

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE REJEITOS CONTIDO NO EFLUENTE INDUSTRIAL DE UMA EMPRESA CERÂMICA COMO ALTERNATIVA PARA REAPROVEITAMENTO NA FABRICAÇÃO DE LOUÇAS SANITÁRIAS.

EVALUATION OF THE PROPERTIES OF TAILINGS CONTAINED IN THE INDUSTRIAL EFFLUENT FROM A CERAMICS COMPANY AS AN ALTERNATIVE FOR REUSE IN THE MANUFACTURE OF SANITARY WARE.

Robson de França Silva¹
Renalle Cristina Alves de Medeiros Nascimento²

RESUMO

Efluentes são todos os resíduos provenientes de processos produtivos ou do consumo humano. Estes apresentam características físicas, químicas e biológicas específicas e as propriedades variam segundo a matéria-prima, o manejo e o ramo de atividade. Quando os efluentes são contaminados por materiais sólidos proveniente do setor industrial, comumente são realizados tratamentos para separar a parte líquida da sólida, obtendo assim um rejeito industrial mais limpo. Numa fábrica de louças sanitárias, a barbotina cerâmica é o material propulsor para confecção das peças, por vezes essa barbotina chega na central de tratamento de efluente e em seguida é descartada no meio ambiente de forma adequada. Com base no exposto, este trabalho tem como objetivo determinar as características físicas, químicas e mineralógicas da massa retida nas operações de filtração do processo produtivo de louças sanitárias. Para tanto, uma amostra de massa retida, denominada de Lodo, proveniente do processo industrial de uma fábrica de louça sanitária, foi caracterizada a partir dos ensaios de distribuição granulométrica, Inchamento de Foster, Capacidade de Troca Catiônica e Área específica, Espectroscopia de fluorescência de Raio-X, Curva de defloculação, perda ao fogo e os corpos de prova, caracterizados pela cor, retração a queima e módulo de ruptura a flexão. Os resultados evidenciaram que o Lodo apresentou ampla distribuição granulométrica, na faixa de 0,3µm a 53µm, Halosita $4H_2O$ como argilomineral da fração argilosa, alta pureza e boa resistência mecânica, sendo possível inferir que o reaproveitamento do Lodo na massa cerâmica é uma alternativa para redução de custos, resultando numa produção mais sustentável.

Palavra(s)-chave(s): efluente; argila; filtração; reaproveitamento.

ABSTRACT

Effluents are all wastes originating from production processes or human consumption. They present specific physical, chemical and biological characteristics and their properties vary according to the raw material, the management and the branch of activity. When effluents are contaminated by solid materials from the industrial sector, treatments are usually carried out to separate the liquid part from the solid, thus obtaining a cleaner industrial waste.

¹Bacharelado em Engenharia de Materiais - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho 2022.

²Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais– Universidade Federal de Campina Grande – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho.

In a sanitary ware factory, ceramic clay slip is the propellant material for making the pieces. Sometimes this slip arrives at the effluent treatment plant and is then properly disposed of into the environment. Based on the above, this work aims to determine the physical, chemical and mineralogical characteristics of the mass retained in the filtration operations of the production process of sanitary ware. For this, a sample of retained mass, called sludge, from the industrial process of a factory of sanitary ware, was characterized from the tests of particle size distribution, Foster swelling, Cation Exchange Capacity and Specific Area, X-ray fluorescence spectroscopy, deflocculation curve, loss on fire and the test bodies, characterized by colour, shrinkage burning and flexural modulus of rupture. The results showed that the sludge had a wide particle size distribution, in the range of 0.3 μ m to 53 μ m, Halosite4H₂O as argillomineral of the clay fraction, high purity and good mechanical strength, being possible to infer that the reuse of sludge in ceramic mass is an alternative to reduce costs, resulting in a more sustainable production.

Keywords: effluents; clay; filtration; reuse

INTRODUÇÃO

Os efluentes são definidos como uma mistura de um fluido contendo rejeitos provenientes dos consumos da população e setor industrial e, podem ser subdivididos em efluentes industriais (quando contém resíduo de setor produtivo, a exemplos de barbotina cerâmica, graxas, solventes, corantes, dentre outros); efluentes hospitalares (quando gerados por atividade hospitalar) e efluentes domésticos (quando são provenientes de banheiros, cozinha dentre outras atividades humanas) (BELTRAME et al, 2016).

Na indústria cerâmica, como no caso de indústrias que fabricam louças sanitárias, são comumente utilizados o processo de colagem por barbotina como técnica de processamento para obtenção das peças. Comumente conhecido como processo de conformação líquida, uma vez que a barbotina é composta por uma suspensão de argila, quartzo e feldspato, dispersos em elevado teor de água. Adicionalmente, são utilizados defloculantes para promover a estabilidade da dispersão, ou seja, para manter as partículas suspensas e dispersas (defloculadas) no meio aquoso (OLIVEIRA et. al, 2018).

Nesse processo, é recorrente que

parte da barbotina usada na produção, seja encontrada no efluente industrial, em virtude de descontinuidades na produção, a exemplo de transbordo de tanque de armazenamento, moldes com avaria ou até mesmo ruptura da tubulação de alimentação, que transportam a barbotina do tanque de armazenamento para a produção (BOCH,2007).

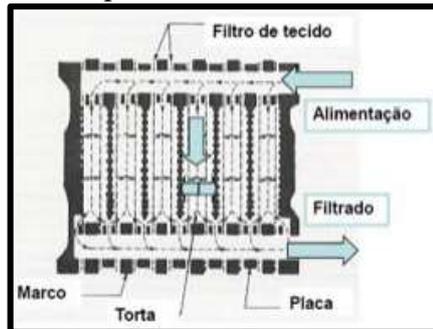
Quando esse efluente chega na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) é necessário passar por diversos estágios para obtenção de um efluente mais limpo que pode ser descartado no meio ambiente. Nesta etapa, utiliza-se a filtração para separar as partículas sólidas do líquido, sendo a parte sólida denominada de torta de filtração e o líquido denominado de sobrenadante (ISENMANN,2013).

Os filtros são divididos, em geral, em dois tipos, os de profundidade e os de superfície, o primeiro é utilizado quando se tem um fluxo de material contínuo e o segundo quando o objetivo é a obtenção de uma torta do material sólido (ALVES et al, 2020). O filtro mais comumente utilizado para obtenção de torta é o filtro prensa, que dentre as principais vantagens, destacam-se: equipamento que ocupa menos espaço, baixo custo de manutenção, baixo consumo de energia, além de formar uma torta espessa com alto teor de material sólido

(Figura 1) (ALVES et al, 2020).

A operação de filtração se torna efetiva quando uma bomba para promover a sucção é utilizada, retirando o sobrenadante. Já o filtrado, que fica disposto em placas hexagonais, após o processo ser finalizado são ejetadas do equipamento (AZEVEDO, CERQUEIRA,2017).

Figura 1- Filtro prensa.



Fonte: AZEVEDO, CERQUEIRA, 2017.

Devido às propriedades das argilas serem fortemente ligadas a sua composição química e estrutura cristalina, a mínima variação da composição pode acarretar numa drástica variação nas propriedades finais do produto. Sabe-se que os rejeitos sólidos provenientes da etapa de filtração contém, dentre outros materiais, argila. Assim, para garantir o reaproveitamento da torta de filtração é necessário caracterizar o rejeito sólido, denominado de Lodo, para determinar as propriedades químicas, físicas e mineralógicas e garantir o adequado reaproveitamento da fração sólida proveniente do efluente industrial (SANTOS, 1989).

A importância do aproveitamento da torta de filtração pode ser explicada através da metodologia Lean, que expõe 7 tipos de desperdícios: de superprodução, de processamento, de tempo, de transporte, de produtos defeituosos, de movimentação e de estoque, e afirma que a presença de um desses promove uma baixa na produtividade e desvios negativos no custo final da produção (OLIVEIRA, 2016).

Outra motivação da reutilização é o fator econômico, pois tal utilização diminui a quantidade necessária de matéria-prima, acarretando numa diminuição de custos para aquisição dos insumos (ANTUNES,2008).

Diante disso, esse trabalho visa determinar as características físicas, químicas e mineralógicas da massa retida nas operações de filtração do processo produtivo de louças sanitárias.

METODOLOGIA

Materiais

Foi utilizado o Lodo, proveniente da etapa de filtração, para ser reaproveitado no preparo das barbotinas cerâmicas. As amostras foram coletadas em pontos diferentes do local de armazenamento do lodo, no Armazém de Reciclagem e Materiais – ARM (Figura 3), e denominadas de A1, A2, A3, A4 e A5. Todas as amostras foram coletadas também em 03 dias distintos.

A Barbotina cerâmica foi preparada com o Lodo utilizando 800 g de Lodo para cada 500 ml de água (concentração de 1600 g/L) e 30 mL de silicato de sódio (NaSiO_4).

O silicato de sódio (NaSiO_4) foi utilizado como dispersante, para promover a melhor dispersão do sistema

Figura 2- Armazenamento do lodo.



Fonte: Robson França, 2021.

Métodos

Os métodos descritos a seguir foram executados em triplicatas e os resultados apresentados no item 3 (resultados e discussão) apresentam uma média dos valores obtidos.

Brainstroming

Inicialmente foi executado um *brainstroming* para que os colaboradores ajudassem com o norteammento do trabalho.

Essa etapa foi realizada através de um questionário com os analistas do laboratório e os operadores da ARM (Armazém de Reciclagem e Materiais). Eles responderam as seguintes perguntas

1. Qual o destino do Lodo?
2. O Lodo já foi utilizado como parte da barbotina produzida na fábrica?
3. Quais ensaios de caracterização já foram realizados no Lodo?

Filtração

Para obtenção do Lodo, foi utilizado um filtro prensa da marca Andritz modelo 8 BAR (Figura 4).

Neste processo, o filtro foi alimentado com o efluente da produção, em seguida o sistema de sucção promoveu o vácuo e a diferença de pressão resultou na separação da água e do Lodo. O Lodo ficou acumulado em placas hexagonais e, após cessada a sucção, foram retiradas e expostas ao ar livre.

Figura 3- Filtro Prensa.



Fonte: Robson França 2021.

Preparação da Barbotina

A barbotina foi preparada em agitador mecânico de alta velocidade. No qual, inicialmente foram adicionados 1600 g de Lodo, gradativamente, em 2000 L de água, e essa mistura foi deixada em agitação por cerca de 30 min, em seguida foram adicionados mais 1600 g de Lodo, obtendo

assim uma concentração de 1600 g/L, e 30 mL de silicato de sódio (NaSiO₄), deixando essa mistura final sob agitação por 2 horas.

Caracterização do Lodo

O Lodo foi caracterizado de acordo com os testes descritos a seguir.

* Teor de umidade

Para obtenção do valor representativo dessa propriedade, uma amostra de 100 g de Lodo úmido (contida num cadinho devidamente pesado sem material) foi pesada em uma balança semi analítica, e levado para estufa (Figura 5) à 105° C por 4 h. Após esse período, amostra foi novamente pesada e os dados substituídos na Equação 1.

Figura 4- Estufa.



Fonte: Robson França 2021.

$$\%H_2O = \left(1 - \frac{M_{seca}}{M_{úmida}}\right) \times 100\% \quad (1)$$

Mseca = Massa seca.

Múmida = Massa úmida.

* Beneficiamento do lodo

Devido à necessidade da utilização do lodo na forma de pó e com diâmetro de partículas pequeno, o Lodo foi seco em uma estufa à 105 °C por 3 horas, em seguida foi macerado e peneirado em malha 200 mesh (abertura de 0,074 mm). O material beneficiado foi utilizado nos ensaios de Inchamento de Foster e Capacidade de Troca Catiônica (CTC).

* Distribuição granulométrica

Uma amostra com 100 g de Lodo,

totalmente seco, foi macerado apenas para soltar os gromos, em seguida foi classificada granulometricamente, por uma série de 8 peneiras com aberturas diferentes de acordo com os seguintes mesh (aberturas) #35 (0,500 mm); #50 (0,297 mm); #60 (0,250 mm); #80 (0,177 mm); #100 (0,149 mm); #200 (0,074 mm); #230 (0,063 mm) e #325 (0,044 mm). A agitação foi realizada com auxílio de uma mesa vibratória em velocidade alta por 12 minutos.

*Inchamento de Foster

De acordo com o método desenvolvido por Foster (1953), foi adicionado 1g de Lodo, previamente seca e peneirada na malha #200, a 50 mL de água destilada contida em uma proveta de 100 mL. Esse sistema ficou em repouso durante 24h e logo após foi feita a medição e leitura do inchamento da amostra.

* Capacidade de troca catiônica (CTC) e área específica (AE)

Tanto a AE quanto a CTC foram determinadas através do método de adsorção de azul de metileno, que consistiu em preparar uma solução de azul de metileno com concentração de 37 g/L para ser usada como o titulante. Após isso, foi preparada uma suspensão coloidal de 5 g de Lodo para 300 mL de água deionizada. A suspensão foi agitada e adicionada gota a gota numa solução IN de Na₂CO₃, para que o pH aumentasse até aproximadamente 9, durante 5 min, após esse tempo adicionou-se ao sistema uma solução IN de HCl para diminuir o pH até que chegasse à aproximadamente 3,5, esse sistema foi usado como o titulado (Ferreira, 1975).

Com o titulado e titulante preparado, foi iniciado a titulação, adicionando primeiro 1 mL do titulante ao titulado sobre agitação, um bastão de vidro foi inserido dentro da solução titulada com o intuito de retirar uma gota da solução. Com o bastão, pingou uma gota da solução sobre um papel de filtro e ao observar a gota, caso aparecesse uma borda azulada, a solução precisava ser agitada por 5 min e logo em seguida repetido o processo. Caso a borda não desaparecesse,

a titulação seria encerrada; caso contrário deveria ser adicionado mais 1 mL do titulante e repetido todo o procedimento.

Com o fim da titulação, o volume titulado foi inserido na Equação 2, junto a concentração da solução e a massa da amostra seca. Os valores de CTC obtidos foram comparados com os valores de referência mostrados na Tabela 1 e então foi possível sugerir qual tipo de argilomineral está presente no material argiloso contido na amostra do Lodo.

$$CTC = \frac{V \times C \times 100}{\text{Massa da amostra seca (g)}} \quad (2)$$

V= Volume utilizado na titulação.

C = concentração da solução (g/L).

Para a determinação da AE foi utilizada a Equação 3, o resultado obtido é dado em m²/g.

$$AE = CTC \times 7,8043. \quad (3)$$

Tabela 1- valores de CTC para diferentes argilominerais.

ARGILOMINERAIS	CTC (MEQ / 100 G DE ARGILA)
CAULINA	3-15
HALOISITA 2 H ₂ O	5-10
HALOISITA 4H ₂ O	10-40
CLORITA	10-40
ILITA	20-60
SEPIOLITA	20-35
ATAPULGITA	
MONTMORILONITA	60-150

Fonte: Pichler, 1997.

* Espectroscopia de fluorescência de Raio-X

A análise química por fluorescência de raios-X determina semi quantitativamente os elementos presentes na amostra. Este método tem como base a medição das intensidades dos raios-X característicos emitidos por estes elementos. Esta análise foi realizada no espectrômetro de fluorescência de raios-X da marca PANalytical do modelo

Episilon3.

* Perda ao fogo

Visando determinar a quantidade de matéria orgânica presente no Lodo, uma amostra de devidamente seca, foi pesada em um cadinho (sem considerar o peso do cadinho), em seguida essa amostra foi posta no forno industrial por um ciclo (com um range de temperatura 70°C até 1200) por 12 h, após isso a amostra foi novamente pesada e os dados obtidos foram aplicados na Equação 4.

$$\left(1 - \frac{M_{queim.}}{M_{seca}}\right) \times 100\% \quad (4)$$

Mseca = Massa seca.

Mqueim = Massa queimada.

* Curva de defloculação

Para determinar a quantidade máxima que a dispersão do Lodo suporta antes de flocular, foi obtida uma curva de defloculação. O Lodo, previamente seco em estufa a 105 °C por 4 horas, foi adicionado a água na proporção de 800 g em massa a 500 mL de água.

A viscosidade foi medida através de um viscosímetro Brookfield da BrasEq, modelo RVT (Figura 6). O ensaio inicia agitando manualmente 500 mL de dispersão argilosa por 1 min, após isso o becker que contém a barbotina é posicionado de maneira que o *spinner* fique no seu centro. Então, liga-se o viscosímetro a uma rotação de 20 RPM e, após 1 minuto, faz-se a leitura da viscosidade inicial.

Em seguida, foi adicionado 0,1 mL do defloculante (silicato de sódio) à barbotina e o sistema foi novamente homogenizado durante 1 min. Repetiu-se então a leitura, anotando o valor obtido. Essa segunda etapa foi repetida até que o resultado da viscosidade permanecesse constante ou tivesse o seu valor aumentado ao invés de diminuir.

Figura 5- Viscosímetro Brookfield.



Fonte: Robson França, 2021.

Caracterização dos corpos de prova

* Preparação dos corpos de prova

Os 5 corpos de prova, denominados de CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5, foram confeccionados através de colagem de barbotina. O líquido foi vertido em um molde de gesso e deixados em repouso durante 7 horas à temperatura ambiente. Após esse período, os corpos de provas foram destacados do molde e secos em uma estufa à 105°C por 4 horas. O molde foi confeccionado por fundição em uma matriz de epóxi. Tanto o molde quanto a matriz foram fabricados na própria fábrica.

* Cor

A cor foi avaliada apenas no aspecto visual, para certificar que não apresentaria diferenças drásticas na aparência a olho nu, tanto para as peças a verde quanto para as peças sinterizadas.

* Retração a queima

Nesse ensaio foi verificado o quanto a peça retraiu nas dimensões após a queima. Para isso, foram feitas medições das dimensões da peça antes e após a sinterização. Os valores obtidos foram então aplicados na Equação 5.

$$\%Retração = \left(1 - \frac{D_s}{D_v}\right) \times 100 \quad (5).$$

Ds= Dimensão da peça sinterizadas.

Dv= Dimensão da peça a verde.

* Módulo de ruptura a flexão

O módulo de ruptura a flexão foi obtido através de ensaio de flexão de 3 pontos, realizado em uma máquina universal de ensaios (Figura 7) da Servitech, modelo CT-12101. As garras inferiores foram separadas na distância de 10 cm e na garra central uma carga de 500 Kgf foi aplicada a uma velocidade de 0,05 mm/min. O ensaio foi concluído quando o corpo de prova foi rompido. Foram ensaiadas tanto peças a verde quanto sinterizadas.

Figura 6- Máquina universal de flexão



Fonte: Robson França, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão estão divididos em 3 partes. Na primeira parte encontra-se o contexto histórico, o beneficiamento da amostra e determinação do teor de umidade. Na segunda parte estão disponibilizados os resultados das caracterizações química, físico-química e reológica e, por último, tem-se os resultados da caracterização mecânica.

Contexto histórico e Beneficiamento da amostra

Brainstroming

O Brainstroming é uma ferramenta de inovação e melhoria de processos, que tem como objetivo a exposição de ideias de forma verbal, apresentando uma demasiada quantidade de ideais em um período curto de tempo, norteando assim de maneira eficaz e rápida o projeto a ser seguido (BUCHELE et

al,2017).

Através do uso dessa ferramenta, a partir das respostas obtidas com as perguntas consideradas, descobriu-se que o Lodo é enviado para outra empresa, no qual são reaproveitados esses resíduos.

Também descobriu que o Lodo já foi utilizado como parte da barbotina virgem, nas proporções de 0,5%, 1% e 5% da massa total produzida. No entanto, quando surgia qualquer descontinuidade recorrente na produção das louças cerâmicas, o lodo era retirado.

Além disso, foi constatado que nunca foi realizado nenhum ensaio de caracterização. Ou seja, não se tinha informações das propriedades do lodo e, por este motivo, correlacionavam que qualquer defeito na linha produtiva era advinha do uso do lodo.

Teor de umidade

Os resultados da porcentagem de água presente nas amostras dos Lodos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teores de umidades para as amostras estudadas.

	%H ₂ O 1º DIA	%H ₂ O 2º DIA	%H ₂ O 3º DIA
A1	30,20	31,70	29,00
A2	29,80	32,50	28,70
A3	31,00	30,50	29,10
A4	31,90	33,00	27,80
A5	29,60	31,80	28,50

Fonte: Robson França, 2021.

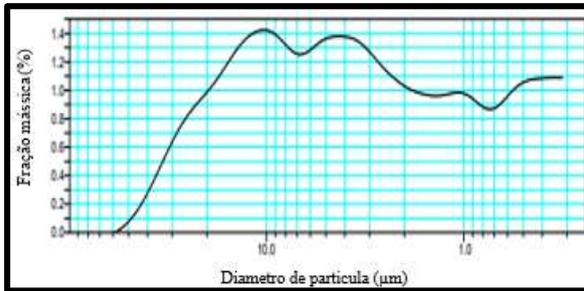
Observou-se que o Lodo apresentou umidade média em torno de 30%, independente do dia de coleta da amostra. Os altos valores de umidade deve-se ao lodo ter sido formado a partir de uma suspensão aquosa, com alto teor de água. A umidade variou de 27,80% (para amostra A4, coletada no terceiro dia) até 33,00% (para amostra A4 coletada no segundo dia).

Caracterização físico-química, química e reológica.

Distribuição granulométrica

O Gráfico 1 mostra a distribuição granulométrica e o Gráfico 2 as frações de partículas com diâmetros diferentes.

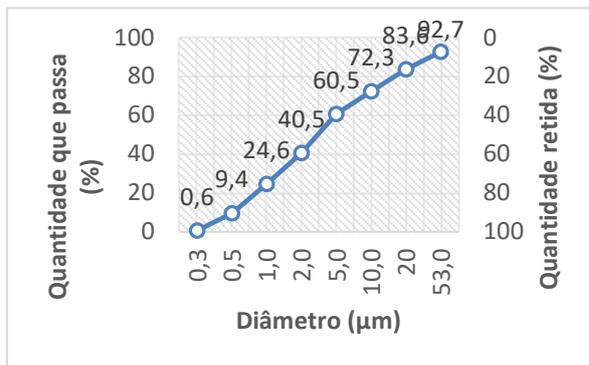
Gráfico 1- Distribuição granulométrica.



Fonte: Robson França, 2021.

A amostra do lodo apresentou uma ampla distribuição granulométrica, variando o diâmetro de 0,3 a 53µm. Essa alta faixa granulométrica é benéfica durante a etapa de compactação de peças, pois a alta distribuição granulométrica contribui para alta compactação do material, resultando numa peça a verde com menos poros. Segundo Boch (2007), isso ocorre em virtude das partículas menores preencherem os vazios formados pelas partículas maiores, favorecendo assim a compactação.

Gráfico 2 - Frações de partículas com diâmetros diferentes.



Fonte: Robson França, 2021.

A partir do Gráfico 2, foi possível observar que o Lodo é composto de 40,5% de fração argila e 50,5% de fração silte. De acordo com a literatura, a fração argila apresenta forte influência na plasticidade do material, pois, essa fração exerce forças de coesão e aderência entre a superfície da partícula e a água, consequentemente quanto maior o teor de argila maior será a quantidades de forças de aderência e coesão com a água provocando assim uma maior plasticidade (RESENDE, 2009).

Inchamento de Foster

Segundo Foster (1953, p 984), materiais que apresentam valores iguais ou menores que 2 mL correspondem a um inchamento nulo, valores entre 3 à 5 mL correspondem a um inchamento baixo, valores entre 6 à 8 mL correspondem a um inchamento médio e para valores superiores a 8mL, o grau de inchamento da argila é classificado como alto.

De acordo com os resultados observados na Tabela 3, o lodo apresentou inchamento nulo.

Tabela 3- Resultados do Inchamento de Foster.

ENSAIO	INCHAMENTO	CLASSIFICAÇÃO
1	0mL	Nulo
2	0mL	Nulo
3	0mL	Nulo

Fonte: Robson França, 2021.

De acordo com a literatura, a atividade da argila em meio aquoso depende de diversos fatores, como o tipo de argilomineral presente na argila e o tipo de cátion presente entre as lamelas de argila, sendo esse segundo fator, dependente do raio atômico e do número de coordenação que o cátion faz com a água. Geralmente, cátions monovalentes, com tamanhos relativamente maior que os cátions divalentes, apresentam a maior capacidade de hidratação como consequência do seu número de coordenação maior (SANTOS,1989).

Capacidade de troca catiônica e área específica (AE).

Os resultados do ensaio de capacidade de troca catiônica e área específica estão disposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do teste de CTC e AE.

Amostra	CTC	AE	Argilomineral
A1	18,4	143,60	Haloisita 4H ₂ O
A2	18,4	143,60	Haloisita 4H ₂ O
A3	18,3	142,82	Haloisita 4H ₂ O
A4	18,5	144,37	Haloisita 4H ₂ O
A5	18,4	143,60	Haloisita 4H ₂ O

Fonte: Robson França, 2021.

Na Tabela 4 os resultados de CTC estão na unidade de 100 meq/ g de amostra seca enquanto, já os valores de AE estão em m²/g. Ao comparar os resultados da Tabela 5 com as referências da Tabela 1, o argilomineral que constitui o Lodo está dentro da faixa de Haloisita 2 e 4 H₂O (10-40 meq/g), para todas as amostras, as amostras usadas nesse ensaio foram as coletadas nos 1º dia. Esse argilomineral pertence ao grupo das Caulinitas, apresentando mesma composição química de Al₄Si₄O₁₀(OH)₈ mas geometria diferente. Além disso, nesse caso em específico há 4 moléculas de água entre as lamelas do argilomineral (SANTOS,1989).

Os valores de CTC e AE evidenciam que o Lodo apresenta baixa capacidade de troca de cátions, como consequência uma baixa área específica, o que dificulta a

adsorção das moléculas de azul de metileno na superfície do argilomineral (AMORIM, 2003).

Esse argilomineral facilita a formação de mulita, promovendo assim um aumento das propriedades mecânica e termica das peças cerâmica (SANTOS, TOLEDO, SANTOS, 2009).

Espectroscopia de fluorescência de Raios-X.

Os resultados de composição química estão mostrados na Tabela 5.

Sabendo que o Lodo é uma amostra proveniente da barbotina de produção e que essa barbotina é composta por uma mistura de argila, feldspato e quartzo. Foi possível observar um teor de 66% de silicato (SiO₄) na composição no Lodo. Assim, o alto teor de SiO₄ deve-se a presença dos 03 minerais majoritariamente presentes na barbotina.

Os maiores teores dos óxidos de cálcio e potássio pode ser explicado pela literatura, pois os feldspatos apresentam fórmula empírica de AB₄O₈, no qual A pode ser K (ortoclásio), Na (sódio) e/ou Ca (Cálcio) e B pode ser Si ou Al (Lira et al, 2013).

Tabela 5 - Composição química do Lodo.

	SiO ₄	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CAO	Na ₂ O	K ₂ O	MNO	TiO ₂	MGO	P ₂ O ₅
LODO	66,00	19,45	1,31	1,66	0,63	2,16	0,04	0,42	0,40	1,05

Fonte: Robson França,2021.

Perda ao fogo.

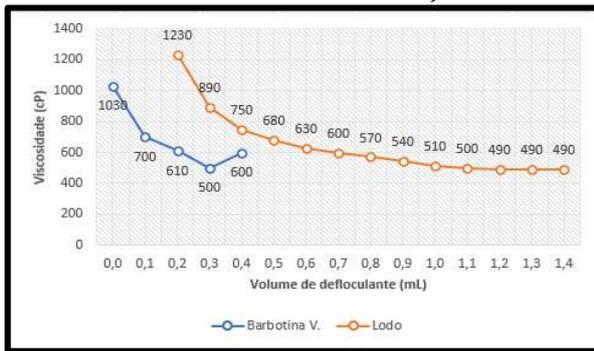
O Lodo apresentou 6,88% de perda ao fogo. Esse valor está dentro dos limites aceitáveis do parâmetro industrial que é de no máximo 10%. Acima desse valor, a matéria orgânica pode influenciar diretamente na resistência mecânica, pois quando o produto final contendo alto teor de matéria orgânica passa pelo forno, a matéria orgânica é decomposta em gás carbônico, água e cinzas. O resultado dessa decomposição é a formação de poros na estrutura do material, que atuam como concentradores de tensão, multiplicando as tensões aplicadas e, conseqüentemente,

fazendo com que o produto fracture a níveis de tensão menores (SETZ, SILVA 2019).

Curva de defloculação.

No Gráfico 2 estão dispostos as curvas de defloculação do lodo e do barbotina virgem.

Gráfico 2 - Curva de deflocação.



Fonte: Robson França, 2021.

A viscosidade aparente é definida como sendo uma medida direta da interação eletrostática e da massa entre as partículas. Diante disso, nota-se que a maior viscosidade inicial foi observado para o Lodo. Esse aumento pode ser devido a maior interação das partículas promovida pela ação do floculante usado na etapa de filtração (MACHADO, 2002).

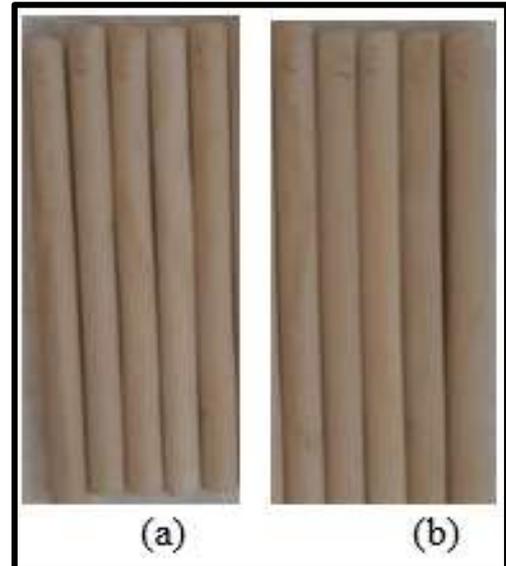
Comparando as curvas da barbotina virgem com a do Lodo, nota-se que o Lodo apresentou uma maior viscosidade inicial provavelmente pela ação do floculante usado na operação de filtração. O floculante age de maneira adversa ao defloculante fazendo assim com que o Lodo necessite de uma maior quantidade de defloculante para chegar ao ponto mínimo.

A curva de deflocação apresentada nesse ensaio é explicada pela literatura, pois, a adição do defloculante provoca um aumento do potencial zeta das partículas presentes na dispersão e, quando esse potencial ultrapassa o potencial zeta crítico, faz com que os aglomerados do tipo *face-face* e *edge-edge* sejam separados, diminuindo assim essas interações, consequentemente diminuindo a viscosidade. Com o avanço da adição de defloculante, atinge-se o potencial zeta crítico, que desestabiliza a dispersão, ocasionando a formação novamente de agregado ou aglomerado, promovendo assim o crescimento no final da curva (como para o caso da barbotina virgem) ou constante da curva (para o caso do lodo) (SANTOS, 1989).

3.2.7 Cor.

As Figuras 8 e 9 ilustram os corpos de prova a verde e sinterizado, respectivamente, preparados com o Lodo e com a barbotina virgem.

Figura 7- Corpo de provas a verde preparados com (a) Lodo e com (b) Barbotina virgem.



Fonte: Robson França 2021.

A partir das imagens é possível observar que não foram visualizados grandes diferenças na coloração dos corpos de prova.

Figura 8- Corpo de provas sinterizado (a) Lodo (b) Barbotina virgem.



Fonte: Robson França, 2021.

Assim como nos corpos a verde, os

corpos de provas sinterizados não apresentaram grandes diferenças na coloração (Figura 8), mas apareceram pequenos pontos pretos no corpo de prova feito com o Lodo.

Esses pontos pretos podem ser decorrentes das cinzas geradas pela calcinação do floculante, composto orgânico adicionado na etapa de filtração, uma vez que a decomposição desse material gera gás carbônico, água e cinzas, sendo esse último formado apenas em reações incompletas (ATKINS,2017).

Durante a etapa de sinterização dos

corpos de prova, a fragilidade ocasionada pelo decomposição da matéria orgânica e de compostos orgânicos no material, resultaram na quebra de algumas peças a serem analisadas, por este motivo, observa-se nas imagens da Figura 8, quantidades inferiores dos corpos de prova após a sinterização.

Retração à queima.

A Tabela 7 apresenta os resultados de retração dos corpos de prova preparados com lodo e com a barbotina virgem.

Tabela 7 - Resultados da retração à queima.

Corpos de prova	Largura inicial (mm)	Largura após secagem (mm)	Retração de secagem (%)	Largura após sinterização (mm)	Retração após sinterização (%)	Retração total (%)
Lodo	201,7	194,5	3,57	176,3	9,36	12,93
Barbotina Virgem	201,7	196,7	2,50	181,35	7,80	10,30

Fonte: Robson França,2021.

Para a secagem, pode-se observar que os corpos de prova a verde preparados com o Lodo apresentou retração de secagem da ordem de 3,57%, já para a barbotina a retração foi de 2,50%. O lodo está praticamente dentro dos limites considerados aos parâmetros industriais para secagem de corpos a verde que variam de 2,0% a 3,5%. De acordo com a literatura, retração de secagem inferior a 2%, significa que ainda há água de secagem na estrutura do corpo de prova, sendo inviável seguir com o material para a sinterização, pois, a queima poderá provocar a quebra da peça pela velocidade de saída do vapor de água (SETZ, SILVA 2019).

Após a sinterização, os corpos de provas apresentaram retração de 9,36%, para os corpos de prova confeccionados a partir do Lodo, e de 7,80% para os confeccionados com a barbotina virgem. Essa retração demasiada pode ser explicada em conjunto com a curva de defloculação, pois o Lodo apresentou uma viscosidade final menor que a barbotina final, acarretando numa maior separação das

partículas sólidas em comparação a das barbotina virgem, fazendo com que na sinterização promova uma retração maior no Lodo do que na barbotina virgem.

Em relação à retração final, o Lodo teve uma retração de 12,93%, valor maior que os limites permitidos na indústria que é entre 10% a 11%.

Caracterização mecânica.

Módulo de ruptura a flexão.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados do Módulo de Ruptura a Flexão (MRF).

Tabela 8- Resultado de MRF para os corpos de prova preparados com Lodo.

MRF	Peças a verde (KN)	Peças sinterizadas (kN)
CP 1	1,66	45,3
CP 2	1,63	41,3
CP 3	1,58	
CP 4	1,74	

CP 5	1,69	
NBR-62727-1	--	22

Fonte: Robson França, 2021.

Segundo a Norma da ABNT NBR-16727-1 (2019) que determina que os componentes das louças sanitárias deverá suportar valores mínimos de 22 kN, porém, esse valor está ligado apenas a corpos sinterizado uma vez que essa norma regulamenta produtos acabados, não há referência sobre propriedade durante o processo.

Os testes evidenciaram que o CP 4 suportou a maior força (1,74 kN) entre os corpos de provas a verde, já o CP 1 suportou a maior força entre os corpos de prova sinterizados (45,3 kN), em relação à norma os valores de todos os corpos de provas apresentaram uma alta resistência mecânica, mediante a literatura essa alta resistência vem como consequência da ampla granulometria da amostra, que fornece uma boa compactação que consequentemente na sinterização diminui a quantidade de poros que atuam negativamente a resistência dos materiais (SETZ, SILVA 2019).

Em análises aos pontos pretos evidenciados nos resultados de cor (Figura 9), não foi observado influencia negativa a resistência mecânica do corpo de prova sinterizado, uma vez que pela literatura esses pontos são considerados como impurezas, e atuam como concentrador de tensão assim como os poros (CALLISTER, 2014).

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que:

- O Lodo apresentou alta umidade ter sido proveniente de barbonita cerâmica;

- A ampla distribuição granulométrica, favoreceu para melhores resultados de resistência mecânica.

- O argilomineral presente na fração argila do Lodo é a Haloisita $4 H_2O$, argilomineral pertencente ao grupo das caulinitas amplamente utilizados nas indústrias de louças cerâmicas;

- O Lodo apresentou inchamento nulo no teste de Inchamento de Foster;

- Em relação a composição química do Lodo, o mesmo apresenta alto teores de sílica como consequência dos minerais que formam a barbotina (argila, quartzo e feldspato), além de altos teores de óxido de cálcio e potássio, por consequência do feldspato.

A curva de defloculação apresentada pelo Lodo, demonstra uma maior deloculação quando comparado com a barbotina virgem, isso ocorre devido à ação do flocculante adicionado na filtração;

- Os corpos de provas sinterizados e confeccionados com o Lodo apresentaram pequenos pontos pretos devido à calcinação do flocculante utilizado na durante a etapa de tratamento do Lodo;

- Os corpos de prova confeccionados com Lodo apresentou alta retração total, como consequência da baixa viscosidade mínima, apresentada na curva de defloculação.

- E, por fim, os corpos de prova confeccionados com Lodo apresentou alta resistência a flexão, confirmando que os pontos pretos não atuaram como concentradores de tensão e podendo assim ser utilizado em diversos processos cerâmicos.

Com passos futuros desse trabalho, ressalta a necessidade de analisar a influência do Lodo juntamente com as matérias-primas de barbotina.

REFERÊNCIAS

ALVES G. P, ROCHA B. A, NUNES I. F, AMARAL I. B. C, REIS A. B, Construção de um módulo filtro prensa e avaliação do funcionamento por meio da eficiência de filtração. **The JCEC**, Minas Gerais, v. 6, n. 4, 2020 disponível em <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/9444> acessado em 15 de maio de 2021

AMORIM, L. V. **Melhoria, proteção e recuperação da reologia de fluidos hidroargilosos para uso na perfuração de poços de petróleo**. 2003. 290 p. Tese

(Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande-Paraíba. Disponível em <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/11455> acessado em 6 de fev. 2022.

ANTUNES, J. **Sistemas de produção:** conceitos e práticas para projeto e gestão de produção enxuta. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. cap. 4, p. 200-210.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16727-1:** Bacia sanitária - Parte 1: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 62 p. Disponível em <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12466/abnt-nbr16727-1-bacia-sanitaria-parte-1-requisitos-e-metodos-de-ensaio> acessado em 15 de mar. de 2021.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6502:** rochas e solo. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p. Disponível em <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-6.502-Rochas-e-Solos.pdf> acessado em 20 de fev. de 2022.

ATKINIS, P.; JONES, L. **Principio da Química:** questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, cap. 12, p. 500-575, 2017.

AZAVEDO, I. CERQUEIRA, P. **Eficiência de um filtro prensa e análise por campo de risco em uma estação de pré tratamento de efluentes industriais.** 2017. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) Universidade Federal do Fluminense, Rio de Janeiro. Disponível em <https://app.uff.br/riuff/handle/1/5522> acessado em fev. 25 de 2022.

BARSOUM, M. **Fundamentals of ceramics.** 1. ed. Estados Unidos da América: IOP, 2003. 82 p.

BELTRAME T. F. BELTRAME A. F. LHAMBY A. R. PIRES V. K. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. **REGET**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 283-294, jan./abr. 2016, DOI: 105902/2236117015827. Disponível em <https://periodicos.ufsm.br/article/viewFile> pdf acessado em 15 de jan. 2022

BOCH P. **Ceramic material processes, properties and application**, 1. ed. Londres: ISLE, 2007. 597 p.

BUCHELE G.; TEZA P.; SOUZA J.; DANDOLINI G. Métodos, técnicas e ferramentas para inovação: o uso do brainstorming no processo de design contribuindo para a inovação. **Pensamento&Realidade**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 1. p. 61-82, abr de 2017. Disponível em revistas.pucsp.br/pensamentorealidade/article/view/28373 acessado em 12 de abr. de 2022

CALLISTER W. D.; RETHWISCH D. G. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**, 9. ed. Rio de Janeiro: GEN|LTC, 2014. 832 p.

FERREIRA, H. C., CHEN, T., ZANDONADI, A. R.; SANTOS, P. S. Correlações lineares entre áreas específicas de caulins determinadas por diversos métodos – Aplicação a alguns caulins do nordeste brasileiro (estados da Paraíba e Rio Grande do Norte). **Cerâmica**, Campina Grande v. 18, p. 333 - 336, 1972. Disponível em <https://www.passeidireto.com/arquivo/75233350/a-argila-surge-a-partir-da-degradacao-da-rocha-mae/2> acessado em 20 de jan. 2022.

FOSTER, M.D., Geochemical studies of clay minerals. (ii) relation between ionic substitution and swelling in montomorillonite, **American Mineralogy** v.38, p. 994- 1006, 1953. Disponível em

<https://pubs.geoscienceworld.org/ammin/issue/38/11-12> acessado em 12 de jan. 2022.

ISENMANN A. **Operações unitária na indústria química**. 2. ed. Timóteo: ISENMANN A. 2013, 144 p Disponível em <https://docplayer.com.br/58053403-Armin-franz-isenmann-operacoes-unitarias-na-industria-quimica-2-a-edicao.html> acessado em 14 de fev de 2022.

LIRA H. L.; NEVES G. A. Feldspatos: conceito, estruturacristalina, propriedades física, origens e ocorrências, aplicações, reservas e produção. Artigo. **Revista eletrônica de Materiais e Processos**. V.8 n.3. 2013. Disponível em [http://www2.ufcg.edu.br > article> download](http://www2.ufcg.edu.br/article/download) acessado em 30 de jan. de 2022.

MACHADO, J. C. V., **Reologia e escoamento de fluidos** ênfase na indústria de petróleo. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002, 258 p.

OLIVEIRA, M. G. T. et al. Produção de Peças Cerâmicas pela Técnica de Colagem de Barbotina Utilizando Argila da Região de Jacobina-Bahia. *In*: Simpósio de engenharia de produção de Sergipe, 5., 2018, São Cristóvão. **Anais [...]**. Sergipe: Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Sergipe, 2018. Disponível <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10409/2/ProducaoPecasCeramicas.pdf> acessado em 15 de abr. de 2021.

OLIVEIRA, P. **Análise dos setes desperdícios da produção em um abatedouro de ave**. 2016. 69f. (Barcharel em Engenharia de Produção)-Universidade de Brasília, Projeto de graduação, Brasília. Disponível bdm.unb.br/bitstream/10483/15209/1/2016_PabloLustosadeOliveira.pdf acessado em 15 de mar. de 2021.

PICHLER, E. Argilas. **Cerâmica** v. 12 p. 146-174, 1957. Disponível em

https://old.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87051969000100008&script=sci_arttext#back acessado em 9 de fev. 2022.

RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. A.; SOARES, J. M.; CASELA, C. R. Influence of silicon on some components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. **European Journal of Plant Pathology**, v. 124, p.533-541. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226749192_Influence_of_silicon_on_some_components_of_resistance_to_anthrachnose_in_susceptible_and_resistant_sorghum_lines acessado em 31 de jan. 2022.

SANTOS P. S, TOLEDO P. S., SANTOS H. S. Caulins Haloisíticos das Regiões Sudeste e Sul do Brasil. **Cerâmica Industrial**. v. 14 n.1, Disponível www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657397f8c9d6e028b4756/pdf/ci-14-1-587657397f8c9d6e028b4756.pdf acessado em 6 de maio de 2022.

SANTOS P.S, **Ciência e tecnologia de argilas**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher 1989.

SETZ, Luiz G. P. ,SILVA , Antônio C. **O processamento sem mistério**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher. 2019.

AGRADECIMENTOS.

Gostaria agradecer principalmente ao Robson de 13 anos atrás que colocou a semente da engenharia no coração e regou durante anos, mesmo com muitos descredendo que um dia ele conseguiria, se eu pudesse te mandar apenas uma mensagem era que “conseguimos garotos” e já como dizia George Michael na sua música heal the pain “seja bom para você, pois, ninguém além de você, tem o poder de te fazer feliz”.

Obviamente que a permissão de Deus e apoio da minha família e amigos

sempre foi importante para chegar até aqui e sou extremamente grato a vocês, em especial quero agradecer a Dr^a Juliana Macedo que me norteou a entender que o que eu queria para vida era engenharia de materiais e a Dr^a Renalle Cristrina por abrir meus Olhos para área da cerâmica, área essa quero seguir para vida.

