

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS ARGILAS ALUVIONARES DOS MUNICÍPIOS DE BOTELHOS E CABO VERDE (MG) PARA EMPREGO EM CERÂMICA VERMELHA

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

¹Universidade Federal de Alfenas, Departamento de Ciências Biológicas e da Terra.
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro - Alfenas/MG. CEP: 37.130-000

²Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto-MG

³Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Geografia, Uberlândia-MG

⁴Universidade Estadual Paulista, Departamento de Petrologia e Metalogenia, Rio
Claro-SP.

e-mail: líneo.gaspar@unifal-mg.edu.br

RESUMO

As rochas pré-cambrianas da região de estudo apresentam perfis de alteração bem desenvolvidos em associação com sedimentos colúvios-aluvionares que até antes deste trabalho nunca haviam sido alvo de um estudo detalhado para determinar a sua potencialidade na indústria cerâmica. O trabalho foi composto por análises mineralógicas (Descrição Macroscópica e Difração de Raios X), texturais (Granulometria a Laser), químicas (Fluorescência por Raios X e Análise de Carbono Orgânico) e tecnológicas (Módulo de Ruptura à Flexão; Absorção de Água, Porosidade Aparente; entre outros) das argilas coletadas. Os melhores resultados obtidos foram os das argilas do município de Cabo Verde devido à presença de menores teores de SiO₂ (quartzo) e as maiores concentrações de Fe₂O₃ (goethita), Al₂O₃ (caulinita e gibsita) e álcalis (feldspatos). O teor de absorção de água dos corpos de prova ficou na faixa de 17 a 19%, sendo utilizados segundo as normas da ABNT como materiais para cerâmica vermelha.

Palavras-chaves: argilas, aluvionares, cerâmica vermelha

INTRODUÇÃO

A área de estudo, corresponde à região dos municípios de Cabo Verde e Botelhos localizados no Sul do Estado de Minas Gerais a 320 km de São Paulo. Geologicamente essa região está inserida ao sul da faixa Brasília em uma unidade de alto grau metamórfico da fácies granulito, com formato aproximadamente triangular⁽¹⁾, 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⁽²⁾.

O complexo Guaxupé é constituído predominantemente 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⁽³⁾.

Na região, devido a sua tectônica intensa, formaram-se grandes áreas de rebaixamento que foram preenchidas por coberturas pedológicas e sedimentos quaternários provenientes das alterações de gnaisses e xistos do Complexo Guaxupé⁽¹⁾. As argilas provenientes das alterações destas rochas já são usadas de maneira rústica em pequena escala em olarias da região, na fabricação de tijolos.

Até recentemente essas rochas pré-cambrianas com perfis de alteração bem desenvolvidos em associação com sedimentos colúvios-aluvionares nunca haviam sido alvo de um estudo detalhado para determinar a sua potencialidade na indústria da cerâmica.

Neste trabalho foram realizadas análises químicas, mineralógicas e tecnológicas com essas argilas para determinar as suas propriedades cerâmicas e como estas poderiam ser aproveitadas industrialmente. Esse projeto contou com a cooperação entre as universidades de Minas Gerais (como a UFOP e UNIFAL) e a UNESP de Rio Claro-SP e o financiamento da FAPEMIG.

METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em duas etapas: amostragem e experimentos de laboratório, sendo estes: análise química (teor de matéria orgânica, fluorescência de raios X) análise mineralógica (difração de raios X e descrição macroscópica), análises texturais (distribuição granulométrica) e ensaios tecnológicos cerâmicos.

Os materiais argilosos da área de estudo ocorrem em áreas de várzea de rios, sendo estes de coloração escura (matéria orgânica) a mais clara (com teores menores de matéria orgânica), sendo produtos de alteração dos gnaisses dos Complexos Guaxupé. Várias olarias encontram-se instaladas na área, dentre as quais, três, próximas às cidade de Botelhos e Cabo Verde (Figura 1), foram selecionadas para amostragem. Foram coletados por volta de 3 kg de amostras, sendo estas devidamente ensacadas e catalogadas (Tabela 1).

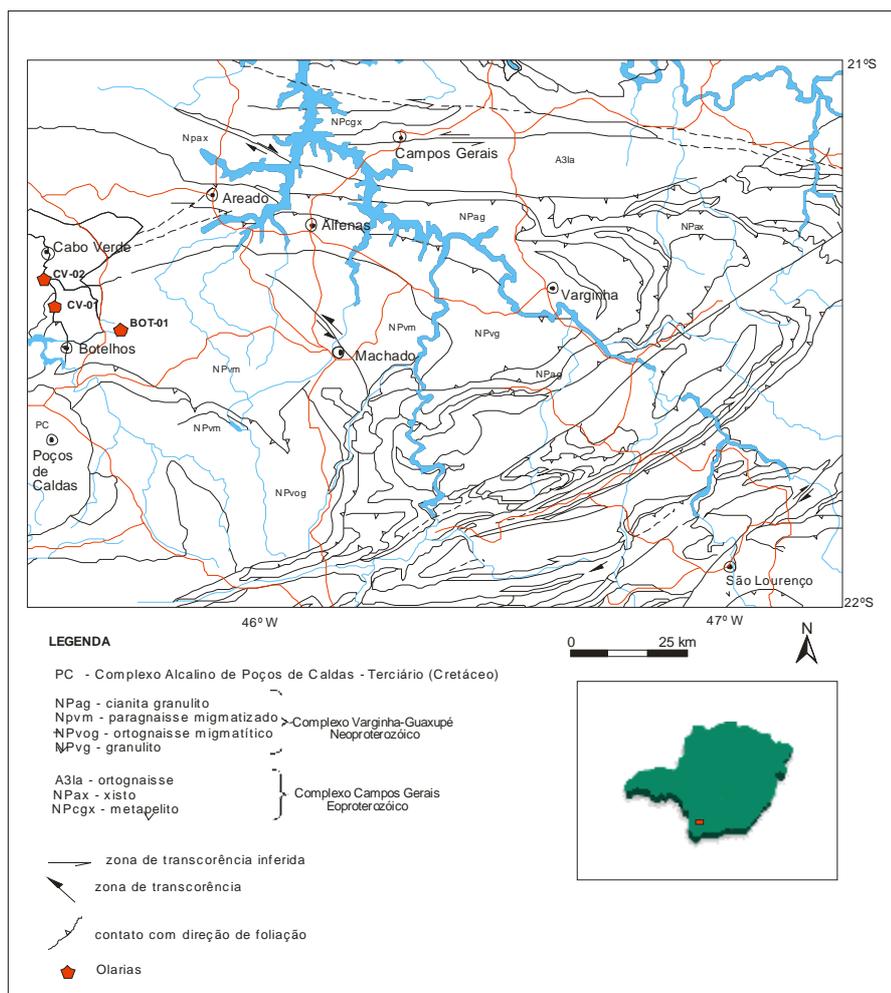


Figura 1: Mapa Geológico e de coleta das amostras de argilas.

Tabela 1: Nomenclatura e localização das amostras utilizadas.

| Ponto | Localização | Característica | Nomenclatura |
|-------|---|------------------|--------------|
| 1 | Cerâmica Meriba. Rodovia BR-146, Km 25. | argila de várzea | CV-01 |
| 2 | Olaria São Francisco Rodovia BR-146, Km 40 | argila de várzea | CV-02 |
| 3 | Cerâmica Nossa Senhora de Fátima – BR-267 | argila de várzea | BOT-01 |

Os ensaios laboratoriais foram efetuados sobre as três amostras, depois de secas a temperatura ambiente, e compreendeu as seguintes análises:

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 (<2µm). 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 α e velocidade do goniômetro de 1.2° 2 θ .minuto⁻¹ 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 α e velocidade do goniômetro de 0.6° 2 θ .minuto⁻¹ para a fração argila (fração < 2µm) separada por sedimentação. Os difratogramas obtidos na fração total abrangem um intervalo de 2 a 70°(2 θ) e das amostras orientadas da fração argila de 2 a 35° (2 θ).

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 realizado 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^{(4),(5)}.

Quanto aos ensaios cerâmicos foram confeccionados corpos de prova foram 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°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.⁽⁶⁾

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observando-se macroscopicamente notou-se que as amostras CV-01, CV-02 e BOT-01 (argilas de várzea) são compostas de quartzo, mica (muscovita), argilominerais e apresentam tonalidades mais escuras devido ao teor de matéria orgânica.

Os grãos de quartzo apresentam forma subangulosa a subarredondada e superfície polida a fosca em alguns cristais indicando um relativo transporte e retrabalhamento pelas águas dos rios⁽⁷⁾. Adicionalmente, incrustações ferruginosas, de tonalidades vermelha a amarelada, indicativas de óxidos e hidróxidos de ferro, são 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 Å), sendo os picos mais evidentes na amostra BOT-01 sendo seguida pela amostra CV-01. O feldspato (pico principal de 4,26 Å) é mais evidenciado na amostra CV-01. A muscovita é observada mais facilmente na amostra CV-01, seguida pela amostra CV-02. A goethita é mais freqüente na amostra CV-01. A gibsita ocorre em maiores proporções na amostra CV-02.

As análises mineralógicas por difração de raios X da fração argila (Figura 3) mostraram a caulinita como o argilomineral dominante (pico de 7Å), sendo constatada a presença de traços de illita e esmectita em CV-01, CV-02 E BOT-01. A caulinita é provavelmente resultante do produto de alteração de feldspatos e outros minerais aluminossilicatados^{(7),(8)} dos gnaisses e xistos dos Complexos Guaxupé e Campos Gerais presentes na região.

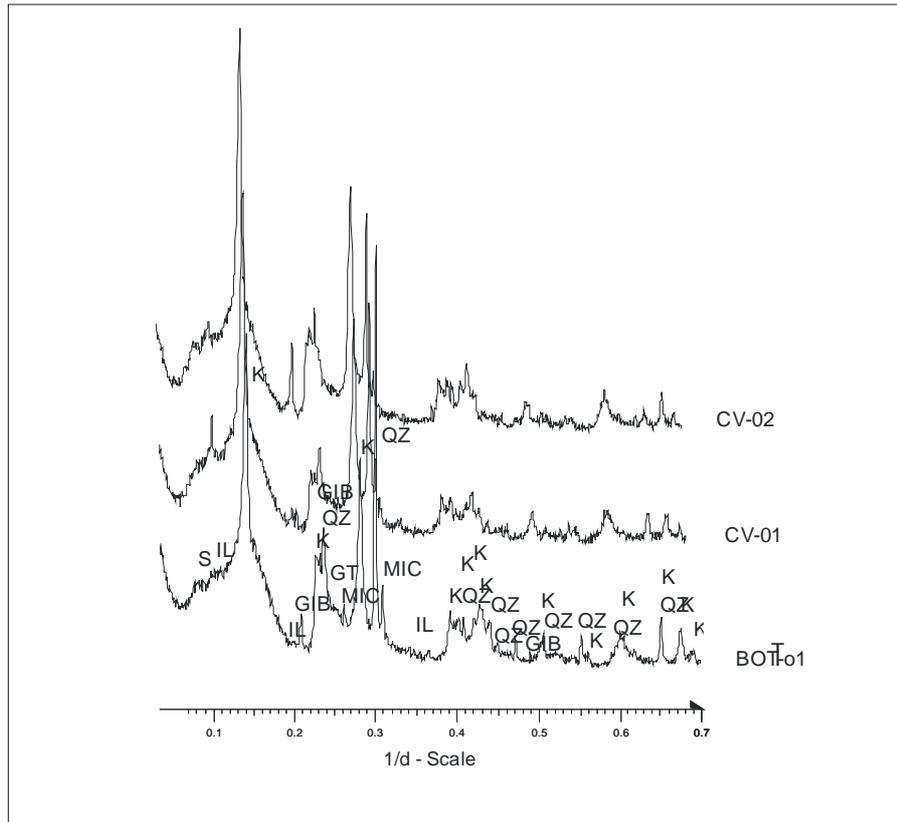


Figura 2: Difratogramas (radiação $\text{CoK}\alpha$) superpostos de fração total das amostras, onde nota-se a presença de quartzo (QZ), feldspato (MIC), muscovita (M), caulinita (K), hematita (H), gibsita (GIB), goethita (GT), Illita (IL) e Esmectita (S)

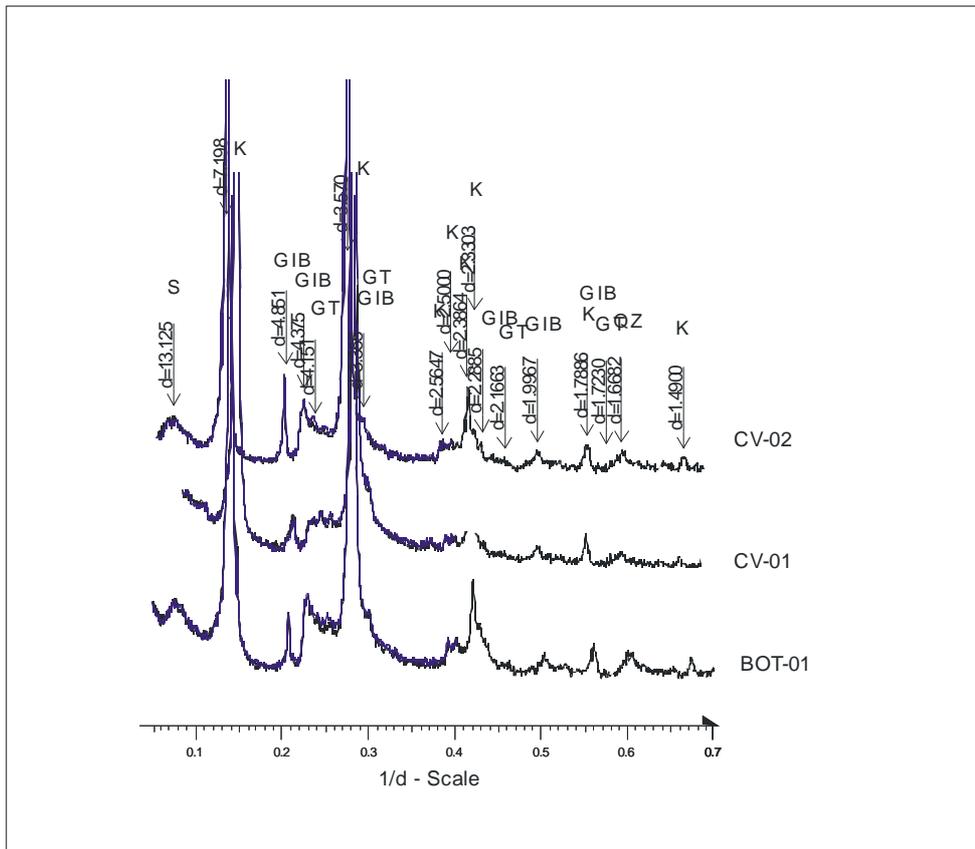


Figura 3: Difratomogramas (radiação CuK α) superpostos da fração argila (<2 μ m) das amostras naturais, onde observa-se a caulinita como argilomineral dominante, sendo QZ = quartzo, GIB = gibsita, GT = goethita, K = caulinita, S = esmectita.

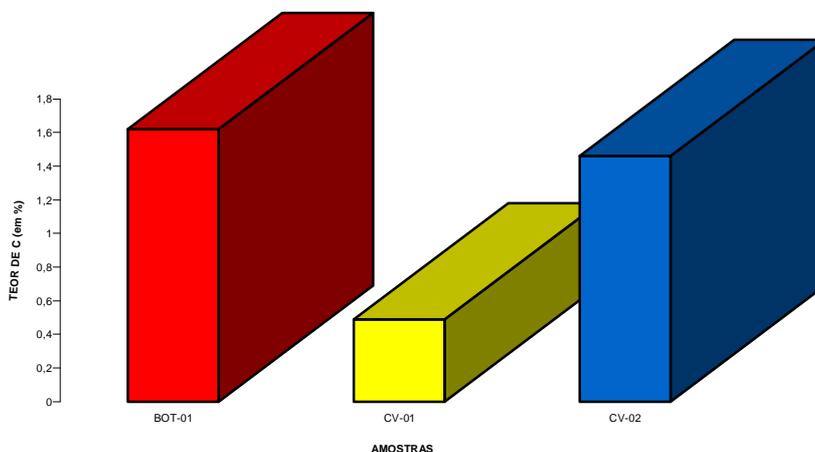
A Tabela 2 demonstra que o teor de SiO₂ é maior na amostra BOT-01, seguida pela CV-01 e com a CV-02 com valores mais baixos, corroborando os resultados mineralógicos por difração de raios X, que mostram maiores picos de quartzo em BOT-01. O teor mais elevado de Al₂O₃ foi observado na amostra CV-02, sendo associado, respectivamente, a presença de gibsita e de gibsita+feldspato+muscovita. A concentração de Fe₂O₃ mais elevada na amostra CV-01 é associada à presença de goethita (Figuras 2 e 3).

Os teores de álcalis (Na₂O+K₂O+MgO) são maiores nas amostras CV-01 e CV-02, 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).

Tabela 2: Composição química das amostras coletadas.

| Amostras | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | MnO | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | LOI |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------|------------------|-------------------------------|-------|
| BOT-01 | 53,43 | 26,01 | 2,77 | 0,26 | 0,31 | 0,0,06 | 1,21 | 0,01 | 1,00 | 0,13 | 13,57 |
| CV-01 | 48,97 | 26,26 | 7,23 | 0,22 | 0,79 | 0,21 | 2,41 | 0,06 | 1,45 | 0,24 | 11,75 |
| CV-02 | 43,38 | 30,45 | 5,42 | 0,16 | 0,64 | 0,02 | 1,30 | 0,03 | 1,56 | 0,24 | 16,20 |

O maior teor de carbono orgânico (Figura 4) foi atribuído à amostra BOT-01 seguida pela CV-02, contribuindo esse fator para que estas sejam mais plásticas que a amostra CV-01, fato observado durante a realização do ensaio de índice de plasticidade (Tabela 3).

**Figura 4:** Gráfico de teores de Carbono das amostras de argila coletadas**Tabela 3:** Valores de índice de Plasticidade das amostras coletadas.

| Amostras | Li | Lp | IP = Li-Lp | Plasticidade |
|---------------|-------|-------|------------|--------------|
| BOT-01 | 47,02 | 38,02 | 9,00 | Média |
| CV_01 | 50,20 | 41,42 | 8,78 | Média |
| CV-02 | 60,60 | 50,12 | 10,48 | 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 171 MPa, para o corpo de prova CV-02 (melhor valor), para 89 MPa (pior valor), para o corpo de prova BOT-01.

Os valores de Porosidade aparente ficaram na faixa de 32 a 35% e a absorção de água ficou entre 17 a 19% sendo classificada como BIII pela ABNT⁽⁹⁾. 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 (1,66 a 3,99%), sendo que o corpo que retraiu mais foi o CV-02 devido as maiores concentrações de caulinita+illita+gibsita.

Os melhores resultados nas análises cerâmicas da amostra CV-02 provavelmente foram devido ao seu menor teor em SiO_2 e maiores valores de Al_2O_3 (caulinita + gibsita) e Fe_2O_3 (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 BOT-01 apresentou uma queda nos valores das propriedades cerâmicas devido à combinação de alguns fatores como as elevadas concentrações de SiO_2 e teores menores de Al_2O_3 (caulinita + gibsita) e Fe_2O_3 (Tabela 2).

A presença de concentrações elevadas de SiO_2 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. As amostras que retraíram mais foram a CV-02 (devido à concentração de minerais de alteração) seguida de BOT-01 (devido ao maior teor em matéria orgânica).

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

| Peneiras Amostras | 20 | 40 | 60 | 120 | 200 | Prato |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| BOT-01 | 0,259 | 0,524 | 3,460 | 4,955 | 2,970 | 89,590 |
| CV-01 | 0,003 | 0,016 | 0,397 | 4,142 | 5,665 | 88,726 |
| CV-02 | 0,006 | 0,005 | 0,056 | 1,246 | 2,795 | 96,919 |

| Tamanho de grãos | Areia grossa Inferior | Areia Média Superior | Areia Média Inferior | Areia Fina Superior | Areia Fina Inferior | Silte + Argila |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------|
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------|

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

| Amostras | Classe Dominante (90% é inferior ao diâmetro Indicado) | Diâmetro Médio (tamanho médio do grão) |
|---------------|--|--|
| BOT-01 | 20,64 | 8,73 |
| CV-01 | 47,07 | 19,90 |
| CV-02 | 33,79 | 13,69 |

Comparando-se esses resultados com os obtidos em⁽¹⁰⁾, referentes às argilas da cidade de Alfenas pode-se observar que os sedimentos argilosos de Botelhos e Cabo Verde são bem menos quartzosos e apresentam maiores concentrações de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e álcalis proporcionando melhores resultados em relação aos ensaios físicos cerâmicos. Essas argilas provavelmente são melhores devido ao fato de encontrarem-se menos alteradas que as de Alfenas.

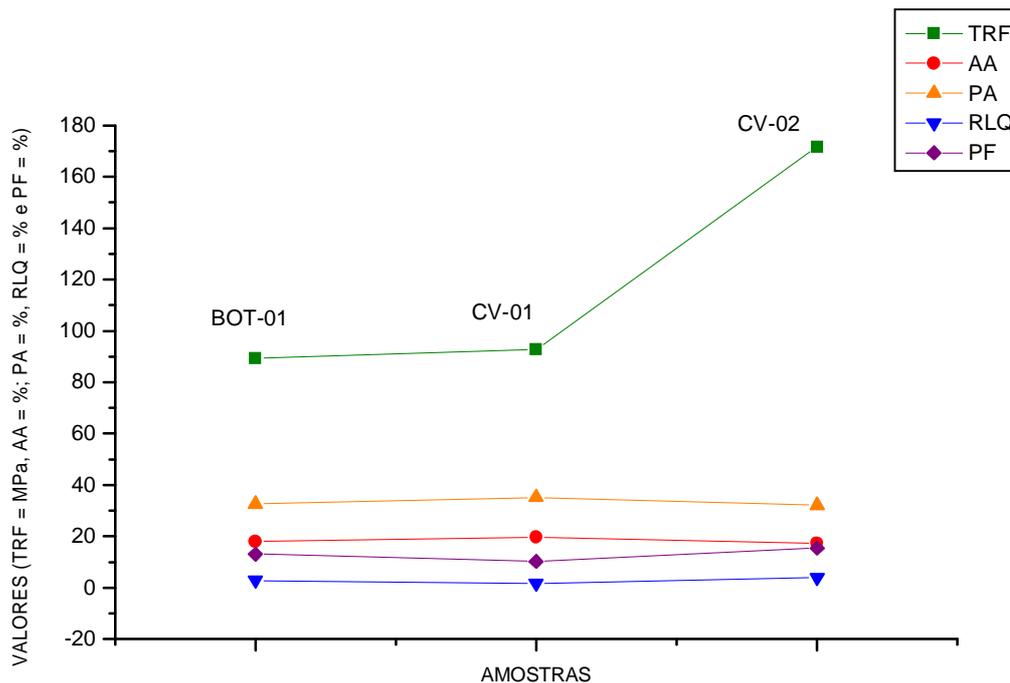


Figura 5: Gráfico dos resultados dos ensaios físicos cerâmicos a 950°C. Legenda: TRF= tensão de ruptura à flexão (MPa); AA=absorção de água (%); PA=porosidade aparente (%); RLQ=retração linear de queima (%); PF=perda ao fogo (%)..

CONCLUSÕES

Os materiais argilosos das olarias dos municípios de Botelhos e Cabo Verde são produtos de origem aluvionar ou de alteração de rochas dos Complexos Guaxupé e Campos Gerais. São argilas caulínicas ricas em quartzo, micas (muscovita) e pobres em ferro e feldspatos, que já se encontram em processo de alteração. Devido a composição predominante de caulinita e quartzo são menos plásticas e mais refratárias sendo mais adequadas a utilização na indústria de cerâmica vermelha.

Os melhores resultados das propriedades cerâmicas foram obtidos para a amostra CV-02, demonstrados pelos elevados e baixos valores de ruptura a flexão e absorção de água respectivamente, segundo as normas da ABNT. Esses resultados foram devidos a um menor teor em SiO₂, maiores valores de Al₂O₃ (caulinita + gibsita) e Fe₂O₃ e uma granulometria fina que contribuíram para uma melhor sinterização desta amostra.

A tensão á ruptura a flexão sofreu uma variação grande de 171 para 89 MPa. Os valores de Porosidade aparente ficaram na faixa de 32 a 35% e a absorção de água ficou na faixa de 17 a 19% sendo classificada como BIII pela ABNT.

As elevadas concentrações de SiO₂ em todas as amostras clareou a cor de queima e reduziu os valores de retração de queima dos corpos de prova, sendo as amostras que mais retraíram, àquelas com maiores teores de minerais de alteração e de matéria orgânica.

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 Allterosa 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)SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 313p.
- (8)SUGUIO, K. Geologia Sedimentar. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 400p.
- (9)ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997): Norma Técnica NBR 13817-Placas Cerâmicas para Revestimentos – Classificação. 3p.
- (10)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.

**TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE ALLUVIAL CLAYS
FROM THE BOTELHOS AND CABO VERDE COUNTIES (MINAS GERAIS
STATE), FOR USE IN STRUCTURAL CERAMIC INDUSTRY**

ABSTRACT

The Precambrian rocks from the studied region display well developed alteration profiles in association with colluvial-alluvial sediments which, up to this paper, were never properly and detailed studied in order to point its potentiality in ceramic industry. The work was composed by mineralogical analysis (macroscopical description and X-Ray Diffraction), textural analysis (Laser Granulometry), chemical analysis (X-Ray Fluorescence and Organic Carbon) and technological analysis (Physical Resistance, Water Absorption, Apparent Porosity, etc) of the collected clays. The most promising results obtained were those of the clays from Cabo Verde county, due to the presence of lower amounts of SiO₂ (quartz) and higher concentrations of Fe₂O₃

(goethite), Al₂O₃ (kaolinite and gibbsite) and alkali (feldspars). The Water Absorption values of the specimen tests oscillated from 17 to 19%, and these values are within the norms of ABNT as materials for structural ceramics.

Keywords: *alluvial clays, kaolinite, structural ceramics*