quanto aos seguintes aspectos: mineralogia, coloração, estrutura e textura e das frações retidas nas peneiras 30, 40 e 60 mesh, através de lupa eletrônica. A mineralogia das argilas coletadas foi obtida mediante análise por difração de raios X, em amostra total e da fração argila (<2 $\mu$ m). Os equipamentos utilizados foram o difratômetro de raios X SIEMENS D5000, do Laboratório de Mineralogia da UNESP – Rio Claro – SP com radiação monocromática de CoK $\alpha$  e velocidade do goniômetro de 1.2° 2 $\theta$ .minuto<sup>-1</sup> para a fração pó total e o difratômetro RIGAKU – Modelo Geigerflex CN D/MAX-B do Departamento de Geologia da Escola de Minas/ UFOP - MG com radiação monocromática de CuK $\alpha$  e velocidade do goniômetro de 0.6° 2 $\theta$ .minuto<sup>-1</sup> para a fração argila (fração < 2 $\mu$ m) separada por

sedimentação. Os difratogramas obtidos na fração total abrangem um intervalo de 2 a  $70^\circ(2\theta)$  e das amostras orientadas da fração argila de 2 a  $35^\circ(2\theta)$ .

A análise química dos elementos maiores foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios X, no equipamento PHILIPS PW 2510 do Laboratório de Fluorescência da UNESP – Rio Claro - SP. A determinação do carbono orgânico foi efetuada através da oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio fortemente ácido e titulado com  $Fe^{++}$  (Método Walkley-Black). O teor de matéria orgânica nos materiais argilosos da região, corresponde à um dos fatores responsáveis pelas características plásticas do material e determinativo para sua possível utilização na indústria cerâmica.

O índice de plasticidade das amostras coletadas foi determinado usando-se as amostras moídas em almofariz e passadas pela peneira de 40 mesh (0,425mm). segundo as normas da ABNT<sup>(4),(5)</sup>.

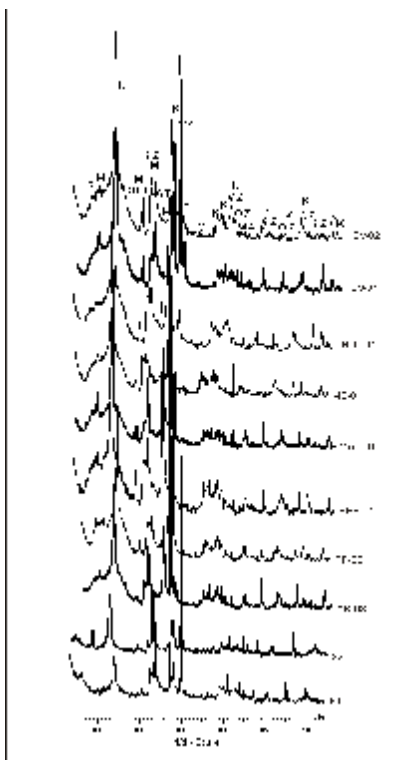
Quanto aos ensaios cerâmicos foram confeccionados corpos de prova a partir das amostras totais com dimensões de 7x2x1cm e controle da densidade aparente a cru ( $\cong 2,00 \text{ g/cm}^3$ ), sendo queimados em laboratório, em forno gradiente, a temperatura de  $950^\circ\text{C}$  (com ciclo de queima longo de três horas), para simular as condições de queima nas olarias. Os corpos de prova queimados foram submetidos a ensaios de resistência mecânica, plasticidade, absorção de água, porosidade aparente, perda ao fogo, retração linear e cor de queima. Os detalhes da metodologia utilizada podem ser encontrados em Gaspar Jr.<sup>(6)</sup>

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da análise macroscópica notou-se que todas as amostras são compostas de quartzo, mica (muscovita), argilominerais e apresentam tonalidades que variam de mais escuras (devido ao teor de matéria orgânica) à mais claras. Os minerais apresentam forma subangulosa a subarredondada e superfície polida a fosca com incrustações ferruginosas, freqüentes nos grãos de quartzo.

As análises mineralógicas por difração de raios-X da fração total (Figura 2) mostraram a presença predominante de quartzo (pico principal de  $3,35 \text{ \AA}$ ), sendo os picos mais evidentes na amostra AR-08, sendo seguida pelas

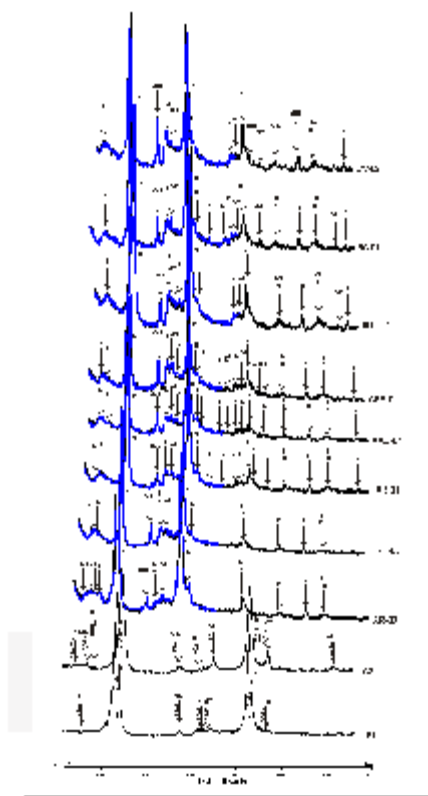
amostras P-1 e S-2. O feldspato (pico principal de 4,26 Å) é mais evidenciado nas amostras BS-01 e MAC-01. A muscovita é observada mais facilmente na amostra S-2, seguida pelas amostras BS-01 e MAC-01. A goethita é mais freqüente nas amostras S-2 e MB-01. A gibbsita ocorre em maiores proporções na amostra CV-02 e MB-01.



**Figura 2:** Difratoogramas (radiação CoK $\alpha$ ) superpostos de fração total das amostras, onde nota-se a presença de quartzo (QZ), feldspato (F), muscovita (M), caulinita (K), hematita (H), gibbsita (GIB), goethita (GT), Illita (IL) e Esmectita (S).

As análises mineralógicas por difração de raios X da fração argila (Figura 3) mostraram a caulinita como o argilomineral dominante em todas as amostras (pico de 7Å), sendo constatada a presença de traços de illita e esmectita em AR08, PF-03, MB-01, MAC-01 e SER-01. Nas amostras BOT-01, BS-01 e CV-02, além dos teores de caulinita, observaram-se picos mais nítidos de esmectita. Enquanto que em P1 e S2 constataram-se apenas picos de caulinita. Os picos de gibbsita são mais evidentes em CV-02 e BS-01.

A caulinita é provavelmente resultante do produto de alteração de feldspatos e outros minerais aluminossilicatados dos gnaisses e xistos dos Complexos Guaxupé e Campos Gerais presentes na região.



**Figura 3:** Difratomogramas (radiação  $\text{CuK}\alpha$ ) superpostos da fração argila ( $<2\mu\text{m}$ ) das amostras naturais, onde observa-se a caulinita como argilomineral dominante, sendo QZ = quartzo, H = Hematita, GIB = gibsita, F = feldspato, GT = goethita, Il = illita, K = caulinita, S = esmectita, Il/S = interstratificado illita-esmectita.

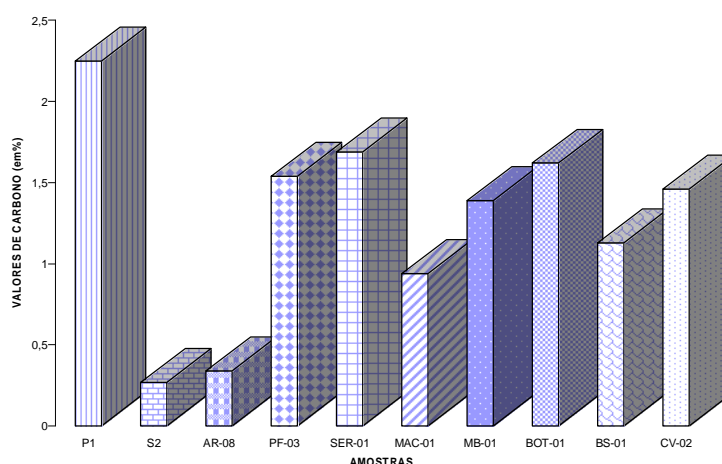
A Tabela 2 demonstra que o teor de  $\text{SiO}_2$  é maior na amostra AR-08, seguida pela P-1 e S-2. As menores proporções de sílica foram determinadas para CV-02 e MB-01, corroborando com os resultados mineralógicos por difração de raios X. Os teores mais elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  foram observados nas amostras CV-02 e MB-01, sendo associados, respectivamente, a presença de gibsita e de gibsita+illita+esmectita. A concentração de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é mais elevada nas amostras S-2 e MB-01, devido à presença de goethita (Figuras 2 e 3).

Os teores de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{MgO}$ ) são maiores nas amostras MAC-01 e BS-01, devido a presença um pouco mais proeminente de feldspatos. O valor de perda ao fogo (LOI) é superior na amostra CV-02 devido provavelmente à maior quantidade de minerais de alteração (caulinita+illita+esmectita, gibsita e goethita), sendo seguida respectivamente pelas amostras SER-01 e MB-01

**Tabela 2:** Composição química das amostras coletadas.

Amostras	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Soma
<b>P-1</b>	58,49	1,31	24,95	7,72	0,04	0,19	0,15	0,14	0,70	0,15	6,16	100,01
<b>S-2</b>	58,16	1,25	19,73	9,91	0,06	0,39	0,04	0,08	1,39	0,10	8,88	99,99
<b>AR-08</b>	60,52	0,73	21,64	5,02	0,04	0,55	0,20	0,24	1,70	0,06	9,31	100,00
<b>PF-03</b>	49,72	1,54	26,50	6,31	0,06	0,70	0,16	0,13	1,19	0,21	13,50	100,01
<b>MAC-01</b>	55,69	1,49	23,17	6,12	0,07	0,81	0,23	0,23	2,13	0,16	9,92	100,01
<b>SER-01</b>	47,43	1,68	27,04	7,09	0,06	0,50	0,14	0,14	1,21	0,22	14,50	100,00
<b>MB-01</b>	44,99	2,02	28,20	8,08	0,09	0,86	0,18	0,14	1,32	0,29	13,83	100,01
<b>BS-01</b>	53,66	1,70	22,31	7,16	0,09	0,60	0,26	0,14	2,18	0,18	11,33	99,63
<b>BOT-01</b>	54,43	1,00	26,01	2,77	0,01	0,31	0,26	0,06	1,21	0,13	13,57	99,78
<b>CV-02</b>	43,38	1,56	30,45	5,42	0,03	0,64	0,16	0,02	1,30	0,24	16,20	99,42

O maior teor de carbono orgânico (Figura 4) foi atribuído à amostra P-1, seguida por SER-01, contribuindo esse fator para que estas sejam mais plásticas, fato observado durante a realização do ensaio de índice de plasticidade (Tabela 3).

**Figura 4:** Teor de matéria orgânica das amostras coletadas.**Tabela 3:** Valores de índice de Plasticidade das amostras coletadas.

Amostras	LI	Lp	IP=LI-Lp	Classificação.
<b>P1</b>	52,20	33,71	18,49	Muito plástica
<b>S2</b>	46,80	37,72	9,08	Plastici. média
<b>AR-08</b>	47,80	37,72	10,08	Plastici. média



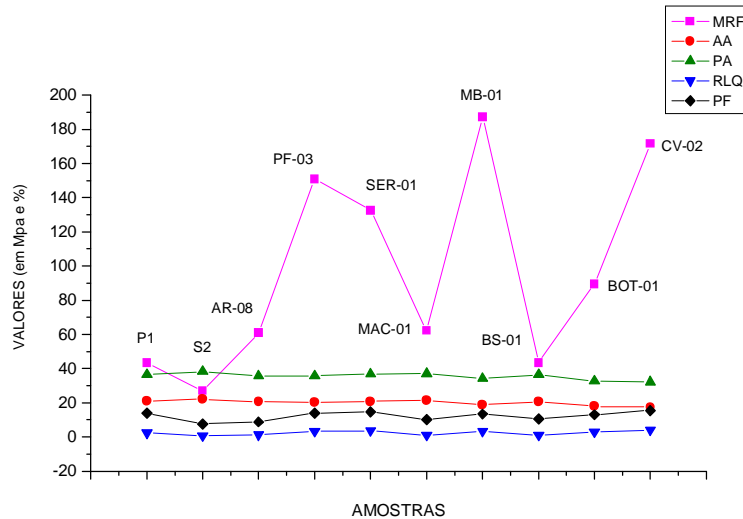
<b>PF-03</b>	58,00	51,12	6,88	Pouco plástica
<b>MB-01</b>	58,20	47,67	10,53	Plastici. média
<b>SER-01</b>	55,80	44,03	11,77	Plastici. média
<b>MAC-01</b>	46,30	39,07	7,23	Plastici. média
<b>CV-02</b>	60,60	50,12	10,48	Plastici. média
<b>BS-01</b>	44,40	36,93	7,47	Plastici. média
<b>BOT01</b>	47,02	38,02	9,00	Plastici. média

Onde: Li = limite de liquidez; Lp = limite de plasticidade e IP = índice de plasticidade.

Os resultados dos ensaios físicos cerâmicos a 950°C (Figura 5), especificamente tensão à ruptura a flexão sofreu uma variação grande de 187 MPa, para o corpo de prova MB-01 (melhor valor), para 26 MPa (pior valor), para o corpo de prova S-2.

Os valores de Porosidade aparente ficaram na faixa de 32 a 38% e a absorção de água ficou entre 17 a 22% sendo classificada como BIII pela ABNT<sup>(7)</sup>. Para a cerâmica de revestimentos esses valores de porosidade e absorção de água são muito elevados (devido aos altos teores de quartzo), tornando esses materiais aptos a uma aplicação na fabricação de tijolos e telhas.

Em relação à retração linear de queima, devido aos teores elevados de sílica, houve uma retração muito pequena (0,58 a 3,99%), sendo que o corpo que retraiu mais foi o CV-02 devido as maiores concentrações de caulinita+illita+gibbsita.



**Figura 5:** Gráfico dos resultados dos ensaios físicos cerâmicos a 950°C. Legenda: TRF= tensão de ruptura à flexão (MPa); AA=absorção de água (%); PA=porosidade aparente (%); RLQ=retração linear de queima (%).

Quanto aos resultados de distribuição granulométrica de prensagem e de granulometria à laser (Tabelas 4 e 5) as amostras CV-02 e MB-01 em ambas análises apresentam uma granulometria fina.

**Tabela 4:** Ensaio de Distribuição Granulométrica de Prensagem (%) das amostras

Peneiras	20	40	60	120	200	Prato
<b>Amostras</b>						
P-1	0,070	0,139	3,411	4,447	3,032	87,878
S-2	0,06	0,2	1,2	5,36	6,25	86,930
AR-08	0,163	0,050	0,682	4,157	5,717	87,603
PF-03	5,820	0,465	1,305	1,616	1,498	87,975
MAC-01	2,694	0,975	4,428	13,513	7,596	68,988
MB-01	0,461	0,078	0,253	1,618	2,838	92,837
SER-01	0,917	0,087	0,676	3,450	4,289	89,391
CV-02	0,006	0,005	0,056	1,246	2,795	96,919
BS-01	0,018	0,085	2,080	10,960	9,169	79,456
BOT-01	0,259	0,524	3,460	4,955	2,970	89,590
<b>Tamanho de grãos</b>	<b>Areia grossa Inferior</b>	<b>Areia Média Superior</b>	<b>Areia Média Inferior</b>	<b>Areia Fina Superior</b>	<b>Areia Fina Inferior</b>	<b>Silte + Argila</b>

**Tabela 5:** Valores de Granulometria à Laser das amostras coletadas.

<b>Amostras</b>	<b>Classe Dominante (90% é inferior ao diâmetro Indicado)</b>	<b>Diâmetro Médio (tamanho médio do grão)</b>
<b>P1</b>	21,86	8,51
<b>S2</b>	20,63	9,66
<b>AR-08</b>	39,23	16,87
<b>PF-03</b>	28,68	12,15
<b>MAC-01</b>	47,30	22,44
<b>MB-01</b>	33,81	13,59
<b>SER-01</b>	30,49	12,30
<b>BS-01</b>	43,16	17,31
<b>BOT-01</b>	20,64	8,73
<b>CV-02</b>	33,79	13,69

Os melhores resultados nas análises cerâmicas da amostra MB-01, provavelmente foram devidos ao seu menor teor em SiO<sub>2</sub> e maiores valores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (caulinita + gibsita) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (na forma de goethita, vide Tabela 2). Adicionalmente, sua distribuição granulométrica de prensagem fina (Tabelas 4 e 5) contribuiu para uma melhor sinterização.

A amostra CV-02 apresentou o segundo melhor resultando, provavelmente por causa dos menores teores de álcalis e a sua maior granulometria em relação à amostra MB-01 (Tabela 5).

A presença de concentrações elevadas de SiO<sub>2</sub> em todas as amostras clareou a cor de queima (tons de vermelho a amarelado) e reduziu os valores de retração de queima dos corpos de prova. A amostra que retraiu mais foi a CV-02 devido à concentração mais elevada de gibbsita.

## CONCLUSÕES

Comparando-se esses resultados com os obtidos em<sup>(8)</sup> referentes às argilas da cidade de Alfenas pode-se observar que os sedimentos argilosos das porções SW (Botelhos e Serrania) e NW (Cabo Verde e Monte Belo) da área de estudo são bem menos quartzosos e apresentam maiores concentrações de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e álcalis proporcionando melhores

resultados em relação aos ensaios físicos cerâmicos. Essas argilas provavelmente são melhores devido ao fato de serem materiais formados por rochas mais novas e encontrarem-se menos alteradas que as de Alfenas. Soma-se a esse fato que as porções SW e NW da área de estudo sofrem a influência das intrusões do corpo alcalinos do Planalto de Poços de Caldas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o suporte financeiro e incentivo a pesquisa da FAPEMIG, Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- (1) HASUI, Y. & COSTA, J. B. S. Curso de zonas e cinturões de cisalhamento. In: 35º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., Belém-PA, 1988. Apostila...Belém: SBG, 1988, 86p.
- (2) ZANARDO, A.; MORALES, N.; OLIVEIRA, M. A. F.; DEL LAMA, E. A. Tectono-Litologic associations of the Aliterosa Paleo Suture Zone – Southeastern Brazil. Revista UNG – Geociências, v. 13, n. 1. p. 103-117, 2006.
- (3) HASUI, Y.; MIOTO, J. A.; HARALYI, N. L. E.; SAAD, A. R.; CAMPANHA, V. A.; HAMZA, V. M.; GALLI, V. A. Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo. São Paulo: Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado de São Paulo (PRÓ-MINÉRIO), 1989. (Relatório IPT).
- (4) ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984): Norma Técnica NBR 6454 –Determinação do Limite de Liquidez, Método de Ensaio.
- (5) ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984): Norma Técnica NBR 7180 –Determinação do Limite de Plasticidade, Método de Ensaio.
- (6) GASPAR Jr. Adição Experimental de novos materiais às argilas da região do pólo cerâmico de Santa Gertrudes (SP). 2003, 170p. Tese de Doutorado em

Geociências – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Rio Claro.

(7)ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997): Norma Técnica NBR 13817-Placas Cerâmicas para Revestimentos – Classificação. 3p.

(8)GASPAR JUNIOR, L. A., VARAJÃO, A. F. D. C., MORENO, M. M. T. Análise Preliminar das Coberturas Regolíticas Argilosas da Região de Alfenas-Mg Visando sua Utilização na Indústria de Cerâmica Vermelha. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, Guarujá, SP, 2009. Anais... São Paulo, ABC, 2009. CD-ROM.

### **COMPARISON AMONG CHEMICAL, MINERALOGICAL AND PHYSICAL ANALYSIS FROM ALLUVIAL CLAYS FROM COUNTIES OF SOUTHWEST OF MINAS GERAIS STATE**

The studied area is located in the southwestern portion of Minas Gerais State, encompassing the counties of Alfenas, Areado, Machado, Poço Fundo, Campestre, Serrania, Monte Belo, Bandeira do Sul, Botelhos and Cabo Verde. This region is dominated by strongly weathered pre-cambrian rocks in association with colluvial-alluvial sediments. The present work consisted in a comparison among the mineralogical (X-Ray Diffraction), textural (Laser Granulometry), chemical (X-Ray Fluorescence) and technological (Mechanical Resistance, Water Absorption, etc, made in specimen tests) properties of the clays collected on potteries located in these counties. The mineralogical and chemical analysis displayed the kaolinitic nature of the clays from this region, showing also small amount of interlayered clays and large amount of quartz. The best results of physical analysis were obtained for clays from the counties of Cabo Verde and Monte Belo due to the presence of lower values of SiO<sub>2</sub> (quartz) associated with a finer particle size distribution.

**Keywords:** clays, alluvial, kaolinite