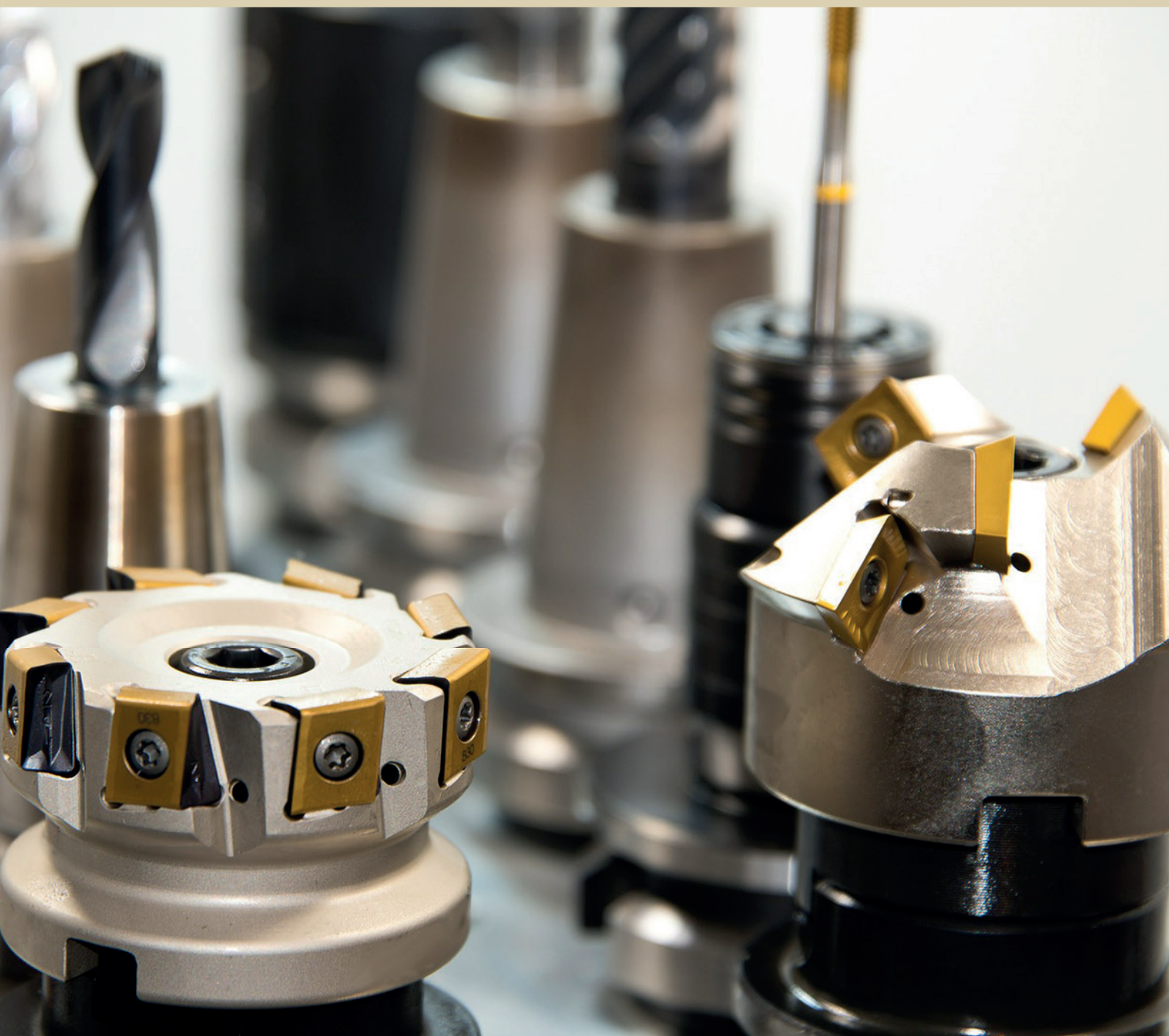


# Ciência e Engenharia de Materiais

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA**

(Organizadora)

# **Ciência e Engenharia de Materiais**

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-62-8

DOI 10.22533/at.ed.628183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
COMPÓSITOS AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZRO <sub>2</sub> : PROCESSAMENTO E PROPRIEDADES MECÂNICAS	
<i>João Domingos Covello Carregosa</i> <i>Luiz Fernando Grespan Setz</i> <i>Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
PROPRIEDADES DE ÓXIDO DE CÉRIO OBTIDO VIA SÍNTESE HIDROTHERMAL ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS	
<i>João Domingos Covello Carregosa</i> <i>Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> REFORÇADO COM NANOPARTÍCULAS DE ZRO <sub>2</sub> (3%MOL Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	
<i>Caio Marcello Felbinger Azevedo Cossú</i> <i>Claudinei dos Santos</i> <i>Manuel Fellipe Rodrigues Paes Alves</i> <i>Leonardo Queiroz Bueno Campos</i> <i>Bruno Galvão Simba</i> <i>Roberto de Oliveira Magnago</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>42</b>
EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NAS PROPRIEDADES DE BLOCOS CERÂMICOS	
<i>Geovana Lira Santana</i> <i>Manoel da Cruz Barbosa Neto</i> <i>Ricardo Peixoto Suassuna Dutra</i> <i>Daniel Araújo de Macedo</i> <i>Lizandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PROPORÇÃO DO SUBSTITUINTE CÁLCIO NA ATIVIDADE CATALÍTICA NA REDE DA PEROVSKITA LA <sub>(1-x)</sub> CA <sub>(x)</sub> MNO <sub>3</sub> (X=0,2 E 0,4)	
<i>Anderson Costa Marques</i> <i>Mariza de Carvalho Montenegro Fernandes</i> <i>Cássia Carla de Carvalho</i> <i>Ana Karenina de Oliveira Paiva</i> <i>Filipe Martel de Magalhães Borges</i> <i>Felipe Olobardi Freire</i> <i>Alexandre de Sousa Campos</i> <i>Juan Alberto Chaves Ruiz</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
INCORPORAÇÃO DO ÓXIDO DE MAGNÉSIO NA ZEÓLITA MCM-22 UTILIZANDO A TÉCNICA DE IMPREGNAÇÃO POR COMPLEXAÇÃO	
<i>André Miranda da Silva</i> <i>Vitória de Andrade Freire</i> <i>Caroline Vasconcelos Fernandes</i> <i>Franciele Oliveira Costa</i> <i>Bianca Viana de Sousa</i>	

**CAPÍTULO 7 ..... 69**

AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DO PÓ DE RESÍDUO DE MANGANÊS EM MATRIZ CERÂMICA PARA REVESTIMENTO

*Ana Claudia Rangel da Conceição*  
*Eval Oliveira Miranda Junior*  
*Helen Fernandes de Sousa*  
*Olímpio Baldoino da Costa Vargens Neto*  
*Victor Antunes Silva Barbosa*  
*Oswaldo Cruz Santos*  
*Mirtânia Antunes Leão*

**CAPÍTULO 8 ..... 81**

ANÁLISE DO CUSTO DE FABRICAÇÃO BASEADO NA GEOMETRIA DE PEÇAS CERÂMICAS USANDO ERP - ESTUDO DE CASO EM MPE

*Suellen de Mendonça Terroso Ferreira Jacoboski*  
*Marcia Silva de Araujo*  
*José Alberto Cerrí*

**CAPÍTULO 9 ..... 93**

SÍNTESE TERMAL DE PENEIRA MOLECULAR DE ÓXIDO DE MN K-OMS-2 A PARTIR DE K-BIRNESSITA OBTIDA PELO MÉTODO SOL-GEL

*Bruno Apolo Miranda Figueira*  
*Dayane dos Santos Rezende*  
*Kássia Lene Lima Marinho*  
*Milena Carvalho de Moraes*  
*Gilvan Pereira de Figueiredo*  
*José Manuel Rivas Mercury*

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE INCORPORAÇÃO DO ÓXIDO DE COBALTO NA PENEIRA MOLECULAR SBA-15

*Franciele Oliveira Costa*  
*Jonas Santana Albuquerque*  
*Bianca Viana de Sousa*

**CAPÍTULO 11 ..... 109**

ATIVAÇÃO POR CALCINAÇÃO DO ÓXIDO DE ZIRCÔNIA UTILIZANDO DIFERENTES TEMPERATURAS INCORPORADO NA PENEIRA MOLECULAR MCM-41

*Maria Rosiane de Almeida Andrade*  
*Carlos Eduardo Pereira*  
*José Jaílson Nicácio Alves*  
*Bianca Viana de Sousa Barbosa*

**CAPÍTULO 12 ..... 119**

PROCEDIMENTOS NA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE VALORES E MAXIMIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE NOVOS MATERIAIS CERÂMICOS

*José Vidal Nardi*  
*Aline Souza Lopes Ventura Nardi*

**CAPÍTULO 13 ..... 136**

PRODUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO A PARTIR DE RESÍDUO DA PEDRA CARIRI VISANDO SUA APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS

*Tiago Maia Esmeraldo Alves*  
*Ana Cândida de Almeida Prado*

**CAPÍTULO 14..... 148**

SÍNTESE DE NANOCATALISADORES CERÂMICOS DE COMPOSIÇÃO  $ZR_{1-x}CE_xO_2$  PARA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL GASOSO ECOLOGICAMENTE CORRETO

*Pedro Henrique Pinheiro Lima*  
*Gislayne Rayane Alves da Silva*  
*Francisco Natanael Félix Barbosa*  
*Maria Isabel Brasileiro*  
*Laédna Souto Neiva*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 159**

## AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DO PÓ DE RESÍDUO DE MANGANÊS EM MATRIZ CERÂMICA PARA REVESTIMENTO

### **Ana Claudia Rangel da Conceição**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Salvador – Bahia

### **Eval Oliveira Miranda Junior**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Salvador – Bahia

### **Helen Fernandes de Sousa**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Salvador – Bahia

### **Olímpio Baldoino da Costa Vargens Neto**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Salvador – Bahia

### **Victor Antunes Silva Barbosa**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Salvador – Bahia

### **Oswaldo Cruz Santos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Salvador – Bahia

### **Mirtânia Antunes Leão**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Salvador – Bahia

tendência mundial de produção atendendo às novas exigências tecnológicas e as preocupações ambientais. Este trabalho tem como objetivo utilizar o resíduo do pó de manganês na massa cerâmica para a fabricação de revestimento cerâmicos. As matérias-primas foram caracterizadas por fluorescência de raios-X e difração de raios-X. O resíduo em pó adicionado à argila em percentagens de 0%, 5%, 10% e 15% em peso, foram compactados por prensagem uniaxial de 30 MPa e sinterizadas nas temperaturas de 900°C, 1000°C e 1100°C. As amostras foram avaliadas quanto resistência à flexão, massa específica aparente, absorção de água e retração linear. A variação microestrutural foi analisada por difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram viabilidade para a produção de cerâmica de revestimento porcelanato (formulações A3 e A4) e grês (formulação A2), de acordo com as especificações das normas técnicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** cerâmica, argila, resíduo de manganês

**ABSTRACT:** The use of recycled materials in the composition of new products follows the production's worldwide trending, meeting new technological requirements and environmental concerns. This work aims to utilize the residue of manganese dust on ceramic mass for production

**RESUMO:** A utilização de materiais reciclados na composição de novos produtos segue a



of ceramic coating. The raw materials were characterized by both x-ray fluorescence and diffraction. The powder residue added to clay in the percentage of 0%, 5%, 10% and 15% (measured in weight) was compressed by a uniaxial pressing of 30MPa and the sintering temperatures were 900°, 1000° and 1100°. The samples were analysed in relation to flexural strength, bulk density, water absorption and linear shrinkage. The microstructural variation was also analysed by x-ray diffraction and electron microscopy. The results showed that there is a viability the production of porcelain ceramic coating (A3 and A4 formulations) and stoneware (A2 formulation) according to the specification of technical standards.

**KEYWORDS:** ceramic, clay, manganese residue.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a contaminação ambiental tem despertado a atenção da comunidade científica devido aos severos danos provocados à saúde humana e ao meio ambiente, levando a sociedade a promover discussões relativas aos impactos de ordem ambiental causados por resíduos, sendo fato de notória necessidade incluí-los na metodologia e desenvolvimento de pesquisa, visando oferecer materiais alternativos para manter o equilíbrio entre os aspectos tecnológicos, ambientais e econômicos [4].

A utilização de resíduos de manganês, devido ao seu alto índice de material fundente, que tem a característica de reduzir a temperatura de formação da fase líquida durante o processo de sinterização da cerâmica, agregado à argila, dá a possibilidade de obtenção de um novo produto com características próprias e melhores propriedades mecânicas, que se assemelha ao produto comercial e ao mesmo tempo renovável.

Neste contexto, e considerando a importância tecnológica de produção de revestimentos cerâmicos, este estudo pretende fornecer ao leitor em modo objetivo, a obtenção e análise das características mecânicas e microestruturais das cerâmicas sinterizadas com o reaproveitamento do pó de resíduo do manganês como matéria prima.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias primas utilizadas neste trabalho foram argila cedida pela Cerâmica Candeias, localizada na RMS (Região Metropolitana de Salvador), no município de Candeias, BA, e o pó de despoeiramento do filtro na produção de ferro-liga manganês identificado como resíduo de manganês fornecido pela empresa Vale S.A., que fica situada no município de Simões Filho, Ba.

A composição química das matérias-primas na forma de óxidos foi determinada por fluorescência de raios X. A análise mineralógica (DRX) foi realizada com um difratômetro modelo XRD 7000, Shimadzu. As condições de análise foram no campo de varredura de 5° a 80° em 2 $\theta$ , com radiação em tubo de Cobre ( $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ ) e

velocidade de varredura de 2°/min.

Foram adicionados teores de 5%, 10% e 15% em peso de resíduo de manganês à argila, enquanto a formulação isenta de resíduo (100% argila) sendo considerada amostra padrão. Posteriormente foram confeccionados corpos de prova de 60 mm x 20 mm x 5 mm por prensagem uniaxial de 30 MPa, sinterizados nas temperaturas de: 900°C, 1000°C e 1100°C com taxa de aquecimento de 5°C/min com patamares em 450°C por 30 minutos e na temperatura máxima do forno por 30 minutos, sendo seu resfriamento por convecção natural até a temperatura ambiente.

Para avaliar as características do produto final, foram realizados ensaios físicos-mecânicos conforme a norma ABNT NBR 13818/97 [2]: retração linear de queima (RLq), absorção de água (AA), massa específica aparente (MEA). O módulo de resistência à flexão em carregamento três pontos foi determinada em uma máquina de ensaios universal (EMIC, modelo 23-20), conforme a norma ISO 10545-4/95 [3]. Nas peças cerâmicas sinterizadas foram realizados análises química por FRX, análise mineralógica por DRX e a análise microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As formulações cerâmicas estudadas nesse trabalho são apresentadas na tabela 1.

Formulações	% em peso das matérias primas		
	Argila	Resíduo de Manganês	Nº CP
A1	100	0	15
A2	95	5	15
A3	90	10	15
A4	85	15	15

Tabela 1 – Formulações cerâmicas estudadas.

A Tabela 2 mostra a composição química da argila e do resíduo de manganês. Pode-se observar que a argila possui uma alta composição química de  $\text{SiO}_2$  (óxido de silício) e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (óxido de alumínio). No resíduo de manganês se observa alta concentração de  $\text{MnO}$  (óxido de manganês). Os materiais fundentes ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ ) totalizando com o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 10,55% em peso, justificam um material com alta fundência.

Análise Química (%)									
Amostra	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	ZnO	Outros
Argila	58,80	7,06	22,80	5,12	3,51	0,00	0,00	0,00	2,32
Resíduo Mn	5,65	2,95	5,05	3,22	1,28	3,10	51,10	20,40	5,64

Tabela 2 – Resultado do FRX das matérias Primas analisadas.

As análises das fases cristalinas (DRX) da amostra de argila e do resíduo de manganês são apresentadas nas Figuras 1 e 2. As fases mineralógicas identificadas na argila são: quartzo (SiO<sub>2</sub>), caulinita (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>), muscovita (KMgAlSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>) e hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Na amostra do resíduo de manganês foram identificados picos cristalinos de: birnessita (K<sub>0,5</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·3(H<sub>2</sub>O)<sub>0,5</sub>), que é um polimorfo do óxido de manganês; a alunita (KAl<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>), que é um sulfato hidratado de alumínio e potássio; a aquermanita (Ca<sub>2</sub>Mg(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)), e a presença dos picos de hausmanita (Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) se deve à concentração significativa de óxido de manganês na matéria prima.

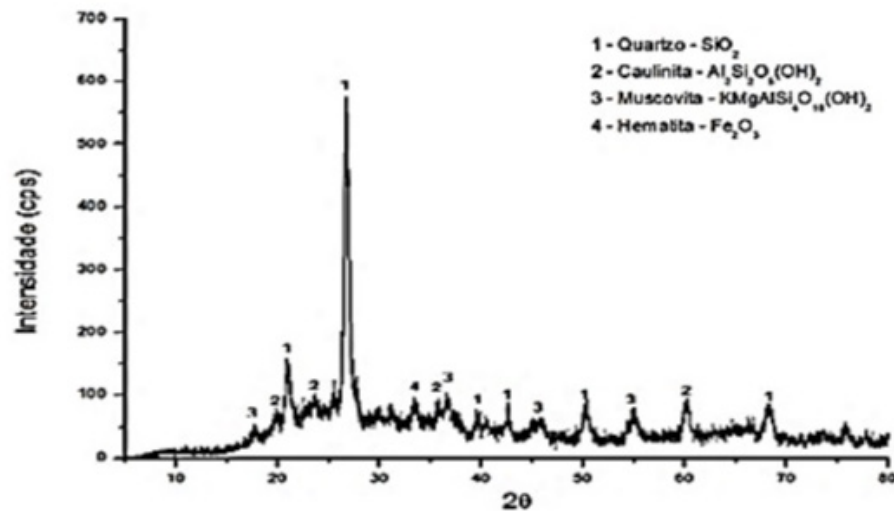


Figura 1. Difratograma das fases cristalinas da argila.

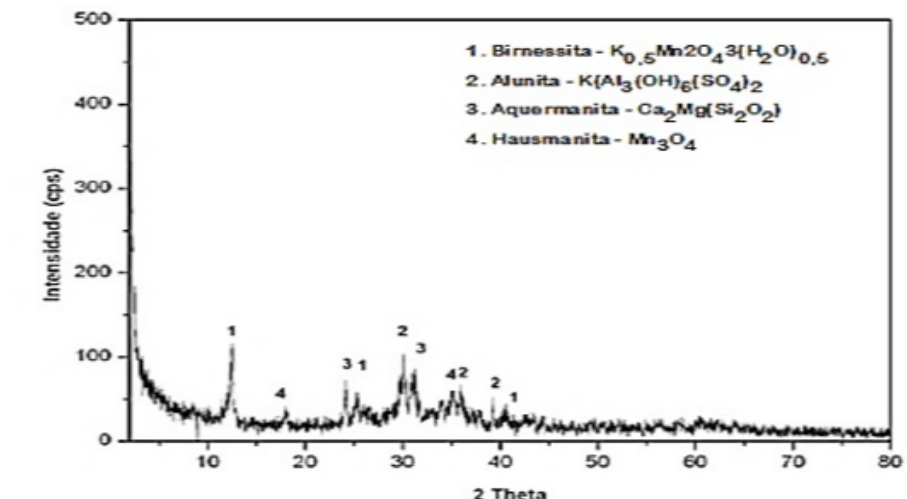


Figura 2. Difratograma das fases cristalinas do resíduo de manganês.

A Tabela 3 apresenta a composição química dos corpos cerâmicos sinterizados em cada formulação. Podemos constatar que em todas as formulações ocorre a presença do óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) e do óxido de silício ( $SiO_2$ ). Com a adição do resíduo de manganês na argila, enriqueceu as massas cerâmicas com óxidos fundentes ( $K_2O$ ,  $CaO$  e  $MgO$ ), tendo nas formulações A1, A2, A3, e A4 respectivamente: 8,63%, 8,54%, 8,41% e 8,34% em peso. O óxido de manganês ( $MnO$ ), como esperado, está presente em todas formulações, exceto na A1.

Formulações	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	$K_2O$	$MgO$	$CaO$	$MnO$	Outros
A1	58,80	7,06	22,80	5,12	3,51	0,00	0,00	2,32
A2	52,30	7,13	20,90	5,11	3,92	0,51	6,30	4,59
A3	51,50	7,63	20,70	5,09	2,78	0,54	6,30	4,96
A4	51,30	7,16	20,40	5,03	2,73	0,58	7,06	5,32

Tabela 3. Resultados das formulações analisadas por FRX.

A Figura 3 apresenta o difratograma comparativo, à temperatura de 900°C e 1100°C, da formulação cerâmica A1. Por meio da identificação dos picos majoritários observou-se a presença de: quartzo, caulinita, muscovita e hematita. À temperatura de 1100°C, surge uma nova fase cristalina, a mulita, devido a decomposição dos alumino-silicatos.

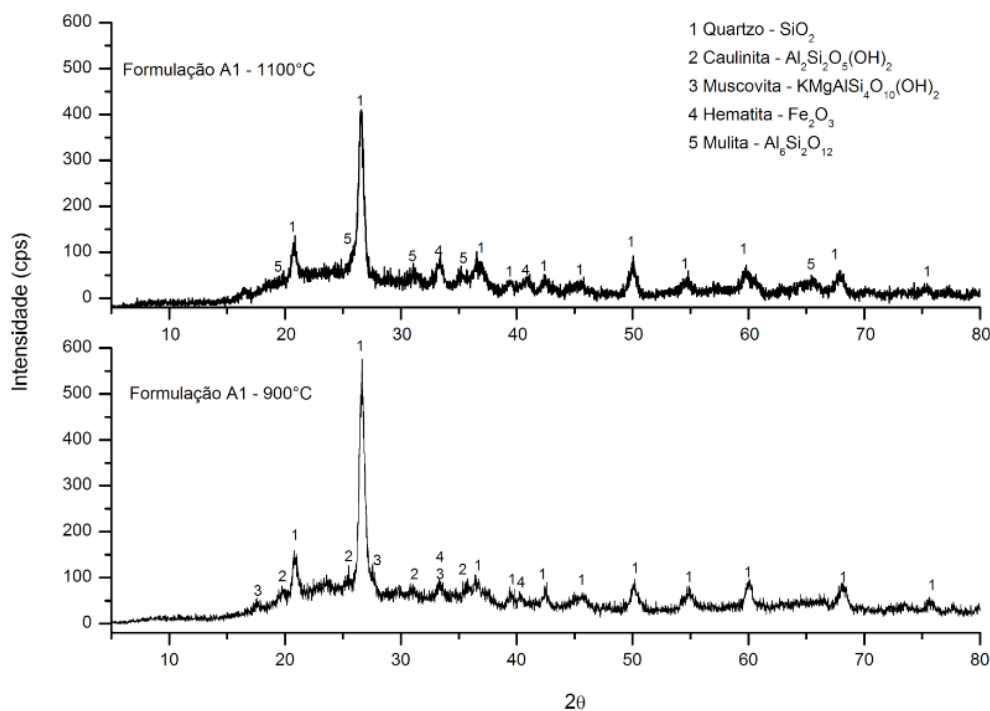


Figura 3 – Resultado do DRX da formulação A1 sinterizadas a 900°C e 1100°C.

A Figura 4 apresenta os difratogramas comparativos da formulação A2 (nas temperaturas de 900°C e 1100°C). Pode-se observar a presença do quartzo, hematita,

muscovita, a piroxmangita e magnetita (devido a adição do resíduo de manganês). A mulita ocorre à temperatura de 1100°C.

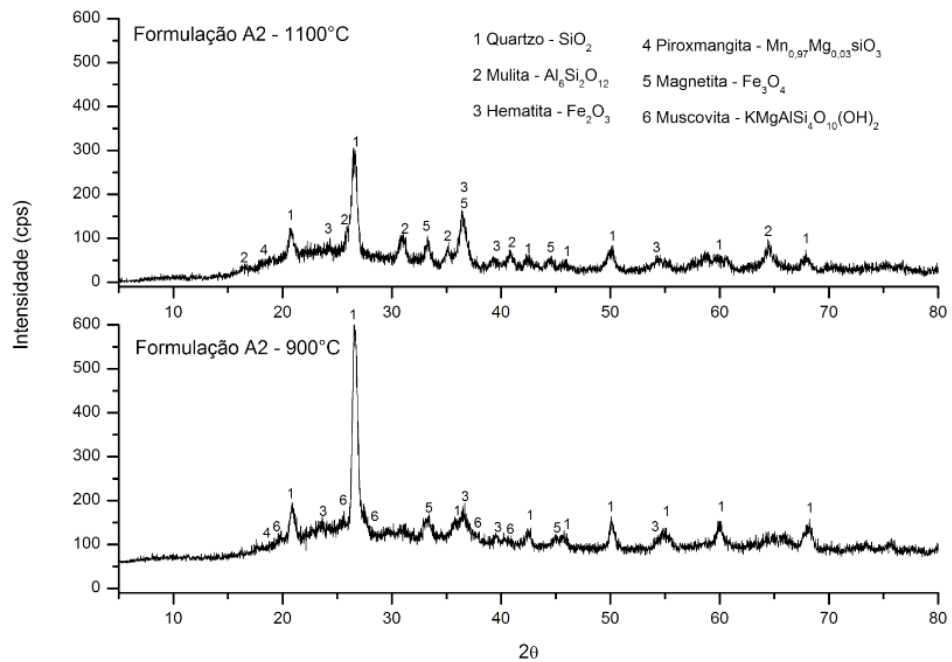


Figura 4 – Resultado do DRX da formulação A2 sinterizadas a 900°C e 1100°C.

Os difratogramas da Figura 5, correspondentes à formulação A3, apresentam os seguintes constituintes: quartzo, hematita, magnetita, flogopita, piroxmangita e mulita (a temperatura de 1100°C). A presença da flogopita, deve-se a concentração de 10% de resíduo de manganês na formulação, sendo suprimida pela nova fase cristalina – mulita, formada pela decomposição de alumino-silicatos.

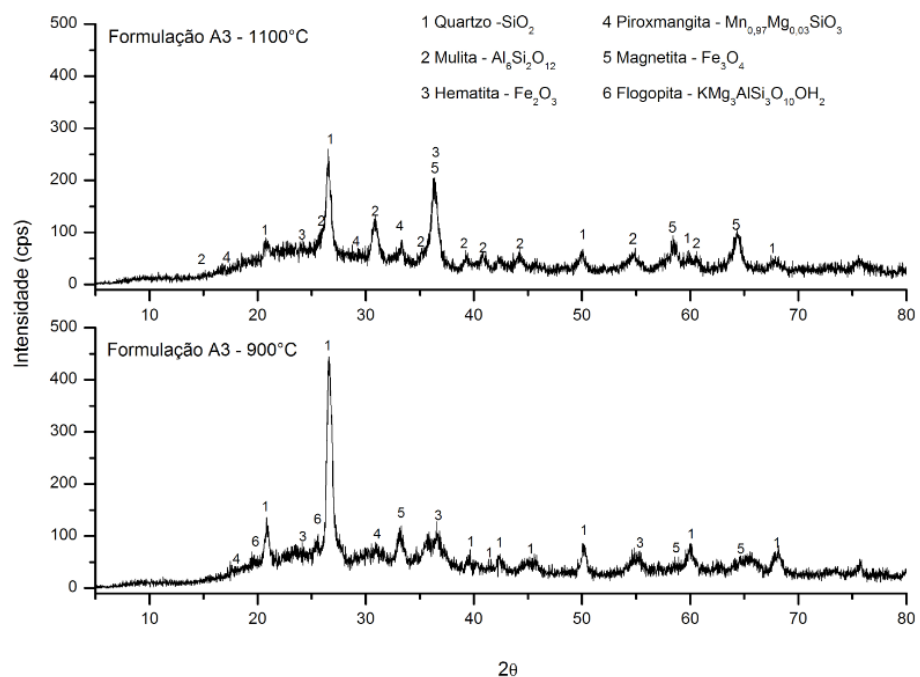


Figura 5 – Resultado do DRX da formulação A3 sinterizadas a 900°C e 1100°C.

Na figura 6, estão presentes os difratogramas da formulação A4 (nas temperaturas de 900°C e 1100°C). Os picos característicos das fases mais relevantes são: quartzo, hematita, magnetita, flogopita, piroxangita e mulita (exclusivo para temperatura de sinterização de 1100°C).

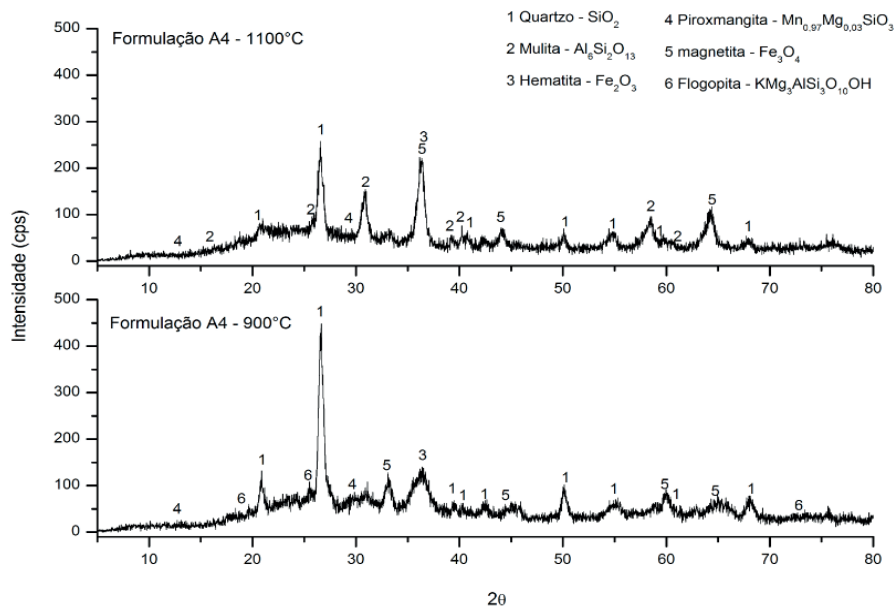


Figura 6 – Resultado do DRX da formulação A4 sinterizadas a 900°C e 1100°C.

Na figura 7, podemos observar que houve um aumento da retração linear pós queima (RLq) em função do aumento da adição do resíduo e do aumento da temperatura, tendo sua variação de 3,22% a 7,51%.

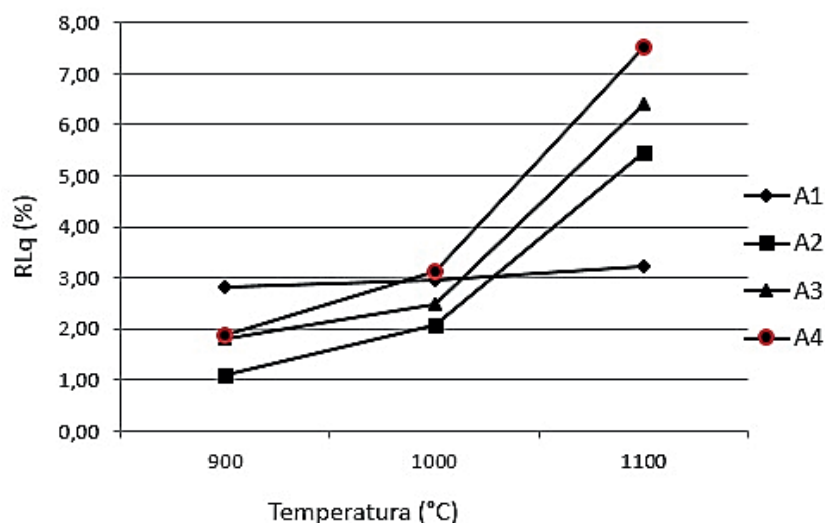


Figura 7 – Gráfico da retração linear dos corpos cerâmicos sinterizados.

A massa específica aparente (MEA) define a durabilidade dos materiais cerâmicos, sendo relacionada com o grau de sinterização dos mesmos. A Figura 8

indica que a adição de resíduo de manganês não alterou o processo de sinterização e densificação dos corpos cerâmicos em relação a formulação A1, sem adição de resíduo de manganês.

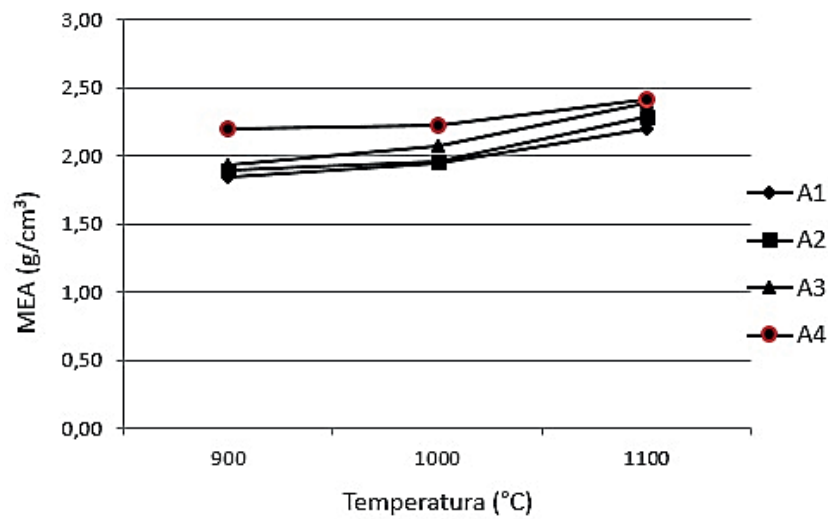


Figura 8 – Gráfico da Massa específica aparente dos corpos cerâmicos.

Na figura 9, pode-se observar que com a adição do resíduo de manganês ocorreu uma variação na absorção de água (AA) com o aumento da temperatura nos corpos cerâmicos sinterizados. Para a queima a 1100°C, as formulações A2, A3 e A4 tiveram uma absorção com 0,63%; 0,43% e 0,39% respectivamente, enquanto a formulação A1, massa padrão, apresentou 5,26% de absorção de água.

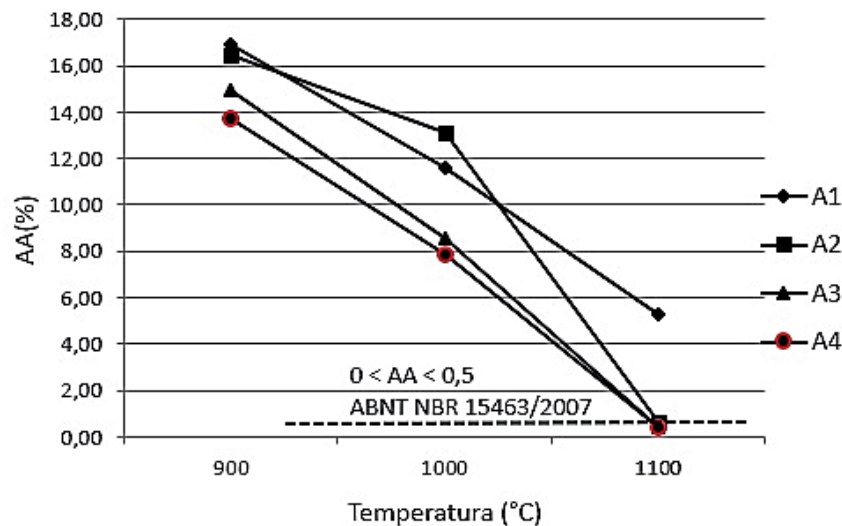


Figura 9 – Gráfico da absorção de água dos corpos cerâmicos sinterizados.

Pode-se observar na Figura 10 que, com o aumento da temperatura de queima todas as formulações apresentaram um aumento do módulo de resistência à flexão.

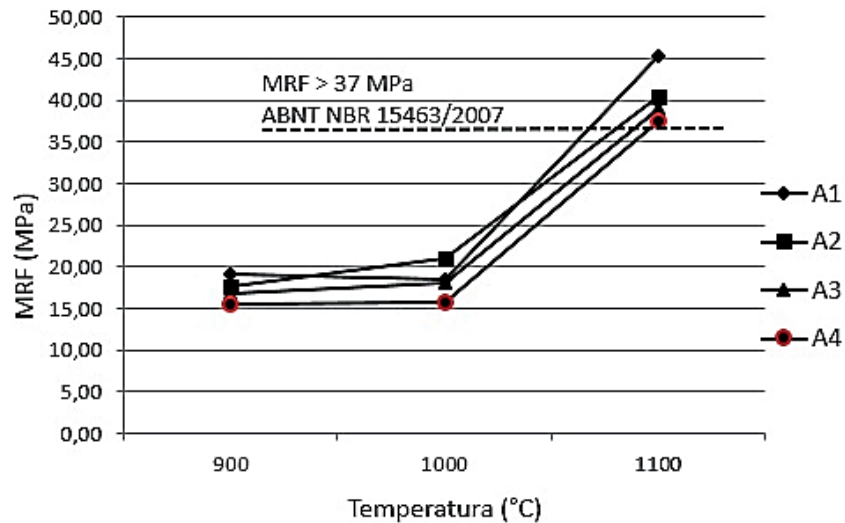


Figura 10 – Gráfico do módulo de resistência à flexão dos corpos cerâmicos.

Pode-se observar que, na cerâmica A1, apresenta uma superfície com fase vítrea, partículas de quartzo e a presença de mulita (Figura 11). A mulita aparece em forma de pequenos cristais e agulhas espalhados na superfície da amostra.

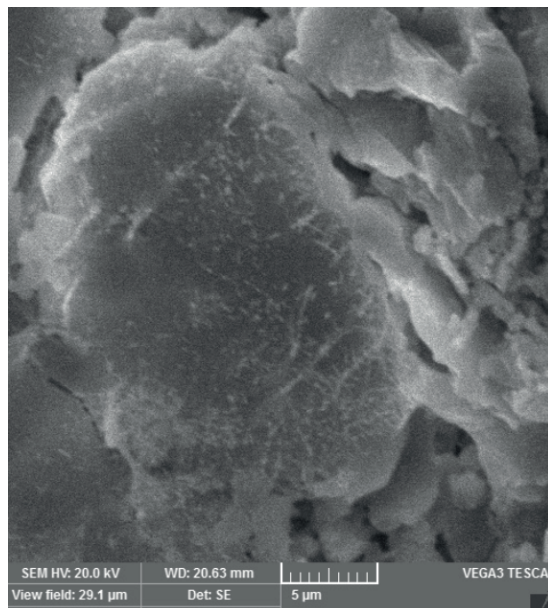


Figura 11 – Micrografia da formulação cerâmica A1 sinterizada a 1100°C.

Pode-se observar na Figura 12 que as cerâmicas incorporadas com 5% de resíduo (formulação A2) verificam-se partículas de cristais de quartzo, partículas de mulita precipitadas em uma região de fase vítrea, além de poros e trincas.



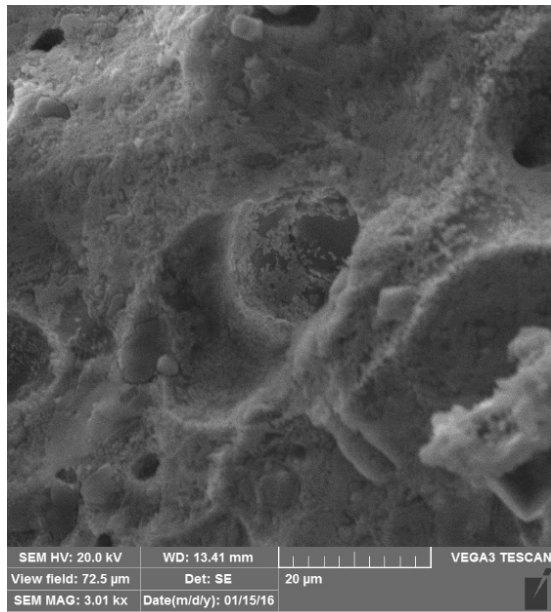


Figura 12 – Micrografia da formulação cerâmica A2 sinterizada a 1100°C.

Nas figuras 13 e 14 respectivamente, pode-se observar as regiões de fraturas das formulações A3 e A4 sinterizadas a 1100°C, devido à adição do resíduo de manganês, com partículas de fase vítrea, mulita e quartzo.

Com o mapeamento por EDS, direcionado nas microestruturas presentes na superfície vítrea (Figuras 13 e 14) das formulações A3 e A4, foi possível verificar a presença dos seguintes elementos: Si, Al, K, O, Mn, Fe e Mg, indicando que as matérias primas iniciais não foram dissolvidas em sua totalidade durante a sinterização.

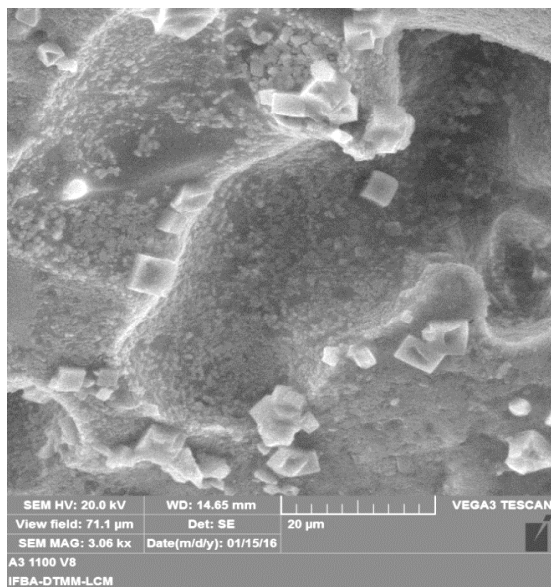


Figura 13 – Micrografia da formulação cerâmica A3 sinterizada a 1100°C.

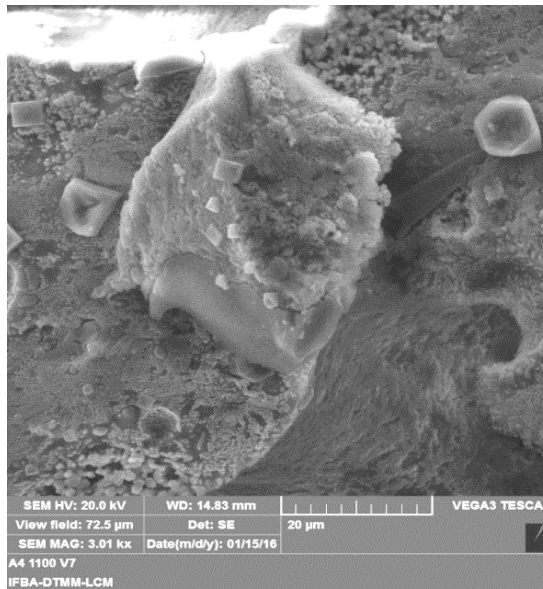


Figura 14 – Micrografia da formulação cerâmica A4 sinterizada a 1100°C.

## 4 | CONCLUSÕES

A obtenção de revestimento cerâmico com adição de resíduo de manganês é possível, a partir da argila, produzir corpos cerâmicos dentro do limite especificado pelas normas exigidas agregado ao reaproveitamento sustentável. As formulações A3 e A4 sinterizados a 1100°C com absorção de água de 0,43% e 0,39% e módulo de resistência à flexão 37,58 MPa e 38,99 MPa respectivamente, estão de acordo com a norma ABNT NBR 15463/2007 [1], sendo classificadas como cerâmica de revestimento porcelanato, grupo Bla. A formulação A2, apresentou 0,63% de absorção de água e MRF 40,40 MPa, ficando segundo a norma ABNT NBR 13818/1997 como cerâmica de revestimento grês, grupo Blb.

A presença do resíduo de manganês nas massas cerâmicas melhorou suas propriedades mecânicas nas formulações estudadas, bem como reduziu a porosidade superficial da matriz vítrea e aumentou a fundência do material.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do PRPGI/IFBA.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15463. **Placas cerâmicas para revestimento - Porcelanato**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818. **Placas cerâmicas para**

**revestimento – especificações e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

Norma ISO 10545-4 / 95; 1995. **Breaking Strength.**

SANTOS, O. C. **Formulação de bloco intertravado cerâmico com adição de resíduos urbano e industriais.** 2013, 178p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - UFRN, Natal.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação lato sensu; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-62-8

