

---

## 5 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS NA FORMULAÇÃO DA ARGILA-PADRÃO DO ISOLADOR CERÂMICO DE VELAS DE IGNIÇÃO

### Aldemiro José Rocha Palma

Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais (UFRN). Mestre em Engenharia Mecânica (UFRN). Especialista em Engenharia de Segurança (EEEMBA). Especialista em Análise de Sistemas (UES/RJ). Especialista em Química Inorgânica (UFBA). Bacharel em Engenharia Química (UFBA). Licenciado em Química (UNEB). Professor Assistente IV (UNEB), Associado I (IFBA).

E-mail: [aldemiropalma@gmail.com](mailto:aldemiropalma@gmail.com)

### RESUMO

O trabalho estudou a viabilidade técnica da incorporação do resíduo do isolador cerâmico de velas de ignição inservíveis, na formulação de massas cerâmicas a base de alumina ( $Al_2O_3$ ). Foram analisadas e comparadas as alterações nas propriedades químicas, físicas e mecânicas de interesse tecnológico dos corpos-de-prova com incorporação de 10, 20 e 30% em peso do resíduo em relação à massa-padrão de cerâmica a base de alumina, normalmente utilizada na obtenção do isolador cerâmico de velas de ignição automotiva. Os corpos-de-prova foram submetidos ao aquecimento numa taxa de  $30\text{ }^{\circ}C/\text{min}$  em patamar de 100, 200, 300, 400, 500 e  $600\text{ }^{\circ}C$  e queimados em três temperaturas distintas a 1450, 1500 e  $1550\text{ }^{\circ}C$ , permanecendo por duas horas em cada patamar de queima. Os valores das propriedades foram obtidos através dos ensaios de retração linear pós-queima (RL), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEA) análise química por difração de Raios-X (FRX), mineralógica por difração de raios-X (DRX), termogravimétrica (TGA), microdureza Vickers (HV) e microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A interpretação comparativa demonstraram a viabilidade técnica da incorporação do resíduo em proporções de até 20% em peso do mesmo em relação à massa-padrão do isolador cerâmico de velas de ignição, trazendo dessa forma, uma contribuição adicional dentro do viés de reaproveitamento de resíduos para a produção de materiais cerâmicos.

**Palavras-chave:** Vela de ignição. Isolador cerâmico. Reaproveitamento.

## ABSTRACT

The study studied the technical feasibility of incorporating the residue (chamott) of the ceramic insulator of unserviceable spark plugs, in the formulation of ceramic masses based on alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). The changes in the chemical, physical and mechanical properties of technological interest of the specimens were analyzed and compared with incorporation of 10, 20 and 30% by weight of the residue in relation to the standard mass of alumina-based ceramics, normally used obtaining the ceramic insulator for automotive spark plugs. The specimens were subjected to heating at a rate of 30  $^{\circ}\text{C} / \text{min}$  at a level of 100, 200, 300, 400, 500 and 600  $^{\circ}\text{C}$  and burned at three different temperatures at 1450, 1500 and 1550  $^{\circ}\text{C}$ , remaining for two hours at each level of burning. The values of the properties were obtained through the tests of linear post-burning shrinkage (RL), water absorption (AA), apparent porosity (PA) and apparent specific mass (MEA) chemical analysis by X-ray diffraction (FRX), mineralogical by X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric (TGA), Vickers micro hardness (HV) and microstructural by scanning electron microscopy (SEM). The comparative interpretation demonstrated the technical feasibility of incorporating the waste in proportions of up to 20% by weight of it in relation to the standard mass of the ceramic spark plug insulator, thus bringing an additional contribution within the bias of reusing this waste for the production of ceramic materials.

**Keywords:** Spark plug. Ceramic insulator. Reuse.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista das Ciências dos Materiais, cerâmicas são produtos artificiais obtidos por processo de moldagem, secagem e queima de argilas naturais e sintéticos. Devida a uma grande diversidade de constituintes e dos processos de obtenção, os produtos cerâmicos apresentam diversas características tecnológicas de interesse e compreendem os tijolos e telhas rústicos, porcelanas de fino acabamento, velas de filtros, louças sanitárias, refratários, isoladores elétricos e supercondutores entre outros.

Embora a substituição de materiais convencionais por cerâmicas estruturais de alto desempenho mecânico seja promissora, a baixa reprodutibilidade, caracterizada pelo grande espalhamento nos valores das resistências mecânicas, associado às características micro estruturais químicas e físicas, representa um fator negativo para sua produção, fator esse minimizado pelo controle e otimização das etapas e variáveis de processo que influenciam em suas propriedades microestruturais.

As cerâmicas a base de alumina ou de queima branca, destacam-se numa ampla escala de aplicações industriais, em função das suas propriedades tais como: alta dureza, resistência química a solventes orgânicos e inorgânicos, alta resistividade elétrica e térmica. O pó de alumina calcinada consiste na maior matéria-prima pura bruta utilizada na indústria cerâmica para aplicações de Engenharia.

Uma das maiores aplicações das cerâmicas de alumina é na fabricação do isolador cerâmico das velas de ignição. A função da vela de ignição é conduzir a alta voltagem elétrica para o interior da câmara de combustão. Seu perfeito desempenho está diretamente ligado ao rendimento do motor, os níveis de consumo de combustível, a maior ou a menor carga de poluentes nos gases expelidos pelo escape. Para a obtenção do seu isolador cerâmico, são utilizadas matérias-primas (alumina, caulim, carbonato de cálcio e talco) em altos graus de purezas. A alumina que entra na composição da cerâmica em percentuais superiores a 90% apresenta, em geral, grau de pureza da ordem de 95%.

Após seu ciclo de vida útil as velas de ignição são consideradas inservíveis, descartadas sem nenhum critério segmentos automotivos como resíduos comuns destinados aos aterros sanitários ou como sucata metálica para a indústria siderúrgica. Fica a indagação de que não estamos reaproveitando e nem reciclando um produto considerado inservível para qual foi concebido, mas que, em devido ao seu alto padrão tecnológico de fabricação e nobreza de componentes, isolador cerâmico e constituintes metálicos, podem ser reaproveito e incorporados no próprio processo fabril ou para outros fins.

O estudo propõe avaliar a viabilidade técnica da incorporação do isolador cerâmico, denominado na indústria ceramista de chamote, na formulação da massa-padrão utilizada na produção do isolador cerâmico de velas de ignição.

O trabalho está dividido em cinco tópicos: introdutório, com a justificativa e o objetivo a ser alcançado; a metodologia do procedimento experimental adotado; a fundamentação teórica, contextualizando os principais aspectos desde os produtos cerâmicos até a produção e reutilização de rejeitos industriais; os resultados e discussões e por fim, a fase conclusiva, com análise e comparação dos resultados obtidos e confirmação da viabilidade técnica do reaproveitamento do resíduo em estudo.

## 5.2 METODOLOGIA

A pesquisa quantitativa proposta, teve como ponto de partida a coleta de velas de ignição inservíveis de oficinas automotivas da região metropolitana de Salvador/BA. As mesmas foram lavagem com água, secadas e submetidas a golpes mecânicos num moedor de aço, para separação das partes constituintes: metálicas e fragmentos do isolador cerâmico. Em seguida, os fragmentos cerâmicos foram triturados em pilão de aço inox e processados em moinho de jarro com esferas de aço. O pó obtido foi peneirado a 200 mesh e em seguida processado a seco num moinho planetário de alta energia, contendo esferas de alumina, com rotação de 220 rpm, durante 1h:30. O pó fino obtido foi passado em peneira 325 mesh, secado em estufa a 110 °C por 24 horas e purificado magneticamente para retirada do contaminante indesejável, os óxidos ferrosos. O pó cerâmico obtido foi incorporado em diversas proporções em peso à massa-padrão, utilizada por uma empresa fabricante para a produção do isolador cerâmico de velas de ignição.

Após permanência em estufa a 110 °C durante 24 horas, a massa-padrão e o pó do chamote, foram submetidos às análises química e mineralógica através de fluorescência de Raios-X (FRX) e difração de Raios-X (DRX), respectivamente. Os corpos de prova a verde foram preparados com proporções de 10, 20 e 30% (MP10, MP20 e MP30), em peso do chamote em relação à massa-padrão (M00), processados em peneira 325 mesh, conformados em matriz de aço e prensados durante um minuto, sob uma carga de 400 Kgf/cm<sup>2</sup>. Após conformados os mesmos foram deixados em repouso e mantidos em estufa a 110 °C por 24 horas, para eliminação da umidade e consolidação da resistência mecânica a verde. Em seguida, foram pesados, com precisão de 1 mg, determinando-se suas propriedades físicas: dimensões lineares, volume e densidade à verde.

As sinterizações dos corpos-de-prova foram realizadas em forno elétrico programável, com taxa de aquecimento de 3 °C/min, permanecendo em sub patamares de temperaturas de 100, 200, 300, 400, 500 e 600 °C, durante 30 min em cada patamar e elevados aos patamares de queima nas três temperaturas distintas 1450, 1500 e 1550 °C, mantidos por 2 horas em cada uma dessas temperaturas. O resfriamento ocorreu numa taxa de 5 °C/min, com as amostras dentro do forno até atingir a temperatura ambiente. As propriedades mecânicas e tecnológicas dos corpos-de-prova foram mensuradas através dos ensaios de retração linear de queima (RL), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA), tensão de ruptura a flexão (TRF), análise termomecânica (TMA), microdureza Vickers, mineralógica por difração de raios X (DRX) e microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### 5.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 5.3.1 Cerâmicas

A palavra cerâmica vem da palavra grega “”, que significa cerâmica e corresponde a uma atividade humana muito antiga. Na verdade, um dos materiais mais antigos fabricados no mundo é a cerâmica. Os produtos de cerâmica são feitos de argila por modelagem e aquecimento. Cerâmica tem um longo humano história em todas as culturas datando de vários milhares de anos. Cerâmicas técnicas requerem um tecnicismo maior em comparação com as cerâmicas tradicionais e, geralmente, requerem trabalhos de pesquisa e desenvolvimentos mais importantes. Uma grande parte do atual desenvolvimento de cerâmica técnica está ligada ao desenvolvimento da ciência e engenharia dos materiais, bem como a necessidade de novos materiais com melhores desempenhos.

Na compactação do material há o aumento da massa específica aparente (densidade), decorrência da deformação plástica dos grânulos que ao se deformarem passam a ocupar os espaços vazios que havia entre eles (porosidade intergranular). Portanto, a densificação depende da facilidade com que os grânulos se deformam plasticamente, ou seja, da sua plasticidade. De uma maneira genérica, os materiais cerâmicos apresentam alto módulo de elasticidade, são frágeis e bastante duros (CASAGRANDE, 2002).

Nas últimas décadas, as cerâmicas de alumina têm sido empregadas nas mais diversas áreas, destacando-se aplicações para fins estruturais e químicos como guias-fio, eixos, ferramentas de corte, tubos de proteção de termopares, cadinhos, catalisadores, bicos pulverizadores, cabeças de pistão, substratos de circuito integrado, tubo para lâmpada de vapor

de sódio e ainda, como material de implante ósseo e dentário. A estrutura cristalina da alfa-alumina é hexagonal densa de íons de oxigênio, na qual 2/3 dos vazios octaédricos são ocupados por íons de  $Al^{+3}$ . O caráter iônico da alfa-alumina é segundo Pauling, 46%. Os produtos de alumina simetrizada podem ser classificados segundo o teor em peso de  $Al_2O_3$  nos produtos: maior que 98% - alumina de alto teor de pureza, maior que 95% - cerâmicas de alto teor de alumina e cerâmicas de alumina (ACCHAR, 2006).

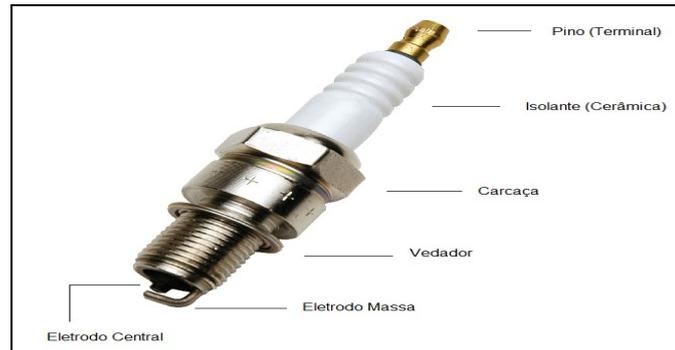
De acordo com Motta (2001), as cerâmicas brancas são definidas como produtos obtidos através da utilização de argilas quase isentas de óxido de ferro, ricas em alumina ( $Al_2O_3$ ), apresentando cor branca, rósea ou creme claro quando queimadas. A massa é do tipo composta, constituída de argilas plásticas de queima branca, caulins, quartzos e fundentes, notadamente o feldspato, filito ou carbonatos. A alfa-alumina ( $\alpha-Al_2O_3$ ), também conhecida como coridon, é a mais comum e termodinamicamente estável da alumina, destacando-se pela elevada resistência ao calor, à corrosão e resistência mecânica.

### 5.3.2 Velas de Ignição

A Figura 1, ilustra uma vela de ignição, onde podemos visualizar isolador cerâmico (cor branca), além da carcaça, vedador, eletrodo massa e o eletrodo central.

Durante suas condições operacionais e em decorrência do tempo de uso, a mesma pode se desgastar e perder suas propriedades tecnológicas, fazendo com que seja considerada “inservível” para os fins que se destina, sendo descartada como resíduo nos processos de manutenção dos equipamentos. Esse fato, demandando dos fabricantes uma elevada e crescente produção industrial de velas de ignição, principalmente pelo incremento da frota automotiva mundial. Para se ter uma ideia da quantidade de produção de velas de ignição, somente a fábrica da Bosch, em 2007, chegou à marca de 10 bilhões de velas de ignição produzidas, uma marca histórica, onde, se enfileiradas, as velas somariam 560 mil quilômetros, o que corresponde a 14 voltas ao redor da Terra (BOSCH, 2008).

Figura 1 - Ilustração de uma vela de ignição



Fonte: NGK, 2019.

### 5.3.3 Resíduos Sólidos e Reciclagem

De acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 10.004 - Resíduos Sólidos: Classificação, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (2004), os resíduos sólidos podem ser definidos como os resíduos nos estados sólido e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Acrescenta-se ainda, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como líquidos que exijam soluções técnicas e economicamente inviáveis que torne possível o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos hídricos.

Segundo Segadães (1987), a vantagem mais significativa do reaproveitamento de resíduos é a contribuição ambiental, com a redução no consumo de recursos naturais e mitigação de poluentes, associando-se tal procedimento a um melhor conhecimento do produto, através da caracterização e análise do seu comportamento físico e tecnológico no processo produtivo. Devido à heterogeneidade dos produtos cerâmicos, estes permitem a incorporação de uma quantidade razoável de resíduos, geralmente sem comprometimento das propriedades de interesse dos produtos finais.

A reciclagem permite retomar a origem, na forma de matérias primas, dos materiais que não se degradam facilmente e que podem ser reprocessados, mantendo suas características básicas (VALLE, 2002).

Segundo Lustosa (2003), muitas vezes os recursos naturais utilizados nos processos industriais são finitos, a utilização deve ser racional a fim de que o mesmo recurso possa servir para a produção atual e também para as gerações futuras.

Vários trabalhos seguem a linha de pesquisa do reaproveitamento de resíduos na formulação de massas cerâmicas. Pode-se citar: Cavalcante (2010), utilizou resíduo gerado a partir da mineração de esmeralda. Oliveira (2012), reutilizou resíduos do caulim, da esmeralda, do chamote de telha e da cinza vegetal para obtenção de revestimento cerâmico. Gonçalves (2015), utilizou resíduos de queima de casca de café e argila da região sul da Bahia na obtenção de isolador elétrico cerâmico. Costa (2017), reincorporou resíduo cerâmico da indústria de louça sanitária na linha de produção, entre outros.

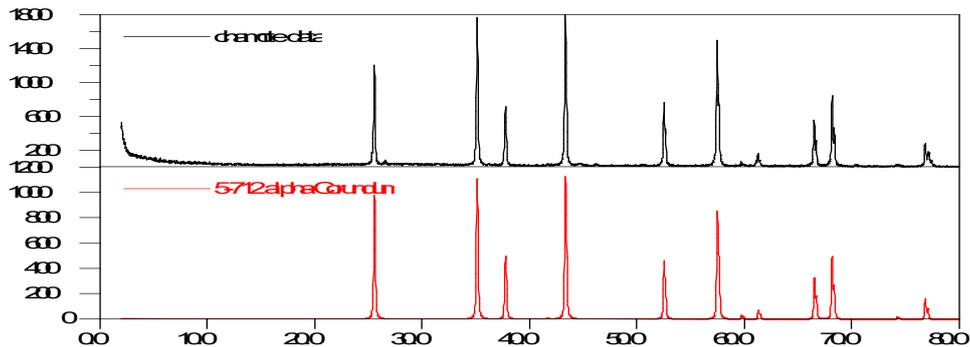
O presente trabalho estudou a viabilidade técnica da incorporação do resíduo (chamote) de velas de ignição, na formulação da massa-padrão de alto teor de alumina ( $Al_2O_3$ ), utilizada na produção do isolador cerâmico das mesmas, contribuindo com o meio ambiente, com a mitigação de resíduos sólidos gerados pelo descarte das velas de ignição inservíveis e do consumo de matérias-primas na produção das mesmas e de outros produtos que fazem uso de cerâmicas refratárias a base de alumina.

#### 5.4 RESULTADOS E DISCURSÕES

Neste tópico são apresentadas a discussão dos resultados obtidos pelos ensaios e análises realizadas com corpos-de-prova confeccionados com formulações de massas cerâmicas sem e com incorporação de percentuais do resíduo na massa-padrão utilizada para a produção do isolador cerâmico de velas de ignição.

Na Figura 2, são mostrados os difratogramas da análise química por fluorescência de Raios-X (FRX), da massa-padrão do isolador cerâmico das velas de ignição (alpha-corundum) e do resíduo incorporado (chamote). Pela análise dos resultados, verifica-se a congruência de picos dos dois resultados, que caracterizam a presença predominante da fase alfa-alumina ( $Al_2O_3$ ), confirmando-se a viabilidade da incorporação do resíduo como fonte de alumina, além do mesmo não apresentar impurezas que comprometam a sua incorporação na massa-padrão, bem propícios para conferir à cerâmica boas propriedades refratárias e de dureza.

Figura 2 - Difratomogramas de Raios X da massa-padrão e do chamote da vela de ignição

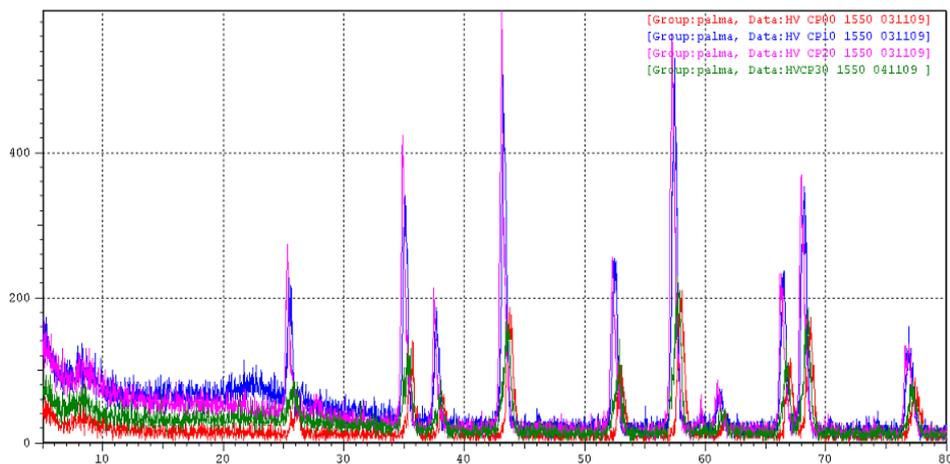


Fonte: Elaboração própria 2020.

A Figura 3, apresenta os difratogramas de Raios-X (DRX) dos corpos-de-prova sinterizados na temperatura mais elevada, 1550 °C, das formulações: massa-padrão isenta de chamote e com incorporações de 10, 20 e 30% em peso do chamote em relação à mesma.

Mais uma vez, fica evidenciada a congruência de todos os picos, representativos da fase alfa-alumina ( $Al_2O_3$ ), confirmando que a massa-padrão e as massas formuladas com incorporação do chamote apresentam como fase predominante, a alfa-alumina:

Figura 3 - Difratomogramas das amostras MP00, M10, M20 e M30



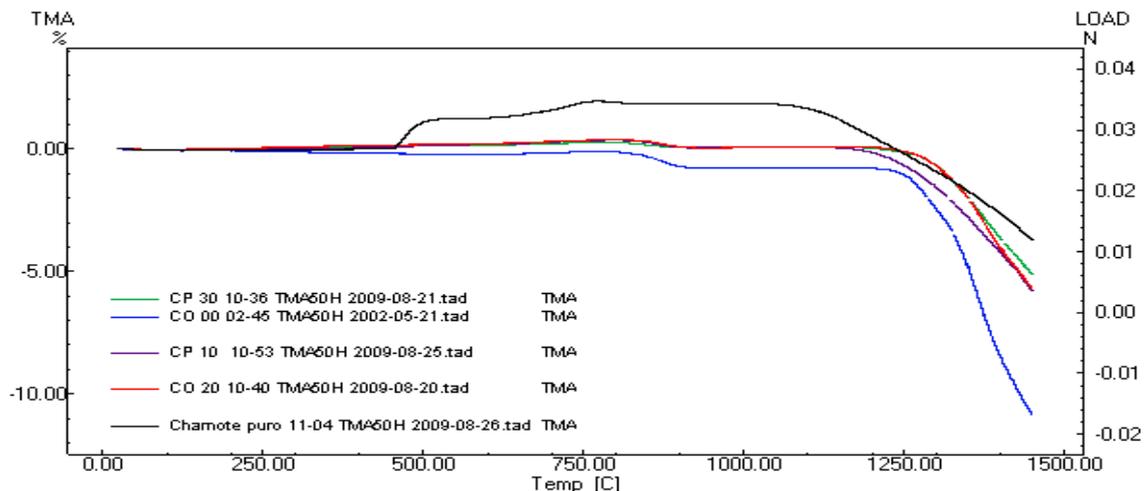
Fonte: Elaboração própria 2020.

A Figura 4 ilustra as curvas da análise termodinâmica (TMA) das formulações da massa-padrão, isenta de chamote, e das formulações com 10, 20 e 30% em peso do resíduo chamote incorporado.

Verificou-se uma semelhança no comportamento térmico das amostras e do início do processo de sinterização, próximo de 1.250 °C, sendo que, para a amostra do chamote puro, as

mudanças térmicas e o início da sinterização, divergem das outras, em função do mesmo ser um produto já sinterizado anteriormente:

Figuras 4 - Curvas termomecânicas as amostras: MP, M10, M20, M30 e do chamote



Fonte: Elaboração própria 2020.

Os valores obtidos das distribuições granulométricas das formulações da massa-padrão, do chamote puro e das três formulações com 10, 20 e 30% em peso da incorporação do chamote em relação à massa-padrão, utilizadas para confecção dos corpos-de-prova, são mostardas na Tabela 1.

Verificou-se que, os valores médios e cumulativos da granulometria aumentam com o aumento dos percentuais do chamote e que o pó do isolador cerâmico das velas apresentou tamanho médio de partículas igual a 5,16  $\mu\text{m}$ , fato esse justificado por se tratar de um material já sinterizado a temperaturas superiores a 1450  $^{\circ}\text{C}$ , com elevado teor de alumina, que confere uma elevada dureza e consequentemente, resistência à moagem:

Tabela 1 - Distribuição granulométrica ( $\mu\text{m}$ )

Corpos-de-prova	Valor Médio	Distribuição granulométrica cumulativa (%)		
		D <sub>10</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>90</sub>
M00	2.33	0.36	2.19	4.58
M10	3.39	0.36	2.89	7.18
M20	3.10	0.37	2.56	6.72
M30	3.61	0.35	2.83	8.05
Chamote	5.16	0.42	3.24	13.19

Fonte: Elaboração própria 2020.

A Tabela 2, apresenta os valores obtidos das propriedades físicas e mecânicas dos corpos-de-prova a verde e pós-sinterização nas formulações especificadas já mencionadas anteriormente e nas três temperaturas de patamares de sinterização, obtidos pelos ensaios de retração linear de queima (RL), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA), tensão de ruptura à flexão (TRF).

Tabela 2 - Propriedades físicas e mecânicas dos corpos-de-prova

Corpo-de-prova	T (°C)	RL	AA	PA	MEA	TRF (MPa)
CP00	1450	14.76	1.41	4.94	2.09	207.77
	1500	16.67	0.12	0.45	2.04	276.93
	1550	15.58	0.11	0.39	2.01	235.77
CP10	1450	14.06	0.84	2.98	2.15	146.70
	1500	15.96	0.05	0.19	2.11	196.21
	1550	16.06	0.12	0.44	2.12	223.93
CP20	1450	13.75	1.60	5.52	2.17	145.24
	1500	15.14	0.55	1.96	2.17	153.02
	1550	15.73	0.43	1.20	2.25	175.61
CP30	1450	12.75	1.94	6.63	2.09	132.04
	1500	12.64	0.67	2.38	2.10	139.97
	1550	14.93	0.22	0.83	2.10	175.13

Fonte: Elaboração própria 2020.

Pela análise global dos valores obtidos, verifica-se uma diminuição da retração linear pós-queima, da massa específica aparente e da tensão de ruptura à flexão, em função do incremento do resíduo chamote. Essas variações justificam-se pelo fato de que, sendo o resíduo de pó do chamote um material que já passou por sinterização, ou seja, queima a altas temperaturas, a sua compacidade, naturalmente, será menor, para os corpos-de-prova com incorporação de resíduo, tendo como consequência a diminuição dos valores das propriedades.

Quanto à absorção de água e porosidade aparente, ocorrem aumentos de valores, mas não tão regulares, justificando-se tal fato também, pela baixa compacidade do chamote. Podemos concluir que a incorporação do resíduo de chamote com percentuais não superiores a 20%, são admissíveis na formulação das massas cerâmicas, pois não comprometem de forma significativa as propriedades requeridas para este tipo de produto cerâmico.

A Tabela 3, apresenta a os valores das compacidades percentuais das formulações das massas cerâmicas, para confecção e compactação dos corpos-de-prova a verde, resultados esses

obtidos a partir da razão entre a média aritmética entre as Massa Específica Aparente (MEA) e as médias aritméticas das Densidades Absolutas (MER), obtidas pelo método do picnômetro.

Tabela 3 - Compacidade percentuais dos corpos-de-prova a verde

Corpos-de-prova	MEA (g/cm <sup>3</sup> )	MER (g/cm <sup>3</sup> )	Compacidade (%)
CP00	2.05	2.70	0.76
CP10	2.12	2.80	0.75
CP20	2.19	2.81	0.78
CP30	2.09	2.82	0.74

Fonte: Elaboração própria 2020.

Os resultados obtidos da compacidade percentual das massas cerâmicas a verde, demonstram que as mesmas não foram comprometidas pela incorporação do chamote nesses percentuais propostos (10, 20 e 30% em peso em relação à massa-padrão), o que possibilita uma satisfatória conformação por prensagem e posterior queima controlada dos corpos-de-prova, minimizando a possibilidade de formação de poros e outras imperfeições.

A tabela 4, apresenta os valores médios das microdurezas Vickers dos corpos-de-prova sinterizados nas três temperaturas de patamares de queima.

Tabela 4 - Microdurezas Vickers dos corpos-de-prova sinterizados a 1550 °C

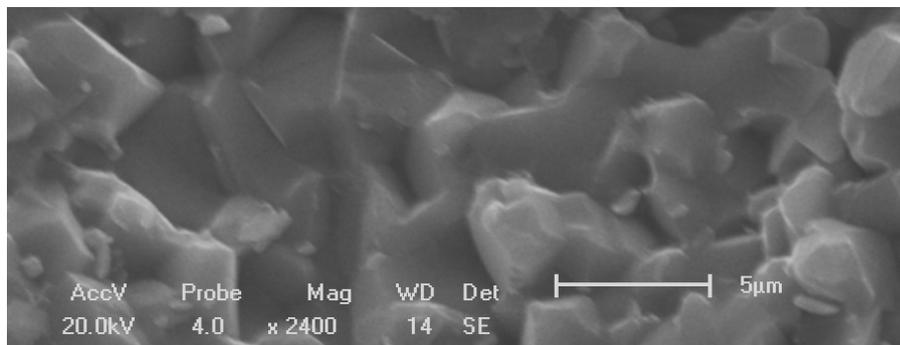
Corpo de Prova	HV (MPa)
CP00	19.11
CP10	18.62
CP20	15.61
CP30	12.84

Fonte: Elaboração própria 2020.

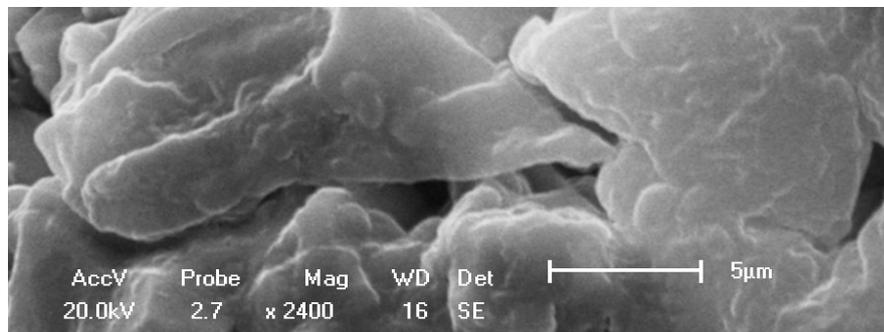
Os resultados mostram uma redução de valores em função da adição do resíduo incorporado do chamote, seguindo dessa forma, a mesma tendência de variação obtida no ensaio de resistência à flexão, visto que essas propriedades apresentam uma relação direta de proporcionalidade, embora para os materiais cerâmicos a determinação da microdureza superficial pode apresentar dispersão de valores, pela própria característica deste tipo de material em relação à baixa reprodutibilidade, caracterizada pelo grande espalhamento nos valores das resistências mecânicas, associado às características estruturais, químicas e físicas.

As Figuras 5, 6, 7 e 8, ilustram as morfologias das microestruturas das superfícies de fratura, obtidas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), dos corpo-de-prova com formulações da argila-padrão, sem incorporação de chamote (MP00) e com incorporação do chamote em percentuais de 10, 20 e 30% em peso em relação à massa-padrão, MP10, MP20 e MP30, respectivamente, todos sinterizados na temperatura de patamar mais alto, a 1550 °C, temperatura na qual se evidenciou uma maior formação da fase alfa-alumina e melhor visualização dos grãos constituintes.

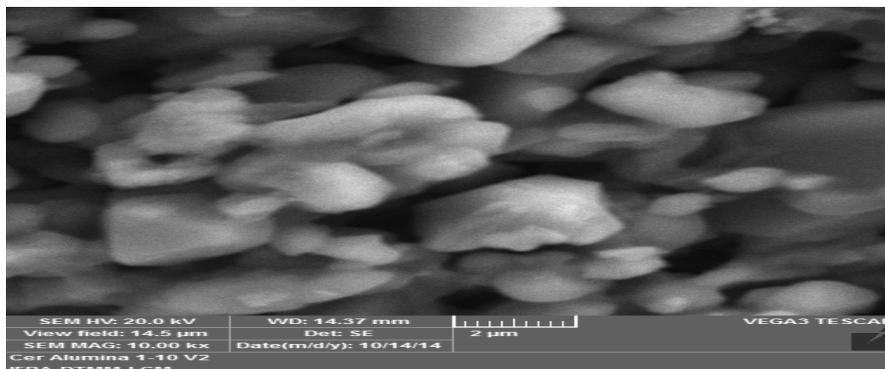
Figuras 5 - Morfologia da microestrutura do corpo-de-prova (MP00)



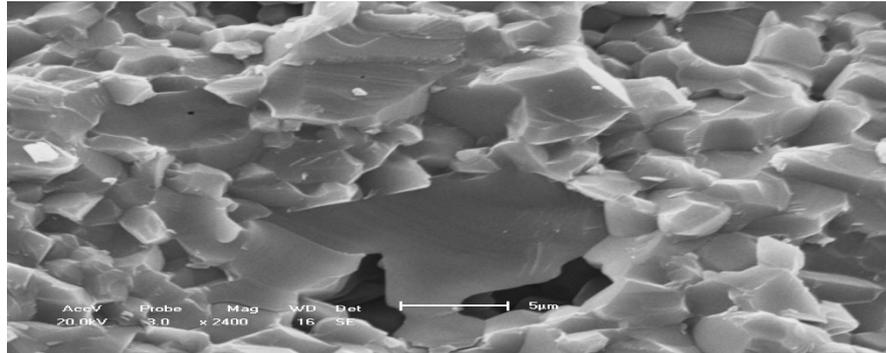
Figuras 6 - Morfologia da microestrutura do corpo-de-prova (MP10)



Figuras 7 - Morfologia da microestrutura do corpo-de-prova (MP20)



Figuras 8 - Morfologia da microestrutura do corpo-de-prova (MP30)



Verifica-se a predominância de grãos perfeitos da fase alfa-alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e pequenos resíduos do quartzo branco ( $\text{SiO}_2$ ), provavelmente proveniente de impurezas incorporadas durante o processamento mecânico para a separação do isolador cerâmico das partes constituintes das velas de ignição inservíveis. Verifica-se também a presença de lacunas e poros resultantes das fraturas dos corpos-de-prova.

## 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fundamentando-se no conjunto de resultados obtidos e analisados neste trabalho, referente às propriedades físicas, químicas e tecnológicas, conclui-se que a incorporação do resíduo do isolador cerâmico de velas de ignição (chamote), na formulação de massas cerâmicas a base de alfa-alumina, é viável, em percentuais não superiores a 30% em peso do chamote em relação à massa-padrão, sendo que, os melhores resultados obtidos foram com percentuais de 10% e 20% da incorporação do resíduo sem comprometer de forma significativa as propriedades requeridas para este tipo de produto cerâmico.

Evidencia-se que o aumento da temperatura do patamar de sinterização propicia ganhos nas propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas dos produtos finais.

Também, que existe uma proporcionalidade quase que direta entre a adição do resíduo com a diminuição dessas propriedades.

As análises microscópicas das superfícies de fratura dos corpos-de-prova revelam uma predominância de grãos bem definidos e distribuídos da fase alfa-alumina, sem diferenciação relativa à incorporação do chamote.

Por fim, esse estudo contribui para o meio ambiente, na medida em que propõe uma redução do consumo de recursos minerais para o processo da indústria ceramista, através da

destinação adequada das velas de ignição consideradas “inservíveis”, como resíduo incorporado na formulação de massas cerâmicas à base de alumina.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos-Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

ACCHAR, W. **Materiais cerâmicos**: caracterização e aplicações. Rio Grande do Norte: UFRN, 2006.

BOSCH. Revista Bosch. Disponível em: <http://www.bosch.com.br/br>. Acesso em: 20 nov. 2008.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Tecnologia de Materiais**: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CASAGRANDE, M. N. **Efeito da adição de chamote semi-gresificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento**. 2002. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2002.

LUSTOSA, M. C. **Política ambiental em economia do meio ambiente**: teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

MOTTA, J. F. M. As matérias-primas cerâmicas: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 2 p. 28-39, 2001.

NGK. Histórico. Disponível em <http://www.ngkntk.com.br/empresa/historico.html>. Acesso em: 25 out. 2019.

CAVALCANTE, R. F. **Estudo do potencial de utilização do resíduo da extração de esmeraldas na fabricação de cerâmica de revestimento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

COSTA, J. K. G. **Reincorporação de resíduo cerâmico da indústria de louça sanitária na linha de produção**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá-MG, 2017.

GONÇALVES, Joel Nogueira. **Uso de resíduos de queima de casca de café e argila da região sul da Bahia na obtenção de isolador elétrico cerâmico**. 2015. 149 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

FANTOZZI, G., “Welcome to Ceramics: A New Open Access Scientific Journal on Ceramics Science and Engineering”, *Ceramics*, p. 1-2, 2018.

OLIVEIRA, C. L. E. **Obtenção de revestimento cerâmico a partir da mistura de argila plástica com resíduo do caulim, da esmeralda, chamote de telha e cinza vegetal.** 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

REED, S. J. **Principles of ceramics processing.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

SEGADÃES, A. M. **Diagramas de Equilíbrio de Fases: Teoria e Aplicações em Cerâmicas.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1987.

VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental: ISO 14000.** São Paulo: SENAC, 2002.

### **MINI CURRÍCULO E CONTRIBUIÇÕES AUTORES**

<b>TÍTULO DO ARTIGO</b>	<b>INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS NA FORMULAÇÃO DA ARGILA-PADRÃO DO ISOLADOR CERÂMICO DE VELAS DE IGNIÇÃO</b>
<b>RECEBIDO</b>	27/08/2020
<b>AVALIADO</b>	22/09/2020
<b>ACEITO</b>	30/10/2020

<b>AUTOR 1</b>	
PRONOME DE TRATAMENTO	Sr.
NOME COMPLETO	Aldemiro José Rocha Palma
INSTITUIÇÃO/AFILIAÇÃO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA; Universidade do Estado da Bahia – UNEB.
CIDADE	Salvador
ESTADO	Bahia
PAÍS	Brasil
LINK LATTES	<a href="http://lattes.cnpq.br/2150318332197038">http://lattes.cnpq.br/2150318332197038</a>
ID ORCID	0000-0002-8116-7297
RESUMO DA BIOGRAFIA	Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais (UFRN, 2016). Mestre em Engenharia Mecânica (UFRN, 2010). Especialista em Engenharia de Segurança (EEEMBA, 1988). Especialista em Análise de Sistemas (UES/RJ, 1986). Especialista em Química Inorgânica (UFBA, 1988). Bacharel em Engenharia Química (UFBA, 2003). Licenciado em Química (UNEB, 1982). Professor Assistente IV (UNEB), Associado I (IFBA). Quarenta anos de experiência profissional e acadêmica, na elaboração de projetos, coordenação e regência de classe em cursos de especialização, graduação e técnico, nas áreas de Engenharia, Segurança e Higiene do Trabalho e Química. Vice-líder do Grupo de Pesquisa de Compósitos Poliméricos e Cerâmicos (IFBA).
CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES NO ARTIGO	Autor

Endereço de Correspondência dos autores	Rua Horácio César, n. 4, Edf. Studio I, Apt. 1206 - Dois de Julho - Salvador-BA. CEP 40.060-350. E-mail: <a href="mailto:aldemiropalma@gmail.com">aldemiropalma@gmail.com</a>
---	--