ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1

CIÊNCIA NA PRÁTICA

UniSales
Centro Universitário Salesiano

# INCORPORAÇÃO DE ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA FORMULAÇÃO DE MASSA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

## *INCORPORATION OF CIVIL CONSTRUCTION WASTE IN THE FORMULATION OF CERAMIC COATING MASS*

João Vitor Moratti Fernandes[1]

Flávio Lúcio Santos de Carvalho[2]

**RESUMO:** O ecossistema industrial globalizado progride geométrica e exponencialmente, bombardeando o mercado quase que diariamente com avanços tecnológicos, métodos mais eficientes, novos produtos, novas funções para seus produtos e etc. Desta forma, este artigo avaliou à incorporação e substituição de matéria-prima na formulação de massa cerâmica por rejeito proveniente da construção civil. Inicialmente o material foi identificado com o intuito de checar os teores de substancias relevantes ao processo de sinterização, posteriormente o material seguiu para moagem e incorporação nas proporções já estipuladas pelos processos laboratoriais do ambiente de realização dos testes, os corpos com a incorporação foram submetidos à sinterização e aos processos subsequentes de obtenção do porcelanato, juntamente com outros corpos em formulação padrão da amostragem do processo da empresa. As peças foram analisadas via análise química, retração linear, absorção de água, porosidade, densidade aparente e resistência mecânica. O artigo corrobora, por meio de resultados, a viabilidade dos rejeitos de construção civil como alternativa para a formulação de massa cerâmica.

***ABSTRACT**: The globalized industrial ecosystem progresses geometrically and exponentially, bombarding the market almost daily with technological advances, more efficient methods, new products, new functions for its products, etc. Thus, this article evaluated the incorporation and replacement of raw material in the formulation of ceramic mass by waste from civil construction. Initially, the material was identified in order to check the contents of substances relevant to the sintering process, later the material was milled and incorporated in the proportions already stipulated by the laboratory processes of the test environment, the bodies with the incorporation were subjected to sintering and subsequent processes for obtaining porcelain tile, along with other bodies in standard formulation from the company's process sampling. The parts were analyzed via chemical analysis, linear shrinkage, water absorption, porosity, apparent density and mechanical resistance. The article corroborates, through results, the viability of civil construction waste as an alternative for the formulation of ceramic mass..*

## 1. INTRODUÇÃO

A todo momento as técnicas produtivas avançam a passos largos, apresentando ao mercado produtos de qualidade cada vez maior. Os equipamentos, ao acompanhar este processo fomentado pela globalização, também se tornam cada vez mais sofisticados, dando flexibilidade a toda linha produtiva, as mudanças e testes ficam relevantemente mais mensuráveis e proporcionam uma diversidade segura no modelo produtivo.

Desta forma, mesmo um setor que prioriza manter a estabilidade de seus processos justamente pela instabilidade de seu produto enquanto é produzido, como a indústria cerâmica, deve se manter em constante evolução. Esse fato decorre principalmente de fatores, tais como as

[1] Centro Universitário Salesiano – UniSales (joao.fernandes@souunisales.com.br)
[2] Centro Universitário Salesiano – UniSales (fcarvalho@ucv.edu.br)

restrições da legislação ambiental vigente, a grande quantidade de geração de resíduos, o esgotamento das matérias-primas na natureza, os custos para deposição adequada dos resíduos e a vida útil dos aterros sanitários (Daros, 2013).

O termo “cerâmica” vem do grego keramos, que se referia originalmente a vasilhames de argila queimada. Num sentido mais amplo, entende-se por cerâmica tanto um produto quanto um processamento ou uma indústria. Assim, um tijolo ou um isolador elétrico é cerâmica, bem como uma olaria ou uma oficina onde se produzem artefatos cerâmicos.

Segundo Kingery (1976), cerâmica é “a arte e ciência de fazer e usar artigos sólidos que têm como seu componente essencial materiais inorgânicos e não metálicos”. De um modo mais simples, pode-se definir materiais cerâmicos, não pelo que são, mas pelo que não são. Assim, são cerâmicos a maioria dos materiais sólidos que não são metais, polímeros ou derivados de plantas ou animais.

Segundo Barsoum (1996), materiais cerâmicos são compostos sólidos formados pela aplicação de calor, algumas vezes calor e pressão, constituídos por ao menos um elemento metálico e um não metálico, ou dois não metais.

Segundo Daros (2013), o setor cerâmico destaca-se no reaproveitamento de resíduos sólidos devido à semelhança das características físico-químicas dos mesmos com as matérias-primas normalmente utilizadas e também pelo fato de demandar grandes quantidades de consumo.

O aproveitamento dos resíduos e rejeitos dos processos através de estudos capazes de atestar e comprovar suas potencialidades e viabilizar sua utilização é encarado hoje como atividade complementar, que pode contribuir para o diferencial competitivo dos produtos através da diminuição dos custos finais, possibilitando assim uma nova fonte de investimento para o próprio ou outros produtos dentro do horizonte da empresa, além de resultar em novas matérias-primas para uma gama de outros setores industriais. (ALVES, 2005)

Desde modo, a busca por novos meios de produzir se retroalimenta da eminente escassez de recurso, deixando um espaço amplo para inovação e experimentação, proporcionando cada vez mais a reinvenção de ramos industriais, como o ceramista, evidente. Partido deste ponto, sabendo o que é cerâmica, sabendo a importância do viés sustentável para esta vertente industrial e embasado pela conjectura físico-química que suporta o caráter manipulável da formulação, o presente artigo busca apresentar uma nova fonte viável, e com maior valor sustentável, de matéria-prima, para a produção cerâmica. O projeto promoverá os devidos testes buscando atestar a inserção do novo componente na formulação de massa, sem o detrimento da qualidade do produto final, mirando também no fornecimento de novas possibilidades para o ramo cerâmico, dado o caráter engessado do seu abastecimento de matérias-primas e da sua variabilidade produtiva. O estudo utiliza a proximidade das composições químicas dos materiais enquadrados no nicho de entulho civil para com os componentes da formulação de massa, como subsidio para a realização do mesmo, tendo em vista sanar as lacunas quanto ao produto final, quanto a proximidade em relação ao padrão já produzido e também se a fonte do novo composto introduzido pode suportar a produção em massa vigente.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Daros (2013) estuda a possibilidade de utilização de resíduo resultante do processamento de aparas como parte componente da formulação de massa da monoporosa em substituição ao

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1

CIÊNCIA NA PRÁTICA

UniSales
Centro Universitário Salesiano

calcário. O resíduo é caracterizado e empregado no modo de produção vigente de monoporosa. Os resíduos de celulose e papel podem ser utilizados como fonte alternativa em substituição ao calcário, na correção da acidez dos solos e no processo de branqueamento ácido, em uma das fases de produção de papel. O material de características floculares, tem em sua composição areia, pedregulho, calcário, carbonato de cácio ($CaCO_3$), hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) e carbonato de sódio ($Na_2CO_{3)}$. Os materiais foram inseridos em duas formulações específicas de massas calcárias de monoporosa. Foram realizados todos os procedimentos padrões nos corpos de prova. Após revisão das análises finais, foi constatado que a substituição é viável num percentual de representatividade de 10% de resíduo na formulação, não prejudicando as principais características da monoporosa que são a baixa retração de queima, alta absorção de água e carga de ruptura adequada para o uso destinado.

Ferreira (2021) visa avaliar o potencial da utilização de resíduos industriais como matéria-prima na produção de blocos cerâmicos. A concepção do bloco cerâmico se dá pelas seguintes etapas: Sazonamento da argila vermelha, que corresponde ao procedimento de deixar argila a céu aberto com o intuito de aumentar sua plasticidade, depois à matéria-prima é dosada, aonde o projeto de substituição interferirá ativamente, logo após a argila é moída em função da diminuição de sua granulometria, em seguida ela é laminada, destorroada e extrudida formado do bloco. Foram usados os seguintes resíduos para substituição: Cinza de caldeira de queima de biomassa, Lodo da Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de uma indústria de celulose e pó de pedra proveniente de lama abrasiva de serragem de granito. As porcentagens de misturas foram baseadas nas porcentagens usuais na indústria cerâmica chegando a alíquotas de 10, 20 e 30% de resíduos nas massas cerâmicas. Após revisão da análise dos testes finais foram considerados como aplicáveis as amostras com pó de pedra com percentual representativo de 30%, apresentando os melhores resultados em termos de carga de ruptura, absorção de água e retração, tendo também como resultado um produto inerte. Além desta, as misturas com lodo da ETE (Lodo da Estação de Tratamento de Efluente) se mostraram eficientes dentro do range de percentual representativo de 10% na formulação.

Cunha Júnior (2019) tem como objetivo produzir e caracterizar peças cerâmicas com adição de Produtos da Combustão do Carvão Mineral (PCCs) em sua composição. O resíduo, PCC (Produtos da Combustão do Carvão Mineral), é produzido por usinas termelétricas em altos volumes. As cinzas são classificadas em grupos que se diferenciam em granulometria, densidade, microestrutura e características físico-químicas, Os grupos são: cinzas volantes ou *fly ash*, materiais de menor granulometria, cinzas de fundo ou *bottom ash*, materiais de granulometria maior que as do grupo *fly ash* e as escórias que são materiais de grão robusto e partículas de carbono incombusto. Após os testes, são montados os corpos de prova e os mesmos são submetidos aos procedimentos para obtenção da peça cerâmica. No resultado final apresentado, o PCC se mostrou uma opção viável para compor peças cerâmicas, mostrando variações apenas nos testes de perda ao fogo e na apresentação estética dos corpos prismáticos, que devido ao processo termogênico da hematita na sinterização, os mesmos se apresentaram em uma coloração mais escura.

Galuppo (2020) avalia a utilização da escória granulada de alto-forno como matéria – prima alternativa para o revestimento cerâmico. A escória granulada é um resíduo sólido que pode contaminar solo, atmosfera e lençóis freáticos no ato de seu descarte. As escórias resfriadas funcionam na massa como argilas cauliniticas e *ball-clays*, devido ao seu alto teor de alcalinos terrosos. Depois de caracterizadas, foram escolhidas 3 matérias-primas argilosas para serem

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1

CIÊNCIA NA PRÁTICA

UniSales
Centro Universitário Salesiano

substituídas, em representatividade de 5% na formulação. Apesar de resultar em peças mais fundentes, a Escória Granulada de Alto-Forno (EGAF) se apresentou viável na substituição podendo levar a diminuições dos impactos econômicos e ambientais no descarte.

De Almeida (2020) busca incorporar resíduos de gesso em formulações de adoquim e revestimentos cerâmicos. O gesso foi caracterizado mineralógicamente e confeccionado em corpos de prensagem uniaxial na proporção representativa de 5% da formulação. Após as análises pós queima, o gesso se apresentou viável para inserção nas formulações, sendo estável em coloração nas curvas de queima de 900ª à 1100ª e apresentando interações aceitáveis com os materiais argilosos como a caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$). O resultado visa diminuir o descarte inadequado de gesso que pode contaminar solos, rios e emitir gases tóxicos pós-decomposto. Além de ser um material de custo benefício inegável na relação preço/peso.

Kotani (2019) apresenta as rochas feldspáticas de Poços de Caldas – MG, como potenciais substitutas integrais e/ou parciais às matérias-primas cauliníticas na formulação de massa do revestimento cerâmico. Sendo uma alternativa de custo menor e em maior abundância de recursos, as rochas feldspáticas, potássicas e os fonolitos, mostram a mesma característica fundente quando comparados ao caulim, além de não causarem mudanças na apresentação estética, fator importante para os revestimentos, nas cargas de ruptura, absorção de água e densidade de *Bulk*. As formulações usando 25% da rocha potássica e 25% do fonolito se mostraram viáveis e, no caso dos fonolitos, apresentaram uma temperatura de sinterização mais baixa do que os componentes do caulim e feldspato.

Souza (2017) insere no segmento de cerâmicas porosas de cordierita, a incorporação de chamotes de argila *ball clay*, alumina e talco, apoiado nas propriedades de estabilidade térmica, alta permeabilidade, resistência mecânica e química das porosas. Os materiais foram inseridos a proporções representativas, em peso, de 0, 10, 20, 30 e 40% nas formulações e sinterizados à 1050 e 1100ºC. Após os testes, os chamotes dos componentes, se verificaram viáveis para inserção no procedimento, tendo uma variabilidade de 0,08 à 0,1% na porosidade do produto. Não obstante, na formulação com 10% do chamote, houve melhora no comportamento mecânico. Sendo o chamote produto do próprio processo produtivo da cerâmica, os custos são reduzidos à medida que se é descartado em menos quantidade e reinserido no processo.

Oliveira (2016) busca reduzir o desperdício gerado nas atividades de produção da indústria cerâmica utilizando os chamotes, restos de telha, gerados pelos descartes da produção na incorporação da massa para blocos cerâmicos. Os resíduos tem sua granulometria reduzida até formar os chamados chamotes, que são inseridos em percentuais representativos de 0, 5, 10, 15 e 20% de concentração na formulação de massa e queimados em 580, 900, 650 e 1000ºC. Após sinterização e análise, o resultado da incorporação dos chamotes se mostrou satisfatório aumentando a qualidade do produto em todos os teores adicionados, com destaque para a massa com 5% de chamote na composição, apresentando melhor resistência e diminuição da porosidade. Com a presença de sílica e alumina nos chamotes, os custos com matérias-primas podem ser reduzidos com base no tipo de formulação aplicado para o bloco.

Silva (2014) objetiva aproveitar os resíduos de PCC (Produtos de Combustão de Carvão Mineral) juntamente com a adição do granito Asa Branca (RGAB) como matéria-prima. Após os testes com concentrações de 0, 10, 15 e 20% de PCC (Produtos de Combustão de Carvão Mineral) na massa de formulada com base do granito, o produto apresentou resultados importantes para o âmbito de revestimento, tendo sido apresentado uma absorção de água de

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1



aproximadamente 0,00%, o que qualifica o revestimento como porcelanato. Com isso, promovendo diminuição do descarte de PCC (Produtos de Combustão de Carvão Mineral) em suspensão e a diminuição do preço geral da massa, dado o preço da tonelada do granito Asa Branca e sua disponibilidade.

Castro 2012 propõe a adição de chamotes de telha na formulação de revestimento cerâmico como forma de minimizar o desperdício gerado pelas rebarbas descartadas no material, durante o processamento das telhas e dos adoquins. Para isso foram elaborados formulações de massa contendo percentuais de 5, 10,15 e 20% de chamote na composição em detrimento de matérias-primas a base de caulim e dolomita. Os melhores resultados se mostraram nos testes onde a concentração de chamote foi de 20%, viabilizando a incorporação nos percentuais corretos.

## 3. METODOLOGIA

As matérias-primas (MP's) argilosas serão fornecidas pela empresa na qual os procedimentos laboratoriais e ensaios serão feitos, sendo assim suas propriedades já são devidamente conhecidas e os resultados das formulações de MP's utilizadas pela empresa, com o emprego de somente componentes argilosos, tendem a seguir um padrão quanto às características mais importantes do produto final, sendo elas a porosidade, perda ao fogo, absorção de água, densidade aparente, entre outras características que dizem mais respeito ao comportamento químico da massa. As MP's serão organizadas por misturas, explicitando as concentrações, em porcentagem, de cada tipo de matéria-prima em cada mistura e o teor de entulho. Os testes serão conduzidos nas massas de porcelanato cerâmico e no porcelanato grês, que se diferenciam pelo nível de porosidade do produto final, sendo eles de 0,1 a 0,5% e 0,5% a 3% respectivamente.

Simultaneamente a esse processo, o entulho será categorizado quanto à origem de acordo com a figura 1 que sintetiza a proposição de MONTEIRO (2001):

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1

CIÊNCIA NA PRÁTICA

UniSales
Centro Universitário Salesiano

Figura 1 – Classificação de resíduos sólidos segundo natureza da origem

| | | |
|---|---|---|
| Urbano | Doméstico | Gerados em residências como casa, apartamentos, condomínios e moradias. |
| | Comercial | Provenientes das atividades de comércio de todos os setores |
| | Público | Os gerados em ambientes públicos, como rua, praças, praias e etc. |
| Doméstico especial | Entulho de obras | Necessitam de destinação específica para o resíduo produzido. |
| | Pneus | |
| | Pilhas e baterias | |
| | Lâmpadas fluorescentes | |
| Fontes especiais | Radioativos | No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final do lixo radioativo estão a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. São os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. |
| | Industrial | Provenientes de atividades industriais e classificados segundo a NBR 10.004. |
| | Agrícola | Embalagens de pesticidas, fertilizantes e afins |
| | De serviço de saúde | Proveniente das atividades em instituições de saúde como clínicas, hospitais, consultórios, farmácias entre outros |
| | Portos, aeroportos e terminais rodo ferroviários | Gerados tanto nos terminais como nos veículos. A periculosidade está no risco de transmissão de doenças que também pode se dar através de cargas eventualmente contaminadas, tais como: animais, carnes e plantas. |

Fonte: Adaptada do Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos (MONTEIRO, 2001).

O material foi retirado de uma obra doméstica local sendo constituído, majoritariamente, de restos de bloco, pó de brita, fragmentos de cimento e fragmentos de telha. Deste modo, o resíduo foi categorizado no grupo “Urbano”, e submetido à análise química.

Após a caracterização do entulho, ocorreram as substituições em porcentagens, que serão estipuladas com base nas especificidades químicas encontradas na análise, buscando uma maior aproximação com teores de elementos químicos que já tenham reações próximas ou conhecidas de massas já submetidas a esse processo de reformulação. A escolha estará sujeita também a relação custo/benefício da substituição, buscando, ao mesmo tempo, os resultados mais estáveis e passíveis de utilização, juntamente com a maior redução de custo possível.

Após uma contemplação dos percentuais dos elementos que já compõe a massa padrão, da caracterização do entulho pela origem e das especificidades produtivas, bem como resultados de modificações anteriores, foi feita uma análise pelos técnicos laboratoriais para conceber as porcentagens em que o entulho deveria ser inserido na formulação, escolhendo também qual seria o material substituído. Por consenso, e também com base no banco de dados da empresa, o material foi inserido em regime de substituição do pó de pedra. Segue no Quadro 2 a

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1



formulação submetida aos testes com inserção do material no processo de produção via seca do produto grés:

Quadro 1 – Formulação de massa para comparação

| **Materias primas** | **Padrão** | **Teste 01** | **Teste 02** | **Teste 03** |
|---|---|---|---|---|
| | % | % | % | % |
| **Pó de pedra** | **29,00** | **28,50** | **28,00** | **27,50** |
| Caco queimado | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Retorno do processo | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 7,00 |
| Carbonato de Calcio e Magnésio | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Argilito(Argila ilítica) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Argila motemoliolitica | 24,00 | 24,00 | 24,00 | 24,00 |
| Argila caulinitica 1 | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 11,00 |
| Argila caulinitica 2 | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 11,00 |
| Argila caulinitica 3 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| **Entulho** | **-** | **0,50** | **1,00** | **1,50** |

Fonte: Autor (2022)

Como demonstrado no quadro 1, o padrão segue sem substituição, o teste 1 há uma substituição de 0,5% de pó de pedra por entulho, no teste 2 de 1,0% e no teste 3 de 1,5%.

As misturas serão submetidas ao processo de produção de um revestimento cerâmico em escala laboratorial de teste, sendo esse processo iniciado pela moagem a seco e a úmido, por um moinho com bolas de alta alumina. O parâmetro de retenção pós-moagem é de 1 a 5% de resíduo precipitado. Na preparação da simulação por via úmida, há uma adição de um processo de secagem precedendo o de moagem. As massas moídas são secas novamente, separadas em aglomerados com pesos específicos, umidificadas com 8% de água destilada e homogeneizadas para a confecção dos corpos de prova (CP's) circulares e retangulares em prensa hidráulica. Após queima dos CP's (corpos de prova), dar-se-á o início aos testes e ensaios físicos. Sendo eles:

**3.1.** Variação linear pós-secagem e pós-queima**:**

Os comprimentos do CP (corpo de prova) cru (lê-se antes da secagem) (Lc), pós-secagem (Ls) e pós queima (Lq) são medidos para análise dos valores obtidos após aplicação nas equações (1):

$$R_{s=}\frac{L_c - L_s}{L_c}x(100) \qquad (1)$$

Onde $R_s$ = Variação linear pós-secagem

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1



$$R_Q = \frac{L_s - L_q}{L_s} x(100) \quad (2)$$

Onde $R_q$ = Variação linear pós-queima.

**3.2.** Absorção de água:

O ensaio de absorção de água nos corpos define o nível de sinterização do mesmo, sendo obtida através da equação (3):

$$AA(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} x100 \quad (3)$$

Onde:

AA = Absorção de água;

$P_u$ = Massa do cp úmido em gramas;

$P_s$ = Massa do cp seco em gramas;

Para obter-se a medida descrita como peso úmido, o CP (corpo de prova) é submetido a um aparelho chamado porosímetro, onde ocorre a imersão do mesmo em água, por um tempo determinado, hidratando-o e depois pesando.

**3.2.** Densidade aparente:

Com o objetivo de garantir a coesão estrutural da sinterização pela qual foi submetida o CP (corpo de prova), é medida a densidade aparente através de uma balança hidrostática de mercúrio, onde se comparam o peso do CP pós-queima e úmido e imerso (Pi). De posse dos dados, a densidade aparente (DA) é definida pela fórmula (4):

$$DA(\%) = \frac{(P_u - P_s)}{(P_u - P_i)} x100 \quad (4)$$

Onde:

$P_u$ = Massa do cp úmido em gramas;

$P_s$= Massa do cp seco em gramas;

$P_i$= Massa do cp imerso em gramas.

**3.2.** Ensaio de flexão em três pontos

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1



Para este teste são utilizados os CP's (corpos de prova) em formato retangular, devido a procedimentos dimensionais. Os corpos são encaixados em um flexímetro com dois suportes e um cutelo e são submetidos a carga até seu rompimento. O módulo de resistência à flexão (MRF), também chamado de "flexa" pelos profissionais que executam o teste na empresa, se dá pela equação (5):

$$MRF = \frac{3\ x\ P\ x\ L}{2\ x\ b\ x\ h^2} \quad (5)$$

Em que:

MRF = Módulo de resistência à flexão

P = Carga no momento da ruptura (kgf);

L = Distância entre os suportes, em centímetros;

B = Largura dos cps, em centímetros;

H = Espessura mínima do cp, em centímetros.

## 4. ANÁLISE DOS TESTES

Nos resultados da análise química do entulho, constam em evidência os componentes químicos mais contundentes para o processo a que será submetido à amostra, com os percentuais relativos mais aparentes, bem como os mais importantes para um produto final satisfatório. Os componentes evidenciados são: Óxido de Sódio($Na_2O$), Óxido de Magnésio(MgO), Óxido de Alumínio ($Al_2O_3$), Dióxido de Silício ($SiO_2$), Óxido Sulfúrico ($SO_3$), Óxido de Potássio ($K_2O$), Óxido de Cálcio (CaO), Dióxido de Tintânio ($TiO_2$) e Óxido Férrico ($Fe_2O_3$) . Segue resultados explicitados na Tabela 1:

Tabela 1 – Resultados percentuais da análise química do resíduo

| Componente | Quantidade % |
|---|---|
| $Na_2O$ | 0,887% |
| MgO | 1,314% |
| $Al_2O_3$ | 8,224% |
| $SiO_2$ | 77,270% |
| $SO_3$ | 0,422% |
| $K_2O$ | 1,050% |
| CaO | 7,478% |
| $TiO_2$ | 0,772% |
| $Fe_2O_3$ | 2,584% |

Fonte: Autor 2022

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1

CIÊNCIA NA PRÁTICA

UniSales
Centro Universitário Salesiano

Os resultados de todos os testes efetuados nos corpos de prova, envolvendo a substituição do pó de pedra no processo referente ao produto cerâmico grés, seguem nos quadros 2, 3 e 4, evidenciando na primeira linha de todos os quadros o padrão da empresa, o teste 1 que é substituição de 0,5%, o teste 2 com a substituição de 1,0% e o teste 3 com a substituição de 1,5%.

O quadro 2 é onde estão explicitados respectivamente o tempo de moagem, retenção residual, umidade e pressão utilizada na moragem, absorção de água, contração linear, perda ao fogo, resistência mecânica a flexão seco (RMF-S), DAP (Densidade Aparente) seco, resistência mecânica pós queima (RMF-Q) e carga de ruptura no quadro 3 e o comparativo final, entre o padrão e os testes, das propriedades dimensionais e físicas no quadro 4:

Quadro 2 – Análise do processo de moagem

| Amostras | Tempo de moagem | Resíduo #325 (3,0 a 3,5) 45µ | Umidade | Pressão |
|---|---|---|---|---|
| | Min | % | % | Kg.F/cm³ |
| Padrão | 55 | 3,4 | 8 | 380 |
| Teste 1 | 55 | 3,4 | 8 | 380 |
| Teste 2 | 55 | 3,3 | 8 | 380 |
| Teste 3 | 55 | 3,3 | 8 | 380 |

Fonte: Autor (2022)

Quadro 3– Análise comparativa dos testes físicos

| | **Amostras** | **Absorção** | **Contração Linear** | **Perda ao Fogo** | **RMF-S** | **Dap´seco** | **RMF-Q** | **C. Ruptura** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1090°c 23 min | | % | % | % | Kg.f/cm² | g/cm³ | N | MPa |
| | Padrão | 9,1 | 3,4 | 4,5 | 68,1 | 2,03 | 32,8 | 731,9 |
| | Teste 1 | 9,7 | 3,0 | 4,9 | 68,4 | 2,04 | 30,2 | 675,0 |
| | Teste 2 | 10,3 | 2,8 | 5,0 | 68,5 | 2,04 | 28,7 | 609,6 |
| | Teste 3 | 11,1 | 2,7 | 5,2 | 68,5 | 2,04 | 27,1 | 564,7 |

Fonte: Autor (2022)

Quadro 4 – Análise panorâmica entre padrão e testes

| | Peso pós Secagem (g) | Peso Queimado (g) | Peso Úmido (g) | Tamanho inicial (mm) | Tamanho Final (mm) | **Absorção de água (%)** | **Retração Linear (%)** | **Perda ao Fogo (%)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Padrão | 35,171 | 33,602 | 36,661 | 30,32 | 29,28 | *9,10* | *3,43* | *4,46* |
| Teste 1 | 35,415 | 33,689 | 36,968 | 30,30 | 29,38 | *9,73* | *3,04* | *4,87* |
| Teste 2 | 35,592 | 33,804 | 37,299 | 30,29 | 29,44 | *10,34* | *2,81* | *5,02* |
| Teste 3 | 35,591 | 33,755 | 37,501 | 30,27 | 29,45 | *11,10* | *2,71* | *5,16* |

Fonte: Autor (2022)

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1

CIÊNCIA NA PRÁTICA

UniSales
Centro Universitário Salesiano

Ao final dos testes e assim como demonstram os resultados comparativos, a substituição de 0,5% do pó de pedra se mostrou promissora e consistente nos resultados. Os testes comparativos mostram variações irrisórias nos padrões dimensionais e físicos (Peso pós secagem, peso queimado, peso úmido, tamanho inicial, tamanho final, absorção de água, retração linear e perda ao fogo) denotando uma sinterização quase que idêntica ao padrão que resulta em um baixíssimo risco de fragilidade e "trabalho a frio", que seria a retração ou expansão da cerâmica pronta. O produto final apresentou uma variabilidade qualitativa admissível para o processo de produção da categoria cerâmica, garantindo a qualidade e os padrões de porosidade de uma cerâmica grés, concebida nos moldes produtivos da empresa e nos padrões do CCB (Centro Cerâmico do Brasil), órgão de controle de qualidade cerâmico. Além disso, quando analisadas as quantidades, em toneladas, da matéria-prima pó de pedra que será substituída na massa, apresentou-se uma economia de aproximadamente R$ 7.500,00 por tonelada. O cálculo leva em consideração o preço da matéria-prima dado pelo fornecedor atual, transporte e custo de armazenamento, e foi calculado de acordo com o percentual de substituição.

Infelizmente durante os primeiros resultados da substituição do entulho no processo do porcelanato, obtiveram-se resultados que impossibilitaram o avanço nos testes, aqueles com as porcentagens mais elevadas de entulho "empaparam" na segunda moagem do processo via úmida, devido à alta concentração do composto polímero *clicker* que, por consequência dos percentuais mais altos de substituição se tornavam mais abundantes e não regrediam mediante aplicação externa de silicato, impossibilitou a utilização do material, diante disso, recomenda-se utilizar, além da leitura da fluorescência XRF, nos raios x das moléculas, a leitura complementar de radiação alfa e beta para uma análise mais qualitativa dos componentes em menor escala que também influenciam no produto. Já na menor concentração proposta, o material se tornou muito poroso pós sinterização, o que o inviabiliza devido a maior rigorosidade do controle no processo do porcelanato que permite uma variação restrita de 0,1% a 0,5%.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em posse de todos os testes comparativos e de caracterização, a proposta de modificação da formulação de massa, utilizando a substituição de uma das matérias-primas, provou-se viável no processo produtivo que tange o revestimento cerâmico da classe grés. O resultado da simulação laboratorial se situa dentro do *range* aceitável de variação em todos os testes com possibilidades sólidas de reprodução em escala industrial, mantendo uma exigência específica deste processo produtivo, que diz respeito a um produto final de coloração clara, também sob controle, não somente devido ao volume exponencial de entulho que é produzido pelos mais diversos ramos da construção civil, o novo componente é dotado de meios constantes de fornecimento nos volumes necessários.

Deste modo, a nova formulação tem todos os alicerces para ser aplicada no processo macro de produção dos revestimentos cerâmicos grés. O processo se limita na produção de formatos pequenos/médios de piso, como 45x45, 60x60, 84x84, podendo ser esmaltado ou mate (coloração fosca, sem brilho). Estão sendo conduzidos novos testes para a elaboração de um portfólio a fim de propor aos responsáveis pelo processo produtivo na empresa, uma substituição efetiva da formulação em atual produção para teste mercadológico e teste final,

pois o procedimento macro exige muito mais do material do que a simulação laboratorial. Porém com base nos testes e numa representação em pequena escala realizada durante a finalização do estudo, tudo indica que a formulação se consolidará.
Não obstante, alguns testes e modificações também seguem sendo realizadas na busca de mitigar a inconsistência causada pelo composto *clicker* nos testes do porcelanato.

A substituição também proporcionou, sendo um objetivo concomitante a razão do projeto, uma redução escalável de custos levando em consideração os grandes volumes da matéria-prima substituída que são utilizados no processo macro. Não obstante, devido aos impactos ambientais gerados na extração desta matéria-prima em questão adiciona-se, inerentemente, o valor sustentável que será gerado mediante a substituição.

## 6. AGRADECIMENTOS

O autor agradece imensamente aos técnicos laboratoriais da empresa em que os testes foram realizados, os Senhores Lucian Alves Brito e Alex Butkovsky. Sem a colaboração de ambos, o projeto não teria acontecido.

## 7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Kelson Silva de; SOARES, Roberto Arruda Lima; MATOS, José Milton Elias de. Efeito de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha: revisão bibliográfica. Matéria (Rio de Janeiro), v. 25, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM). Informações técnicas – definição e classificação. 2016. Disponível em: . Acesso em: 25 de setembro de 22.

BIANCOGRÊS. Blog. Disponível em:. Acesso em: 20 out. 22.

CARGNIN, Maykon et al. Influência dos tipos de matérias-primas e das condições de queima na cor do suporte cerâmico. Revista Técnico Científica do IFSC, p. 135-135, 2012.

CASTRO, R. J. S.; SOARES, R. A. L.; NASCIMENTO, Rubens M. Produção de revestimento cerâmico semi-poroso com adição de chamote de telhas. Matéria (Rio de Janeiro), v. 17, p. 1166-1175, 2012.

CUNHA JÚNIOR, Marcos Rinaldo Carvalho. Formulação e caracterização de peças cerâmicas fabricadas a partir dos produtos da combustão do carvão mineral. 2019.

DAROS, Rodrigo da Luz et al. Reciclagem do resíduo resultante do processamento de aparas de papel na formulação de cerâmica monoporosa. 2013.

DE ALMEIDA, Kelson Silva et al. Incorporação de resíduo de gesso em formulação para adoquim cerâmico. Cerâmica Industrial, v. 25, n. spe, p. 1-11, 2021.

DE SOUZA, Richard Michels; MONTEDOA, Oscar Rubem Klegues. Melhoria de Qualidade e Redução de Custo de Produção com a Reformulação de Massa de Porcelanato Técnico. Cerâmica Industrial, v. 22, n. 5-6, p. 12-18, 2018.

FERREIRA, Liliane Claudino. Potencial da utilização de resíduos industriais na formulação de massa de cerâmica vermelha para a fabricação de blocos de vedação. 2012.

ISSN:
Ano 2022
Volume 1 – Número 1

CIÊNCIA NA PRÁTICA

UniSales
Centro Universitário Salesiano

GALUPPO, Mariana Vilela. Estudo do emprego da escória granulada de alto-forno na massa cerâmica de revestimento. 2020.

KINGERY, W. D.; BOWEN, K.; UHLMANN, D. R. Introduction to ceramics. 2. ed. New York: Wiley, 1976.

KOTANI, T. et al. Matérias-primas do Planalto de Poços de Caldas: Alternativas ao Caulim e ao Feldspato na formulação de Porcelanas e materiais de Revestimento. Cerâmica Industrial, v. 24, n. 2, p. 45-50, 2019.

MONTEIRO, C. M. O. L. et. al. Noções Básicas do Processo Produtivo de Cerâmica Vermelha. Centro de Tecnologia da Cerâmica "Wildson Gonçalves". SENAI Piauí Teresina. 2007.

MONTEIRO, J.H.P.et al. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200p. Disponível em: Acessado em 28 de maio de 2022

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; HOTZA, Dachamir. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. Editora da UFSC, 2015.

OLIVEIRA, Y. L. et al. Estudo da Reutilização de Resíduos de Telha Cerâmica (Chamote) em formulação de massa para blocos cerâmicos. Cerâmica Industrial, v. 21, n. 2, p. 45-50, 2016.

SILVA, Suely Alves et al. Utilização do resíduo do granito e dos produtos da combustão do carvão mineral em uma formulação de massa para revestimento cerâmico. 2014.

SOUZA, Mykaell Yan Muniz; LIRA, Helio Lucena; SANTANA, Lisiane Navarro Lima. Cerâmica porosa-incorporação de chamote em massas contendo ball clay, alumina e talco. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 12, n. 3, p. 183-191, 2017.

Barsoum, M. W. Fundamentals of ceramics. New York: MacGraw-Hill, 1996.

ALVES, C. A. T. A gestão eficiente de resíduos. Coleção guias técnicos sobre meio ambiente. Porto. Portugal. Editora Publindustria, edições técnicas. 2005.