

Propriedades tecnológicas de massas argilosas para produção de cerâmica estrutural **(Technological properties of clay-based formulations for structural ceramics production)**

E. S. dos Santos Júnior¹, V. S. Silva¹, R. M. P. B. Oliveira^{1,*}

¹Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe
Av. Marechal Rondon, s.n. Jardim Rosa Elze, São Cristóvão – SE, 49100-000, Brasil

*Vanessa Santana Silva, Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos, Av.
Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, Sergipe, 49100-000, Brasil.

e-mail: va_nessa.ss@hotmail.com

+55 79 3194 6344

Resumo

As argilas são materiais naturais constituídos essencialmente por argilominerais e possuem uma grande importância em diversas indústrias devido suas propriedades tecnológicas. Logo, o objetivo deste trabalho foi caracterizar tecnologicamente três massas argilosas utilizadas em setores de cerâmica de três municípios situados no estado de Sergipe. As massas argilosas foram caracterizadas quanto a sua densidade real, limites de Atterberg, composição química e estrutura cristalina. Posteriormente, os corpos de prova produzidos a partir dessas massas foram caracterizados quanto a sua retração linear, absorção de água, densidade aparente e propriedades mecânicas. Os resultados mostraram que a densidade real das massas argilosas variou entre 2,46 a 2,61 g.cm⁻³, os índices de plasticidade variaram entre 18% a 22%, os elementos mais presentes são o silício e o alumínio e as principais fases cristalinas são caulinita, quartzo e moscovita. Com relação aos corpos de prova, os resultados mostraram que a retração linear e a densidade aparente aumentam e a absorção de água diminui com o aumento da temperatura de queima. Adicionalmente, os valores de tensão de ruptura à flexão variaram de 9,08 a 19,51 MPa.

Palavras chave: cerâmica estrutural, massas argilosas, caracterização, propriedades tecnológicas.

Abstract

Clays are natural materials consisting essentially of clay minerals and have great importance in various industries due to their technological properties. The aim of this study was to characterize technologically three clay-based formulations used in ceramics industry of three municipalities located in the state of Sergipe. The clay-based formulations were characterized as to their specific gravity, Atterberg limits, chemical composition and crystalline structure. Next, the green bodies produced from these clay-based formulations were characterized as to their linear retraction, water absorption, apparent density and mechanical properties. The results showed that the specific gravity of the clay-based formulations varied between 2.46 and 2.61 g.cm⁻³, the plasticity indexes varied between 18% and 22%, the most present elements are silicon and aluminum, and the main crystalline phases are kaolinite, quartz and muscovite. Regarding the green bodies, the results showed that linear retraction and apparent density increase, and the water absorption decreases with the increase of the firing temperature. In addition, the flexural tensile values ranged from 9.08 to 19.51 MPa.

Keywords: structure ceramic, clay-based formulations, characterization, technological properties.

1. INTRODUÇÃO

As argilas são materiais naturais, terrosos, de granulação fina e constituídos essencialmente por partículas cristalinas conhecidas como argilominerais. Os argilominerais são silicatos de alumínio hidratado e podem conter outros elementos como magnésio, ferro, cálcio, sódio etc. [18]. As argilas são responsáveis pela plasticidade, retração linear de secagem, compactação, resistência mecânica a úmido, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas quando em presença com água, possibilitando uma ampla variedade de aplicações tecnológicas. Tecnologia de argilas é a aplicação dos conhecimentos científicos fundamentais sobre a composição, a estrutura e as propriedades físico-químicas das argilas e dos argilominerais às indústrias que trabalham com argilas como matéria-prima fundamental [18].

As argilas possuem uma grande importância em diversas indústrias, como: metalúrgicas, petrolíferas, de borracha, de papel e de cerâmica [18]. O setor cerâmico é um grande consumidor de argilas [2-3], em especial o segmento de cerâmica estrutural, que tem como característica uma indústria extremamente distribuída e espalhada por todo o país com unidades relativamente próximas aos mercados consumidores [2]. No Brasil, há um grande destaque na produção de materiais cerâmicos destinado à construção civil. Segundo a ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica), o setor de cerâmica vermelha correspondente a 4,8% da indústria de construção civil, possui cerca de 6900 fábricas de cerâmicas no país, responsáveis pela geração de 293 mil empregos diretos e 900 mil indiretos, além de possuir um faturamento anual de aproximadamente 18 bilhões de reais.

De um modo geral, as argilas são materiais bastante heterogêneos, cujas propriedades são dependentes de sua formação geológica e da localização da extração. Em geral, observa-se grande complexidade e variabilidade composicional em argilas extraídas de jazidas distintas, em decorrência de suas características e particularidades geológicas. Sendo assim, evidencia-se a necessidade de pesquisas que buscam a caracterização das argilas dessas jazidas, a fim de se extrair seu real potencial tecnológico [3-8]. Logo, o objetivo deste trabalho foi caracterizar tecnologicamente três argilas utilizadas em setores de cerâmica vermelha no estado de Sergipe.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Preparação das massas argilosas

As argilas foram coletadas das indústrias de cerâmica vermelha dos municípios de Moita Bonita (argila A), Itabaiana (argila B) e Areia Branca (argila C) no estado de Sergipe, Brasil. Após a coleta, as massas argilosas foram destorroadas, moídas no moinho de bolas (Marconi), peneiradas (ASTM 50) e secas a 80 ± 10 °C em estufa (Brasdonto) sem circulação de ar por 24h.

2.2. Caracterização das massas argilosas

2.2.1. Análise química

As três massas argilosas foram analisadas quanto a sua composição química por espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX) por dispersão de comprimento de onda, em um espectrômetro Bruker S8-Tiger 4kW equipado com cristais LiF 200, PET, XS-5 e XS-C. As análises foram realizadas sob vácuo utilizando pastilhas (10 g) prensadas no formato de disco com diâmetro de 20 mm e espessura de 3 mm, sem adição de ácido bórico. A concentração relativa dos elementos foi calculada considerando seus respectivos óxidos.

2.2.2. Análise estrutural

As três massas argilosas foram analisadas quanto a sua estrutura cristalina por difração de raios X (DRX), em um difratômetro XRD Shimadzu Lab X 6000 utilizando radiação $K\alpha_1$ do Cu ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA. A faixa de varredura utilizada foi de 5° a $70^\circ 2\theta$, passo de $0,02^\circ 2\theta$ e tempo de contagem fixo de 0,6 s. Antes das análises, as massas argilosas foram secas em estufa sem circulação de ar (Brasdonto) a $80 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h, moídas e peneiradas (ASTM 16). As análises foram realizadas pelo método do pó e com adição de etilenoglicol (glicolagem) para cada uma das argilas. O tratamento dos dados foi realizado utilizando o software X'pert High Score Plus e o banco de dados JCPDS-ICDD.

2.2.3. Densidade real

Os valores da densidade real das massas argilosas foram determinados de acordo com a norma DNER-ME 093/94.

2.2.4. Parâmetros de plasticidade

A plasticidade das massas argilosas foi avaliada por meio dos limites de Atterberg: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP) [17, 18]. O LL e o LP foram definidos de acordo com a norma NBR 6459 e NBR 7180, respectivamente. O índice de plasticidade foi obtido pela diferença entre os limites de liquidez e plasticidade, como pode ser observado na equação (A):

$$IP = LL - LP \quad (A)$$

2.3. Preparação dos corpos de prova

As massas argilosas foram granuladas com 7% de umidade e condicionadas em recipiente fechado para garantir a distribuição de umidade. Posteriormente, as massas (23 g) foram conformadas na forma de barras de seção retangular com dimensões de 62x22x7,5 mm por prensagem uniaxial utilizando uma tensão de 32 MPa.

2.4. Caracterização dos corpos de prova

2.4.1. Retração linear

Os corpos de prova a verde foram mensurados e secos em estufa com circulação de ar (Sterilifer) por 24 horas a $100 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Em seguida, realizou-se novamente a mensuração para obter a *retração linear de secagem* (RLS). Os corpos de prova foram queimados a $800 \text{ }^\circ\text{C}$,

850 °C, 900 °C, 950 °C e 1000 °C em forno tipo mufla (Jung 7013) com taxa de aquecimento de 10 °C/min e patamar de queima de 3 horas. Adicionalmente, os corpos de prova foram resfriados por convecção natural e mensurados para obter a *retração linear de queima* (RLQ).

2.4.2. Densidade aparente

Os valores da *densidade aparente* (DA) foram determinados pelo método de Arquimedes e calculados de acordo com a equação (B).

$$DA = \left[\frac{m_1}{m_2 - m_3} \right] \cdot m_3 \quad (B)$$

Em que m_1 é a massa seca (g), m_2 é a massa saturada (g) e m_3 é a massa imersa (g).

2.4.3. Absorção de água

A *absorção de água* (AA) foi determinada de acordo com a norma ASTM C20-00 (2005). Após a queima, os corpos de prova foram imersos em água deionizada durante 24h e a pesagem foi realizada pelo método hidrostático. Os resultados da absorção de água foram calculados na forma de percentual de acordo com a equação (C):

$$AA = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \cdot 100 \quad (C)$$

Em que m_1 é a massa seca (g) e m_2 é a massa saturada (g).

2.4.4. Propriedades mecânicas

Após a queima dos corpos de prova, as propriedades mecânicas dos mesmos foram determinadas por meio do ensaio de flexão em três pontos de acordo com a norma ASTM C-634, em uma máquina de ensaio (Shimadzu, kN 50) com velocidade de aplicação de carga de 1 mm.min⁻¹. A *tensão de ruptura à flexão* (TRF) foi determinada pela equação (D):

$$TRF = \frac{3PL}{2a^2b} \quad (D)$$

Em que P é a carga aplicada (N), L é a distância entre apoios (45 mm), a é a espessura (mm) e b é a largura (mm) dos corpos de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Massas argilosas

3.1.1. Análise química

As composições químicas das massas argilosas determinadas por FRX estão presentes na Tabela I:

Tabela I – Resultado da análise química das argilas A, B e C.

Argila	Composição química (%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO	BaO	ZrO ₂	SrO
A	66,04	23,42	2,18	5,60	0,61	1,03	0,72	0,37	-	0,04	-
B	66,52	21,36	2,25	6,19	0,67	1,40	0,91	0,65	-	0,03	0,01
C	65,77	24,58	3,40	3,16	1,29	0,81	0,44	0,42	0,11	0,02	0,01

Percebe-se que as massas argilosas estudadas são constituídas, principalmente, por Al₂O₃ e SiO₂, óxidos associados às estruturas dos argilominerais, quartzo e feldspatos [10]. A razão SiO₂/Al₂O₃ para as argilas A, B e C foram 2,82, 3,11 e 2,68, respectivamente. Quanto

maior é esta razão, maior é o percentual de quartzo livre e mineral acessório presentes na argila. Essas razões obtidas são mais altas do que as razões habituais encontradas para a caulinita ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$:1,18) e montmorilonita ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$: 2,36) [8, 16].

Os óxidos alcalinos e alcalinos terrosos (K_2O , Na_2O , CaO e MgO), atuam como fundentes, por possuírem temperatura de fusão entre 400 e 500°C, contribuindo para formação de fase vítrea e possibilita a redução das características refratárias nas argilas. Entre os óxidos fundentes presentes, o K_2O é um dos principais responsáveis pela formação de fase vítrea [11]. A argila C possui uma maior quantidade desse óxido, entretanto, possui uma baixa quantidade de Fe_2O_3 , que reflete na uniformidade e estabilidade e tonalidade da cor, avermelhada. Adicionalmente, os baixos valores de CaO presentes nas argilas contribuem com a sinterização, visto que elevados teores de CaO leva a perda de massa [14] e aumento na porosidade dos corpos cerâmicos [13] e, conseqüentemente, aumento na absorção de água.

3.1.2. Análise estrutural

A Figura 1 mostra os resultados da análise estrutural das massas argilosas por DRX pelo método do pó (Figura 1.a) e com adição de etilenoglicol (Figura 1.b).

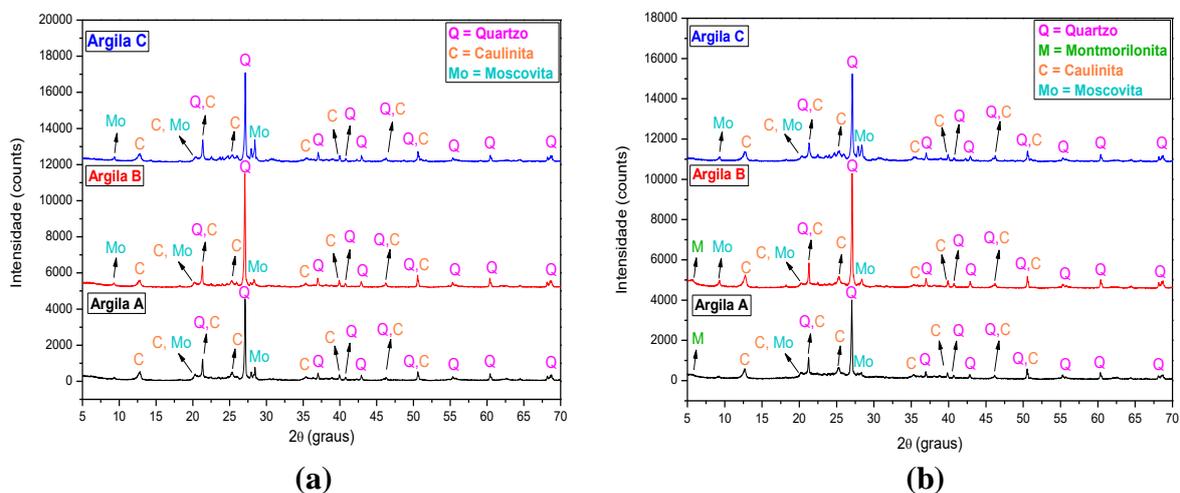


Figura 1. Difratogramas das argilas A, B e C sem glicolagem (a) e com glicolagem (b)

Os resultados da análise estrutural por DRX mostraram que as principais fases cristalinas nas três argilas (com e sem glicolagem) foram a caulinita ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), o α -quartzo (SiO_2) e a moscovita ($(\text{Na}_{0,37}\text{K}_{0,60})(\text{Al}_{1,84}\text{Ti}_{0,02}\text{Fe}_{0,10}\text{Mg}_{0,06})(\text{Si}_{3,03}\text{Al}_{0,97})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$). O argilomineral caulinita é formado pelo empilhamento de camadas 1:1, sendo uma das camadas formada por tetraedros de SiO_4 e a outra camada formada por octaedros de $\text{Al}_2(\text{OH})_6$. Essas camadas estão ligadas entre si por meio de um oxigênio em comum, resultando em uma estrutura fortemente polar. Essas folhas estão dispostas de forma contínua nas direções dos eixos cristalográficos *a* e *b* e estão empilhadas umas sobre as outras na direção do eixo *c*, formando uma cela unitária triclinica com espaçamento basal de 7,5 Å [18].

Por sua vez, a moscovita é um silicato pertencente ao grupo das micas dioctaédricas bem cristalizadas [18]. A moscovita não é um argilomineral porque não se forma a baixas temperaturas e tem um teor de potássio (1,0 átomos por $O_{10}(OH)_2$) maior do que as argilas normalmente possuem (0,7 a 0,95 átomos por $O_{10}(OH)_2$) [15]. Adicionalmente, a presença do quartzo corrobora com os resultados da análise química, haja vista que todas as argilas possuem um teor de SiO_2 entre 65,77% a 66,52%. O teor de SiO_2 obtido na análise química é devido a presença dos silicatos (caulinita e moscovita) e da sílica livre. Quando a sílica livre é cristalina, a fase referente a essa composição é o quartzo [18].

Pode-se observar na Figura 1.b que as argilas A e B com glicolagem apresentaram alguns picos mais intensos e foi possível identificar a fase montmorilonita, que estava ausente nos difratogramas das argilas A e B analisadas pelo método do pó. O argilomineral montmorilonita ($Na_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O$) é formado por duas folhas de silicato tetraédricas com uma folha central octaédrica, que estão unidas por meio de um oxigênio em comum às folhas. A identificação dos argilominerais montmoriloníticos é realizada pelo valor do espaçamento do plano (060), que permite a diferenciação das montmorilonitas dioctaédricas e trioctaédricas. Essa diferenciação é realizada com base na expansibilidade das camadas basais pela adição de etilenoglicol, haja vista que as montmorilonitas perdem o pico de interferência a 14 Å e dão origem a um novo pico a 17 Å [18].

O difratograma da argila C com glicolagem (Figura 1.b) apresentou redução na intensidade de alguns picos em relação ao difratograma da argila C preparada pelo método do pó. Além disso, não foi identificada a fase montmorilonita nesse difratograma, possivelmente porque essa argila apresentou o maior percentual de potássio (3,40%) entre todas as argilas no resultado da análise química. Se o potássio atua como cátion trocável entre as camadas da montmorilonita, o resultado é uma composição e estrutura muito próxima à da mica moscovita, cuja ligação iônica entre as camadas é muito forte e, portanto, a fase montmorilonita não aparece no difratograma [18].

3.1.3. Densidade real

Os valores da densidade real para as argilas A, B e C foram $2,57 \pm 0,023 \text{ g.cm}^{-3}$, $2,61 \pm 0,014 \text{ g.cm}^{-3}$ e $2,46 \pm 0,015 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente. A argila B apresentou a densidade real mais elevada entre as três massas argilosas, provavelmente, devido ao elevado teor de ferro presente na composição química dessa massa argilosa. Além disso, a presença de minerais maiores do que 60 µm influenciam para o aumento da densidade real nas massas argilosas e que esses mesmos minerais favorecem a desgaseificação na secagem e queima de materiais cerâmicos [9].

3.1.4. Parâmetros de plasticidade

Os valores referentes aos parâmetros de plasticidade das três massas argilosas estudadas estão presentes na Tabela II:

Tabela II – Resultados referentes aos limites de Atterberg.

<i>Argilas</i>	<i>LL (%)</i>	<i>LP (%)</i>	<i>IP (%)</i>
A	46	26	20
B	47	25	22
C	36	18	18

A plasticidade é uma propriedade que um material possui de se deformar pela aplicação de uma força e manter essa deformação após a retirada da força. No caso das argilas, a plasticidade é resultante das forças de atração entre as partículas de argilominerais e a ação lubrificante da água entre as partículas anisométricas lamelares [17, 18]. Os materiais que apresentam IP entre 1 e 7% são considerados fracamente plásticos, de 7 a 15% são medianamente plásticos e acima de 15% são altamente plásticos [9]. Na Tabela II, os valores de IP das três massas cerâmicas indicam que as argilas são altamente plásticas e estão dentro da faixa ideal para conformação de cerâmica vermelha, haja vista que o valor mínimo de IP é 15% [16]. Contudo, entre todas as argilas, as argilas A e B foram as que apresentaram maior IP: 20% e 22%, respectivamente.

No caso das argilas A e B, o elevado grau de IP pode ser atribuído a presença do argilomineral montmorilonita. Nesse argilomineral pode haver substituições isomórficas nas posições octaédricas por íons de alumínio, ferro, magnésio etc. Essas substituições deixam as camadas da montmorilonita eletricamente desequilibradas, com uma deficiência de cargas positivas de 0,66 cátion monovalente por cela unitária. Essa deficiência só é reequilibrada quando cátions hidratados entram entre as camadas. Todavia, esses cátions neutralizantes não estão fixados irreversivelmente às camadas e podem ser trocados por outros cátions, levando a uma ligação fraca entre as camadas da montmorilonita. Essa ligação fraca entre as camadas e o elevado grau de substituição isomórfica torna fácil a clivagem das partículas em meio líquido, haja vista que as moléculas de água podem fluir entre as camadas, podendo separá-las totalmente (quando as distâncias interplanares são superiores a 40 Å) [18].

3.2. Corpos de prova

3.2.1. Retração linear

Os valores de retração linear pós-secagem (RLS) e de pós-queima (RLQ) podem ser observados na Tabela III. Nota-se que os valores obtidos de RLS e RLQ são maiores para os corpos de prova da argila A. Essa elevada retração pode estar relacionada com a presença de elementos alcalinos e alcalinos-terrosos e elevados teores de ferro, haja vista que a presença dos mesmos causa elevada retração linear [19]. De fato, os resultados da análise química

mostraram que a argila A possui um elevado teor de ferro (5,60%) se comparado com a argila C (3,16%). Além disso, a presença de óxidos fundentes na argila A, como CaO, MgO, Na₂O e K₂O favorecem a formação de fase líquida, levando a redução dos poros e, conseqüentemente, aumento da retração linear [16]. Adicionalmente, é possível observar que à medida que a temperatura de queima aumenta a RLQ também aumenta.

Tabela III – Valores da Retração Linear de Secagem (RLS) e de Queima (RLQ).

CP	RLS (%)		RLQ (%)			
	100 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
A	0,50±0,002	0,54±0,003	2,57±0,008	3,01±0,024	3,68±0,021	7,24±0,012
B	0,18±0,002	0,01±0,028	1,18±0,010	1,38±0,006	2,50±0,005	5,16±0,017
C	0,33±0,005	-0,08±0,003	-1,08±0,009	-0,60±0,013	0,50±0,013	2,19±0,006

A argila B apresentou o menor valor de RLS entre todas as argilas e os valores de RLQ aumentaram à medida que temperatura de queima aumentou. Além disso, os resultados da análise química mostraram que os teores de ferro e de óxidos fundentes na argila B foram mais elevados do que a argila A. Todavia, os valores de RLS e RLQ da argila B foram inferiores aos valores de RLS e RLQ da argila A. Possivelmente, o elevado teor de matéria orgânica presente na argila B dificultou a saída de gases durante a queima e, conseqüentemente, levou a uma menor retração [16]. Um ensaio de matéria orgânica deverá ser realizado com as argilas para confirmar essa informação. Adicionalmente, a argila C apresentou uma leve expansão linear nas primeiras temperaturas de queima (800, 850 e 900°C). Uma análise dilatométrica deverá ser realizada para uma melhor compreensão desse comportamento expansivo da argila C, assim como uma análise de difração de raios X das argilas após a queima para avaliar se houve alguma mudança de fase que contribuiu para essa expansão.

3.2.2. Densidade aparente

Na Tabela IV estão detalhados os valores de densidade aparente (DA) dos corpos de prova das argilas A, B e C em diferentes temperaturas de queima:

Tabela IV – Valores da densidade aparente dos corpos de prova das argilas A, B e C.

CP	Densidade aparente (g.cm ⁻³)				
	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
A	1,93±0,030	1,94±0,020	1,95±0,020	2,04±0,100	2,09±0,040
B	1,93±0,006	1,94±0,040	1,96±0,060	1,96±0,010	2,01±0,010
C	1,97±0,001	1,98±0,007	1,98±0,030	1,98±0,010	2,01±0,020

Nota-se na que para os corpos de prova das argilas A e B ocorreu um aumento dos valores de DA proporcionalmente com os valores de temperatura de queima. Esses resultados da DA corroboram com os resultados da RLQ, haja vista que os valores de RLQ aumentaram

à medida que temperatura de queima aumentou. O aumento da DA está relacionado com a presença dos óxidos fundentes que favorecem a formação de fase líquida, levando a redução dos poros e, conseqüentemente, aumento da retração linear e da densidade dos corpos de prova [16]. Por sua vez, nos corpos de prova da argila C observa-se que o valor de DA em 800 °C foi o menor entre todas as temperaturas e os outros valores de DA permaneceram constantes entre as temperaturas 850 °C-950°C. Apenas na temperatura de 1000 °C houve um aumento sútil da DA, assim como ocorreu aumento da RLQ nessa mesma temperatura.

3.2.3. Absorção de água

Os valores de absorção de água (AA) dos corpos de prova das argilas A, B e C em diferentes temperaturas de queima estão dispostos na Tabela V:

Tabela V – Valores de absorção de água (AA) dos corpos de prova das argilas A, B e C.

CP	Absorção de água (%)				
	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
A	12,65±0,080	12,62±0,090	12,58±0,170	11,78±0,410	9,87±0,160
B	12,66±0,070	12,57±0,100	11,94±1,100	11,86±0,260	10,65±0,270
C	10,91±0,020	10,81±0,040	10,84±0,130	10,73±0,100	9,86±0,270

Nota-se na Tabela V que os corpos de prova da argila C, no geral, obtiveram os menores valores de AA para todas as temperaturas de queima, apesar da leve expansão que ocorreu nos corpos de prova sinterizados entre 800 °C e 900 °C. Todavia, esses baixos valores de absorção de água se deve a formação de fase vítrea, haja vista que, entre todas as argilas, a argila C é a que possui maior teor de K₂O (3,40%) – um dos principais óxidos fundentes responsáveis pela formação de fase vítrea [11]. É possível observar também que nos corpos de prova da argila C ocorreu oscilação nos valores de AA nas temperaturas de 800 °C a 900 °C, devido ao comportamento expansivo dessa argila. Além disso, para os corpos de prova das argilas A e B pode-se observar que a absorção de água vai diminuindo à medida que a temperatura de queima aumenta. Esses resultados de AA corroboram com os resultados da RLQ e da DA, haja vista que a redução da absorção de água está relacionada com a presença dos óxidos fundentes (Tabela I) que favorecem a formação de fase líquida, levando a redução dos poros e, conseqüentemente, aumento da retração linear, aumento da densidade e redução da absorção de água pelos corpos de prova.

3.2.4. Propriedades mecânicas

Na Tabela VI é possível observar os resultados obtidos no ensaio de flexão em três pontos dos corpos de provas após queima. Nota-se que os corpos de prova da argila B apresentaram os maiores valores de TRF em todas as temperaturas de queima e os corpos de

prova da argila C os menores valores. Todos os corpos de prova apresentaram aumento da TRF com o aumento da temperatura de queima, corroborando com os resultados da densidade aparente. Todavia, os corpos de prova que obtiveram o melhor resultado de absorção de água (argila C) não apresentou o melhor valor de tensão de ruptura.

Tabela VI – Tensão de ruptura à flexão em três pontos (TRF) dos corpos de prova.

CP	Tensão ruptura à flexão em três pontos (MPa)				
	800°C	850°C	900°C	950°C	1000°C
A	9,70±1,420	9,79±0,900	13,21±1,270	13,66±0,980	16,85±0,990
B	11,87±0,380	12,02±0,410	15,05±0,340	17,85±1,130	19,51±0,620
C	9,08±0,730	9,28±0,780	10,52±0,700	11,40±1,290	12,41±0,480

4. CONCLUSÕES

As argilas são materiais naturais constituídos essencialmente por argilominerais e possuem uma grande importância em diversas indústrias. Neste trabalho três argilas utilizadas em setores de cerâmica vermelha no estado de Sergipe foram caracterizadas tecnologicamente a fim de compreender a relação entre a composição, a estrutura e as propriedades fundamentais dos argilominerais presentes com as suas propriedades tecnológicas. Os resultados dessas caracterizações mostraram que as propriedades tecnológicas (retração linear, absorção de água, densidade aparente e propriedades mecânicas) dependem da composição química, da estrutura cristalina e da plasticidade das massas argilosas estudadas.

5. AGRADECIMENTOS

A UFS pela disponibilidade dos laboratórios, ao CNPq pela bolsa de iniciação científica do aluno Erivaldo S. dos Santos Júnior e a FAPITEC/SE pela bolsa concedida a aluna de mestrado Vanessa S. Silva.

6. REFERÊNCIAS

- [1] J. Temga, J. Mache, A. Madi, J. Nguetnkam, D. Bitom, *Appl. Clay Sci.* 171 (2019) 118.
- [2] U.S. Prado, J.C. Bressiani, *Cerâmica Industrial* 18 (2013) 7-11.
- [3] A.L. Silva, C.B.B. Luna, A.C. Chaves, G.A. Neves, *Matéria* 22 (2017) 1.
- [4] L.C. Tanno, J.F.M. Motta, *Cerâmica Industrial* 5 (2000) 37-40.
- [5] I. Silva, J. Costa, R. Menezes, H. Ferreira, G. Neves, H. Ferreira, *Esc. Minas* 66 (2013) 4.
- [6] A. L. Silva, *Cerâmica* 64 (2018) 69.
- [7] R. Menezes, P. Souto, L. Santana, G. Neves, R. Kiminami, H. Ferreira, *Cerâmica* 55 (2009) 163.
- [8] C. Torres, N. Rendtorff, M. Cipollone, E. Aglietti, G. Suárez, *Cerâmica* 64 (2018) 176.
- [9] H. Oliveira, Tese (doutorado em Engenharia de Materiais) – UFS, São Cristóvão, 2017.
- [10] A. Alcântara, M. Beltrão, H. Oliveira, I. Gimenez, L. Barreto, *Appl. Clay Sci.* 39 (2008) 160.
- [11] J. Figueiredo, I. Fernandes, V. Silva, G. Neves, H. Ferreira, L. Santana, *Cerâmica* 64 (2018) 10.
- [12] S. Mahmoudi, A. Bennour, E. Srasra, F. Zargouni, *Appl. Clay Sci.* 135 (2017) 215.
- [13] J. Goes, T. Azevedo, T. Dutra, V. Santos, J. Severo, L. Barreto, *Cerâmica* 60 (2014) 215.
- [14] F. Pardo, B.M.M. Jordan, M.A. Montero, *Appl. Clay Sci.* 157 (2018) 158.
- [15] B. Velde, *Introduction to clay minerals*. Chapman & Hall, France (1992), p. 71.
- [16] H. Oliveira, C. Santos, R. Oliveira, E. de Jesus, Z. Macedo, *Cerâmica* 63 (2017) 318.
- [17] F.A. Andrade, H.A. Al-Qureshi, D. Hotza, *Appl. Clay Sci.* 51 (2011) 1.
- [18] P. S. Santos, *Tecnologia de argilas*, vol. 1. USP, São Paulo (1975).
- [19] P. S. Santos, *Tecnologia de argilas*, vol. 2. USP, São Paulo (1975).