

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA ADIÇÃO DE FINO DE ROCHAS
ORNAMENTAIS EM BASE DE MASSA CERÂMICA VERMELHA**

***EVALUATION OF THE BEHAVIOR OF THE ADDITION OF FINE ORNAMENTAL
STONES IN THE BASE OF RED CERAMIC MASS***

David Guilhon¹

Denilson Moreira Santos²

Olímpio José Pinheiro³

Resumo

Apesar de o descarte ainda ser visto como um problema ambiental, a reinserção dos resíduos sólidos em novos processos produtivos é sustentavelmente viável. O fino de rochas ornamentais pode ser reaproveitado e agregado a outros materiais, como à massa cerâmica vermelha, proporcionando resultados interessantes. Este trabalho avalia a adição de resíduos de rochas ornamentais nas propriedades tecnológicas da cerâmica vermelha de Rosário (MA). A pesquisa pautou-se na elaboração de quatro formulações diferentes de rejeitos (10%, 15%, 20% e 25%) para confecção de corpos de prova, expostos a três temperaturas de queima (900°C, 1000°C e 1100°C). Também foi feita uma análise visual de todas as peças confeccionadas. Os melhores resultados, em ordem decrescente, foram as composições com 15%, 10% e 20% de resíduos, todas expostas à temperatura de 1100°C. Também se observou visualmente que quanto maior o percentual de resíduos e a temperatura de queima, mais escuro com o tempo o material vai ficando dada a presença de óxido de ferro. Posto isto, tais formulações mostram como aptas para a fabricação de revestimento de paredes, objetos planos e utilitários domésticos.

Palavras-chave: cerâmica vermelha; rochas ornamentais; materiais.

Abstract

Although disposal is still seen as an environmental problem, the reinsertion of solid waste into new production processes is sustainably viable. The fine ornamental stones can be reused and added to other materials, such as red ceramic mass, providing interesting results. This paper evaluates the addition of ornamental stone residues in the technological properties of red ceramics from Rosário (MA). The research was based on the elaboration of four different tailings formulations (10%, 15%, 20%, and 25%) for the preparation of specimens, exposed to three firing temperatures (900°C, 1000°C and 1100°C). A visual analysis of all the pieces made

¹ Doutorando, UNESP – FAAC - Departamento de Artes e Representação Gráfica, Bauru, SP, Brasil.
dvdguilhon@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1215-6876

² Professora Doutor, UFMA - Departamento de Desenho e Tecnologia, São Luís, MA, Brasil.
denilson.santos@ufma.br; 0000-0003-2247-5106.

³ Professor Doutor, UNESP – FAAC - Departamento de Artes e Representação Gráfica, Bauru, SP, Brasil.
oj.pinheiro@unesp.br; ORCID: 0000-0002-8015-7416.

was also carried out. The best results, in descending order, were the compositions with 15%, 10% and 20% residues, all exposed to a temperature of 1100°C. It was also visually observed that the higher the percentage of residues and the burning temperature, the darker the material becomes over time, given the presence of iron oxide. That said, such formulations are suitable for the manufacture of wall coverings, flat objects and domestic utilities.

Keywords: red ceramic; dimensional stones; materials.

1. Introdução

O reaproveitamento de resíduos de processos industriais, além de reduzir o impacto ambiental, pode contribuir para a diversificação e fabricação de produtos, bem como para a diminuição dos custos finais de sua produção (LOPES, 2005). O referido autor defende que não se deve continuar vendo o depósito destes rejeitos como a solução mais apropriada, pois, uma vez que estes são amontoados no meio, roubam espaço físico, degradam a natureza e apresentam permanente risco de contaminação ao meio ambiente. Gerber (1999) verificou uma alteração na visão das indústrias com relação aos seus resíduos, antes vistos sem utilidade e valor econômico, agora como matéria-prima reutilizável para o próprio processamento industrial.

Lucca (2008) defende que também se tornou frequente a orientação de projeto de Design dada à diminuição do impacto ambiental dos produtos industriais. Essa tendência denominada Ecodesign, “constitui-se em geral na elaboração por parte dos projetistas de um processo de análise e escolha das matérias-primas, das fontes de energia e da configuração do produto permitindo o seu reutilizo e a reciclagem pós-consumo” (LUCCA, 2008, p. 5). Pois, o Ecodesign, Ecological Design, Design for Environment ou Green Design converge a atividade projetual com o meio ambiente, compondo um modo de projetar design orientado pelos critérios ecológicos, que se criem produtos competitivos no mercado, economicamente viáveis e ecologicamente corretos - produtos que minimizem o impacto ao meio ambiente e que possa ser mensurada sua qualidade ambiental (PAZMINO, 2007). Além desses pressupostos, projetos desta natureza abordam outros aspectos, como o ambiental, o estético, o funcional e o econômico. Estes fatores tratam, neste caso e na devida ordem, de: dizer que os resíduos não têm a natureza como único destino; apresentar uma configuração visual com diferencial, estimulada pela nova mistura concebida; aprimorar, na medida do possível, propriedades mecânicas dos produtos em decorrência do material incorporado; e optar pelo aproveitamento de resíduos incorporados ao invés da aquisição de novas matérias-primas.

As percepções e necessidades de mercado se encontram também escritas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Trata-se de uma lei brasileira que versa sobre a destinação adequada dos resíduos sólidos, se valendo de conceitos, propostas e orientações favoráveis às práticas ambientais. O trabalho aqui apresentado é, para a PNRS, enquadrado como resíduo sólido, pois, conforme a mesma lei que o define como aqueles que são gerados em processos produtivos e instalações industriais, este se encontra nos estados sólido, semissólido, líquido e gasoso.

Manzini e Vezzoli (2011) descrevem o prolongamento a vida do material (descartados ou obsoletos culturais) além dos produtos que estes compõem como uma espécie de “reencarnação”, dada por meio ou do reprocessamento, onde o material é transformado em matéria-prima secundária usada para fabricação de novos produtos (que é o caso deste projeto), ou da incineração, que recupera o conteúdo energético. Os referidos autores afirmam que ambas são vantagem dupla, uma vez que se evita impacto ambiental com o

despejo deste material no ambiente, bem como este mesmo material será reutilizado como recurso alternativa. Para eles, tal prática reduz impactos relacionados à extração e uso de quantidade de materiais provenientes de recursos virgens, assim como de fontes energéticas. Seguindo essa linha de pensamento, percebe-se, indiretamente, uma grande vantagem ambiental.

Este trabalho visa analisar o desempenho da adição do fino de rochas ornamentais de granito e mármore à massa cerâmica vermelha em composições pré-definidas sinterizadas em diferentes temperaturas e em processos de conformação por prensagem. É a base experimental abordada na dissertação de Mestrado em Design, com ênfase em Materiais e Processos, da Universidade Federal do Maranhão. É fruto da orientação do prof. Dr. Denilson Moreira Santos, que deu o suporte geral e na experimentação da parte tecnológica da pesquisa, e da coorientação prof. Dr. Olímpio José Pinheiro, que assistiu extensivamente na análise visual e conceitos do Design para a Sustentabilidade.

2. Materiais e Métodos

Antes de relatar como o experimento ocorreu, faz-se necessário apresentar a caracterização dos materiais e equipamentos utilizados nos ensaios, bem como descrever a forma como estes materiais foram preparados.

Para este trabalho, o compósito desenvolvido foi oriundo da adição em base de massa cerâmica vermelha de Rosário (MA) do fino de rochas de granito e mármore (lama seca do pó gerado pelos processos de corte e lapidação das rochas ornamentais), coletados em marmorarias da cidade de São Luís (MA).

Já os equipamentos utilizados para a confecção dos corpos de prova são: molde metálico; vaselina industrial, prensa hidráulica uniaxial para moldagem dos corpos de prova, peneira 100 mesh⁴ para ajuste granulométrico da argila plástica, peneira 60 mesh para os resíduos, estufa elétrica Solab SI-110 a 110°C por 24 horas para secagem, forno elétrico Linn Elektro Therm CC405 para a sinterização em temperaturas variadas, balança digital de precisão com sensibilidade de 0,01 g para identificação das massas, paquímetro profissional com sensibilidade de 0,05 mm para as medições. Além de material de apoio tais como lápis, canetas, rolo de madeira, fita adesiva, vasilhames plásticos, colheres, bacias, espátulas e borrifador.

Sobre a preparação dos materiais para a fabricação das amostras, apresentam-se dois momentos que ilustram cada um dos envolvidos para os experimentos.

2.1. Preparação dos Materiais

Primeiramente, adquiriu-se a argila vermelha de Rosário (MA), que veio com tratamento prévio de limpeza de impurezas e sem qualquer adição de outras substâncias.

A Figura 1 mostra como se deu o processo de preparação dessa massa cerâmica. Primeiramente, tal material foi amassada com um rolo de madeira até atingir uma espessura menor que 2 cm, para que facilitasse o processo de evaporação de toda a água ainda contida

⁴ Mesh é uma unidade de granulometria utilizada para abertura de peneiras, conforme a ASTM (American Society for Testing and Materials) (2006), em que 60 mesh é igual a 0,25 mm de abertura e 100 mesh equivale a 0,149 mm de abertura.

nela. Contudo, em um cenário industrial tal etapa é efetuada com maior controle da temperatura e tempo, por se valer do uso de estufa elétrica. Após essa fase de secagem, o material é fragmentado em torrões que, por sua vez, são divididos em partes menores, as lascas, e trituradas em um pilão metálico. O resultado da trituração passa por um peneiramento a 100 mesh, para então obter-se um fino e uniforme pó de argila, que serviu como material-base do estudo.

Figura 1: Preparação da massa cerâmica.



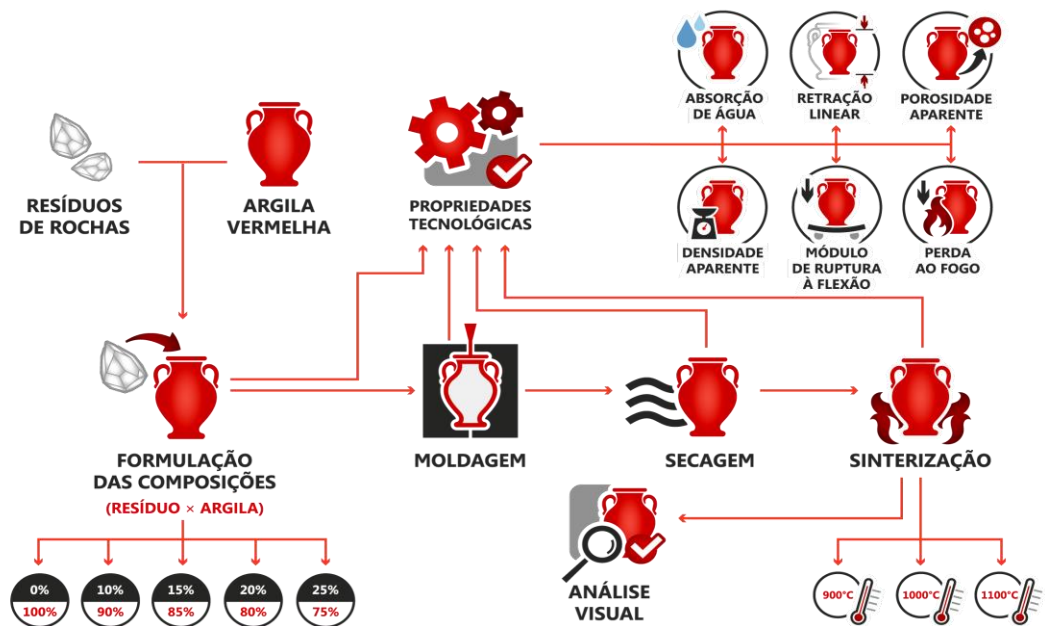
Fonte: Elaborado pelos autores.

Já com os resíduos de pó de rochas ornamentais, não foi muito diferente. Pois, este rejeito também passou pela evaporação de uma massa com espessura tal qual descrita, fragmentação da placa seca em torrões e lascas que passa pela pilagem. Entretanto, a granulometria para obtenção do seu pó na peneira foi de 60 mesh, conforme salienta Guimarães (2015).

2.2. Método Utilizado

Trata-se de um trabalho experimental que buscou fundamentar-se na revisão de literatura para a execução dos ensaios laboratoriais. Assim, puderam-se gerar os resultados obtidos a partir das análises das propriedades tecnológicas e das características visuais dos corpos de provas estudados.

Figura 2: Infográfico da metodologia aplicada na pesquisa.



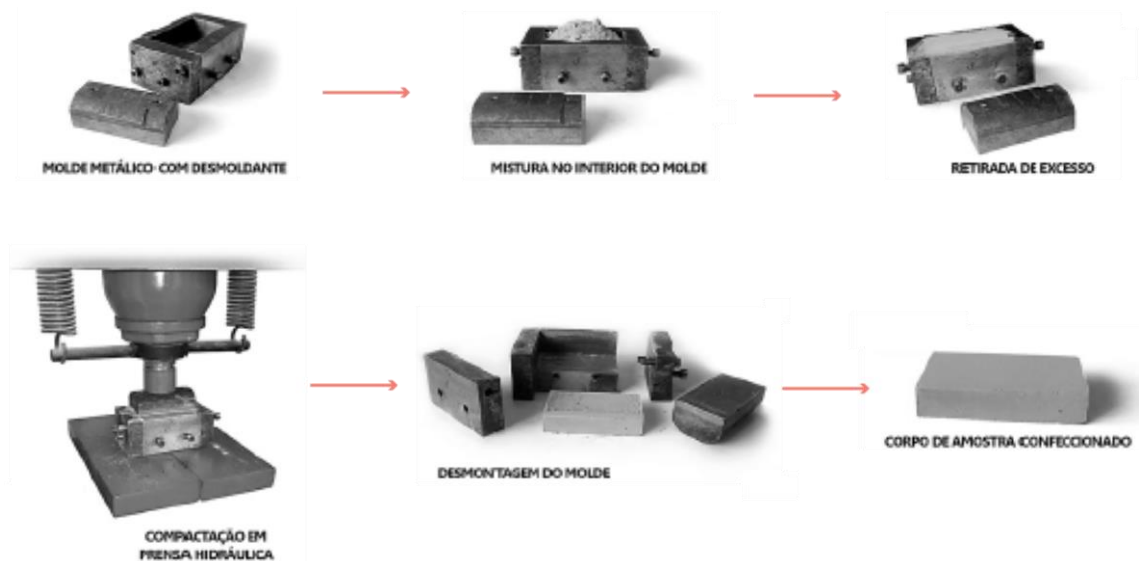
Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 2 apresenta um infográfico que resume tudo o que foi pretendido e realizado nesta pesquisa, suas variáveis, etapas e propriedades estudadas. Desse modo, para uma melhor compreensão, os testes e experimentações efetuados foram divididos em três etapas, que são: a) moldagem dos corpos de prova, b) análise das propriedades tecnológicas absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente, retração linear após secagem e após a queima, perda ao fogo e módulo de ruptura à flexão) e c) análise visual dos corpos de prova. Os ensaios foram realizados em duas instituições diferentes, como: a Universidade Federal do Maranhão e a Universidade Estadual do Maranhão.

2.2.1. Moldagem

Como esta pesquisa trabalhou com 5 tipos de composições diferentes (uma pura e outras quatro com percentuais variados de resíduos), exemplifica-se a estratégia adotada para a mistura dessa massa, explicando a elaboração das amostras com 20% resíduos. Inicialmente, em uma balança digital de precisão com a tara já definida, usou um vasilhame plástico para inserir primeiramente a massa cerâmica que, nesse caso, correspondeu a 80% da massa do traço exemplificado. Completou-se com o percentual descrito, 20%, a quantidade de pó de rochas ornamentais. Com uma colher, misturou-se homogeneamente o pó os dois materiais. Após isso, adicionou-se, por meio do borrifador, 10% da massa do material misturado, com o intuito de facilitar a moldagem. Em números absolutos, se a mistura dos dois pós somou 200 g, então depositou-se 40 g de resíduo e 20 g de água.

Figura 3: Infográfico da moldagem dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a confecção dos corpos de prova, utilizou-se um molde metálico parafusado em que em seu interior foi aplicado vaselina para facilitar a retirada das amostras. Em seguida, com o auxílio de uma prensa hidráulica uniaxial, o material depositado no molde foi compactado por 30 segundos a 1MPa, como na Figura 2. A amostra resultante aponta dimensões que se aproximam de 80 mm de comprimento e 42 mm de largura, além da espessura variável.

A tabela 1 mostra a nomenclatura usado no estudo para facilitar a identificação das amostras e a coleta e tabulação dos dados. Como se vê, é um sistema de letras e números, dispostos em três ordens. A primeira inicia-se com uma letra (A, B, C, D ou E) que representam na mesma sequência os percentis de resíduos (0%, 10%, 15%, 20% ou 25%). A segunda identifica claramente por números cada das três temperaturas de queima (900°C, 1000°C e 1100°C). Separada por uma barra (/), a terceira ordem, também numérica, identifica cada uma das amostras (1, 2 ou 3).

Tabela 1: Lista de identificação dos corpos de prova

Tabela de identificação dos corpos de prova					
Temperatura	Percentuais de resíduos (%)				
	0	10	15	20	25
900°C	A900/1	B900/1	C900/1	D900/1	E900/1
	A900/2	B900/2	C900/2	D900/2	E900/2
	A900/3	B900/3	C900/3	D900/3	E900/3
1000°C	A1000/1	B1000/1	C1000/1	D1000/1	E1000/1
	A1000/2	B1000/2	C1000/2	D1000/2	E1000/2

Tabela de identificação dos corpos de prova					
	A1000/3	B1000/3	C1000/3	D1000/3	E1000/3
1100°C	A1100/1	B1100/1	C1100/1	D1100/1	E1100/1
	A1100/2	B1100/2	C1100/2	D1100/2	E1100/2
	A1100/3	B1100/3	C1100/3	D1100/3	E1100/3

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2.2. Secagem

A secagem dos corpos de prova ocorreu durante quatro dias de exposição ao ar livre e de 24 horas em estufa elétrica Solab SL-100, a uma temperatura de 110°C para toda a amostragem dos corpos de prova.

2.2.3. Queima

A queima foi possível com o uso de um forno elétrico Linn Elektro Therm CC405. Para cada uma das três temperaturas de queima houve os seguintes tempos de duração, conforme taxa de aquecimento na ordem de 3°C/min: 900°C, 3h52min; 1000°C, 4h26min e; 1100°C, 5h.

2.2.4. Propriedades Tecnológicas

Neste estudo as propriedades tecnológicas ofereceram dados para definir a composição adequada para a fabricação de produtos. Deste modo, a partir das coletas de dados dos experimentos, seis propriedades foram estudadas: absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente, retração linear após secagem e após a queima, perda ao fogo e módulo de ruptura à flexão.

A absorção de água representa a capacidade de o material absorver água (GUIMARÃES, 2015). Desta forma, o Método de Arquimedes de imersão foi usado como referência para a obtenção das massas. A equação 1 expressa a fórmula adota para obter tal grandeza.

$$AA = (m_u - m_s)/(m_u) \times 100 \quad (1)$$

Onde: AA = Absorção da água (%); m_s = Massa seca (g); m_u = Massa úmida, após a imersão (g)

Sobre a porosidade aparente, Askeland e Wright (2014) relatam que ela denuncia a permeabilidade ou facilidade com a qual os fluidos escoam através da peça cerâmica, definido a quantidade de poros interconectados. Para tanto, identifica-se a massa da amostra seca e, depois, úmida. Logo, é uma grandeza obtida por meio da imersão dos corpos de prova e expressa pela equação 2:

$$PA = (m_u - m_s) / (m_u - m_i) \times 100 \quad (2)$$

Onde: PA = Porosidade aparente (%); mu = Massa úmida (g); ms = Massa seca (g); mi = Massa imersa (g)

Para Guimarães (2015), a densidade aparente é determinada pela relação que há entre a quantidade de massa de um material em um dado volume que ela ocupa. O ensaio segue a norma ASTM C373-88 (2006), em que a equação 3 representa como quociente da razão entre a massa e o volume dos corpos após a queima:

$$DA = (mq)/(vq) \quad (3)$$

Onde: DA = Densidade aparente (g/cm³); mq = Massa pós-queima (g); vq = Volume pós-queima (cm³)

Com a retração linear, ocorre a observação da redução dimensional ocasionada pela perda de água e de matéria orgânica, como orienta a estabilidade dimensional que o material pode proporcionar. Sendo assim, tal propriedade apresenta dois momentos comparativos em que as dimensões das peças são coletadas: após secagem e após queima. Gouveia (2006) ressalta a importância desta grandeza para o projeto do molde, tendo em vista que ela ajuda na percepção de excessivas deformidades que, porventura, possam avariar o produto. Visto isso, Tallini Junior (2009) a considera como um importante requisito industrial. Destarte, as equações 4 e 5 expressam os dois tipos de retração linear.

$$RLs = (lc - ls)/(ls) \times 100 \quad (4)$$

Onde: RLs = Retração linear pós-secagem (%); lc = Comprimento do corpo de prova conformado (mm); ls = Comprimento do corpo de prova seco (mm)

$$RLq = (ls - lq)/(ls) \times 100 \quad (5)$$

Onde: RLq = Retração linear pós-queima (%); ls = Comprimento do corpo de prova seco (mm); lq = Comprimento do corpo de prova queimado (mm)

A perda ao fogo não apresenta algum tipo de norma específica, mas este trabalho se vale do que a literatura normalmente cita (SANTOS, 1989; PRESOTTO, 2012; GUIMARÃES, 2015). Logo, a equação 6 expressa:

$$PF = (ms - mq)/(mq) \times 100 \quad (6)$$

Onde: PF = Perda ao fogo (%); ms = Massa seca (g); mq = Massa pós-queima (g)

O módulo de ruptura à flexão seguiu em conformidade com a ABNT NBR 13.818:1997. Foi realizado na Universidade Estadual do Maranhão em um equipamento Emic DL10000, capacidade máxima de 100kN a uma velocidade de aplicação de carga de 0,4 mm/min. Os resultados foram obtidos pelo software Tesc versão 3.05 logo após cada teste e serviram de base para a construção de um gráfico único para cada percentual de resíduo no software

Origin PRO.

$$M = 3PL/2bd^2 \quad (7)$$

Onde: M = Módulo de ruptura à flexão (Mpa); P = Carga aplicada (N); L = Distância entre os roletes (mm); b = Largura do corpo de prova (mm); d = Espessura do corpo de prova (mm)

2.2.5. Análise Visual

Esta etapa seguiu orientações da ABNT NBR 13.818:1997, com as devidas adaptações sugeridas por Guimarães (2015) para os corpos de prova, como a análise de todas as peças (não aleatoriamente) e como foram fabricadas com dimensões inferiores, essa parte da norma sobre dimensões e distâncias não foram seguidas.

Deste modo, os corpos de prova foram colocados em uma superfície plana e uniforme para que fossem identificados a olho nu a presença de defeitos ou deformidades e assim gerados um *check list*. Também houve, em seguida, a análise cromática por meio de captura de imagens, para que a geração de um relatório final munido de tabelas. Os defeitos a serem analisados e contabilizados são: rachaduras, depressões, crateras, bolhas, furos, manchas, cantos e lados lascados, saliências, incrustações de corpos estranhos, riscados ou arranhaduras e diferença de tonalidade.

Os pontos negativos ou positivos apontados são oriundos da avaliação da composição que apresentou o melhor resultado na análise das propriedades tecnológicas.

3. Resultados e Discussões

Esta fase do projeto traz os dados obtidos do experimento e tratados, conforme as propriedades tecnológicas apresentadas (AA, PA, DA, PF, RL e MRF) e confrontados com a literatura antes levantada. Além disso, os resultados obtidos na análise visual de todas as séries dos corpos de amostras.

Tabela 2: Média das dimensões e massas de todas as séries

Média das dimensões e massas de todas as séries														
Série	Após a conformação				Após a secagem				Após a queima				Outras massas	
	C	L	H	mc	C	L	H	ms	C	L	H	m _q	m _i	m _u
A900	79,88	42,00	11,55	71,03	78,77	41,47	11,62	62,93	78,62	41,27	11,58	59,27	49,83	72,32
B900	80,00	42,07	12,40	74,53	79,25	41,82	12,28	66,20	78,93	41,55	12,42	62,27	34,29	77,52
C900	79,73	41,32	12,55	73,40	79,28	41,63	12,80	67,17	79,07	41,52	13,80	63,07	51,69	79,71
D900	79,72	41,98	13,32	72,80	79,28	41,67	13,27	67,20	79,08	42,08	13,20	63,00	51,74	80,22
E900	79,87	41,98	13,10	72,77	79,23	41,70	13,05	67,77	79,08	41,62	12,73	63,07	51,53	80,12
A1000	79,78	41,97	12,67	70,50	79,23	41,70	12,52	64,74	78,47	41,05	12,38	61,13	33,02	75,05
B1000	79,90	42,10	13,32	75,93	79,55	41,73	13,47	69,75	78,25	41,15	13,35	65,45	35,13	81,37
C1000	80,15	42,05	14,63	77,40	79,52	41,72	13,60	71,60	78,65	41,20	14,15	67,41	36,33	85,05

Média das dimensões e massas de todas as séries														
Série	Após a conformação				Após a secagem				Após a queima				Outras massas	
	C	L	H	mc	C	L	H	ms	C	L	H	m _q	m _i	m _u
D1000	80,13	42,07	13,45	74,60	79,40	41,83	13,43	68,89	78,40	41,27	13,27	64,64	35,61	80,65
E1000	79,48	42,12	14,12	75,83	79,38	41,58	14,23	70,51	78,53	41,47	13,93	66,00	36,10	83,80
A1100	78,10	73,50	15,50	78,10	79,40	41,83	15,30	73,50	75,98	40,03	14,62	69,20	55,63	84,44
B1100	77,89	73,44	15,22	77,89	79,40	42,02	15,13	73,44	75,38	39,83	14,32	69,11	55,02	82,69
C1100	77,79	73,42	15,40	77,79	79,38	41,98	15,28	73,42	74,30	39,28	14,33	69,01	55,34	81,53
D1100	74,16	69,38	14,35	74,16	79,25	41,87	14,22	69,38	74,48	39,53	13,12	64,42	52,20	77,33
E1100	75,90	70,92	14,73	75,90	79,25	41,95	14,58	70,92	75,18	39,92	13,88	66,52	52,92	79,58

Onde: C = comprimento (mm); L = largura (mm); E = espessura (mm); mc = massa conformada (g); ms = massa seca (g); m_q = massa sinterizada (g); m_i = massa imersa (g); m_u = massa úmida (g).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o auxílio do molde metálico e as instruções das formulações definidas, foram confeccionados 45 corpos de provas. Depois de compactados pela prensa hidráulica, foram moldados e submetidos ao processo de secagem. Esta fase foi dividida em dois momentos, em que o primeiro se deu pela secagem ao ar livre por quatro dias e o segundo, por estufa elétrica durante 24h a 110°C. Após este procedimento, as séries devidamente identificadas foram queimadas em forno elétrico, cada série conforme a sua temperatura de análise. Para fins de levantamento de dados, ao final de cada uma dessas fases (moldagem, secagem e queima), obtiveram-se as dimensões e massas de cada amostra com o auxílio do paquímetro e da balança digital de precisão, como resume a tabela 2 a seguir.

A partir destes dados, tornou-se possível a caracterização e avaliação das propriedades tecnológicas, valendo-se das equações de absorção de água (AA), porosidade (PA), densidade aparente (DA), perda ao fogo (PF), retração linear (RL) e módulo de ruptura à flexão (MRF).

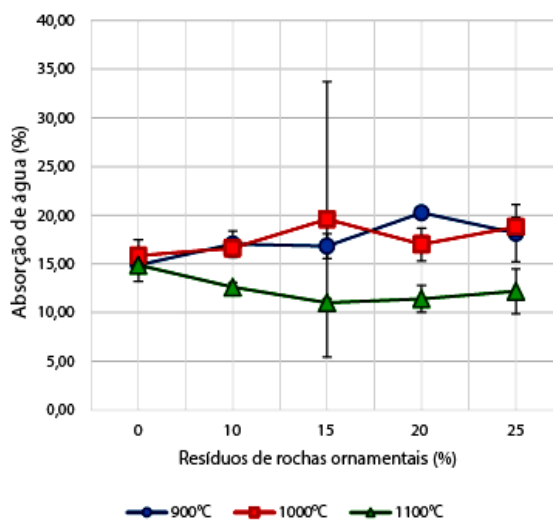
3.1. Absorção de Água (AA)

A Figura 4 ilustra o comportamento da absorção de água de todos os corpos de prova nas três séries de temperatura.

Essa propriedade, conforme Souza, Souza e Rolim Filho (2008), influencia em outras, sobretudo na resistência mecânica à flexão, cuja relação entre elas é inversamente proporcional. Assim, quanto menor for o índice de absorção de água, mais resistente será a cerâmica.

Posto isto, as composições com adição de resíduo submetidas à 1100°C apresentam maior resistência mecânica que a versão pura da mesma série e que todas as amostras das duas outras séries (900°C e 1000°C). Portanto, foram consideradas as composições com 15%, 20% e 25% de resíduos da série C (1100°C) como os melhores resultados dessa propriedade.

Figura 4: Absorção de água das composições das três séries de cerâmica vermelha



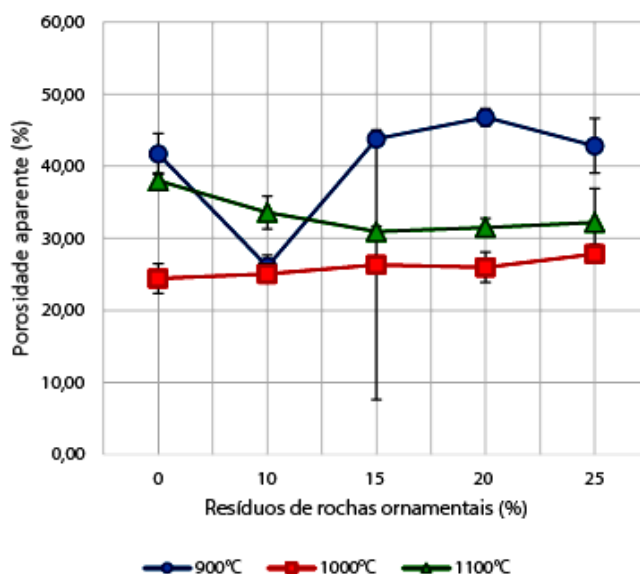
Fonte: Elaborado pelos autores.

As três séries avaliadas apresentam valores acima de 10%, sendo, portanto, porosas, conforme a classificação encontrada na NBR 13.818:1997 (ABNT, 1997). Conforme este mesmo critério e o Inmetro, todas as composições das 3 séries são porosas, podendo ser empregados como revestimento de paredes, dada sua alta absorção e baixa resistência mecânica.

3.2. Porosidade Aparente (PA)

Os resultados do comportamento dos corpos de prova em relação à porosidade estão representados na Figura 5.

Figura 5: Porosidade aparente das composições das três séries de cerâmica vermelha



Fonte: Elaborado pelos autores.

Todas as amostras com resíduos da primeira série foram ligeiramente maiores que a pura, exceto pela composição de 10% que possui valor bem abaixo das demais. As outras composições com resíduos apontaram valores semelhantes, denotando certa estabilidade.

A série 1000°C apresentou os índices mais baixos e estáveis para esta propriedade. Apesar de um dos pontos possuírem acentuada margem de erro em relação às demais (15%), as composições com resíduos tiveram valores sutilmente acima da referência pura desta série. A composição com 25% de resíduos pontuou como o maior valor desta série.

Enfim, os resultados da série 1100°C mostraram uma linha em declínio, tendo como ponto mais baixo a composição com 15% de rejeitos e encontraram estabilidade com uma sutil ascendência. Dentre todas as séries, esta foi a única que a sua composição pura tem índice superior às amostras com resíduos.

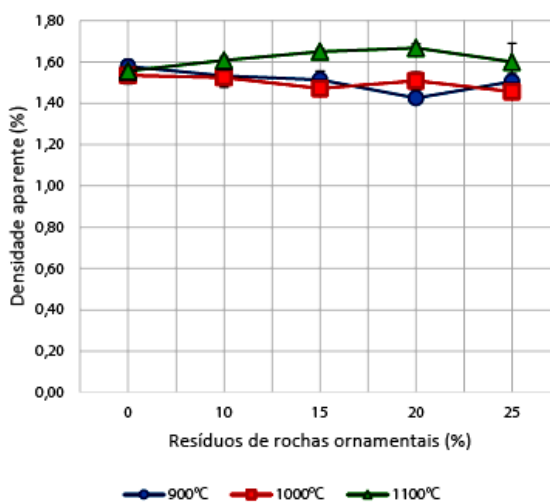
Askeland e Wright (2014) comentam que a porosidade em um material apresenta influências positivas ou negativas. Assim, esta propriedade pode sugerir a facilidade do surgimento de trincas, conferindo fragilidade à peça ou o contrário: resistência ao choque térmico. Esta pesquisa não tem como foco avaliar a resistência ao choque. Logo, priorizam-se as amostras com índices com a menor porosidade possível. Portanto, corpos mais resistentes.

As cerâmicas que apresentaram os resultados mais satisfatório quanto à porosidade aparente foram as com 10% e 20% em peso da série 1000°C e a com 10% em peso da série 900°C.

3.3. Densidade Aparente (DA)

A primeira série, com o menor índice dentre as séries nos corpos de prova com 20%, apresentou valores inferiores à sua amostra pura. Observando a segunda série, a diferença foi sutil, mas perceptível, com leve declínio em 15%, suave acentuação em 20%, e voltou ao declínio em 25%. E a terceira série iniciou com o menor valor na amostra pura e mostrou os maiores resultados por meio de uma linha em ascendência com ápice em 20% e abrupta queda em 25%.

Figura 6: Densidade aparente das composições das três séries de cerâmica vermelha



Fonte: Elaborado pelos autores.

Oliveira (2000) comenta que uma densidade elevada, acima de 2,1 e 2,2 g/cm³, pode resultar em trincas e bolhas nas peças cerâmicas. Logo, todas as amostragens se enquadram dentro desse parâmetro, como mostra a Figura 6. A densidade é, para Jung et al. (2012), inversamente proporcional à porosidade. O mesmo tipo de relação é visto entre a resistência mecânica e a porosidade, podendo-se dizer que densidade e resistência são diretamente proporcionais (GUIMARÃES, 2015). Com isto, espera-se que a cerâmica possua menos poros, para que assim, tenha maiores resistências mecânicas e densidade.

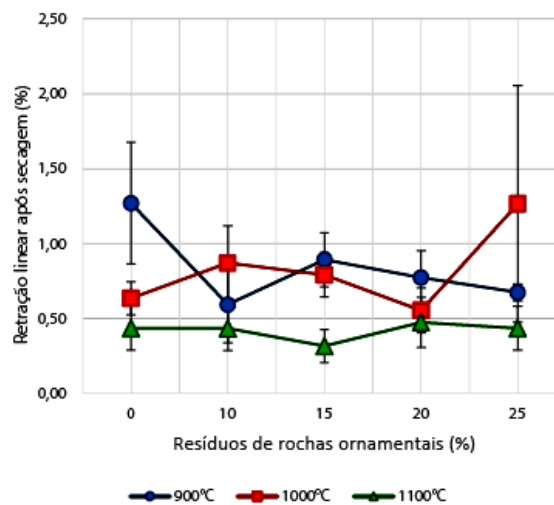
Deste modo, as cerâmicas confeccionadas para a série 1100°C com 20%, 15% e 10% foram as que manifestaram melhores resultados quanto à densidade, nesta ordem.

3.4. Retrações Linear Após a Secagem (RLs) e Após a Queima (RLq)

Com relação à retração linear, foram efetuados dois tipos de ensaios diferentes: retração linear após a secagem (RLs) e após a queima (RLq).

A retração linear após a secagem observa as diferenças dimensionais do comprimento das peças quando secas e quando conformadas. A figura 7 apresenta esta propriedade, com base na média dos valores coletados.

Figura 7: Retração linear após a secagem das composições das três séries de cerâmica vermelha

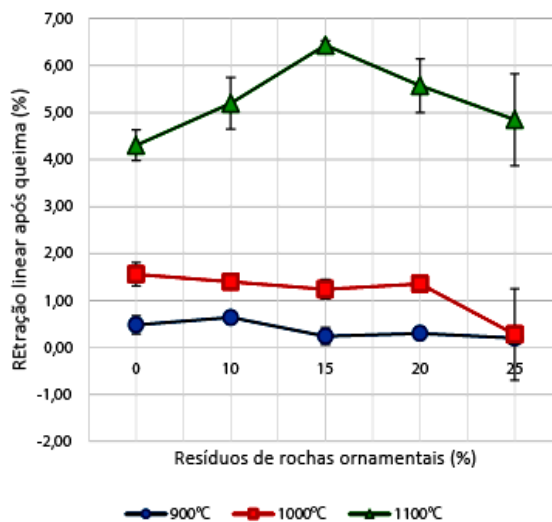


Fonte: elaborado pelos autores.

A série 900°C apresentou a referência pura como a amostra com maior valor, notória queda em 10%, sucedida por considerável aumento em 15% e um sutil declive em 20% e 25%. Na série 1000°C, observou-se uma linha sinuosa em que quase todos foram maiores que a amostra sem resíduo, exceto os corpos de prova com 20% de rejeitos. E a série 1100°C mostrou-se como a mais estável, apesar de uma sutil oscilação em 15%, é a que possuiu os menores índices. Durante a secagem, a perda dimensional é denunciada com a perda de água, onde o líquido em excesso evapora (GUIMARÃES, 2015). Conseqüentemente, objeto atinge estabilidade em sua forma e perde plasticidade. A importância dessa fase é ressaltada por Vieira, Feitosa e Monteiro (2003), por ser ela capaz de gerar imperfeições nos produtos, que são percebidas apenas após a queima. Por isso é que são preferidos valores menores que a

amostra sem resíduo, por justamente tender a estabilidade, como explica Guimarães (2015), reduzindo o surgimento de defeitos.

Figura 8: Retração linear após a queima das composições das três séries de cerâmica vermelha



Fonte: Elaborado pelos autores.

Logo, os melhores resultados são vistos na série 1100°C, nas composições com 15%, 10% e 25% de resíduos. Já a retração linear após a queima, como mostra a Figura 8, compara a diferença dimensional do comprimento foi percebida entre o final da secagem e o final da queima. A primeira série mostrou-se como a mais estável e com os menores resultados, delineados por levíssimas oscilações, tendo o ápice em 10% e o ponto mais baixo em 15%. Em seguida, a segunda série já apresenta valores maiores que a de 900°C, relativa estabilidade, sensível declínio em 15%, apesar da significativa queda em 25%. Por último, a terceira série é a que pontuou os maiores índices, sendo marcada por acentuada ascendência com maior ponto em 15%, seguido de suave declínio em 25%.

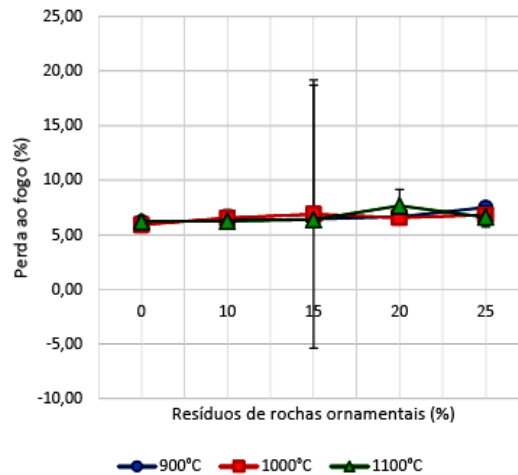
Vale frisar que em todas as amostras foram usadas o mesmo molde metálico para sua confecção.

3.5. Perda ao Fogo (PF)

A perda ao fogo permite observar a eliminação de substâncias voláteis e matéria orgânica presentes na composição (SANTOS, 1975). Posto isto, maiores perdas ao fogo indicam maior quantidade de água e matéria orgânica eliminadas durante o cozimento. Logo, deseja-se os menores valores que evidenciam menores perdas e menor diferença dimensional antes e depois da queima.

A Figura 9 mostra valores muito aproximados, com leves oscilações em alguns pontos, significando pouca variação do índice de perda ao fogo. Perceberam-se nas três séries que as amostras puras pontuaram menos que as com resíduo adicionado.

Figura 9: Perda ao fogo das composições das três séries de cerâmica vermelha



Fonte: Elaborado pelos autores.

A série 900°C apresentou uma linha crescente, com ápice em 25%, em que todos os valores das amostras com resíduos foram maiores que a sua referência pura. Na série 1000°C percebeu-se uma súbita elevação inicial em 15% e ligeira oscilação entre 20% e 25%, mesmo com notável margem de erro no terceiro ponto. E a série 1100°C mostrou dois momentos de ascensão: entre a pura e 10% foi sutil, igualmente entre 10% e 15% e entre o 15% e 20% foi mais acentuada. Entretanto, em 25% houve uma perda também acentuada.

Pode-se concluir que, apesar de algumas exceções, quanto mais resíduos de finos de rochas ornamentais for acrescentado à cerâmica, menor foi a perda ao fogo. Guimarães (2015) afirma que à medida em que o resíduo é adicionado, maior é a perda de matéria orgânica presente no material, implicando em menor presença desta.

Desta forma, as composições com 10% na série 1100°C, 10% na série 900°C e 15% na série 1100°C foram as que apresentam resultados quanto à perda ao fogo em relação à cerâmica pura.

3.6. Módulo de Ruptura à Flexão (MRF)

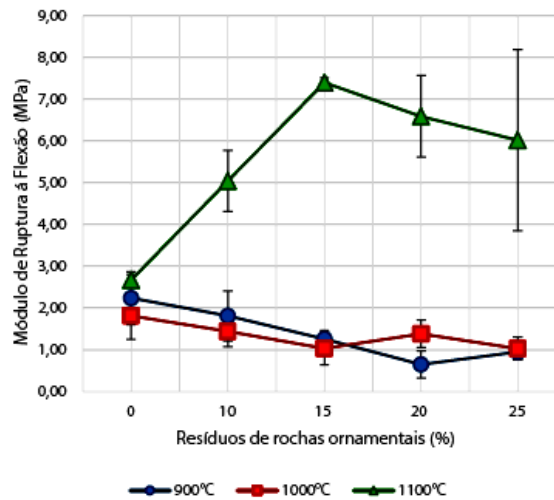
É o último experimento feito após as verificações das massas e dimensões. Os resultados mostrados pela Figura 10 indicam os valores dos pontos de tensão de ruptura em MPa aos quais as amostras foram submetidas.

Pode-se observar duas tendências diferentes traçadas pelas linhas de cada temperatura. A primeira é vista nas séries 900°C e 1000°C e evidencia que à proporção em que se adiciona resíduos à massa cerâmica, maior é a tendência à fragilidade. Contudo, a segunda, delineada pela série 1100°C, ilustra um considerável aumento da resistência à medida em que se adiciona mais finos de rochas, apesar do suave declínio.

Detalhando cada série, a 900°C apresenta como ponto mais resistente a amostra pura, com acentuado declive em 20% e breve acíve em 25%. A 1000°C é a série com menores índices deste experimento, também tendo o corpo de prova isento de resíduos com o maior valor. Logo, suas amostras são as de menor resistência, mesmo com um ponto de acíve em 20%, pouco abaixo da referência pura. A série 1100°C é a que aponta os maiores índices (peças

com maior resistência) com ápice em 15%, amostras com resíduos bem acima da referência sem rejeitos e leve declive até 25%.

Figura 10: Módulo de ruptura à flexão das composições das três séries de cerâmica vermelha



Fonte: Elaborado pelos autores.

Pinheiro (2009) e Prado (2014) comprovam o que foi observado no experimento, comentando que a temperatura elevada contribui para a elevação da tensão de ruptura, em que a cerâmica vermelha produzida com adição de mármore e granito atinge valores inferiores a 8 MPa quando sinterizados até 1050°C. Isso é confirmado também pelo ensaio de MRF realizados por Guimarães (2015) mostrou que peças queimadas à 1150°C alcançam a faixa entre 17 e 23MPa. Visto isto, por meio deste tipo de experimento é possível dizer que a queima abaixo de 1050°C representa baixa tensão na peça cerâmica.

Avaliando os aspectos das peças com o término do teste, pôde-se ver que a série 900°C apresentou entre fraturas e pequenas fissuras, contabilizando oito peças em que cinco se romperam facilmente (duas em 10%, uma em 15% e duas em 20%). Na série 1000°C houve 12 sofreram fissuras e três se romperam (cada uma em 10%, 20% e 25%), uma notável diferença entre tais tipos. E na série de maior temperatura, todas se partiram. Para duas situações diferentes, é perceptível a relação com as tensões sofridas pelas amostras. Nas ocorrências das séries 900°C e 1000°C, as fraturas e fissuras são oriundas das baixas tensões, encaminhando-se para um fácil e rápido rompimento. Já com a série 1100°C o rompimento é produto de uma grande tensão suportada, precedidas ou não de fraturas, expostas por um tempo consideravelmente maior que das outras séries.

Então, é possível dizer que a adição do fino de rochas ornamentais contribuiu para resistência do corpo cerâmico apenas na série sinterizada a 1100°C, já que nas outras temperaturas este tipo de mistura produziu um material mais frágil que a sua peça isenta de rejeitos. Logo, a terceira série com as composições 15%, 20% e 25% é a que apresentou os melhores resultados quanto à resistência à ruptura.

3.7. Análise Visual

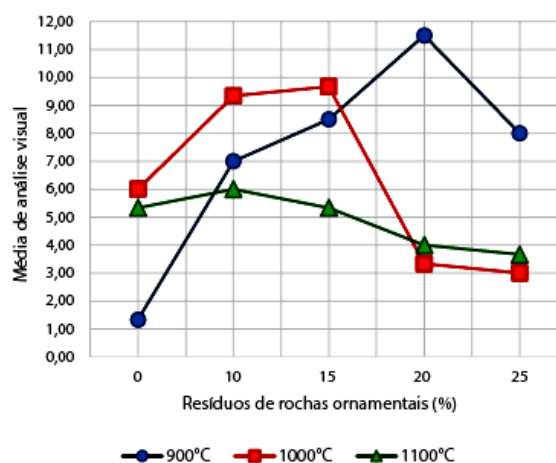
A análise visual consiste na verificação das imperfeições superficiais encontradas em cada amostra e relacionar as ocorrências com a proporção de resíduo e temperatura de queima. É uma contagem que frequência de surgimento destas falhas, por meio da média aritmética. Por meio desta modalidade, pode-se inquirir qual tipo de mistura resulta menor quantidade de falhas, logo, maior qualidade visual.

3.7.1. Enumeração dos Problemas Superficiais

Foram tabulados 11 tipos problemas superficiais encontrados em todos os 45 corpos de prova, dispostos em três temperaturas de queimas e cinco diferentes. Como resultado, a análise visual enumerou um total de 256 problemas, com 201 cantos e lados lascados como maior incidência, seguidos de 15 rachaduras, 11 depressões, 9 riscados ou arranhaduras, 9 crateras, 5 pintas e empatando em 2 quantidades de furos, machas e saliências. Por outro lado, não se notou a presença de bolhas e incrustações de corpos estranhos. A respeito da grande quantidade de cantos lascados, é possível minimizar sua ocorrência com maior controle e cuidado na confecção das peças durante todo o processo produtivo. Como média geral de defeitos encontrados, obteve o índice de 6,13.

A Figura 11 mostra a média dos valores obtidos pela análise visual encontradas nas amostras. Nota-se que a série 900°C pontuou os maiores valores de média, exceto por sua referência pura (1,33), com índices se elevando à medida em que se acrescenta percentual de resíduos até 20% (11,20) e notório declínio em 25% (8,00) - valor semelhante à 15% (8,50). A série apresentou 89 problemas, tendo 65 cantos ou lados lascados, 9 depressões, 9 riscados ou arranhaduras, 3 crateras e 2 rachaduras. Entretanto, não mostrou ocorrência de bolhas, furos, pintas, manchas, saliências e incrustações de corpos estranhos. A média de defeitos encontrados foi de 8,75.

Figura 11: Média dos valores obtidos pela análise visual das três séries de cerâmica vermelha



Fonte: Elaborado pelos autores.

Avaliando a série 1000°C sua linha aponta uma trajetória diferente e inconstante revela elevado acento em 10% (9,33) e leve patamar em 15% (9,67), sucedido por imenso

declive em 20% (3,33) e breve queda em 25% (3,00). A amostra pura (6,00) já pontua como a com mais defeitos dentre as similares de outras temperaturas. Esta série foi a que apresentou a maior quantidade de defeitos: 94, dentre eles 70 cantos e lados lascados, 13 rachaduras, 5 pintas, 2 depressões, 2 saliências, 1 cratera e 1 furo. Defeitos como bolhas, manchas, incrustações de corpos estranhos e riscados ou arranhaduras não foram encontrados. A média obtida foi de 6,27.

E a série 1100°C denotou um comportamento mais estável, com tendência ao declínio, ao passo que o percentil de resíduo aumenta e maior incidência de médias baixas (entre 3,67 e 6,00). Apresentou 73 problemas, sendo a menor ocorrência entre todas as séries. 4 são os tipos de defeitos: 65 cantos ou lados lascados, 5 crateras, 2 manchas e 1 furo. Não foram encontradas rachaduras, depressões, bolhas, pintas, saliências, incrustações de corpos estranhos e riscados ou arranhaduras. Esta série também apresentou a menor média: 4,87.

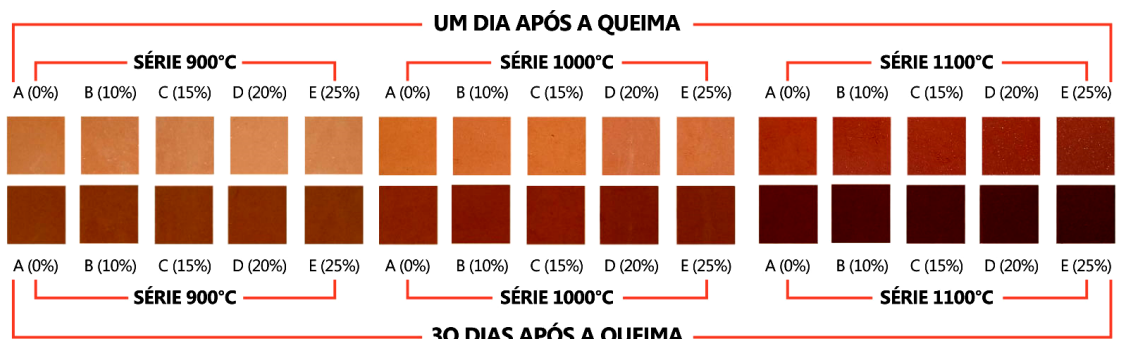
Prado (2014) ressalta que as peças queimadas à 1150°C atingem uma maior resistência mecânica, Guimarães (2015) complementa que quanto maior for a temperatura de queima, maior será a aglutinação das partículas e, conseqüentemente, o material será mais resistente e com melhor qualidade. Portanto, pode-se concluir que ao passo em que se adiciona resíduo à cerâmica e se aumenta a temperatura de queima a quantidade de imperfeições superficiais encontradas diminui.

Por fim, obtêm-se como os melhores resultados, exceto pela amostra pura da série 900°C (média 1,33): 25% da série 1000°C (média 3,00), 20% da série 1000°C (média 3,33) e 25% da série 1100°C (média 3,67).

3.7.2. Diferença de Tonalidades

Trata-se de uma outra característica de cunho estético avaliada na pesquisa. Sua relevância é justificada, pois é importante prever-se a cor do material nas aplicações dos produtos. Desse modo, observaram-se a diferença tonal dos corpos de prova entre o primeiro dia após a queima e 30 dias depois. A Figura 12 apresenta a nítida diferença vista nas cores que, com o passar do tempo, foram escurecendo.

Figura 12: Perda ao fogo das composições de três séries de cerâmica vermelha



Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando as peças do primeiro dia após a queima, obviamente, a série 900°C é a que tem as amostras com tons mais claros, tendo em vista a sua baixa temperatura de queima. Todavia, a presença de resíduos lhe confere sutis variações mais escuras e pequenas manchas

claras, não agravando com o aumento de adição dos rejeitos na composição. Na série 1000°C, a queima realçou ainda mais a coloração avermelhada nas peças, com notável estabilidade entre elas e a única diferença visível é a suave presença das pequenas manchas de pó de rochas ornamentais. A série 1100°C foi a que mais ficou evidente a tonalidade de vermelho e a diferenciação entre os percentuais, à medida em que a quantidade de resíduos foi aumentando, a peça ficou mais escura e presença dos grânulos de rejeitos mais evidente. É interessante dizer que as amostras não só escurem a esse passo, como acinzentam, reduzindo a saturação do vermelho.

Passados os 30 dias da sinterização, o escurecimento foi notório em todas as séries. Ficou evidente também que com o aumento do percentual de resíduos o corpo de prova ficou mais escuro e que o aumento da temperatura realçou ainda mais essa coloração. Guimarães (2015) observou semelhante fenômeno e acredita que a presença de óxido de ferro presente no resíduo seja o elemento que favorece essa coloração, além de outro componente mineral que possivelmente possa vir a contribuir essa tonalidade.

Vale lembrar que as rochas que são cortadas nas marmorarias nem sempre são iguais. Sendo assim, recebem o beneficiamento sob demanda (cada vez que o cliente solicita). Daí o material rejeitado desse processo de corte se acumula em tanque pode ter suas cores variadas. Vale destacar que os resíduos não recebem tratamento térmico prévio. Entretanto, o material não é desqualificado por conta disso, pois esta imprevisibilidade pode conferir um aspecto sutilmente rústico aos produtos.

4. Considerações Finais

Os testes de AA e PA mostraram que quanto mais resíduos forem adicionados, menor são estes índices, sobretudo para séries 1100°C (AA) e 1000°C (PA). Logo, a resistência tende a aumentar quando estes dois indicadores apontam quedas. Os valores de DA se mantêm equilibrados em todas as amostras com resíduos nas três séries de temperaturas, sugerindo estabilidade no quesito resistência. Nas RLs e RLq, a adição de resíduos promove a mesma tendência ao equilíbrio, mesmo com variações com efeito inverso em uma das séries na secagem (900°C) e acentuada oscilação depois da queima (1100°C). De fato, há melhorias em suas propriedades, coisa evidenciada na menor ocorrência de trincas e outras falhas visíveis. As amostras com resíduos das três séries apresentaram percentuais maiores de PF em relação aos de argila pura de suas respectivas séries, visto que a perda maior é devida à presença de resíduos. Verificou-se, ainda, que à medida que se adiciona resíduos à massa cerâmica, ocorre a redução da resistência mecânica nas séries de temperatura 900°C e 1000°C e aumento dela na série 1100°C, não apresentando exceção alguma. A análise visual apontou tendência a redução de defeitos com o aumento da temperatura de queima (média por temperatura), como também apresentaram redução do índice para a série 1100°C à proporção que se adiciona resíduo, porém nas séries 900°C e 1000°C esse índice tende a aumentar, salvo algumas quedas de valores.

Pode-se concluir que a última série (1100°C) é mais resistente que as outras duas e tende a apresentar menores valores de AA, PA e RLs, além de DA equilibrada e boas propriedades visuais (menos falhas e defeitos visíveis). Dentre todas as combinações, cruzando os cinco (5) percentuais de resíduos diferentes e as três (3) variações de temperaturas, as que mais obtiveram melhores desempenho, em ordem decrescente, são: 15%, 20% e 10% em peso a 1100°C. Mas, vale lembrar que todas as séries de temperaturas estão aptas ao uso em revestimento de paredes, objetos planos e utilitários domésticos. Desse modo, para cada

produto seja aplicado o material cabe verificar sua funcionalidade e outros aspectos, de modo a escolher a composição e temperatura de queima adequadas.

Pode-se sugerir como trabalhos futuros o estudo de viabilidade econômica da composição estudada, prevendo aplicabilidade em projeto piloto ou em uma produção de uma pequena indústria, avaliando seu potencial de uso. Sugere-se, ainda, a investigação das propriedades tecnológicas e caracterização dos materiais com percentuais acima do estudado neste trabalho. Também se recomenda analisar a caracterização química, granulometria, difração de raio X, análise térmica dos percentis pesquisados, como observar seu comportamento em temperaturas maiores.

Referências

- ASKELAND, D. R., WRIGHT, W. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio Rio de Janeiro, 1997.
- ASTM C373-88. **Standart Test Method for Water Absortion, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products**. West Conshohocken: ASTM International, 2006.
- BRASIL. **Constituição de 1988**. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.
- GERBER, Wagner. **Impacto Ambiental: Resíduos Sólidos e Reciclagem**. Pelotas: 1999. UCPEL.
- GOUVEIA, F. P. **Efeito da incorporação de chamote (resíduo cerâmico queimado) em massas cerâmicas para a fabricação de blocos de vedação para o Distrito Federal – DF. Um estudo experimental**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, Brasília, 2008
- GUIMARÃES, K. L. M. **Análise da adição de ossos bovinos e rochas ornamentais em massa cerâmica branca para a utilização em processos de conformação**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-Graduação em Design. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2015.
- JUNG, M.; CAMISA, I. S.; ALBANAZ, I.; PEREIRA, S. L. S.; CARGNIN, M. Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas. **Revista Técnico Científica (IFSC)**. Santa Catarina, Vol.3, Nº. 1, p. 242-251, 2012.
- LOPES, D. C. **Estudo da viabilidade de adição de resíduo de pó de fumo à massa cerâmica**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- LUCCA, A., **Desenhar o bem-estar sustentável**. **8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. São Paulo: 2008.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. Tradução: Astrid de Carvalho. 1ª ed. 3ª reimpressão. 368 f. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.
- OLIVEIRA, A. P. N. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, Vol. 5, Nº 6, Nov/ Dez, p. 37-47, 2000.

PAZMINO, A. V., Uma reflexão sobre Design Social, Eco Design e Design Sustentável. **I International Symposium on Sustainable Design | I Simpósio Brasileiro de Design Sustentável**. Curitiba: 2007.

PINHEIRO, B. C. A. **Processamento e caracterização de massas cerâmicas incorporadas com o resíduo borra de petróleo encapsulada para a fabricação de grês Porcelanato**. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados, Campos dos Goytacazes., 2009.

PRADO, A. D. **Efeito da incorporação de resíduo industrial (chamote, mármore e granito) para a produção de revestimento cerâmico**. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais. Instituto Federal do Maranhão, São Luís: 2014.

PRESOTTO, P. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos da mineração de serpentino: obtenção e caracterização**. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras**. São Paulo: Edgard Blücher, 1975.

_____. **Ciência e Tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

SOUZA, V.C; SOUZA, J.C.; ROLIM FILHO, J.L. Diagnóstico do setor de rochas ornamentais e de revestimentos do Estado de Pernambuco. **Estudos geológicos**, Pernambuco, volume 8, 2008.

TALLINI JUNIOR, V. T. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de lodo de estações de tratamento de água, microesferas de vidro de jateamento, sais de neutralização de ácidos de baterias e areia de fundição**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

VIEIRA, C. M. F.; FEITOSA, H. S.; MONTEIRO, S. N. Avaliação da secagem de cerâmica vermelha através da Curva de Bigot. **Revista Cerâmica Industrial**. São Paulo, Vol. 8, Nº 1, Jan/ Fev, 2003.