



II CONPESQ

Congresso de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Os novos rumos da ciência pós-pandemia

12 a 16 de abril de 2021 Universidade Federal do Cariri - UFCA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MORFOLÓGICA DE RESÍDUO DE ISOLADORES ELÉTRICOS DE PORCELANA

Magno de Lima Silva¹

Graduando em Engenharia de Materiais
Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri
magnolima9@gmail.com

Rafaela Amanda Rodrigues dos Santos²

Graduanda em Engenharia de Materiais
Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri
rafaela.amandarodrigues@gmail.com

Thalia Delmondes de Souza³

Universidade Federal de São Carlos
thaliadelmondes29@gmail.com

Francisca Maria Martins Pereira⁴

Doutora em Química
Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri
francisca.martins@ufca.edu.br

RESUMO: A necessidade de uma engenharia que gere menos impacto ambiental induz a necessidade de desenvolver produtos alternativos. Dessa forma torna-se possível a fabricação de produtos a partir de resíduos que fomentam o desenvolvimento sustentável. Dentro do setor cerâmico, resíduos que requerem atenção e estudos nesse aspecto são os isoladores de porcelana elétrica. Sendo notório o grande descarte na região de isoladores elétricos de porcelana, este estudo visa direcionar a partir de caracterizações tecnológicas, aplicações industriais e usos a que se prestam esses resíduos. Para tanto, as amostras foram coletadas e passadas por um processo de limpeza das peças. Logo após, realizou-se o beneficiamento prévio, visando a posterior avaliação das propriedades físicas, químicas e morfológicas, utilizando técnicas como análise granulométrica, Fluorescência de raios – X, Infravermelho por Transformada de Fourier, e Microscopia Eletrônica de Varredura. Os óxidos de alumina e de silício foram encontrados em maior quantidade pela caracterização química, estando em concordância com a composição de aplicações em subestações elétricas. Ligações do tipo Al-O e O-Si (Al) foram encontradas na estrutura do material, sendo estas, características desse tipo de porcelana.

1 Voluntário PIBITI/UFCA no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica.

2 Bolsista PIBITI/UFCA no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica.

3 Mestranda em Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia de Materiais - UFSCar.

4 Professora Orientadora.

Com a análise de granulometria foi possível determinar que o material possui principalmente frações finas de tamanho de argila, além disso a morfologia do resíduo se mostrou bastante heterogênea, possivelmente decorrente do processo de cominuição ao qual foi submetido. Por fim, com a continuidade desta pesquisa e somado aos resultados já obtidos será possível obter uma reflexão sobre uma nova possibilidade de uso para os rejeitos.

PALAVRAS-CHAVE: Porcelana elétrica; Resíduos; Isoladores elétricos; Caracterização.

ABSTRACT: The need for engineering that generates less environmental impact leads to the need to develop alternative products. In this way, it is possible to manufacture products from residues that promote sustainable development. Within the ceramic sector, residues that require attention and studies in this regard are electrical porcelain insulators. As the great disposal in the region of porcelain electrical insulators is notorious, this study aims to direct industrial applications and uses to which these wastes are based, based on technological characterizations. For that, the samples were collected and passed through a process of cleaning the parts. Soon after, the previous processing was carried out, aiming at the posterior evaluation of the physical, chemical and morphological properties, using techniques such as granulometric analysis, X-ray fluorescence, Fourier transform infrared, and Scanning Electron Microscopy. Alumina and silicon oxides were found in greater quantities due to chemical characterization, being in agreement with the composition of applications in electrical substations. Bonds of the type Al-O and O-Si (Al) were found in the structure of the material, being these characteristics of this type of porcelain. With the granulometry analysis it was possible to determine that the material has mainly fine clay size fractions, in addition, the morphology of the residue proved to be quite heterogeneous, possibly due to the comminution process to which it was subjected. Finally, with the continuity of this research and added to the results already obtained, it will be possible to obtain a reflection on a new possibility of use for tailings.

Keywords: Electric porcelain; Waste; Electrical insulators; Description.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a constante pesquisa por novos materiais que atendam às necessidades do mercado vem crescendo. Há diversas possibilidades de novas combinações que nos permitem apresentar soluções para as dificuldades enfrentadas na indústria, sejam elas na pauta econômica ou ambiental.

Ressalta-se também a substituição de matérias-primas sintéticas por aquelas advindas de meios alternativos, uma vez que é de extrema importância a preocupação em se utilizar materiais que não agredam o meio ambiente do mesmo modo que há uma grande necessidade de recursos, bem como esforço energético disposto na produção desses produtos. Dentro do setor cerâmico, um dos resíduos que requerem bastante atenção e estudos nesse aspecto são os de isoladores de porcelana elétrica.

As porcelanas elétricas aluminosas foram desenvolvidas em função da procura por um material capaz de isolar cabos energizados de alta tensão e que apresentasse propriedades dielétricas e mecânicas excelentes. Com o passar do tempo peças começaram a ser produzidas em larga escala. Em contrapartida, com a frequente substituição das mesmas, trouxe também

uma grande quantidade de isoladores descartados que apesar de ser um material inerte, seu descarte gera um montante que pode acarretar impactos ambientais significativos (CAMPOS, 2009).

Com isto, surge a necessidade de se buscar formas que sejam eficazes na reutilização desse material. Em termos de custos, a reciclagem de isoladores elétricos é bastante atrativa, tendo em vista a quantidade disponível para se reciclar. Além disso, essas porcelanas possuem em sua composição componentes tais como alumina, quartzo, feldspato, caulim e argila (CAMPOS, 2009).

Este estudo visa caracterizar por meio de várias técnicas analíticas, rejeitos de porcelanas elétricas aluminosas descartados no município de Juazeiro do Norte. Com o intuito de explorar suas possíveis utilizações no desenvolvimento de produtos nos mais diversos setores industriais.

2 METODOLOGIA

2.1 COLETA E SEPARAÇÃO DAS PORCELANAS

As porcelanas elétricas aluminosas ilustradas na Figura 1, foram doadas pela equipe de manutenção da Universidade Federal do Cariri após a troca desses isoladores de sua rede elétrica. Após a coleta, as porcelanas passaram por uma inspeção visual para verificar a ocorrência de trincas ou de corrosão sofrida pela degradação à exposição ao ambiente. Em seguida, as porcelanas passíveis de reaproveitamento foram lavadas com detergente, sabão neutro, bucha comum e palha de aço.

Figura 1 - Rejeitos de isoladores elétricos de porcelana



Fonte: Os autores.

2.2 BRITAGEM E MOAGEM DAS PORCELANAS

A britagem das porcelanas foi realizada com uso de uma marreta para que estas ficassem em pedaços menores, então, foram levadas para uma primeira moagem em equipamento de abrasão Los Angeles no Laboratório de Pavimentação – UFCA (Figura 2a). Uma porção do material resultante desse processo foi pesado e transferido para moagem a úmido em moinho de bolas laboratorial (5L), com esferas de alumina na proporção com 60% de teor de sólidos e 40% de água por no mínimo 8 h (Figura 2b).

Logo após a moagem, o material foi passado em peneira ABNT 500 mesh (diâmetro de abertura = 25 μ m). Concluída a etapa de peneiramento, o material foi colocado em bandeja de alumínio para secagem inicial ao sol e em seguida, levado para secagem em estufa FANEM LTDA 520 por um período de 24h na temperatura de 110°C.

Figura 2 – Moagem da Porcelana: a) Moinho Los Angeles; (b) Moinho de bolas



Fonte: Os autores.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS PORCELANAS

Uma fração do pó resultante da moagem e peneiramento das porcelanas, foi submetido às técnicas de caracterização para avaliação de suas propriedades físicas, químicas e morfológicas.

A análise de sua composição química foi realizada pela técnica de fluorescência de raios X (FRX), em aparelho PANalytical Epsilon 1 proveniente do Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Cariri – UFCA, com ânodo de prata e tensão do tubo configurada para 50 keV.

Para identificação dos grupos funcionais associados aos minerais utilizou-se um espectrofotômetro FTIR Perkin Elmer modelo Spectrum Two, na faixa de absorção de 400 e 4000 cm^{-1} . As amostras foram maceradas em KBr (1 mg de amostra por 20 mg de KBr) e homogeneizadas. As pastilhas foram obtidas com uma pressão de 15 toneladas/ m^2 .

Para determinação da umidade, densidade e granulometria, a amostra foi preparada com base na NBR 6457 (ABNT, 1986), e em seguida a densidade real foi determinada pelo

método do picnômetro com água em concordância com as normas DNER-ME 093/94 e NBR 6508 (ABNT, 1984). A distribuição de tamanho de partículas foi medida por ensaio de sedimentação como descrita pela NBR 7181 (ABNT, 1984).

A morfologia do material foi determinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), em equipamento Tescan Vega 3 localizado no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Cariri – UFCA, onde as microfotografias das amostras foram obtidas em diversos aumentos em módulo SE com detectores de elétrons retroespalhados e secundários.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PORCELANAS ELÉTRICAS

A porcelana elétrica é um isolador elétrico para redes de alta tensão ou de baixa tensão. É um dispositivo que tem a função de dar suporte mecânico rígido ou flexível para condutores elétricos ou equipamentos e mantê-los isolados do terra, de estruturas metálicas e de outras partes condutoras (PORTELA *et al.*, 1997). E tem também como função garantir o isolamento de fios e cabos energizados em redes de baixa e alta tensão, sendo de fundamental importância na transmissão de energia a longa distância. Tendo em vista a importância da energia elétrica para a sociedade moderna, torna-se necessário o aprimoramento constante dos materiais utilizados para este fim (BONETTI *et al.*, 2007).

A porcelana triaxial é composta tradicionalmente por argila, quartzo ou alumina e feldspato, cujas proporções destas matérias-primas determinam as características físicas do material resultante (JANSSEN, 2005). A argila fornece a plasticidade à massa, o feldspato atua como fundente (JANSSEN, 2005). O quartzo (SiO_2) ou a alumina, atua como agregado para dar volume e resistência, ele é responsável pela formação do esqueleto da peça (CHINELATTO; SOUZA, 2004a).

Uma ampla faixa de composição para porcelanas é encontrada na literatura, variando desde porcelanas ricas em quartzo (silicosas) até porcelanas ricas em alumina (aluminosas).

A microestrutura da porcelana silicosa consiste principalmente de grãos de quartzo, cristais de mulita, fase vítrea e poros ou inclusões de ar. O tamanho e o formato dos grãos e dos poros, assim como a composição e a quantidade de fase vítrea são sensivelmente afetados pela variação na composição das matérias-primas e no processo de fabricação, mas mantidos dentro de limites estreitos pelas normas técnicas (JANSSEN, 2005).

Este tipo de porcelana é utilizado para a fabricação de isoladores de baixa tensão, possuem propriedades dielétricas e propriedades mecânicas inferiores das porcelanas aluminosas (CHINELATTO; SOUZA, 2004b).

As porcelanas aluminosas são formadas por alumina, feldspato e caulim, e são utilizadas na fabricação de isoladores elétricos de alta tensão, por possuírem propriedades dielétricas adequadas e propriedades mecânicas superiores às das porcelanas que utilizam o quartzo. Estas propriedades dielétricas e mecânicas são dependentes da microestrutura desenvolvida durante o processamento cerâmico (CHINELATTO; SOUZA, 2004a).

A porcelana usada como isolador elétrico tem como principais propriedades a elevada resistividade elétrica, elevada rigidez dielétrica, baixo fator de dissipação e baixa constante dielétrica (SILVA, 2009).

3.2 RESÍDUOS DE ISOLADORES DE PORCELANA ELÉTRICA (IPE)

Diversas pesquisas têm caracterizado o resíduo de porcelana, proveniente de isoladores elétricos inservíveis como um material com uso potencial na construção civil (SHIROMA, 2016; RIBEIRO, 2015; XU *et al.*, 2015; CAMPOS *et al.*, 2014; FRANCO *et al.*, 2010; PORTELA *et al.*, 2006). Trata-se de um resíduo com considerável volume de geração, que requer uma destinação final ambientalmente adequada seguindo o estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos Brasileira (BRASIL, 2010).

Crepaldi (2010), em seu estudo realizado na empresa de distribuição elétrica do estado do Tocantins, apontou que são geradas em média 36 toneladas de rejeitos de isoladores de porcelanas danificados, devido a vários motivos, tais como falhas técnicas, vandalismo entre outros.

Segundo Campos e Paulon (2015), a procura por materiais alternativos em suma, na construção civil, intensificou o reaproveitamento de diversos resíduos, dentre eles os isoladores elétricos de porcelana que se tornaram possíveis candidatos substitutos aos agregados para concretos devido suas características químicas semelhantes. Eles indicam além disso, aplicações como adição pozolânica ao cimento Portland.

De acordo com o levantamento feito pela ABCERAM (2007) há uma produção média de 30.000 toneladas/ano de isoladores de porcelana, com um descarte da ordem de 5%, sendo que 75% do total produzido serve como material de substituição das instalações já existentes, há também um descarte da ordem de 25.000 toneladas/ano de porcelana (CAMPOS; PAULON; FILHO, 2013).

No intuito de verificar a composição química e mineralógica do resíduo desses isoladores elétricos, diversos estudos realizaram análises através de fluorescência de raios X (FRX) e difração de raios X (DRX), respectivamente. O resíduo de porcelana elétrica caracterizada por Bragança, Ferreira e Ribas (2018) apresentou 24% de Al_2O_3 além da presença de outros óxidos como SiO_2 (70%), Na_2O (1%) e K_2O (5%) na análise química e vários picos referentes a presença das fases cristalinas Mulita e Quartzo.

Ribeiro, Santos e Brandalise (2014) identificaram elevados valores de dióxido de silício (SiO_2 - 75,09%), seguido de alumina (Al_2O_3), com 16,86%, bem como outros óxidos, porém estes, em menores quantidades, no resíduo de porcelana elétrica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO RESÍDUO DOS IPE

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise química por fluorescência de raios X do resíduo de porcelana com os óxidos encontrados em maiores quantidades. Os teores de óxidos de alumínio e ferro obtidos encontram-se em concordância com os encontrados por Fernandes *et al.* (2017) e Shiroma (2016) onde constataram composição na faixa de (13,62% - Al_2O_3) e (21,4% - Al_2O_3), bem como (2,06% - Fe_2O_3) e (0,982% - Fe_2O_3) respectivamente.

Tabela 1 – Análise química do resíduo (% massa)

<i>Óxidos</i>	<i>% massa</i>
Al_2O_3	13,041
SiO_2	28,121
P_2O_5	0,294
K_2O	2,761
CaO	1,045
TiO_2	0,452
F_2O_3	1,064

Fonte: Os autores.

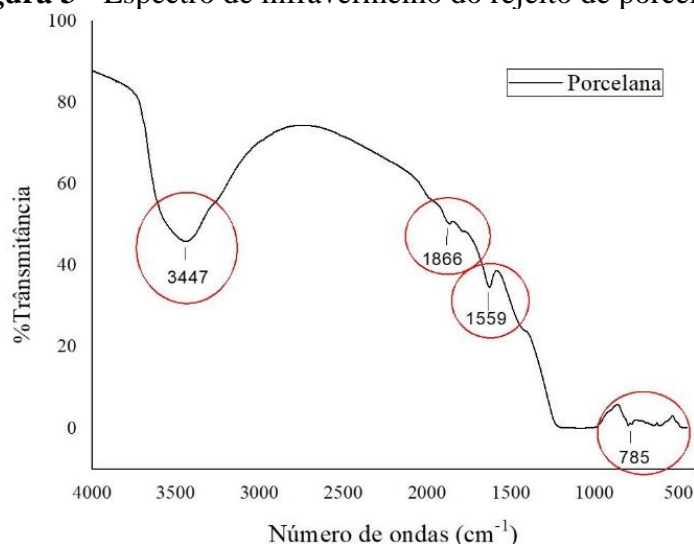
No entanto, a porcentagem de SiO_2 detectada pela técnica foi muito inferior a encontrada por esses autores o que pode ser explicado devido ao fato que, para aplicações em subestações elétricas a composição química desses isoladores varia, podendo ter a substituição parcial deste pela alumina (CAMPOS, 2011), dependendo das exigências tais como as condições elétricas ou dielétricas, mecânicas e térmicas dos isoladores (MAMEDE FILHO, 1994). De acordo com Buchanan (1986) em isoladores de baixa tensão a base de quartzo, há uma faixa de composição de 40 a 60% de argila caulinítica, 20 a 35% de feldspato e cerca de 20 a 30% de quartzo.

O espectro de infravermelho para o rejeito de porcelana elétrica (Figura 3), mostra bandas sutis de 500 a 785 cm^{-1} , entre 1500 e 1900 cm^{-1} , e outra mais intensa em 3447 cm^{-1} .

Guimarães (2017), aduz que as bandas entre 460 e 546 cm^{-1} podem ocorrer com o acoplamento entre vibrações de estiramento de O-Si-O e que picos suaves em aproximadamente 650 cm^{-1} são relativos a vibrações de flexão O-Si (Al), das quais estes em maioria desaparecem após a sinterização.

As regiões do espectro entre 700-800 cm^{-1} são características de ligações Al-O na estrutura do mineral, como pode ser visto na Figura 3, se encontra exatamente em 785 cm^{-1} . Uma banda na região de 1559 cm^{-1} , sugere que um aluminossilicato amorfo pode estar presente, o que está de acordo com os resultados obtidos por Moraes (2002). Além disso, uma discreta banda em torno de 1866 cm^{-1} pode ser causada pela presença de argilominerais, que aparecem em pequena quantidade. Silverstein *et al.* (2019) ressaltam que em compostos de silício, vibrações axiais de OH do grupo Si-OH na faixa de 3700-3200 cm^{-1} ocorrem, corroborando com o resultado do espectro do rejeito de porcelana em questão.

Figura 3 - Espectro de infravermelho do rejeito de porcelana



Fonte: Os autores.

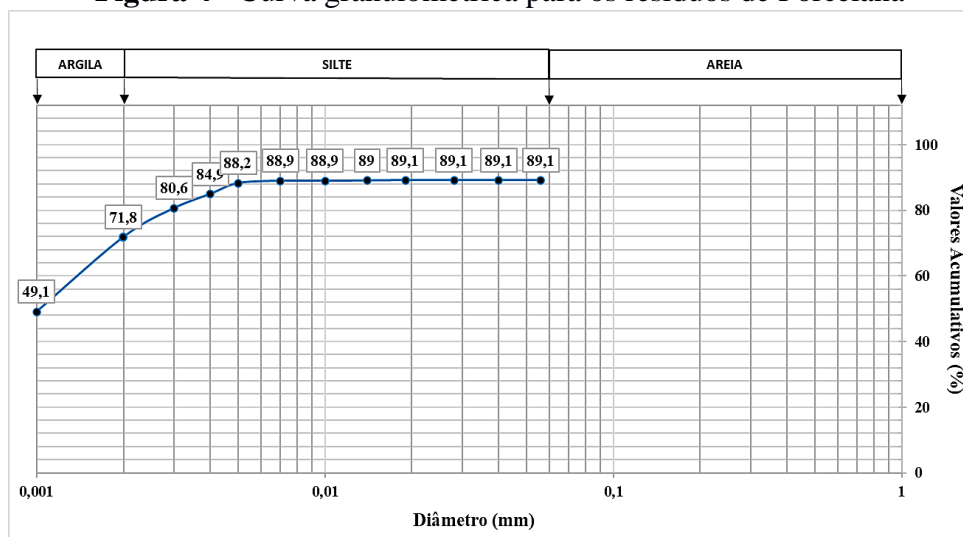
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO RESÍDUO DOS IPE

O valor para densidade real da amostra analisada foi de 2,70 g/cm^3 . A densidade identificada é compatível com a encontrada em trabalhos como o de Shiroma (2016), que observou 2,52 g/cm^3 para IPEs obtidos de uma empresa, situada em Rio Claro - SP; Higashiyama *et al.* (2012) com valor de 2,30 g/cm^3 para o resíduo descartado pela companhia elétrica japonesa Tepco; e por Higashiyama *et al.* (2015) que ao estudar o resíduo proveniente da empresa japonesa, Kanden L&A Company, Ltda, obteve um valor de densidade real de 2,40 g/cm^3 . Essa variação se dá em função dos minerais constituintes e da porcentagem de cada um deles na amostra analisada.

O valor obtido para o teor de umidade do resíduo de porcelana elétrica foi de 0,26%, típico de materiais pozolânicos (material silicoso ou sílico-aluminoso), por ter umidade menor ou igual que 3% e possuir quantidade significativa de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (VIEIRA, 2017), como pode ser observado na Tabela 1.

A Figura 4 apresenta a curva granulométrica referente a amostra de porcelana nas frações acumuladas até 100%. De acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), considera-se fração argila, partículas com dimensões menores que 0,002 mm, enquanto o silte compreende diâmetros entre 0,002 e 0,06 mm e dimensões maiores que 0,06 e menores ou iguais a 2,0 mm são denominadas fração de areia. Como pode ser visto, a porcelana apresentou aproximadamente a seguinte distribuição: 71,8% de argila, 17,3% de silte e 10,9% de areia.

Figura 4 - Curva granulométrica para os resíduos de Porcelana



Fonte: Os autores

Esse resultado revela que a amostra possui principalmente frações finas de tamanho de argila e silte com teor muito próximo de 100%. Verifica-se que 90% do material apresenta tamanho de partícula inferior a 4 μm , sendo o tamanho médio de partícula D_{50} na faixa de 1,2 μm .

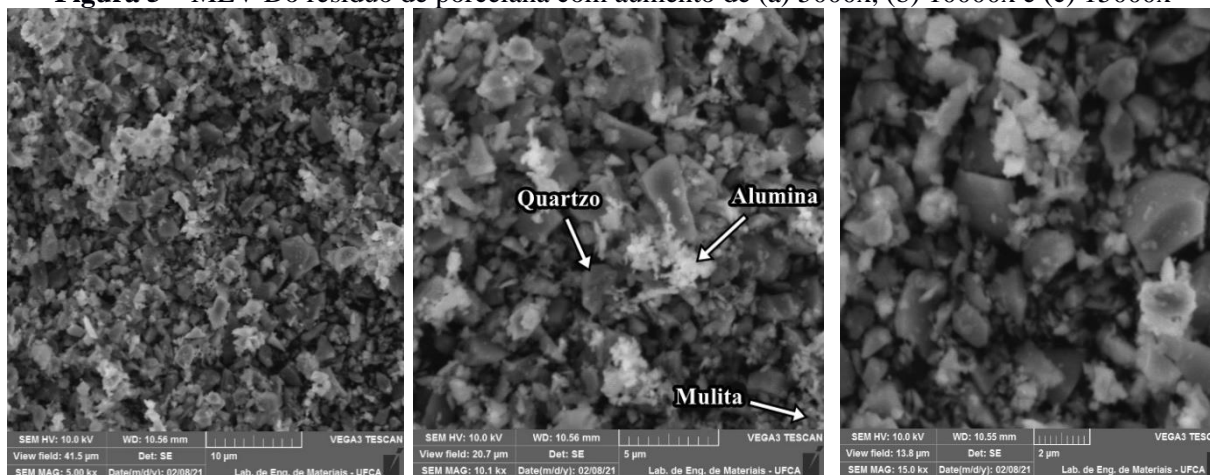
4.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO RESÍDUO DE IPE

A caracterização morfológica do resíduo é ilustrada na Figura 5. É possível visualizar um material bastante heterogêneo que por sua vez apresenta partículas pouco regulares possivelmente decorrentes dos processos de moagem ao qual o material foi submetido. Exibindo assim, bastante similaridade na morfologia, de forma irregular observado por Vieira (2017), e com uma superfície rugosa verificado por Campos e Paulon (2015).

Silva e Holanda (2010), expõem que além da obtenção de partículas pouco regulares na

etapa de beneficiamento, os grânulos formados por estes, originados a partir da umidificação das partículas que se aglomeram ao redor de um núcleo, também trazem para a morfologia da Figura 5, formatos irregulares. O principal motivo desta aglomeração é a existência de coesão entre as camadas de umidade que cobrem as partículas.

Figura 5 – MEV Do resíduo de porcelana com aumento de (a) 5000x, (b) 10000x e (c) 15000x



Fonte: Os autores.

Como ilustra as micrografias, as fases quartzo, alumina e mulita coexistem no resíduo de porcelana elétrica aluminosa. A microestrutura da Figura 5 é formada por diversos grãos grosseiros de quartzo (grãos cinza) e alumina (grãos esbranquiçados) misturados a pequenos cristais de mulita que após sinterização são mantidos juntos por uma matriz vítrea. Da mesma maneira, estas fases são identificadas no estudo de Chinelatto e Souza (2004a), que estudaram porcelanas elétricas triaxiais; em adição a estas fases os autores observaram a existência de mulita tanto na forma primária como secundária, o que não foi possível identificar neste trabalho, devido ao aumento e resolução do microscópio.

5 CONCLUSÃO

O resíduo de porcelana elétrica apresenta uma elevada finura, com aproximadamente 100% do material com tamanho de partícula inferior a 0,06 mm, exibindo densidade real de 2,70 g/cm³ e teor de umidade de 0,26% respectivamente. Constitui-se majoritariamente de óxido de silício (SiO₂ - 28,121%), óxido de alumínio (Al₂O₃ - 13,041%) e em menores quantidades de outros óxidos.

Por possuir baixa umidade e quantidades significativas de sílica, alumina e óxido de ferro, este resíduo se enquadra como material pozolânico, o que traz possíveis aplicações como adições minerais e também como produtos que formem compostos com propriedades cimentantes.

O espectro de infravermelho revela ligações características de porcelanas como Si-O, O-Si-O e Al-O, e pelo MEV foi possível evidenciar partículas e grânulos com formas irregulares, além de ilustrar as fases características de porcelanas triaxiais, que são quartzo, alumina e mullita.

Em continuidade desde estudo deseja-se ainda verificar as características térmicas do resíduo em questão por ATG/DTA bem como sua composição mineralógica por difração de raios X - DRX.

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação da Universidade Federal do Cariri pela bolsa concedida e aos Laboratórios de Cerâmica, Solos, Caracterização e Pavimentação da UFCA sem os quais não seria possível a obtenção dos dados requeridos para este estudo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostra de Solos - Preparação para ensaio de compactação e ensaio de caracterização: Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6502: Rochas e solos - Terminologia.** Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica.** Rio de Janeiro, v. 4, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, v. 13, 1984.

BONETTI, A. N. *et al.* Desenvolvimento e caracterização de massa porcelânica quartzosa tipo IEC 672 C-110 para isoladores elétricos de alta tensão. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 51., 2007, Salvador. **Anais [...]**. Salvador, 2007.

BRAGANÇA, Saulo Roca; FERREIRA, L. V.; RIBAS, L. Avaliação da reutilização de isoladores elétricos de porcelana em cerâmicas triaxiais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS - CBECiMat*, 23. 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** Foz do Iguaçu. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BUCHANAN, Relva C. **Ceramic Materials for Electronics: Processing, Properties and Applications.** [S. l.]: Marcel Dekker Inc, 532 p., 1986.

CAMPOS, Marco Antonio. **Estudo Do reaproveitamento de isoladores elétricos de porcelana como agregados em argamassas e concretos.** 2009, 155 p. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas-SP. 2009.

CAMPOS, Marco Antonio. **Análise microestrutural e das propriedades mecânicas e durabilidade de argamassas e concretos com isoladores elétricos de porcelana**. Tese de Doutorado, Engenharia Civil, Unicamp, Campinas-SP, 2011.

CAMPOS, Marco Antonio; PAULON, Vladimir Antonio; FILHO, José Gilberto Dalfré. Resíduos cerâmicos no município de Pedreira [SP]: equacionamento e soluções de reciclagem. **Labor E Engenharia**, v. 7, n. 1, p. 74-83, 2013.

CAMPOS, Marco Antonio.; PAULON, Vladimir. Antonio. Utilização de agregados alternativos de isoladores elétricos de porcelana em concretos. **Concreto y cemento. Investigación y desarrollo**, v. 7, n. 1, p. 30-43, 2015.

CAMPOS, M. A. *et al.* Reatividade Álcali-Agregado – Determinação da Expansão em Prismas de Concreto com Agregado de Porcelana. *In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC*, 2014, Teresina. **Anais [...]**. Teresina, 2014.

CHINELATTO, Adilson Luiz; SOUZA, Dulcina P. F. Porcelanas elétricas aluminosas: Parte I-Revisão da literatura (Aluminouselectricalporcelain: Part I-Literature review). **Cerâmica**, v. 50, p. 62-68, 2004a.

CHINELATTO, Adilson Luiz; SOUZA, Dulcina P. F. Porcelanas elétricas aluminosas: Parte II- desenvolvimento da microestrutura e sua influência no módulo de ruptura. **Cerâmica**, v. 50, p. 172-184, 2004b.

CREPALDI, Claudinei. Reciclagem de Porcelanas danificadas para confecção de placas de concreto para estai âncora e escora para base reforçada de poste de distribuição. *In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*, 19., 2010, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 093: Solos – determinação da densidade real**. Rio de Janeiro, 1994.

FERNANDES, Luiz Flávio *et al.* Avaliação da atividade pozolânica do resíduo de porcelana por meio da condutividade elétrica. *In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS*, 1., 2017, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo. 2017.

FRANCO, C. S. *et al.* Caracterização dos isoladores elétricos cerâmicos descartados pelas redes de distribuição de eletricidade e comparação com produtos similares sem uso. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS – CBECiMat*, 19., 2010, Campos do Jordão. **Anais [...]**. Campos do Jordão: ABC, ABM, ABPol, 2010. 15 p.

GUIMARÃES, Zulmira Alice Soares. **Sinterização e caracterização de biocerâmica feldspática para aplicação odontológica**. 2017. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017.

HIGASHIYAMA, H.; YAGISHITA, F.; SANO, M., TAKAHASHI, O. Compressive strength and resistance to chloride penetration of mortars using ceramic waste as fine aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 26, p. 96- 101, 2012.

HIGASHIYAMA, H.; SAPPAKITTIPAKORN, M.; SANO, M., TAKAHASHI, O. A., TSUKUMA, S. Characteristics of chloride ingress into mortars containing ceramic waste aggregate. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 17, p. 513- 521, 2015.

JANSSEN F. **Influência dos Parâmetros de envelhecimento nas propriedades elétricas de isoladores cerâmicos para sistemas de potência**. 2005. Dissertação (Mestrado em Física).

Núcleo de Pós-Graduação do Departamento de Física. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE. 2005.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 456 p. v. 2. 1994.

MORAIS, Márcia Rodrigues. **Reciclagem de resíduos de indústria de placas cerâmicas: um estudo de caso**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.

PORTELLA, K. F. *et al.* Secondary recycling of electrical insulator porcelain waste in Portland concrete structures: determination of the performance under accelerated aging. **Cerâmica**, v. 52, n. 323, p. 155–167, 2006.

PORTELLA, K. F. *et al.* Caracterização de Materiais Empregados em Isoladores de Porcelana. tipo Pedestal. Utilizados na COPEL desde 1980. **Eletricidade Moderna**, v. 277. p. 322-332. 1997.

RIBEIRO, A. **Concreto permeável com agregados reciclados de resíduos de isoladores elétricos de porcelana**. 2015. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul/RS, 2015.

RIBEIRO, A.; SANTOS, V.; BRANDALISE, R. N. Resíduos de isoladores elétricos cerâmicos - caracterização e utilização em concretos. **Materiais de Construção**, p. 45. 2014.

SHIROMA, Leandro. **Atividade pozolânica de resíduos de isoladores de porcelana em matrizes cimentícias**. 2016. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

SILVA, Myrian Aparecida. **Estudo da influência da incorporação de resíduo de rocha ornamental nas propriedades de porcelana elétrica aluminosa**. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Campos dos Goytacazes–RJ. Universidade Estadual Norte Fluminense, UENF, 87p. 2009.

SILVA, M. A.; HOLANDA, J. N. F. **Caracterização de massas cerâmicas para porcelana elétrica aluminosa contendo resíduo de rocha ornamental**. 54º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Foz do Iguaçu. 2010.

SILVERSTEIN, Robert *et al.* **Identificação espectrofotométrica de compostos orgânicos**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 454 p, 2019.

VIEIRA, Flávio de Lima. **Estudo da viabilidade do resíduo proveniente das porcelanas de isoladores para utilização em concretos bombeáveis estruturais**. 2017. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

XU, N. *et al.* Preparation and properties of porous ceramic aggregates using electrical insulators waste. **Ceramics International**, v. 41, n. 4, p. 5807–5811, maio. 2015.