

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO POROSO À BASE
DE ANORTITA USANDO RESÍDUO DE CASCA DE OVO**

VIRGÍNIA SIQUEIRA GONÇALVES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO - 2019

PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO POROSO À BASE
DE ANORTITA USANDO RESÍDUO DE CASCA DE OVO

VIRGÍNIA SIQUEIRA GONÇALVES

“Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais”.

Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

G635 Gonçalves, Virgínia Siqueira.

Preparação e caracterização de material cerâmico poroso à base de anortita usando resíduo de casca de ovo / Virgínia Siqueira Gonçalves. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

82 f. : il.
Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, 2019.
Orientador: José Nilson França de Holanda.

1. Material cerâmico poroso. 2. Resíduo de casca de ovo. 3. Anortita. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 620.11

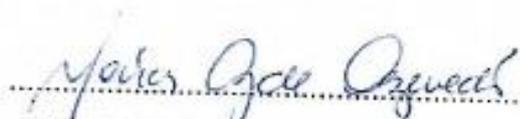
PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO POROSO À BASE
DE ANORTITA USANDO RESÍDUO DE CASCA DE OVO

VIRGÍNIA SIQUEIRA GONÇALVES

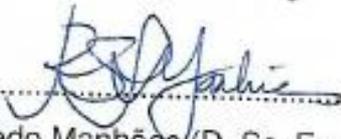
“Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais”.

Aprovado em: 29 de março de 2019.

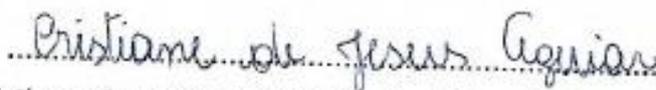
Comissão Examinadora:



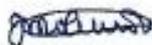
Prof^a. Márcia Giardinieri de Azevedo (D.Sc. Engenharia Química / CCT/ LAMAV) – UENF



Prof^a. Rosane da Silva Toledo Manhães (D. Sc. Engenharia e Ciência dos Materiais / CCT / LCFIS) – UENF



Prof^a. Cristiane de Jesus Aguiar (D. Sc. Engenharia e Ciência dos Materiais / CCT/ LAMAV) - UNESA



Prof. José Nilson França de Holanda (D. Sc., Engenharia de Materiais) - UENF
Orientador

EPÍGRAFE

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei sobre ombros de gigantes”.

Isaac Newton

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais que de tudo fizeram por mim, aos meus irmãos, ao meu namorado e ao meu orientador pelo apoio, incentivo e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser sempre meu porto seguro e ponto de paz quando os problemas parecem ser além do que posso do que eu posso suportar, pois segura estou nos braços Daquele que nunca me deixou, já que Seu amor perfeito sempre esteve repousando em mim, e se eu passar pelo vale, acharei conforto em Teu amor, pois eu sei que és aquele que me guarda e em Teus braços é o meu descanso.

À minha mãe Regina Albernaz por seu amor constante, por ser minha maior incentivadora, por saber me proporcionar uma vida acadêmica de qualidade, obrigada por ser sempre luz para os passos e ser meu ponto de referência de boa profissional, gentileza e carinho para com o outro.

Ao meu pai Elias Gonçalves por toda alegria, por ser o meu maior exemplo de superação e sucesso na área acadêmica, o padeiro que virou doutor, não há palavras para descrever todo meu orgulho e admiração, obrigada pelo amor, companheirismo, paciência e conselhos.

Ao meu irmão gêmeo e eterna dupla Elias Júnior, por ser sempre tão presente em minha vida, por dividir todas as suas conquistas comigo, você foi o presente de Deus em minha vida, obrigada por ser firme e por saber que sempre posso ser melhor e que a evolução é algo constante, muito obrigada mesmo, você é exemplo de dedicação e perseverança para mim.

À minha irmã Bianca Gonçalves, por demonstrar que é possível almejar tudo na vida e mostrar que é possível, sim, conquistar. Você é um exemplo de lutadora e inteligência, eu quero ser um terço do que você é.

Ao meu namorado Álvaro Carvalho, por todos os momentos estar ao meu lado, ser um dos meus maiores incentivadores e companheiros, por ser a pessoa mais paciente e gentil que eu conheço, minha mais singela gratidão.

À minha avó Anália Albernaz por todas as orações, pensamentos positivos, palavras de conforto, entender minha ausência, torcer por mim e sempre me lembrar que é preciso entrar com pé direito em todos os lugares.

Ao meu orientador José Nilson França de Holanda pela disponibilidade, conselhos, confiança depositada, gentileza, acreditado que sou capaz, parceria, respostas rápidas,

solicitude, boa convivência, dividir a escrita e orientação para que essa grande etapa pudesse ser cumprida e realizada com louvor.

Aos membros da banca: a professora Márcia Giardinieri pelo seu sempre presente sorriso, simpatia, delicadeza nas suposições, por ser luz e conforto para quem te procura, a UENF é um melhor lugar na sua presença. À Rosane Toledo pelo companheirismo, palavras de conforto, doces orientações, total disponibilidade e amor ao que faz, você é especial e isso é notório. À professora e amiga Cristiane Aguiar por sempre confiar em minha capacidade, pelos conselhos, por me auxiliar, sempre estar disponível para me atender, por dividir a escrita, congressos e por se locomover até Campos para poder participar de mais um momento tão marcante e importante para mim.

Ao professor Herval Ramos Paes Junior pela sua disponibilidade e total ajuda na realização da análise microestrutural, ao operar o microscópico confocal a laser, meu muito obrigada.

À empresa Arnil - Mineração do Nordeste pelo fornecimento da matéria-prima caulim e à empresa Doces Caseiros pela gentileza de atendimento e fornecimento do resíduo de casca de ovo em grande quantidade, minha gratidão pois foi com o auxílio de vocês que este trabalho pode ser realizado.

Ao amigo, tão importante dupla e companheiro de laboratório Luís Antônio Maciel por ser sempre tão presente e solícito durante essa árdua caminhada, tudo ficou mais simples e agradável por ter você para partilhar as alegrias e momentos de luta. Sei que o laboratório é um lugar melhor pela sua proatividade, jeito carinhoso e meigo de agir. Sei que você vai longe e quero estar por perto para bater palmas de pé, você merece tudo de melhor nessa vida.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela confiança e pelo oferecimento do fomento e pela infraestrutura para que esta pesquisa pudesse ser realizada e concluída; ao técnico do laboratório Rômulo Leite, pelo auxílio na realização dos ensaios mecânicos; a técnica do laboratório Geovana Delaqua por possibilitar que as minhas queimas fossem realizadas; à Flaviane Leite, Pâmela Busch e Tarcília Amaral pelo fornecimento de alguns dados, a vocês minha gratidão.

Ao programa que me concedeu conhecer pessoas incríveis e as quais partilharam momentos de alegria e dificuldade, juntos somos mais fortes, alguns deles: Thaís Queiroz, Jefferson Soares, Luís Antônio Maciel, Ranny Bou-issa, Rita de Cássia, Janine Feitosa, Murilo Siqueira, Thales Shelton, Clébio Santos, Pâmela Busch, Geanni Silveira, Tarcília

Amaral, Bruno Silvano, Matheus Oliveira e Daniel Willeman. Obrigada pela amizade, dias, resultados, trabalhos, horas e horas de estudo e por tornarem essa fase mais divertida e prazerosa.

Aos meus professores e a todos que de alguma forma colaboraram direta ou indiretamente para a conclusão e desenvolvimento deste trabalho, pois se cheguei até aqui foi porque me apoiei em ombros de gigantes.

Muito obrigada!

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Jazida de Argila	23
Figura 2 – Caulim	26
Figura 3 - Sugestão de etapas de redução e reaproveitamento de resíduos	30
Figura 4 - Classificação dos resíduos sólidos.....	31
Figura 5 - Fluxograma do processo de compostagem em usinas	34
Figura 6 - Evolução da produção de ovos de galinha por trimestre	38
Figura 7 - Produção de ovos de galinha no ano de 2016 (%).....	39
Figura 8 - Exportação de ovos de galinha no ano de 2016 (%)	40
Figura 9 - Projeção de produção de ovos para o ano de 2030	40
Figura 10 - Estrutura da casca de ovo	41
Figura 11 – Anortita	42
Figura 12 - Diagrama ortoclásio - albita – anortita	43
Figura 13 - Cápsulas para liberação de fármacos	45
Figura 14 - Fluxograma de etapas envolvidas no procedimento experimental	46
Figura 15 - Difractograma de raios X do Caulim.....	52
Figura 16 - Difractograma de raios X do resíduo de casca de ovo <i>in natura</i>	53
Figura 17 - Difractograma de raios X do resíduo de casca de ovo calcinado.....	54
Figura 18 - Análises térmica diferencial e termogravimétrica da massa MV1	56
Figura 19 - Análises térmica diferencial e termogravimétrica da amostra MV2	57
Figura 20 - Curva dilatométrica da amostra MV1	58
Figura 21 - Curva dilatométrica da amostra MV2	59
Figura 22 - Formulação de massa MV1	60
Figura 23 - Formulação de massa MV2.....	61
Figura 24 - Peças cerâmicas sinterizadas da massa MV1	62
Figura 25 - Peças cerâmicas sinterizadas da massa MV2	62
Figura 26 - Absorção de água das peças cerâmicas.....	63
Figura 27 - Porosidade aparente das peças cerâmicas.....	64
Figura 28 - Densidade aparente das peças cerâmicas.....	65
Figura 29 - Perda de massa das peças cerâmicas.....	66
Figura 30 - Retração linear das peças cerâmicas.....	67
Figura 31 - Resistência à tração das peças cerâmicas	68
Figura 32 – Curva tensão versus deformação - 900 °C - MV1	80
Figura 33 - Curva tensão versus deformação - 900 °C - MV2	80
Figura 34 - Curva tensão versus deformação - 1000 °C - MV1	81
Figura 35 - Curva tensão versus deformação - 1000 °C - MV2	81
Figura 36 - Curva tensão versus deformação - 1100 °C - MV1	82
Figura 37 - Curva tensão versus deformação - 1100 °C - MV2	82
Figura 38 - Curva tensão versus deformação - 1200 °C - MV1	83
Figura 39 - Curva tensão versus deformação - 1200 °C - MV2	83

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Classificação dos resíduos sólidos	30
--	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Produção Brasileira de Ovos (Unidades).....	39
Tabela 2 – Análise química da amostra de caulim	53
Tabela 3 - Análise química do resíduo de casca de ovo in natura.....	54
Tabela 4 - Análise química do resíduo de casca de ovo calcinado	55
Tabela 5 - Absorção de água das peças cerâmicas	63
Tabela 6 - Porosidade aparente das peças cerâmicas	64
Tabela 7 – Densidade aparente das peças cerâmicas	64
Tabela 8 - Perda de massa das peças cerâmicas	65
Tabela 9 - Retração linear das peças cerâmicas.....	66
Tabela 10 – Resistência à tração das peças cerâmicas.....	67

Resumo de dissertação de mestrado apresentada ao CCT-UENF como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO POROSO À BASE DE ANORTITA USANDO RESÍDUO DE CASCA DE OVO

Virgínia Siqueira Gonçalves

29 de março de 2019

Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda

No Brasil, a indústria alimentícia gera grande quantidade de resíduo de casca de ovo galináceo, cujo descarte é considerado complexo e de alto custo. Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a possibilidade do uso de resíduo de casca de ovo na obtenção de material cerâmico poroso a base de anortita. As matérias-primas utilizadas foram caulim, resíduo de casca de ovo in natura e resíduo de casca de ovo calcinado. As matérias-primas foram caracterizadas quanto à difração de raios X e composição química. Duas formulações de material cerâmico poroso foram preparadas: MV1 – 80 % em massa de caulim + 20 % em massa de resíduo de casca de ovo in natura e MV2 – 80 % em massa de caulim + 20 % em massa de resíduo de casca de ovo calcinado. O comportamento térmico e dilatométrico das massas cerâmicas foram avaliados. As peças cerâmicas foram conformadas por prensagem uniaxial e sinterizadas entre 900 e 1200 °C. As peças cerâmicas sinterizadas foram avaliadas através das seguintes propriedades: retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, perda de massa e resistência à tração. Análise microestrutural foi feita via microscopia confocal a laser. Os resultados experimentais indicaram a viabilidade do uso de resíduo de casca de ovo galináceo na fabricação de material cerâmico poroso a base de anortita com potencial para ser empregado em membrana de filtração, independentemente do tipo de resíduo de casca de ovo usado. Em particular, os dados experimentais de porosidade aparente (MV1 = 31,25 – 33,19 % e MV2 = 31,86 – 36,26 %), absorção de água (MV1 = 18,11 – 20,46 % e MV2 = 19,64 – 22,77 %), massa específica aparente (MV1 = 1,55 – 1,64 g/cm³ e MV2 = 1,58 – 1,64 g/cm³) e resistência mecânica (MV1 = 4,06 – 10,92 MPa e MV2 = 4,46 – 9,90 MPa) sugerem que não é necessária a realização de tratamento térmico de calcinação no resíduo de casca de ovo in natura na preparação de material cerâmico poroso à base de anortita.

Abstract of dissertation presented to the CCT-UENF as part of the requirements for the Master's Degree of in Materials Engineering and Science.

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ANORTHITE-BASED POROUS CERAMIC MATERIAL USING EGGSHELL RESIDUE

Virgínia Siqueira Gonçalves

March 29th, 2019

Advisor: Professor José Nilson França de Holanda

In Brazil, the food industry generates a large amount of waste of chicken eggshell, whose disposal is considered complex and expensive. The objective of this work was to evaluate the possibility of the use of eggshell residue in obtaining porous ceramic material anorthite-based. The raw materials used were kaolin, fresh eggshell waste and calcined eggshell waste. The raw materials were characterized for X-ray diffraction and chemical composition. Two formulations of porous ceramic material were prepared: MV1 - 80% by mass of kaolin + 20% by weight of in nature eggshell waste and MV2 - 80% by weight of kaolin + 20% by mass of calcined eggshell waste. The thermal and dilatometric behavior of the ceramic masses were evaluated. The ceramic samples were formed by uniaxial pressing and sintered between 900 and 1200 °C. The sintered ceramic samples were evaluated through the following properties: linear retraction, water absorption, apparent porosity, apparent specific mass, mass loss and tensile strength. Microstructural analysis was done by laser confocal microscopy. The experimental results indicated the feasibility of the use of waste of chicken eggshell in the manufacture of porous ceramics anorthite-based with potential to be used in filtration membrane, regardless of the type of eggshell residue used. In particular, the experimental data of apparent porosity (MV1 = 31.25 – 33.19 % e MV2 = 31.86 – 36.26 %), water absorption (MV1 = 18.11 – 20.46 % e MV2 = 19.64 – 22.77 %), apparent specific mass (MV1 = 1.55 – 1.64 g/cm³ e MV2 = 1.58 – 1.64 g/cm³) and mechanical strength (MV1 = 4.06 – 10.92 MPa e MV2 = 4.46 – 9.90 MPa) suggest that it is not necessary to perform thermal treatment of calcination on the waste of fresh eggshell in the preparation of anorthite-based porous ceramic material.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE QUADROS.....	11
ÍNDICE DE TABELAS.....	12
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Considerações iniciais.....	17
1.2. Objetivos.....	19
1.3. Justificativas.....	19
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. Materiais cerâmicos.....	21
2.1.1. Argila.....	23
2.1.2 Caulim.....	25
2.2. Resíduos sólidos.....	27
2.2.1 Classificação dos resíduos sólidos.....	30
2.2.2 Tratamento e disposição final de resíduos.....	32
2.2.3 Reaproveitamento de resíduos na indústria cerâmica.....	35
2.3. Resíduo da casca de ovo.....	37
2.4. Anortita.....	42
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
3.1. Matérias-primas.....	46
3.2. Metodologia.....	47
3.2.1 Beneficiamento das matérias-primas.....	47
3.2.2 Caracterização das matérias-primas.....	47
3.2.3 Formulação e caracterização térmica das massas cerâmicas.....	48
3.2.4 Preparação dos suportes cerâmicos.....	48
3.2.5 Ensaio físicos e mecânicos.....	49
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1. Análises mineralógica e química das matérias-primas.....	52
4.2. Comportamento térmico das massas cerâmicas.....	55
4.3 – Caracterização microestrutural das peças cerâmicas.....	59
4.4. Avaliação das propriedades física e mecânica das peças cerâmicas.....	61
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	69
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	70

REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE I – ENSAIOS MECÂNICOS	80

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

Com a mudança do panorama de vida, a concentração populacional migrou para as áreas urbanas. A cidade passou a representar a infraestrutura básica, a oportunidade de usufruir melhores serviços essenciais como educação, saúde, transporte e lazer. Como era o local de concentração de capital, a oferta de mercadorias era grande (CARLOS, 2008).

A rápida urbanização em conjunto com a economia em expansão, aumento dos padrões de vida, o consumismo e o surgimento da cultura do produto descartável, aumentam consideravelmente a taxa de geração de resíduos sólidos (MINGUA *et al.*, 2009).

Quando os resíduos sólidos não são manejados da forma correta, sejam estes de qualquer origem, acarreta desperdícios, é uma ameaça constante à saúde pública, o que colabora para o comprometimento da qualidade de vida da população, além de contribuir para a degradação ambiental (SIQUEIRA, 2013; COLLATO & BERGMANN, 2009).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) define a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos como um conjunto de ações que visam soluções para estes levando em consideração as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável e realizando o controle social (BRASIL, 2010).

Com a preocupação e preservação ambiental aliadas a fatores econômicos e à escassez dos recursos naturais, os resíduos passaram a ser utilizados em larga escala na indústria cerâmica, uma vez que esta consegue absorver e dar destino final para um grande volume de resíduos poluentes, de diferentes origens e tipos, já que sua produção apresenta enorme proporção comparada a outros ramos industriais (BASTOS *et al.*, 2013; BARATA *et al.*, 2012).

O alto consumo de ovos em nível mundial influencia diretamente na enorme geração de resíduos de cascas de ovos que precisam ser descartadas, o que causa um problema ambiental agravante. Assim, diversos estudos têm surgido com o intuito de encontrar possíveis soluções para estes (NAGABHUSHANA *et al.*, 2016).

Pelo resíduo da casca de ovo conter uma membrana rica em matéria orgânica o que favorece as atividades microbiológicas, faz com que seu descarte incorreto gere

poluição, além de poder afetar a saúde pública. Devido a isso, a maioria dos países encontra dificuldade na realização do descarte correto, já que normalmente os aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos se recusam a aceitar este tipo de rejeito (LEITE et al., 2016).

Pelo fato do Brasil ser o oitavo maior consumidor de ovos, em escala latino-americana, onde o consumo per capita anual é de 6,8 Kg (ARAÚJO, 2012), onde 10% do peso do ovo é correspondente à casca, é possível entender o montante de resíduos de casca de ovo gerados todos os anos pelas indústrias alimentícias (OLIVEIRA et al., 2013).

Este tipo de resíduo não é classificado como perigoso, porém é comum ser descartado de forma incorreta, sendo um agravante à saúde pública por ser um chamariz para roedores e insetos (FREIRE & HOLANDA, 2006; CORRÊA et al., 2015).

Como a casca de ovo é rica em carbonato de cálcio, proteínas e minerais, esta pode ser aplicada em diversos processos produtivos tais como correção de pH do solo, na indústria de cosméticos, suplementos alimentares, na área da odontologia, para remoção de metais pesados em águas residuais, como catalisador sólido na produção de biodiesel, adsorvente para remoção de íons poluentes, atuar como material termo luminescente (OLIVEIRA et al., 2009; MURAKAMI, 2007; NAGABHUSHANA et al., 2016; LACA et al., 2017).

Assim, por ser uma fonte alternativa de carbonato de cálcio, este resíduo é importante e apresenta valor econômico agregado por substituir reservas naturais de fontes não renováveis, além de colaborar para a preservação ambiental (OLIVEIRA & PARDO, 2007).

A anortita é um dos membros mais importantes da família plagioclásios dos feldspatos. Apresenta várias aplicações como ser utilizada para a produção de vitrocerâmicos, na engenharia, mais precisamente na bioengenharia (NEVES, 2002), nas aplicações clínicas (CAVALHEIRO, 2005), na indústria eletrônica, (CHOUIA et al., 2015), na odontologia e na ortopedia (AZEVEDO et al., 2007; KNETS, 1987). Ela é aplicada também, em larga escala, na indústria cerâmica devido às características agregadas ao produto final. Suas propriedades são interessantes para esse ramo, como: alta resistência à temperatura e resistência ao choque térmico, baixa constante dielétrica, baixo coeficiente de expansão térmica (BALAKRISHNAN et al., 2001; KURUMA et al., 2009), resistência ao ataque químico e uma excelente resistência à abrasão (GOMES, 1999; DUAN et al., 1998).

A cerâmica à base de anortita é tradicionalmente obtida a partir de formulação cerâmica contendo essencialmente matérias-primas naturais não renováveis. Diversos processos podem ser seguidos como, por exemplo, a mistura de uma fonte de carbonato de cálcio e caulim (KOBAYASHI et al., 1994; KOBAYASHI et al., 1997).

Neste contexto, o presente trabalho de dissertação de mestrado propõe a introdução de um material de resíduo sólido, especificamente resíduo de casca de ovo como fonte de cálcio, na formulação de massa cerâmica para obtenção de suporte cerâmico poroso à base de anortita.

1.2. Objetivos

O objetivo principal deste foi avaliar o uso de resíduo de casca de ovo galináceo como fonte de carbonato de cálcio alternativo na obtenção de um suporte cerâmico poroso à base de anortita. Neste trabalho o resíduo sólido de casca de ovo poluente é proveniente da indústria de processamento de alimentos da região de Campos dos Goytacazes/RJ, o qual foi usado na formulação da massa cerâmica como uma fonte renovável de carbonato de cálcio de baixo custo.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar as características das matérias-primas utilizadas;
- Avaliar as propriedades física e mecânica do suporte cerâmico poroso; e
- Realizar um comparativo entre o uso de resíduo de casca de ovo *in natura* e o resíduo de casca de ovo calcinado na preparação do suporte cerâmico poroso.

1.3. Justificativas

A consciência ambiental, o desenvolvimento sustentável e as políticas de saúde pública têm tomado papel importante no cenário nacional e internacional.

Com o enorme volume de resíduo de casca de ovo gerado constantemente todos os anos, a disposição final ambientalmente adequada vem se tornando um problema ambiental e econômico para as indústrias do ramo alimentício. Esse assunto tem

despertado significativo interesse da área acadêmica no desenvolvimento de alternativas viáveis para a valorização e reuso deste resíduo sólido poluente.

O município de Campos dos Goytacazes, situado na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, não apresenta um panorama diferente do Brasil, pois as empresas do ramo alimentício instaladas também produzem grande quantidade de resíduo de casca de ovo.

Na atualidade o descarte do resíduo de casca de ovo galináceo é bastante problemático principalmente para as indústrias de processamento de alimentos. Isto se deve ao fato de que a realização do descarte correto em aterros sanitários deste é bastante custosa em termos ambientais e econômicos. Por outro lado, o resíduo de casca de ovo é um material rico em carbonato de cálcio (CORRÊA et al., 2015) que apresenta potencial para ser usado na fabricação de cerâmica à base de anortita. Tal material apresenta largo campo de aplicações tais como na bioengenharia, odontologia, ortopedia, construção civil, encapsulamento de fármacos, indústria cerâmica (CHENG et al., 2011; CAVALHEIROS, 2005; NEVES, 2012; SILVEIRA, 2007; AZEVEDO et al., 2007; KNETS, 1987).

Neste contexto, o presente trabalho de mestrado serve de base para contribuir para o destino final de forma ambientalmente correta do resíduo de casca de ovo, bem como a valorização deste resíduo sólido na obtenção de um suporte cerâmico poroso à base de anortita.

Este trabalho está inserido na diretriz principal do Setor de Materiais e Meio Ambiente (SEMMA) do LAMAV/UENF, ao qual tem como prioridade, apresentar soluções para problemas ambientais que envolvam o emprego de materiais.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Materiais cerâmicos

Os materiais cerâmicos compreendem todos os materiais inorgânicos e não-metálicos, geralmente obtidos após tratamentos térmicos em temperaturas elevadas, consistindo basicamente em óxidos, nitretos e carbetos. As ligações interatômicas das cerâmicas são predominante ou totalmente iônicas, porém, há alguma natureza covalente. O termo “cerâmica” significa “matéria queimada”, ou seja, para que se atinja as propriedades e características almeçadas para esse material é preciso submetê-los a um processo de tratamento térmico a alta temperatura, também conhecido como cozimento (CALLISTER JR., 2008).

As “cerâmicas tradicionais” eram denominadas os materiais mais importantes dessa categoria, e são aquelas que utilizam a argila como matéria-prima primária, ou seja, compostas por materiais argilosos como cimento ou vidro. Entende-se por estes a porcelana, louças de porcelana, azulejos, e telhas, além das cerâmicas de alta temperatura e vidros (CALLISTER JR., 2008).

Em relação às propriedades e comportamento mecânico, os materiais cerâmicos são altamente suscetíveis à fratura, relativamente rígidos e resistentes, tipicamente muito duros e por isso são extremamente frágeis, além de apresentarem características isolantes à passagem de eletricidade e calor, são mais resistentes que os polímeros e os metais a altas temperaturas e ambientes severos. Estes materiais, quando se trata de características visuais, podem ser opacos, translúcidos ou transparentes; quando são à base de óxido, apresentam comportamento magnético (CALLISTER JR., 2008).

A Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM), assim como o Callister Júnior (2008), definem os materiais cerâmicos como “todos os materiais inorgânicos, não metálicos, que são obtidos após tratamento térmico a altas temperaturas” (ABCERAM, 2018).

A cerâmica foi definida por Verçoza (1987) como a obtenção de uma pedra artificial através de processos de moldagem, secagem, cozedura de argilas ou de misturas que contêm argilas.

A ABCERAM (2018) classifica a cerâmica por segmentos de acordo com as características e funcionalidades da matéria-prima e a área que ela será utilizada. Entre as classificações têm-se:

- Cerâmica vermelha, as quais apresentam pigmento vermelho e são utilizadas na construção civil, adornos e uso doméstico;
- Materiais de revestimentos, também chamados de placas cerâmicas, aqueles utilizados em pisos, revestimento de paredes, bancadas e entre outras;
- Cerâmica branca, apresenta um corpo branco e geralmente são cobertos por uma camada vítrea transparente e incolor;
- Materiais refratários, suportam elevadas temperaturas em certas condições de operação e processos industriais, além de estarem sujeitos a adventos como esforços mecânicos, variações bruscas de temperatura, ataques químicos, entre outros;
- Já os isolantes térmicos se subdividem em três classificações, os refratários isolantes, os isolantes térmicos não refratários e as fibras ou lãs cerâmicas;
- Fritas e corantes, as fritas são vidros moídos aplicados à superfície do corpo cerâmico que ao passar pelo tratamento irá adquirir uma camada vítrea, já os corantes são adicionados aos esmaltes ou corpos cerâmicos com o intuito de agregar coloração e efeitos especiais;
- Abrasivos, são considerados uma classificação ou segmento cerâmico por possuírem processos e utilizarem matérias-primas semelhantes;
- Assim como o vidro, cimento e cal;
- A cerâmica de alta tecnologia, também conhecida como cerâmica avançada, foi fruto de diversas pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias que apresentam uso intenso e sua aplicabilidade só tende a aumentar; como exemplos de aplicações têm usinas nucleares, ferramentas de corte, satélites, materiais para implante nos seres humanos, entre outros (ABC, 2018).

Padilha (2000) disserta que os materiais cerâmicos apresentam algumas características como comportamento frágil, isolante térmico e elétrico, módulo de elasticidade muito elevado, baixa resistência à tração, já que quando está em temperatura ambiente é quase nula, porém esta aumenta proporcionalmente ao aumento da temperatura de ensaio.

A Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER) indica que as cerâmicas apresentam aplicações domésticas, como na construção, adornos e para armazenamento de líquidos e sólidos, devido às suas características, uma vez que sua produção se dá a partir da modulação da argila úmida, que ao passar por tratamentos térmicos e processos de queima em torno de 1000 °C, este material assume caráter rígido e resistente (ANFACER, 2018).

Petrucci (1995) afirma que os produtos cerâmicos à base de silicatos ainda estão em evidência e são usados em larga escala devido as suas características, como o baixo custo, a resistência mecânica, conforto e estética.

Sabendo que as argilas são o principal elemento da cerâmica à base de silicatos, considera-se de suma importância e fundamentalismo o conhecimento de sua natureza, já que se buscam obter produtos finais com características almejadas e que supram as exigências e demandas do mercado.

2.1.1. Argila

Pinto (1997) define a argila como sendo uma rocha finamente dividida, a qual apresenta grande número de partículas com tamanhos inferiores a do micrometros, contém impurezas e constituídas majoritariamente por argilominerais. A Figura 1 apresenta uma jazida de argila de Campos dos Goytacazes/RJ.



Figura 1 - Jazida de Argila

Fonte: Acervo próprio (2019)

Já Santos (1989) a define como sendo um material natural, terroso, de granulação final, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade, apresentando partículas de diâmetro inferior a dois micrometros.

A argila apresenta textura terrosa e de granulometria baixa, é uma matéria-prima plástica, como o próprio nome já diz, proporciona caráter plástico à massa cerâmica quando pulverizada uma quantidade adequada de água, permitindo assim a conformação ou formato desejado para esta (SANTOS, 1989).

Santos (1989) afirma que a argila, no Brasil, apresenta grande aplicação em diversas ramificações de indústrias, como a indústria cerâmica (cerâmica vermelha, cerâmica branca e material refratário), indústrias de borracha e plásticos, indústrias de papel e de papelão, indústria metalúrgica, indústrias de óleos comestíveis e derivados. A argila pode ser utilizada como agente descorante de óleos e minerais, diluente primário e secundário, como catalisador no craqueamento de petróleo para produção de gasolina, agente tixotrópico em lamas para perfuração de poços de água e petróleo, além de ser utilizada como componentes de solos agrícolas, e como matérias-primas para as indústrias de processamento químico.

Gomes (1986) acredita que a maior parte das aplicações das argilas é na cerâmica, tendo como propriedades básicas a plasticidade e endurecimento após a cozedura ou queima.

Segundo Shreve & Brink (1977), a argila é composta por argilominerais, também chamados de silicatos de alumínio hidratados, a qual pode apresentar um grau maior ou menor de impurezas. As argilas podem apresentar arranjos diferentes das suas folhas, as mais comuns são compostas de folhas tetraédricas (T) de silício e octaédricas (O) de alumínio, podendo ser de magnésio e/ou ferro em menor frequência. Uma vez as folhas octaédricas (O) de alumínio e tetraédricas (T) de silício são agrupadas nas proporções 1:1 (TO) ou 2:1 (TOT).

Os principais grupos de argilominerais são caulinita, illita e esmectita. O que difere estes é o tipo de estrutura por eles apresentadas e as substituições que podem ser realizadas, como silício por alumínio ou ferro, ou do alumínio por magnésio ou ferro, causando a neutralização das cargas residuais. No processo da caulinita é nula a substituição por cátions em sua estrutura cristalina, na illita já ocorre, tendo o potássio como cátion neutralizante, já na esmectita também ocorrem substituições, tendo o potássio, sódio, cálcio e outros como cátions neutralizantes (SANTOS, 1989).

Existem alguns tipos especiais de argila, são esses: caulim, terras *fuller*, argilas refratárias, *ball-clays* e *flint-clays*. Estes tipos apresentam definições distintas e variações

podem ser observadas referentes ao seu emprego e composição mineralógica (SANTOS, 1989).

As argilas podem ser classificadas em fusíveis e não fusíveis de acordo com o seu ponto de fusão. Quando estas vitrificam e deformam-se a temperaturas inferiores a 1200 °C são chamadas de argilas fusíveis, consideradas as mais importantes. As que se deformam e vitrificam a temperaturas superiores a 1200 °C são chamadas de argilas não fusíveis (SILVA, 1991).

Segundo este mesmo autor, estas podem ser classificadas segundo sua estrutura, podendo apresentar estrutura fibrosa ou estrutura laminar, também chamada de foliácea.

Petrucci (1995) as subdividem em plásticas e não plásticas. São consideradas plásticas as argilas que são ricas em materiais argilosos, por isso apresentam maior plasticidade e um grau de deformação maior durante o cozimento. Em contra partida, as argilas não plásticas são pobres em materiais argilosos.

Uma argila pode ser caracterizada em quatro estados. O primeiro estado é o bruto, também chamado de natural ou original, uma vez que a argila é caracterizada da forma que foi encontrada, podendo ser realizado com ela úmida ou após a secagem. O segundo estado é após a desagregação, conhecido também como moagem, no qual o processo de separação granulométrica é realizado a seco por uma ou mais peneiras. Já o terceiro estado é após a separação em meio líquido, também realizado por peneiras, por floculação e por secagem. O quarto estado é realizado após a separação fluidodinâmica tanto por ciclones e hidrociclones, se necessário aplicar os processos de floculação e secagem (SANTOS, 1989).

Santos (1989) ressalta que a caracterização de uma argila é realizada para analisar as suas propriedades. Esta pode ser feita pelos seguintes processos: medição das propriedades físico-mecânicas, análise química e troca de cátions, determinação de textura dos agregados naturais dos argilominerais antes ou após um tratamento industrial.

2.1.2 Caulim

Segundo Biffi (2002), o nome caulim tem derivação de Kao-ling ou Kaoling, uma palavra chinesa que significa colina alta, o lugar que as primeiras amostras desse material foram extraídas.

O caulim, segundo Santos (1989), é uma argila diferente das vermelhas, pois apresenta queima branca como apresentado na Figura 2. É composto majoritariamente por minerais do grupamento caulinita.



Figura 2 – Caulim

Fonte: IMERYS CAPIM (2017)

Grim (1958), assim como Santos (1989), afirma que o caulim são as rochas que apresentam a caulinita como principal constituinte. Além de caracterizá-lo como rocha de granulometria fina, o qual é constituído de material argiloso, cor branca ou quase branca devido ao seu baixo teor de ferro na composição.

Quando comparado com as argilas, o caulim apresenta partículas mais grosseiras e estrutura cristalina menos degradada, uma vez que apresentam origens geológicas distintas (BARBA et al., 2002).

É formado pelo grupamento de silicatos hidratados de alumínio, sendo majoritariamente caulinita e haloisita. Por apresentar queima branca, concede a cor branca para a peça após a queima. Apresenta essa coloração pela baixa porcentagem (menos de 0,5%) ou ausência de óxido de ferro em sua formulação, porém, há presença de impurezas, como grãos de feldspato, quartzo, óxidos de ferro e titânico, além das palhetas de mica (BRASIL, 2006).

Além de conceder a cor branca à massa, provê óxido de alumínio (Al_2O_3) que age como um regulador do equilíbrio das reações durante a fase de vitrificação da massa cerâmica (GILBERTONI et al., 2004).

Existe o caulim residual ou primário e o caulim sedimentar ou secundário. Pode-se dizer que o caulim primário/residual resulta de alterações hidrotermais ou do

intemperismo das rochas cristalinas. Já o secundário/sedimentar resulta da degradação dos depósitos primários em bacias e dos processos de erosão (BRASIL, 2006).

Gomes (1986) afirma que o caulim bruto é composto por caulinita, quartzo, mica, feldspato, além de minerais acessórios como montmorilonita, gibbsita, fluorita, clorita, hematita, pirita, turmalina, topázio, limonita e goethita.

O empilhamento das camadas da caulinita é regular 1:1, ou seja, para cada camada há uma folha tetraédrica (T) de Si e uma folha octaédrica (O) de Al. Mesmo podendo haver substituição dos cátions dentro de sua estrutura cristalina, esta é neutra (WEISS & RANGE, 1966). A haloisita apresenta uma similaridade da estrutura cristalina com a caulinita, porém seu arranjo na cela unitária se dá aleatoriamente (SANTOS, 1989).

De acordo com o balanço mineral brasileiro realizado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, o caulim está entre os seis minerais mais abundantes no mundo e apresenta algumas propriedades físicas como granulometria mais grosseira que os demais tipos de argilas, menos plástico e por isso menor resistência mecânica (SILVA, 2001). Além de opacidade, alvura, forma das partículas, grau de cristalização, entre outros (LUZ, 2003).

Araújo et al. (2006) relatam que devido as suas propriedades físicas e químicas, o caulim apresenta aplicação em diversos produtos, como nas cerâmicas, remédios, catalisadores, tintas, fibra de vidros, tendo sua principal aplicação na indústria de papel.

Quando aplicados nas cerâmicas, o caulim, segundo Albuquerque et al. (2007), proporciona plasticidade quando está em presença de água, e funciona como uma liga para os componentes no estado verde. Motta et al. (1998) concordam com esse comportamento e ainda afirmam que este é um material plástico de queima branca mais abundante que as próprias argilas.

2.2. Resíduos sólidos

A mudança brusca da população das áreas rurais para a área urbana foi uma tendência marcante no século XX (SCARLATO, 1999). Assim, a cidade passou a representar a concentração de pessoas que procuram uma infraestrutura básica, a oportunidade de usufruir de melhores serviços essenciais como educação, saúde, transporte, lazer. Como era o local de concentração de capital, a oferta de mercadorias era grande (CARLOS, 2008).

Acredita-se que o desequilíbrio ambiental foi consequência da industrialização desordenada e acelerada, já que houve uma mudança nos hábitos de consumo dos moradores das cidades e a cultura de produto descartável passou a existir. Assim, como Perin (1999) afirma que com essa cultura e com a evolução da tecnologia, houve um aumento crescente na produção de resíduos e a complexidade na degradação dos mesmos. Segundo o mesmo autor, a produção de resíduos era bem reduzida antes da Revolução Industrial, e apresentavam fácil degradação.

Com isso, surge a necessidade de criação e implementação de sistemas de gestão dos resíduos sólidos com o intuito de minimizar os impactos agregados ao meio aos quais estes estão inseridos, uma vez que o que foi utilizado e não for ou não pode ser aproveitado é considerado lixo (RIBEIRO et al., 2000).

A administração pública municipal tem por função e responsabilidade o gerenciamento dos resíduos sólidos, uma vez que esta deve realizar o controle dos resíduos desde a sua coleta até a sua disposição final ambientalmente segura (JACOBI & BESEN, 2011).

É necessário incorporar algumas premissas no planejamento dos resíduos sólidos, como minimizar a produção de resíduos, priorizar a reutilização, reciclagem e tratamentos ambientalmente saudáveis dos resíduos, promoção do depósito e ampliação do alcance dos serviços que utilizam estes em seus processos (LOPEZ et al., 1995).

É um grande desafio para a sociedade atual realizar a gestão eficiente dos resíduos sólidos, já que há uma grande diversidade da quantidade dos resíduos que são gerados, além do agravante crescimento populacional e consumo exacerbado.

A lei N° 12.305/10 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi criada com o intuito de permitir o avanço do Brasil na tratativa dos problemas ambientais, econômicos e sociais, descendentes da manipulação incorreta dos resíduos sólidos, dado que apresenta um conjunto de diretrizes, objetivos, princípios e instrumentos que aspiram a gestão e gerenciamento integrado e ambientalmente correto dos resíduos sólidos.

Esta define resíduo sólido como (BRASIL, 2010):

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de

esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

O gerenciamento e a gestão integrada de resíduos sólidos são conceitos que geralmente causam ambiguidade. O gerenciamento são atividades ligadas, direta ou indiretamente, desde a etapa de coleta até a destinação final e disposição final ambientalmente adequada, com base no plano municipal ou plano de gerenciamento de resíduos sólidos. Já a gestão integrada são atividades ligadas à procura de soluções para os resíduos sólidos, em âmbitos político, econômico, social, ambiental, cultural e social, embasados na premissa do desenvolvimento sustentável no controle social (BRASIL, 2010).

Esta lei também traz conceitos de logística reversa, reciclagem e reutilização. A logística reversa seria a viabilização da coleta e restituição dos resíduos para que haja o reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente correta. A reciclagem é o processo de transformação e tratamento das propriedades dos resíduos para que eles se tornem novos insumos ou produtos. A reutilização, que é o objetivo deste trabalho, consiste no aproveitamento dos resíduos, diferentemente da reciclagem, sem a transformação de suas propriedades (BRASIL, 2010).

Araújo (2002) afirma que a gestão de resíduos é um processo que tem por finalidade a definição, planejamento e organização das medidas a serem tomadas pelo sistema de gerenciamento de resíduos, uma vez que o gerenciamento diz respeito aos aspectos tecnológicos e operacionais que consistem na implementação, coordenação, orientação e fiscalização dos objetivos estabelecidos na gestão.

A Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) elabora e publica anualmente desde 2003 o Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil que tem por objetivo nos permitir a acompanhar a evolução histórica e fazer com que planejamentos futuros sejam fundamentados e alinhados com bases realistas, levando à viabilidade do atendimento das metas estabelecidas pelas políticas públicas (ABRELPE, 2016). Este panorama disponibiliza dados referentes à geração, coleta e disposição final dos resíduos sólidos no Brasil.

Na Figura 3 é possível observar etapas que podem ser utilizadas para a redução e reaproveitamento de resíduos sólidos.

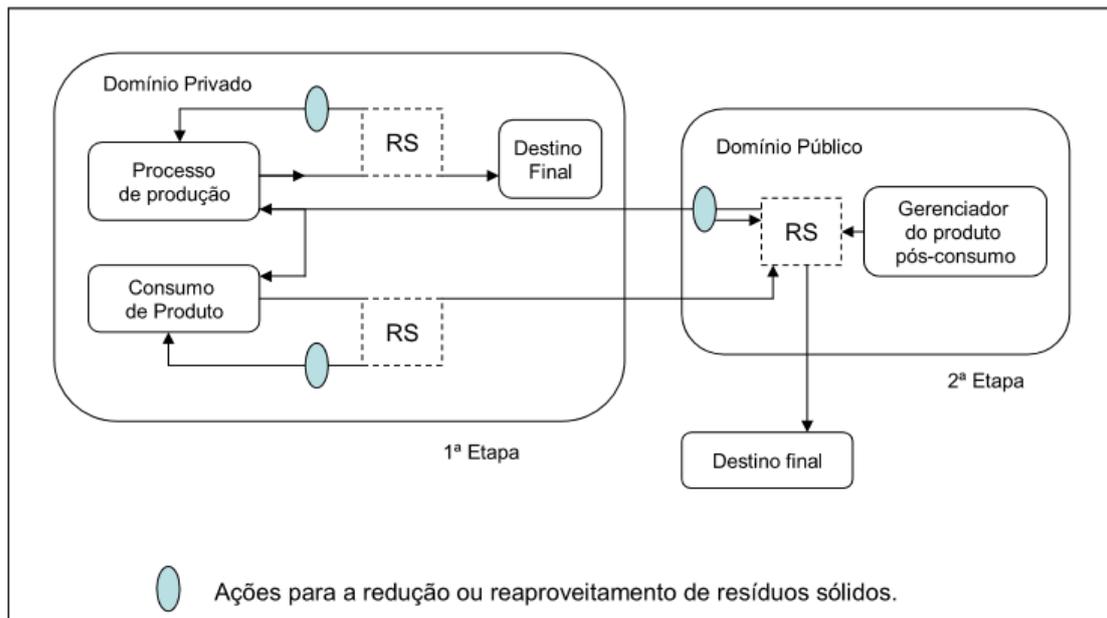


Figura 3 - Sugestão de etapas de redução e reaproveitamento de resíduos

Fonte: CASTILHOS JR. (2003)

2.2.1 Classificação dos resíduos sólidos

Existem principalmente duas classificações para os resíduos sólidos, sendo estas quanto à sua origem, baseada na lei N° 12.305 do ano de 2010 (BRASIL, 2010), e quanto à sua periculosidade, baseada na Norma Brasileira (NBR) 10.004/2004 (ABNT, 2004), conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1- Classificação dos resíduos sólidos

Classificação dos Resíduos	Quanto à origem:	Resíduos Sólidos Urbanos
		Resíduos Sólidos Industriais
		Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde
		Resíduos de Construção Civil
	Quanto à periculosidade:	Classe I – Resíduos Perigosos
		Classe II – Resíduos não Perigosos

Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

A lei N° 12.350/2010 (BRASIL, 2010), como pode ser observado no Quadro 1, apresenta quatro classificações para os resíduos quanto à sua origem. Os resíduos sólidos urbanos são os oriundos da limpeza pública e os gerados na vida cotidiana das

residências e dos comércios. Os resíduos sólidos industriais, como o próprio nome já indica, são os oriundos das atividades industriais. Já os resíduos sólidos de serviço de saúde são os produtos não residuais e não reutilizáveis resultantes das atividades exercidas por estabelecimentos de serviços de saúde, que são classificados pela NBR 12.808/93. Por fim, os resíduos sólidos de construção civil, os quais são gerados nas construções, demolições, reformas e reparos de obras da construção civil, assim como a preparação e escavação de terrenos.

A NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais que podem causar ao meio ambiente e à saúde, ou seja, quanto à sua periculosidade, apresentando duas classes, como podem ser vistas na Figura 4. Os resíduos de classe I são os considerados perigosos devido às suas propriedades, sejam: física, química ou infectocontagiosa, pois estas oferecem riscos à saúde pública ou meio ambiente quando manuseados incorretamente (MONTEIRO et al., 2001). Já os resíduos de classe II são os não perigosos pois apresentam características de solubilidade ou biodegradabilidade, porém não podem se enquadrar na classe anterior (RIBEIRO & MORELLI, 2009).

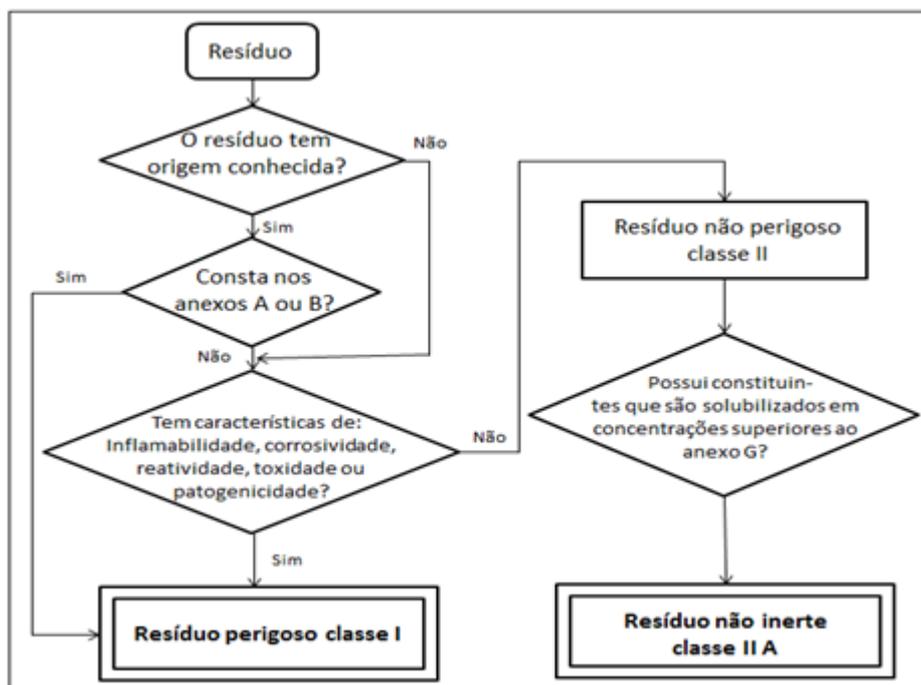


Figura 4 - Classificação dos resíduos sólidos

Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

2.2.2 Tratamento e disposição final de resíduos

Acredita-se que o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos buscam modificar as suas características como patogenicidade, quantidade e toxicidade, com o intuito de reduzir os impactos sobre a saúde pública e o meio ambiente (PHILIPPI JR. & AGUIAR, 2005).

Para Jardim et al. (1995) não se pode considerar o tratamento dos resíduos como um sistema de destinação final completo ou definitivo, já que sempre haverá um excedente que não será aproveitado. Porém, há vantagens ambientais e econômicas na realização destes processos, dentre elas podem-se citar a economia de energia, diminuição da poluição do ar e das águas, valorização do lixo como forma de viabilizar a conservação de matérias-primas, inertização de resíduos sépticos, e um dos fatores mais importantes, a escassez de áreas para a destinação final dos resíduos.

Fade (2014) acredita que não existem tecnologias de tratamento melhores que outras, e sim tecnologias apropriadas que levam em consideração os aspectos ambientais, sociais e econômicos da localidade que será adotada.

O Art. 36 da lei 12.305/2010 afere que cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos presentes no plano municipal de gestão integrada dos resíduos sólidos, implementar procedimentos como sistema de coleta seletiva, reciclagem, adoção de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos, entre outros (BRASIL, 2010).

Gouveia (2012) acredita que a reutilização dos resíduos sólidos como insumos reinseridos nos processos produtores podem gerar benefícios diretos e indiretos. Os diretos estão ligados à diminuição da poluição ambiental causada pelos aterros e depósitos de lixo, já os indiretos estão ligados à conservação de energia.

A lei 12.305/2010 conceitua destinação final ambientalmente adequada, a qual é voltada para os resíduos sólidos, e disposição final ambientalmente adequada, a qual é voltada para rejeitos (BRASIL, 2010).

Antes de abordar estes dois temas, vale ressaltar o significado de rejeito. Rejeitos são todos os resíduos que já passaram por todos os processos tecnológicos de tratamento e recuperação e que não podem ser utilizados em outra atividade a não ser a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Segundo Phillipi Jr. e Aguiar (2005), é preciso de rigorosos critérios de seleção para as áreas de disposição final, como evitar as áreas com fraturas rochosas, área de proteção de mananciais, com solo muito permeável, sujeitas a instabilidades sísmicas, pois estes fatores facilitam a contaminação desse solo.

A coleta seletiva é definida como a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua composição ou constituição, com outras palavras, pode-se dizer que é a coleta de materiais separados anteriormente para possível reciclagem (BRASIL, 2010). Ribeiro e Lima (2000) afirmam que a coleta seletiva tem um papel importante na geração de postos de trabalho, pois absorve os “catadores de lixo”, colocando-os em uma atividade com condições de salubridade controlada além de ser mais rentável.

Reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos alterando suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com o intuito de transformá-los em novos produtos ou insumos (BRASIL, 2010). Porém, esta não é uma única solução isolada e só funcionará se estiver inserida em uma gestão integrada de resíduos sólidos (CORNIERI & FRACALANZA, 2010).

A compostagem, segundo Kiehl (1998), é um processo controlado de composição microbiana de oxigenação e oxidação de uma massa heterogênea de uma matéria orgânica, sendo esta no estado sólido e úmido. É classificada em quatro fatores: temperatura, aeração, ambiente, e tipo de processamento. Tem como vantagem a transformação da matéria orgânica em ração animal ou adubos além de minimizar o envio de resíduos para aterros, porém, há produção de mau cheiro, insetos e roedores. É dividida em duas fases, a primeira é a de tratamento mecânico e a segunda é a que o material é fermentado em leiras. A Figura 5 apresenta o processo de compostagem realizado pelas usinas.

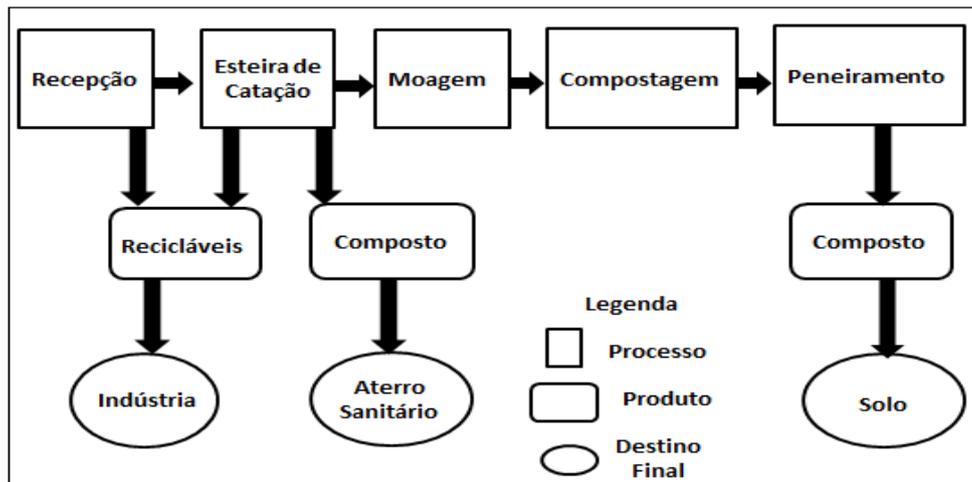


Figura 5 - Fluxograma do processo de compostagem em usinas

Fonte: GALVÃO JR. (1994)

O ato de empilhamento de resíduos e colocar fogo ao ar livre são práticas realizadas há vários séculos, e estas têm o objetivo de evitar que a matéria orgânica entrasse em decomposição evitando a presença de moscas, baratas, ratos e o mau cheiro. A incineração é baseada no método de decomposição térmica, a qual torna o resíduo menos volumoso e tóxico (LIMA, 1995). É vantajosa por reduzir em até 15% do peso original e 5% do volume do resíduo, reduzem os impactos ambientais, não depende das condições ambientais e faz com que seja possível a recuperação da energia presente no resíduo. Porém, exige um alto custo de operação e manutenção, logo é necessária uma mão de obra especializada e consequentemente um investimento alto (LEITE, 1997).

Os aterros sanitários têm três classificações: aterro comum, aterro controlado e aterro sanitário. O aterro comum é inadequado, pois é meramente o descarte de resíduos sobre o solo, onde não há adoção de medidas de proteção tanto para a saúde pública como ao ambiente, tem como característica ser um processo barato e rápido, porém contamina o solo, água, ar, além de favorecer a proliferação e sobrevivência de roedores e insetos (JARDIM et al., 1995).

A diferenciação do aterro controlado para o aterro comum é que os controlados recebem diariamente uma cobertura de terra, reduzindo assim o mau cheiro, o impacto visual e a proliferação de animais. Além disso, alguns apresentam sistema de captação e drenagem do chorume e realizam a queima do biogás (ANVISA, 2006).

Os aterros sanitários são as instalações mais adequadas para a disposição dos resíduos sólidos urbanos, quando se deseja causar o menor impacto socioambiental. O

terreno utilizado é impermeabilizado com argila e mantas de PVC e o lixo é aterrado todos os dias, dificultando o acesso de vetores de doenças e proliferação de animais. A captação e drenagem do chorume são realizadas para que o mesmo seja devolvido ao meio ambiente sem risco de contaminação. Além disso, é realizada a captação do biogás através de tubulações, que será queimado e poderá ser utilizado para gerar energia.

Para avaliar a eficácia dos aterros sanitários, poços de monitoramento são abertos próximo aos aterros para que a qualidade da água seja avaliada constantemente. Apresentam vida útil curta, 20 anos, e mesmo depois de desativados, continuam produzindo gases e chorume, devido a isso, a área ainda deve ser monitorada e posteriormente recuperada (ANVISA, 2006).

A inertização tem a função de modificar as propriedades e características dos resíduos perigosos, para que eles se tornem menos tóxicos e solúveis, fazendo com que estes se tornem menos perigosos. Esta operação se dá pela fixação dos elementos tóxicos em uma matriz por reações químicas (CETREL-LUMINA, 2013).

Já a estabilização ou solidificação ocorre quando um material incorpora um resíduo perigoso com o objetivo de se obter uma matriz que seja sólida e altamente impermeável, a fim de manter os resíduos em sua estrutura. Os agentes mais utilizados são: materiais cerâmicos, cimento, cal, materiais termoplásticos, materiais abrasivos, polímeros orgânicos e materiais absorventes (OLIVEIRA, 2003).

2.2.3 Reaproveitamento de resíduos na indústria cerâmica

Assim como já citado anteriormente, a indústria cerâmica e os materiais cerâmicos são um dos agentes que mais utilizam e incorporam resíduos urbanos e industriais. Como sua produção é em larga escala, a incorporação de diferentes tipos de resíduos se torna viável. Essa incorporação é realizada quando agrega vantagens para a indústria, como melhora da qualidade da cerâmica e biocerâmica, ou melhora do processo (SOUZA, 2007).

Menezes et al. (2002) afirma que diversas instituições de pesquisa estão se interessando em estudar a reutilização de resíduos resultantes de diversos processos industriais. Assim, estes estão sendo aplicados na fabricação de novos produtos cerâmicos, como as cerâmicas, biocerâmicas e biocimentos. Assim, esses resíduos podem ter potencialidades como tipo e qualidade do resíduo, custo com tratamento e

disposição, tecnologia, e não menos importante e conseqüentemente o impacto econômico e ambiental da reciclagem.

Almeida (2018) desenvolveu e caracterizou uma nova rota para obtenção do biocimento de fosfato de cálcio utilizando resíduo sólido proveniente da indústria de rochas ornamentais, especificamente o resíduo de mármore.

Leite (2018) avaliou a possibilidade de reaproveitamento do resíduo lama de cal proveniente de celulose na produção de material de silicato de cálcio para isolamento térmica.

Souza (2017) buscou avaliar a possibilidade do reaproveitamento do resíduo sólido, proveniente do tratamento de gás natural na unidade de Sulfatreat em de cerâmica vermelha.

Nicolite (2017) teve como objetivo avaliar as alterações no processamento e nas propriedades físicas e químicas, bem como, na microestrutura das peças cerâmicas incorporadas com resíduo oriundo da etapa de eletrofusão da alumina utilizada na fabricação de grãos abrasivos.

Ribeiro (2017) avaliou a possibilidade de incorporação de resíduo de cinza de madeira na fabricação de tijolo do tipo solocimento, e teve ênfase especial na formulação, processamento e ao efeito da adição do resíduo de cinza nas propriedades técnicas e microestrutura do tijolo solocimento.

Santos (2016) utilizou os resíduos de cinzas de serragem de madeira, material não plástico e foi usado como matéria-prima alternativa no próprio processo produtivo de cerâmica vermelha, reduzindo custos. Gomes (2016) também utilizou o mesmo resíduo gerado após o ciclo de queima na formulação de massas cerâmicas para piso cerâmico vitrificado de alta qualidade.

Busch (2016) incorporou o resíduo proveniente da etapa de lapidação do vidro, vidro sodo-cálcico, no processo produtivo de cerâmica vermelha, reduzindo o volume de matéria-prima natural extraída, das emissões de poluentes e o consumo de energia, refletindo em conservação de recursos naturais.

Delaqua (2016) investigou a incorporação da macrófita aquática *Salvina auriculata* Aubl., utilizada em fitorremediação de efluentes líquidos na indústria de cerâmica vermelha.

Carvalho (2015) obteve um produto com incorporação de resíduo de rocha ornamental gerado e não consumido de alto valor agregado e dentro das especificações técnicas na indústria cerâmica.

Faria (2015) avaliou a possibilidade de aproveitamento de resíduo de pó de borracha, proveniente da recauchutagem de pneus usados, destinado à incorporação em cerâmica vermelha.

Areias (2015) buscou avaliar a incorporação do lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) visando o aproveitamento deste resíduo, melhorar as propriedades tecnológicas e corrigir a plasticidade das argilas de Campos dos Goytacazes/RJ. Já Camargo (2014) avaliou o potencial de incorporação de lodo de estação de tratamento de água na composição de massa cerâmica vermelha também do mesmo município.

Como a geração de resíduos envolve custos, uma vez que é preciso tratar e possibilitar a disposição adequada a este, o panorama se alterou, as empresas estão passando a tomar ações preventivas ao alterar o seu processo produtivo e passando a utilizar tecnologias mais limpas (FERNANDES et al., 2003).

2.3. Resíduo da casca de ovo

A industrialização dos ovos, como ovos em pó, congelados e líquidos, fez com que agregasse mais valor econômico, assim como a facilidade para conservar e transportar, além de aumentar a sua vida útil. Porém, com esses novos processos, a geração de cascas aumentou para um número expressivo, ainda sendo vistas como resíduos (EMBRAPA, 2017).

O Brasil produziu, segundo a Embrapa (2017), aproximadamente 39,2 bilhões de unidades de ovos de galinha no ano de 2016. Sabe-se que há uma variação no tamanho, cor, peso e tipos de ovos, porém, o ovo tipo industrial, que é o considerado neste trabalho, pesa em média 45 gramas por unidade (UFBA, 2018). Fazendo o cálculo em peso, encontra-se o montante de produção de aproximadamente 1,8 bilhões de toneladas de ovos. Como a casca, constitui 10% do peso do ovo, há uma geração de 180 milhões de toneladas de resíduo.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresenta o indicador POG – Produção de Ovos de Galinha, o qual tem o objetivo de verificar a variação da produção

física de ovos de galinha, considerando as granjas que apresentam capacidade para 10.000 ou mais galinhas alojadas como unidade de medida (IBGE, 2018).

O relatório “Estatísticas da Produção Pecuária”, elaborado pelo IBGE, publicado em março de 2017, afirma que a produção no quarto trimestre de 2016 foi de 799,33 milhões de dúzias. A Figura 6 demonstra a produção em milhões de dúzias em uma distribuição temporal do primeiro trimestre de 2011 até o quarto trimestre de 2016.

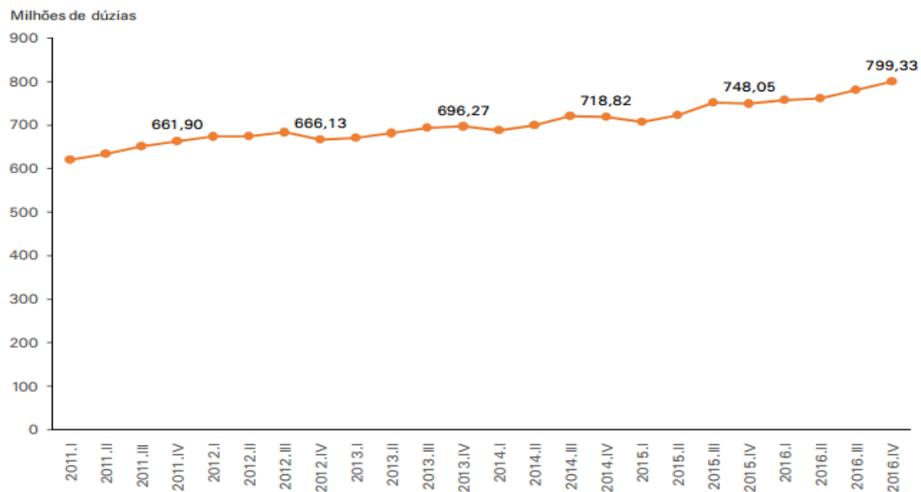


Figura 6 - Evolução da produção de ovos de galinha por trimestre

Fonte: IBGE (2017)

Nota-se a crescente produção com o passar dos anos, de 2015 para 2016 houve um aumento na produção de 51,28 milhões, fato este consequente do aumento da quantidade de granjas dos estados brasileiros. São Paulo é o maior produtor de ovos dentre os estados, com 29,52%, seguido de Minas Gerais com 9,77% e Paraná em terceiro 9,31%, como pode ser observado na Figura 7 (EMBRAPA, 2017). Assim, o Brasil torna-se um gerador de enormes quantidades de resíduos de casca de ovo, derivados majoritariamente da indústria alimentícia.

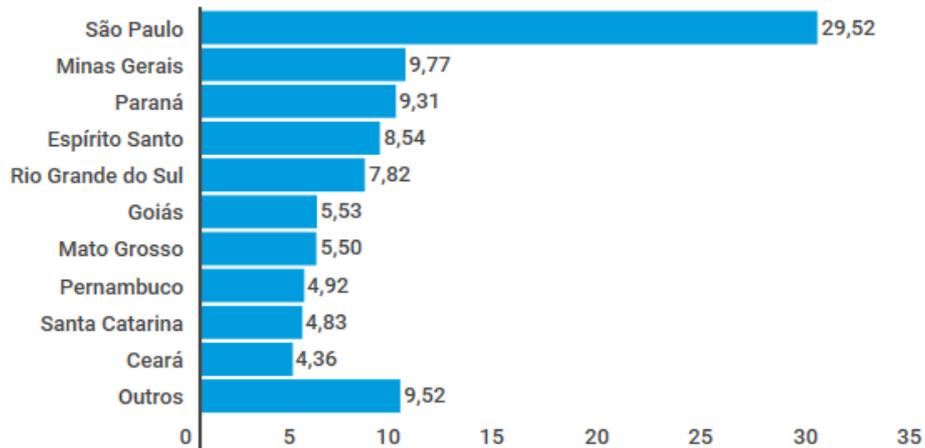


Figura 7 - Produção de ovos de galinha no ano de 2016 (%)

Fonte: EMBRAPA (2017)

Segundo dados da Embrapa (2017), o Brasil está no 4º lugar mundial na produção de ovos, com montante de 39,2 bilhões de unidades, em relação ao ano de 2015 houve um aumento de 2,4% na produção nacional. Também é o 4º lugar mundial na exportação, com 732,9 mil toneladas exportadas, quando comparado ao ano de 2015 obteve o aumento de 32% na exportação.

A Associação Brasileira de Proteína fez um rastreio da produção brasileira de ovos em unidades do Brasil, do ano de 2010 ao ano de 2016. Essas informações são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção Brasileira de Ovos (Unidades)

Produção Brasileira de Ovos	
Ano	Unidades
2010	28.851.931.850
2011	31.554.292.134
2012	31.775.108.157
2013	34.120.752.431
2014	37.245.133.102
2015	39.511.378.639
2016	39.181.839.294

Fonte: ABPA (2018)

Quanto às exportações realizadas pelas unidades de Federação, Minas Gerais lidera essa lista com 40,09% seguido do Rio Grande do Sul, com 33,48%, vide Figura 8.

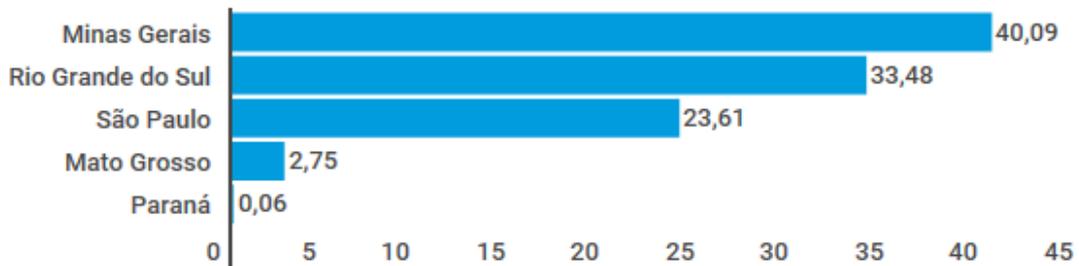


Figura 8 - Exportação de ovos de galinha no ano de 2016 (%)

Fonte: EMBRAPA (2017)

O Salão Internacional de Avicultura, em Atualidades da Produção Mundial de Ovos, liberou uma projeção até 2030 no crescimento da produção de ovos nos países em desenvolvimento mais acentuado, apresentado na Figura 9 (SIAV, 2013). Nota-se um crescimento a partir do ano de 2015. A produção mundial está representada em verde e a produção dos países em desenvolvimento está representada em amarelo.

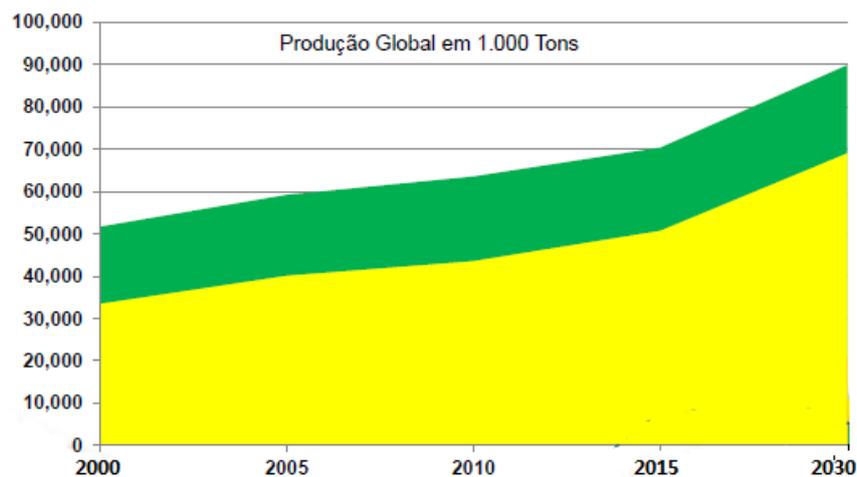


Figura 9 - Projeção de produção de ovos para o ano de 2030

Fonte: SIAV (2013)

A Embrapa (2017) divulgou o consumo brasileiro de carnes e ovos per capita do ano de 2016, onde se consome 41 Kg de frango e 190 unidades de ovos.

A composição química da casca de ovo é uma questão para alguns autores. Para Caliman (2011), a casca de ovo é composta essencialmente por materiais cerâmicos, majoritariamente por carbonato de cálcio (94% em massa), e pequenas quantidades de matéria orgânica (4% em massa), fosfato de cálcio (1% em massa) e carbonato de magnésio (1% em massa). Neves (1998) acredita que há 96% de carbonato de cálcio, 1%

de carbonato de magnésio e 1% de fosfato de cálcio. Brostow et al. (1999) disserta que há 94% de carbonato de cálcio, 1% de carbonato de magnésio, 1% de fosfato de cálcio e 4% de matéria orgânica. Já Freire et al. (2008) afirmam que há 95% de carbonato de cálcio e 5% de matéria orgânica.

A casca de ovo é composta por uma camada de carbonato de cálcio e de duas partes orgânicas, membrana e cutícula. Também contém de 7.000 a 17.000 canais de poros, os quais são dispostos de forma irregular em sua superfície, para a realização de trocas de gases e águas, conforme a Figura 10 (LACA et al., 2017).

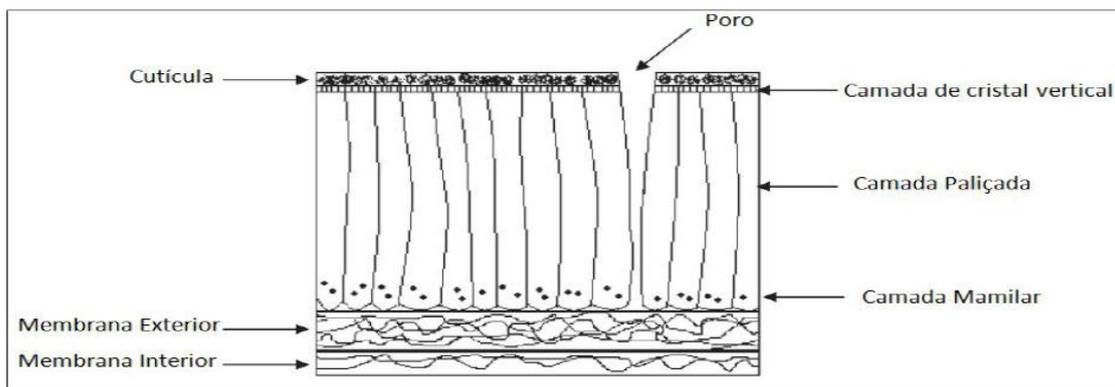


Figura 10 - Estrutura da casca de ovo

Fonte: BARBOSA et al. (2012)

Freire e Holanda (2006) acreditam que o resíduo de casca de ovo não é considerado perigoso, porém, por ter disposição direta no ambiente, faz com que este seja um agravante à saúde pública e ao meio ambiente, uma vez que este atrai roedores e insetos e promove proliferação microbiana.

Este resíduo ainda não é tão valorizado, porém, tem um valor econômico considerável agregado a ele, assim como questões ambientais que precisam ser levadas em consideração em sua valorização. Como é uma fonte alternativa de carbonato de cálcio, apresentar uma porcentagem boa de sais minerais e proteínas, diminui a exploração das reservas naturais e não renovável de rocha calcária, reduzindo a poluição ambiental, além de minimizar os riscos à saúde pública, consequentes do descarte indevido das cascas (OLIVEIRA & PARDO, 2007; CORRÊA et al. 2015).

Outro ponto que deve ser levado em consideração na valorização do uso do resíduo da casca de ovo é a redução do volume de lixo gerado e a preocupação com uma disposição ambientalmente adequada, diferentemente do que ocorre em grande parte dos

municípios, já que somente apresentam aterros comuns, mais conhecidos como lixões (FREIRE et al., 2008).

Como apresenta em sua constituição uma alta quantidade de cálcio e um custo baixo, o resíduo de casca de ovo apresenta potencialidade alta para ser utilizado como na obtenção de biomateriais cerâmicos à base de fosfato de cálcio (GOMES et al., 2012).

Murakami (2007) afirma que a casca de ovo tem sido utilizada nos processos de desenvolvimentos de produtos em diferentes ramos, na formulação de suplementos alimentares, implantes dentários e ósseos, assim como, agente antitártaro em cremes dentais, na indústria de cosmética, fertilizantes e bases cerâmicas.

Pode ser utilizado como bioissorvente para remoção de poluentes em águas residuais (OLIVEIRA et al., 2009).

A casca de ovo resultante de processos industriais também tem como destinação a agricultura, pois consegue corrigir o pH em solos ácidos, e torná-lo mais rico (MURAKAMI, 2007).

2.4. Anortita

Na indústria cerâmica, os feldspatos são os fundentes mais utilizados. Os componentes mais eficazes para propiciar a formação de fase líquida são os óxidos alcalinos (Li_2O , Na_2O e K_2O) e alcalinos terrosos (CaO e MgO) (LLORENS, 2000).

A anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), apresentada na Figura 17, é amplamente encontrada na natureza e é um mineral do grupo de feldspato chamado plagioclásios por ter em sua formulação sódio ou cálcio, e estrutura cristalina triclinica. Sua densidade teórica varia de 2,74 a 2,76 g/cm^3 (MEDVEDOVSKII et al., 1990; KOBAYASHI et al., 1994).



Figura 11 – Anortita

Fonte: PATRICK VOILLOT (2018)

É do grupo dos silicados, sendo estes os mais abundantes, os quais são subdivididos em três a partir da sua estrutura cristalina, sendo: ortoclásio (KAlSi_3O_8), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) (KLEIN & HURLBUT, 1993). Estes são apresentados no diagrama ortoclásio – albita – anortita, como pode ser visto na Figura 12.

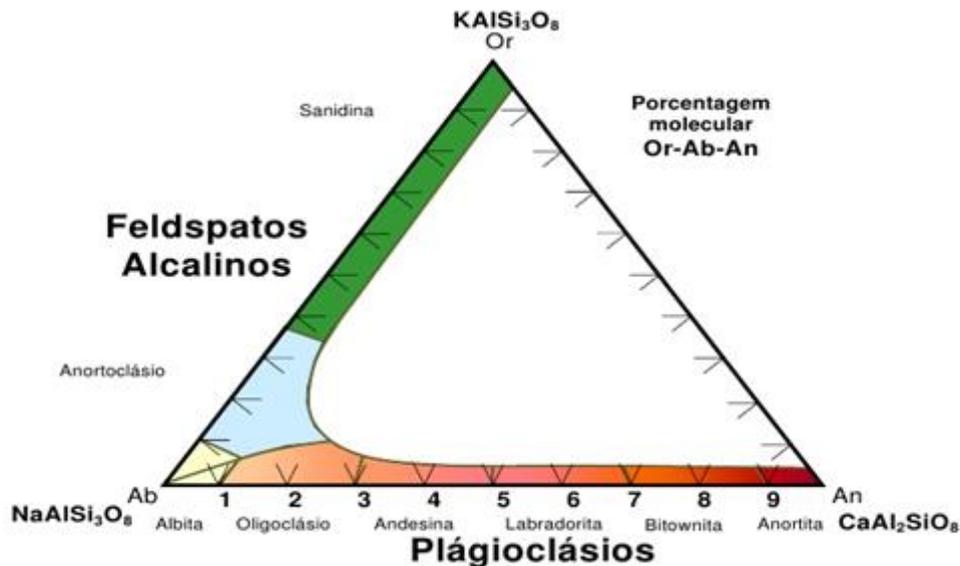


Figura 12 - Diagrama ortoclásio - albita – anortita

Fonte: KLEIN & HURLBUT (1993)

É considerado um material importante para a indústria cerâmica devida às suas propriedades físicas, como: alta resistência à temperatura e resistência ao choque térmico, baixa constante dielétrica e baixo coeficiente de expansão térmica (BALAKRISHNAN et al., 2001; KURUMA et al., 2009).

Nos vitrocerâmicos, em temperaturas acima de 800 °C, há a separação da fase líquida e a precipitação das fases sólidas, assim, a nucleação das fases cristalinas principais pode acontecer, dentre elas a anortita. Agregam propriedades como: boa resistência mecânica, resistência ao ataque químico e uma excelente resistência à abrasão (GOMES, 1999; DUAN et al., 1998).

Sua preparação normalmente se dá por processos de desvitrificação controlada de vidro, também podendo ser obtida por adição de um agente de nucleação (RYU et al., 1994; PARK et al, 1996), ou a partir de misturas de carbonato de cálcio e caulim, que é o objetivo principal deste trabalho (KOBAYASHI et al., 1994; KOBAYASHI et al., 1997).

Cheng et al. (2011) afirmam que a anortita tem um ponto de fusão de 1552°C, o que faz com que a sua sintetização seja relativamente difícil a baixa temperatura. Além de apresentar índice de refração de 1,58, entre a fase cristalina e a fase vítrea, assim uma cerâmica à base de anortita apresenta excelente propriedade de translucidez, apresentando uma aparência que pode ser comparada à porcelana. Assim, sendo aplicada em louças de porcelana para melhorar o desempenho do serviço e qualidade de decoração.

A anortita apresenta várias aplicações como ser utilizada para a produção de vitrocerâmicos, por um material biocompatível que apresenta propriedades interessantes, como a degradação de acordo com a variação do pH alcalino e ácido no meio em que se encontra, podendo ser aplicada na engenharia, mais precisamente na bioengenharia (NEVES, 2002). Assim, tem aplicações clínicas, quando é necessário que o material degrade em contatos com fluidos biológicos (CAVALHEIRO, 2005). Além da indústria eletrônica, como permutadores de calor industriais (CHOUJA et al., 2015).

Podem ser utilizadas na área da odontologia e na ortopedia, na reparação de cartilagens e ossos (AZEVEDO et al., 2007; KNETS, 1987).

Os vitrocerâmicos anortita podem ser aplicados na construção civil com os pavimentos cerâmicos, como placas de fixação de fratura óssea, encapsulamento de fármacos (NEVES et al., 2002; NEVES et al., 2001).

Silveira (2007), assim como Fernandes et al. (2003), utilizou um vitrocerâmico anortita como um sistema da liberação de fármacos, produziu cápsulas através da fusão de matérias-primas puras que contêm óxidos de silício, alumínio e cálcio, em porcentagens definidas para a formação de vidros e subsequente cristalização controlada. As cápsulas apresentam as metades com aspectos diferentes, vide Figura 19, a de forma vítrea à esquerda e a cristalizada à direita, a que corresponde ao vitrocerâmico anortita, a metade que sofreu o processo de cristalização.



Figura 13 - Cápsulas para liberação de fármacos

Fonte: SILVEIRA (2007)

Muitos estudos foram realizados com o intuito de preparar cerâmicas de baixo custo, para isso, algumas matérias-primas foram utilizadas como: argila, osso, quartzo, dolomita, calcita, caulim (HARABI et al., 2017).

Para o desenvolvimento deste estudo, optou-se por realizar a obtenção de suporte cerâmico poroso à base de anortita preparada a partir do caulim e resíduo de casca de ovo como fonte de carbonato de cálcio. A escolha destes materiais foi devido à abundância, são economicamente viáveis e o fator ambiental, uma vez que o resíduo será reaproveitado em um processo, diminuindo a poluição ambiental e evitando a disposição deste resíduo, minimizando os riscos à saúde pública.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Capítulo são descritos os materiais e métodos empregados nessa pesquisa de mestrado, que envolvem diversas etapas relacionadas tanto com as matérias-primas, quanto com o processamento e ensaios utilizados. A Figura 14 apresenta o fluxograma experimental seguido no desenvolvido da presente dissertação para a obtenção de material cerâmico à base de anortita a partir de resíduo de casca de ovo.

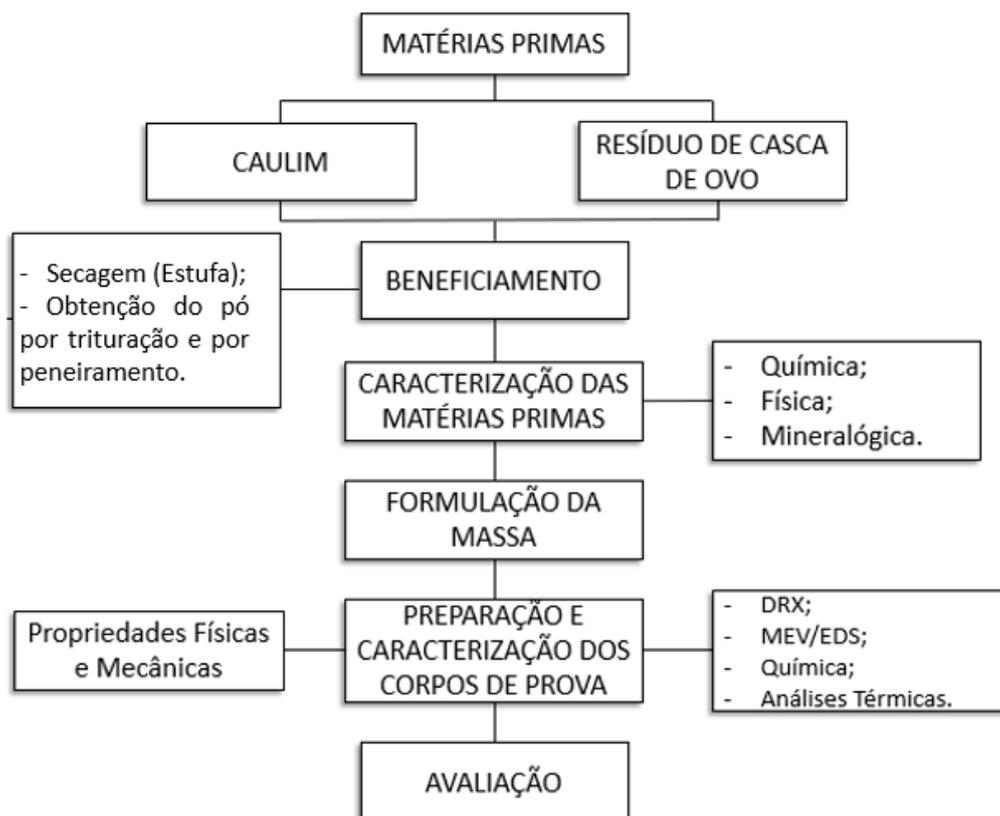


Figura 14 - Fluxograma de etapas envolvidas no procedimento experimental

3.1. Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas neste trabalho para a obtenção do suporte cerâmico à base de anortita são: caulim, como fonte de material argiloso, e o resíduo de casca de ovo, utilizado como fonte de cálcio.

O caulim é uma matéria-prima comercial fornecida pela empresa Armil – Mineração do Nordeste, localizada em Parelhas no Rio Grande do Norte (RN).

O resíduo de casca de ovo utilizado foi obtido através da coleta em uma fábrica de chuveiros com alta produção no município de Campos dos Goytacazes, situado no Norte do estado do Rio de Janeiro.

3.2. Metodologia

3.2.1 Beneficiamento das matérias-primas

O caulim fornecido é na granulometria de 325 mesh (ASTM, < 44 μm) e foi seco em uma estufa a 110 °C durante 24 h.

O resíduo de casca de ovo sem a retirada da membrana passou por secagem em estufa a 110 °C durante 24 h. Após este processo, foi moído em um moinho de bolas marca Gardelin durante 4 horas e peneirado para 150 mesh (< 106 μm).

Após o beneficiamento, fez-se o tratamento térmico de calcinação de parte do resíduo de casca de ovo in natura a temperatura de 1000 °C durante 3 horas com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, assim como proposto por Guedes (2014).

Os pós resultantes do processo de beneficiamento foram armazenados, separadamente, em frascos de vidros, sendo os materiais necessários para a obtenção do suporte cerâmico poroso à base de anortita.

3.2.2 Caracterização das matérias-primas

3.2.2.1 Difração de raios X

A análise mineralógica qualitativa dos minerais presentes, tanto no caulim quanto no resíduo de casca de ovo foi realizada através da difração de raios X (DRX), utilizando-se radiação monocromática de Cu-K α à velocidade de 3° por minuto, e varredura de 2 θ variando de 10° a 75°, em um difratômetro convencional (Shimadzu, modelo XRD 7000). As fases cristalinas foram identificadas por comparação entre as intensidades e as posições dos picos de Bragg com aqueles das fichas padrão PDF – *Powder Diffraction File*.

3.2.2.2 Análise química

A análise química elementar das matérias-primas utilizadas foi determinada por espectroscopia de fluorescência de raios X e espectrometria de absorção atômica. A perda ao fogo das matérias-primas foi determinada de acordo com a equação:

$$PF = \frac{M_s - M_c}{M_s} \times 100 \quad (01)$$

Onde:

PF: perda ao fogo (%);

Ms: massa da amostra seca a 110 °C em estufa (g);

Mc: massa da amostra calcinada a 1000 °C por 1 hora (g).

3.2.3 Formulação e caracterização térmica das massas cerâmicas

A formulação das massas cerâmicas para obtenção de suporte cerâmico à base de anortita foi baseada no trabalho de Zaiou et al. (2016), o qual utiliza composição de partida de 80% em massa de caulim e 20% em massa de calcita, uma vez que o presente trabalho, diferente dos autores, se propôs a usar uma fonte alternativa e renovável de calcita a fim de obter o mesmo suporte cerâmico.

No presente trabalho foram formuladas duas massas cerâmicas: i) massa cerâmica MV1: 80% em massa de caulim e 20% em massa de resíduo de casca de ovo in natura; e ii) massa cerâmica MV2: 80% em massa de caulim e 20% em massa de resíduo de casca de ovo calcinado. Ambos resíduos de casca de ovo foram usados em substituição ao material de carbonato tradicional, no caso carbonato de cálcio na forma de calcita (CaCO_3).

A análise térmica diferencial (ATD) e análise termogravimétrica (TG/DTG) das massas cerâmicas foram feitas em um analisador térmico simultâneo ATG-ATD, marca NETZSCH, JUPITER STA 449C, da temperatura ambiente até 1100 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min.

A análise térmica dilatométrica das massas cerâmicas foi realizada usando um dilatômetro da marca NETZSCH, modelo DIL 402 C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min e temperatura final de 1300 °C.

3.2.4 Preparação dos suportes cerâmicos

Os pós das matérias-primas beneficiados na proporção de trabalho de 80% caulim / 20% resíduo foram misturados a seco em um moinho de bolas, da marca Gargelin, por

15 minutos. Após mistura, as massas cerâmicas foram umidificadas, com 7% de água, e misturados novamente no mesmo moinho também por 15 minutos.

As amostras foram prensadas uniaxialmente usando pressão de compactação de 75 MPa em uma matriz de aço cilíndrica de 25 mm de diâmetro (4 g). A prensa manual utilizada é da marca MetalPEM, de 15 toneladas.

Após a compactação, as amostras passaram pelo processo de secagem a 110 °C por 24 h em estufa da marca Nova Instruments, modelo NI1512.

Para a realização da etapa de sinterização, foram selecionadas quatro temperaturas de sinterização: 900, 1000, 1100 e 1200 °C, onde para cada temperatura quatro amostras foram sinterizadas. O forno utilizado é da marca Nova Instruments, modelo NI1384, tipo mufla.

3.2.5 Ensaaios físicos e mecânicos

3.2.5.1 Absorção de água (AA)

O procedimento consiste na secagem, em estufa, dos corpos cerâmicos a 110 °C por um período suficiente para se obter um peso constante. O resfriamento é realizado em um dessecador. Os corpos cerâmicos secos são pesados e imersos em um recipiente contendo água destilada. Essa água é aquecida e mantida em estado de ebulição por 2h. Assim, após a eliminação do excesso da água superficial com um pano umedecido, os corpos cerâmicos são pesados e assim, torna-se possível calcular a absorção de água (AA) através da Equação 2.

$$AA = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (02)$$

Onde:

AA: Absorção de água (%);

Mu: Massa (g) dos corpos cerâmicos saturados com água;

Ms: Massa (g) dos corpos cerâmicos secos.

3.2.5.2 Resistência mecânica

As amostras deste trabalho foram submetidas a um ensaio de compressão diametral, para a realização da análise da resistência à tração do material, com auxílio de

uma máquina universal, marca Instron, modelo 5582, com velocidade de carregamento de 0,5mm/min. A resistência á tração foi obtida pela Equação 3.

$$\sigma_c = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times h} \quad (03)$$

Onde:

σ_c : resistência à tração (MPa);

F: carga de ruptura (N);

D: diâmetro das amostras cilíndricas (mm);

H: altura das amostras cilíndricas (mm).

3.2.5.3 Massa específica aparente

A massa específica aparente das peças sinterizadas foi determinada de acordo com a norma ASTM C 373-72 (1997), conforme a Equação dada por:

$$\rho_{ap} = \frac{M_s}{M_u - M_i} \times \rho_{\text{água}} \times 100 \quad (04)$$

Onde:

ρ_{ap} : massa específica aparente, em g/cm³;

M_u: massa (g) da peça cerâmica saturada com água;

M_s: massa (g) da peça cerâmicas seca; e

M_i: massa (g) da peça cerâmica imersa em água, medida pelo método da balança hidrostática.

$\rho_{\text{água}}$: massa específica da água a temperatura ambiente (1 g/cm³).

3.2.5.4 Porosidade aparente

A porosidade aparente das peças cerâmicas após a sinterização foi determinada de acordo com a Equação 5.

$$PA = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (05)$$

Onde:

PA: porosidade aparente, em %;

Mu: massa (g) da peça cerâmica saturada com água;

Ms: massa (g) da peça cerâmicas seca; e

Mi: massa (g) da peça cerâmica imersa em água, medida pelo método da balança hidrostática.

3.2.5.5 Perda de massa

A perda de massa das amostras sinterizadas é obtida a partir da massa seca pós-compactação e a massa pós-sinterização pela Equação 6:

$$PM = \frac{MSc - MSs}{MSc} \times 100 \quad (06)$$

Onde:

PM: perda de massa, em %;

MSc: massa (g) da peça cerâmicas seca pós-compactação; e

MSs: massa (g) da peça cerâmicas seca pós-sinterização.

3.2.5.5 Retração linear de queima

A retração linear foi determinada utilizando um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm para a medição dos diâmetros das amostras sinterizadas de acordo com a Equação 7:

$$RLq = \frac{Ds - Dq}{Ds} \times 100 \quad (07)$$

Onde:

RLq – retração linear da peça cerâmica, em %;

Ds – diâmetro da peça cerâmica antes da sinterização, em mm;

Dq – diâmetro da peça cerâmica após sinterização, em mm.

3.3. Análise microestrutural

Análise microestrutural da superfície de fratura das amostras sinterizadas foi feita via microscopia confocal a laser usando um microscópio confocal (3D Measuring Laser Microscope, Lext OLS4000).

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises mineralógica e química das matérias-primas

A Figura 15 apresenta o difratograma de raios X da amostra de caulim utilizado. Podem-se notar picos de difração das seguintes fases cristalinas: caulinita, mica e quartzo. Como esperado, a amostra de caulim apresentou caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) como a fase cristalina majoritária. O quartzo e mica são fases consideradas residuais, ou seja, proveniente da matéria-prima no seu estado natural (VIEIRA et al., 2005).

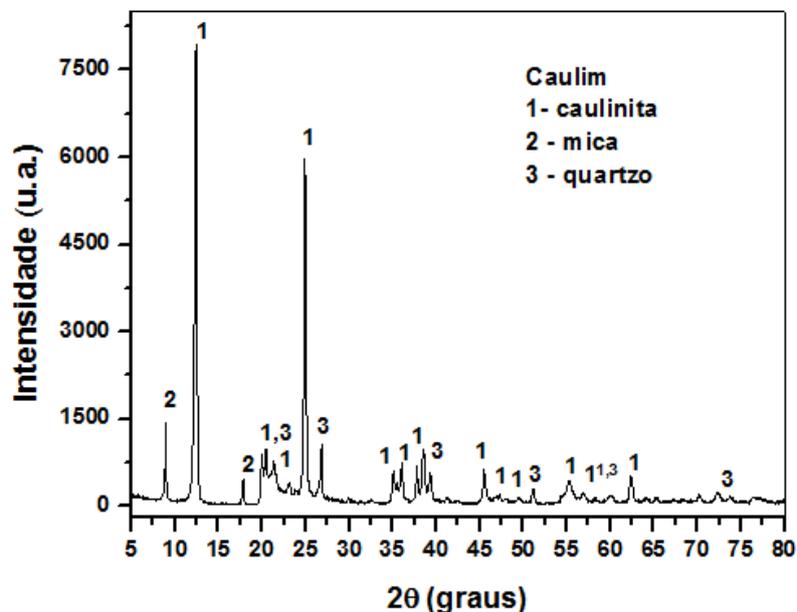


Figura 15 - Difratograma de raios X do Caulim.

A Tabela 2 apresenta a análise química da amostra de caulim. Observa-se que o caulim é composto essencialmente de óxido de silício (SiO_2) com 46,99% em massa e óxido de alumínio (Al_2O_3) com 39,00% em massa. Traços de óxidos de Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Ti foram também detectados. A perda ao fogo correspondeu a 12,90% em massa, a qual está relacionada principalmente a desidroxilação da caulinita. Tais resultados estão bem correlacionados com a análise por difração de raios X que apontou a caulinita como o componente principal do caulim, conforme mostrado na Figura 15.

Tabela 2 – Análise química da amostra de caulim.

Análise Química	
Componentes	Valor (% em massa)
Al ₂ O ₃	39,00
CaO	<0,05
Fe ₂ O ₃	0,27
K ₂ O	0,64
MgO	<0,05
MnO	<0,05
Na ₂ O	0,06
P ₂ O ₅	0,09
SiO ₂	46,99
TiO ₂	<0,05
*P.F.	12,90

* P.F. = perda ao fogo

Na Figura 16 é apresentado o difratograma de raios X da amostra do resíduo de casca de ovo *in natura* em forma de pó. Pode-se observar que todos os picos de difração são característicos do carbonato de cálcio na forma de calcita (CaCO₃), a qual apresenta estrutura romboédrica, e à temperatura ambiente é a forma termodinamicamente mais estável de CaCO₃ (FREIRE, 2006).

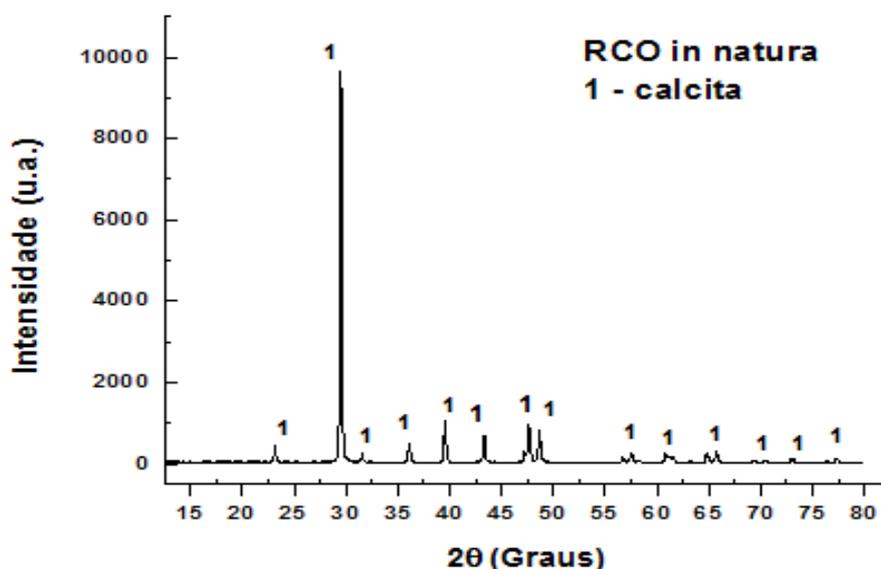


Figura 16 - Difratograma de raios X do resíduo de casca de ovo *in natura*.

A análise química do resíduo de casca de ovo *in natura* e sua perda ao fogo são apresentadas na Tabela 3. Nota-se que tal resíduo é constituído majoritariamente de óxido de cálcio (CaO), uma vez que o carbonato de cálcio (CaCO₃) tem presença

fundamental. Observou-se também presença de valor inferior a 1,9% em massa de óxidos de K, S e Sr. O alto valor de perda ao fogo de 45,60% em massa é devido a decomposição da matéria orgânica presente na membrana e do carbonato de cálcio (CaCO_3) que se transforma em CaO e acarretando a liberação de dióxido de carbono (CO_2) (GUEDES, 2014).

Tabela 3 - Análise química do resíduo de casca de ovo *in natura*.

Análise Química	
Componentes	Valor (% em massa)
CaO	52,51
K_2O	0,80
SO_3	0,99
SrO	0,10
*P.F.	45,60

* P.F. = perda ao fogo

A Figura 17 apresenta o difratograma de raios X da amostra de resíduo de casca de ovo calcinado em alta temperatura. Foi constatado que o resíduo calcinado apresentou todos os picos de difração característicos de portlandita, ou seja, hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). O processo de tratamento térmico de calcinação teve como consequência a decomposição do carbonato de cálcio (CaCO_3) para óxido de cálcio (CaO) e, na sequência, a reação deste com a umidade do ar no interior da câmara do forno e formou a portlandita (PEREIRA, 2009).

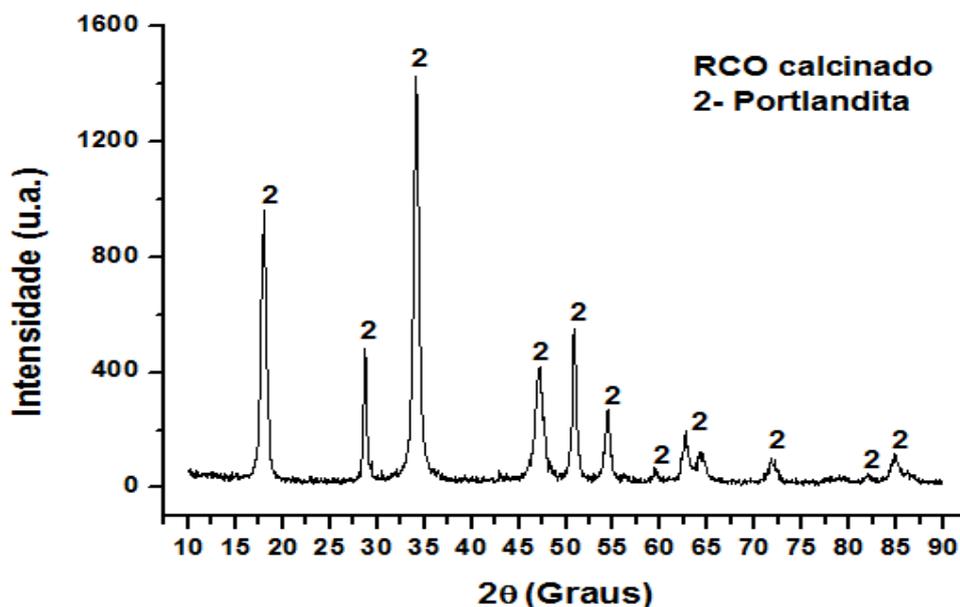


Figura 17 - Difratograma de raios X do resíduo de casca de ovo calcinado.

Os resultados de análise química e perda ao fogo para o resíduo de casca de ovo calcinado são apresentados na Tabela 3. O resíduo de casca de ovo calcinado é composto essencialmente de óxido de cálcio (CaO) com cerca de 90,61 % em massa, o qual está relacionado à decomposição da calcita durante o processo de calcinação em alta temperatura, com concomitante formação de portlandita. O valor de perda ao fogo de 8,91 % está relacionado basicamente à decomposição da portlandita formada a partir da reação do CaO com a umidade no interior da câmara do forno.

Tabela 4 - Análise química do resíduo de casca de ovo calcinado.

Análise química	
Componentes	Valor (% em massa)
CaO	90,61
SO ₃	0,42
SrO	0,08
ZrO ₂	0,01
*P.F.	8,91

*P.F. = perda ao fogo

4.2. Comportamento térmico das massas cerâmicas

As análises térmicas (ATD/ATG) das massas cerâmicas formuladas usando ambos resíduos de casca de ovo são apresentadas nas Figuras 18 e 19. O comportamento térmico para a massa cerâmica MV1 – 80% em massa de caulim + 20% em massa de resíduo de casca de ovo *in natura* (Figura 18) pode ser interpretado como segue.

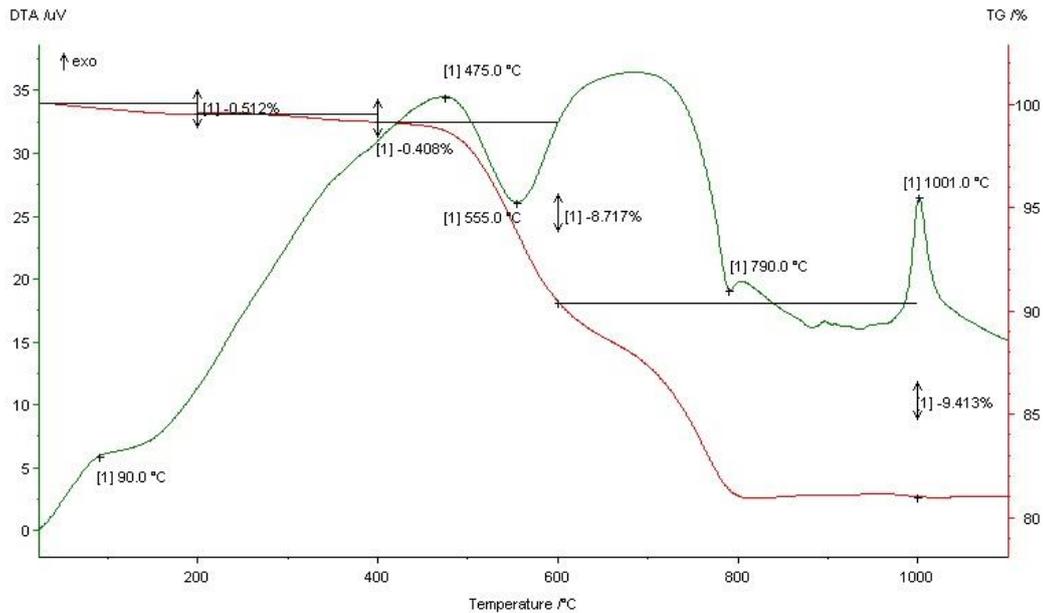


Figura 18 - Análises térmica diferencial e termogravimétrica da massa MV1.

Entre 25 °C e 180 °C, aproximadamente, ocorreu um evento endotérmico acompanhado de perda de massa de 0,512% referente à remoção da água fisicamente adsorvida.

Entre 180 °C e 400 °C, aproximadamente, observa-se um evento exotérmico relacionado à decomposição da matéria orgânica proveniente da membrana interna da casca de ovo in natura, que acarretou na perda de massa de 0,406%.

Em 555 °C ocorreu um intenso evento endotérmico relacionado ao fenômeno de desidroxilação da caulinita, a qual perde as duas moléculas de água quimicamente ligada na sua estrutura, fazendo com que este material deixe de ser cristalino e passe a ser amorfo (formação da metacaulinita), resultando na perda de massa de 8,717%.

Entre 600 °C e 800 °C observou-se a ocorrência de um evento endotérmico acompanhado de perda de massa de 9,41%, o qual está relacionada à liberação de CO₂ proveniente da decomposição do carbonato de cálcio (CaCO₃) para formação de óxido de cálcio (CaO).

E, por fim, em torno de 1001 °C ocorreu um evento exotérmico intenso relacionado à formação de novas fases cerâmicas de alta temperatura como, por exemplo, anortita, guelenita e mullita (JORDÁN et al., 2001 e TRAORÉ et al., 2003).

Já o comportamento térmico para a massa cerâmica MV2 – 80% em massa de caulim + 20% em massa de resíduo de casca de ovo calcinado (Figura 19) pode ser interpretado como segue.

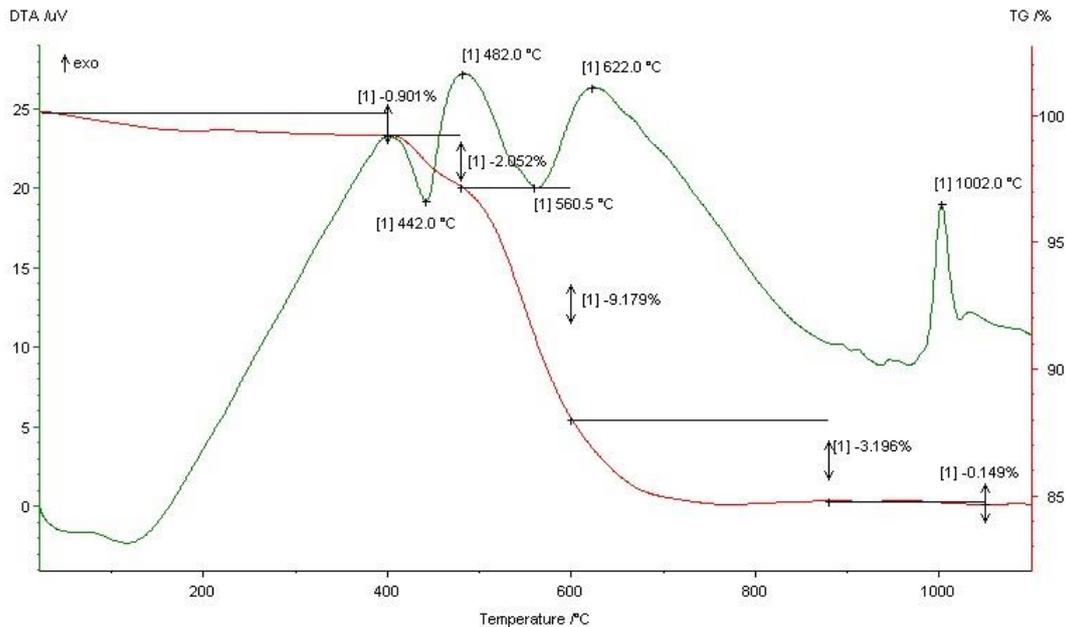


Figura 19 - Análises térmica diferencial e termogravimétrica da amostra MV2.

Entre 25 °C e 400 °C, aproximadamente, ocorreu um pequeno evento endotérmico acompanhado de perda de massa de 0,901 % referente à remoção da água fisicamente adsorvida.

Entre 400 °C e 480 °C, aproximadamente, observa-se um evento endotérmico relacionado à desidratação da portlandita com perda de massa de 2,052 %.

Em 560,5 °C ocorreu um intenso evento endotérmico relacionado à desidroxilação da caulinita para formação da metacaulinita amorfa, resultando na perda de massa de 9,179%.

Entre 600 °C e antes de 1000 °C, aproximadamente, observou-se à ocorrência de perda de massa da ordem de 3,345% provavelmente relacionado ao final dos processos de desidratação de portlandita e/ou desidroxilação de caulinita.

Em torno de 1002,0 °C observa-se um evento exotérmico relacionado à formação de novas fases cerâmicas de alta temperatura como, por exemplo, anortita, guelenita e mullita (JORDÁN et al., 2001 e TRAORÉ et al., 2003).

Os comportamentos térmicos dilatométricos das massas cerâmicas são apresentados nas Figuras 20 e 21. Especificamente, as curvas dilatométricas apresentam a evolução da sinterização em função da temperatura. Verificou-se que as massas cerâmicas apresentaram comportamento dilatométrico muito similar. As pequenas diferenças observadas podem ser atribuídas à natureza do resíduo de casca de ovo utilizado na forma *in natura* e calcinado.

Observa-se na Figura 20 que a massa cerâmica MV1 (com resíduo de casca de ovo in natura) apresentou início de retração a aproximadamente 595 °C. A partir de 900 °C, aproximadamente, observa-se que a retração se tornou mais acentuada, o qual indica que já está em pleno andamento a sinterização propriamente dita da amostra. A temperatura de máxima taxa de sinterização está em torno de 980,1 °C.

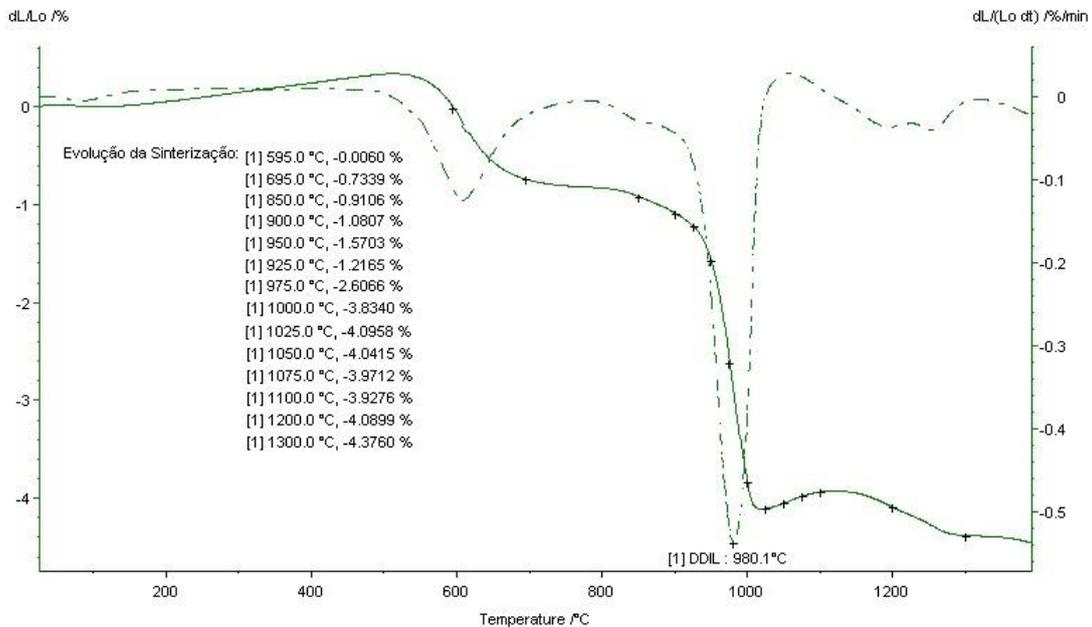


Figura 20 - Curva dilatométrica da amostra MV1.

Na Figura 21 observa-se que a massa cerâmica MV2 (com resíduo de casca de ovo calcinado) apresentou início de retração a aproximadamente 562,7 °C. A partir de 950,0 °C, aproximadamente, a retração tornou-se mais acentuada, indicando que já está em andamento a sinterização propriamente dita. A temperatura de máxima taxa de sinterização está em torno de 985,1 °C.

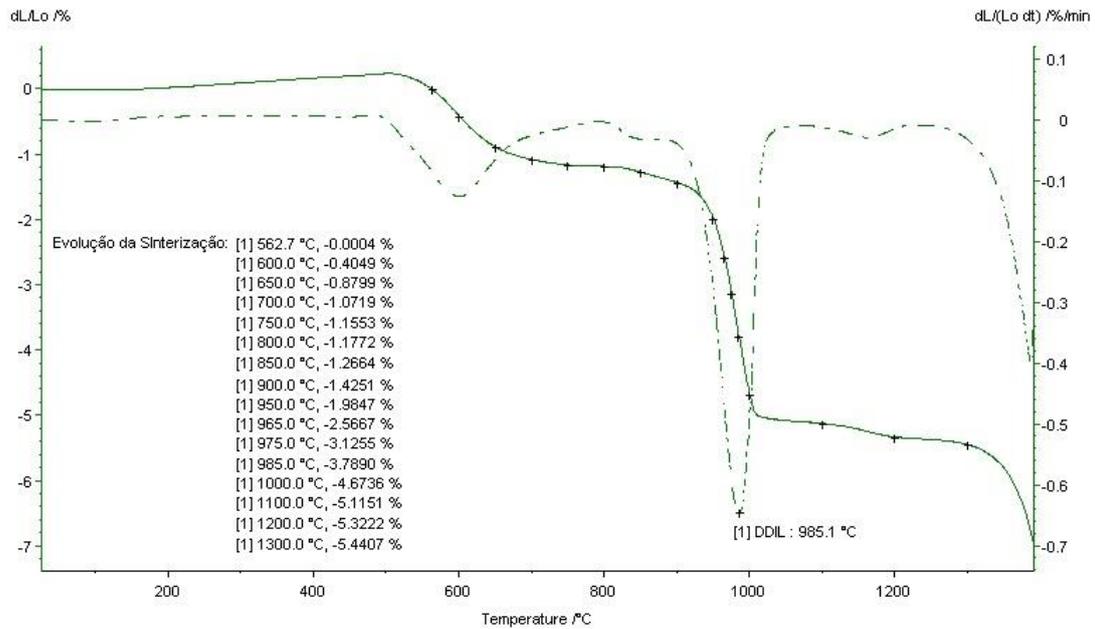


Figura 21 - Curva dilatométrica da amostra MV2.

4.3 – Caracterização microestrutural das peças cerâmicas

Para realizar a análise microestrutural da superfície de fratura das amostras sinterizadas a cada uma das quatro temperaturas (900 (A), 1000 (B), 1100 (C) e 1200 (D) °C), escolheu-se uma de cada formulação de massa MV1 (Figura 22) e MV2 (Figura 23), as quais foram observadas com um aumento de x430.

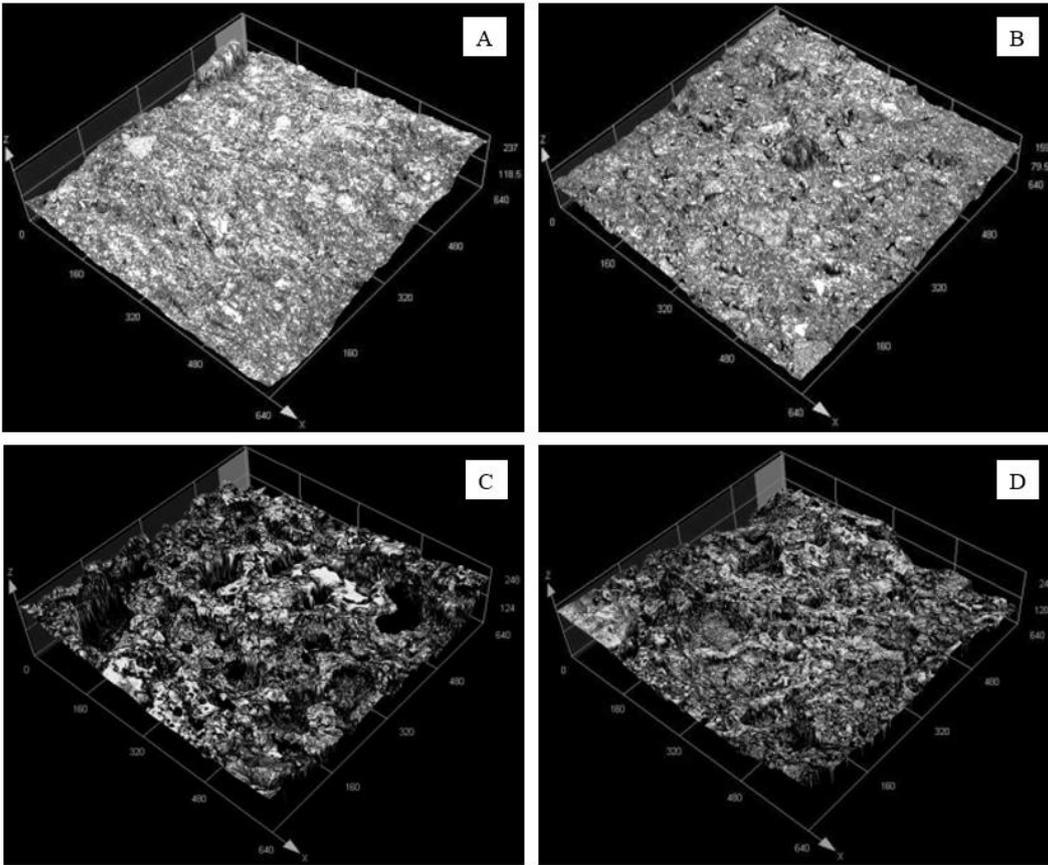


Figura 22 - Formulação de massa MV1.

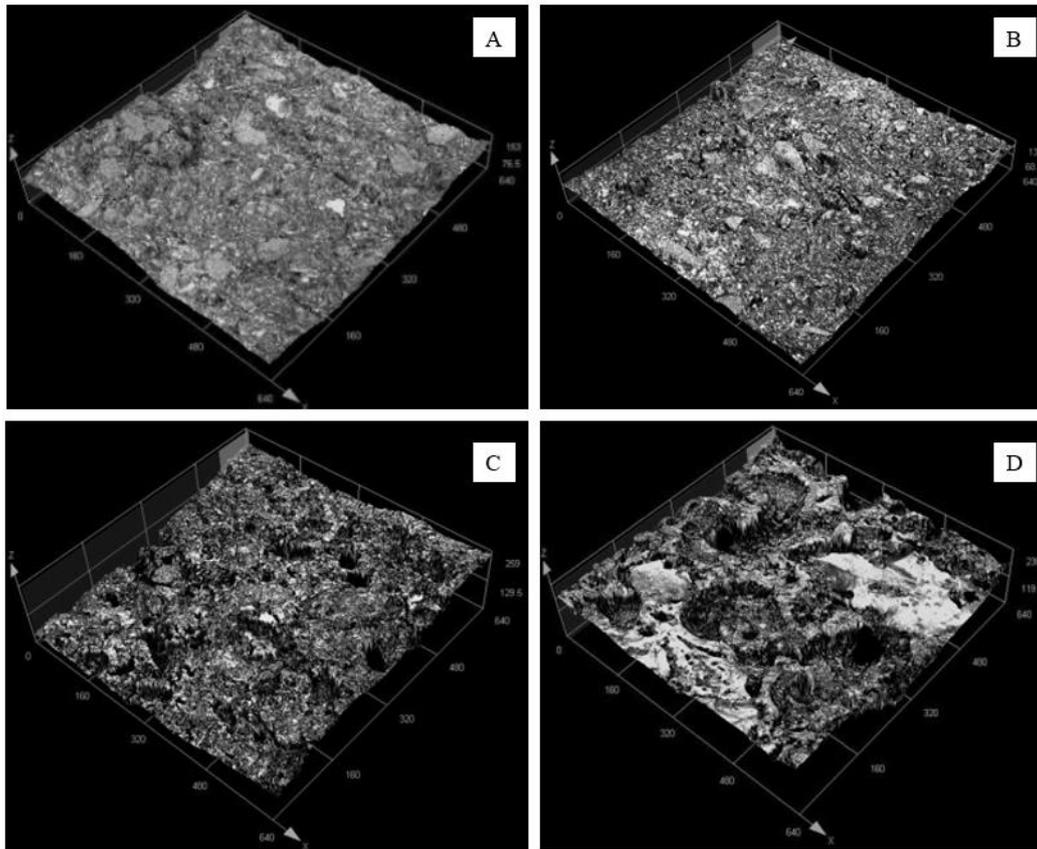


Figura 23 - Formulação de massa MV2.

As microestruturas não apresentaram grande diferença entre elas. Para todas as temperaturas de sinterização os suportes de ambas as formulações são caracterizados por uma textura rugosa e estrutura altamente porosa.

Há um número muito grande de poros abertos de diferentes tamanhos. Tais microestruturas porosas tendem a favorecer boas propriedades de filtração dos suportes cerâmicos produzidos usando resíduos de casca de ovo galináceo.

4.4. Avaliação das propriedades física e mecânica das peças cerâmicas

As Figuras 24 e 25 apresentam as peças cerâmicas sinterizadas em diferentes temperaturas para as massas cerâmicas MV1 e MV2, respectivamente. Pode-se observar macroscopicamente que todas as peças cerâmicas tratadas termicamente em 900, 1000, 1100 e 1200 °C são isentas de defeitos superficiais, trincas e manchas. No entanto, a natureza do resíduo de casca de ovo influenciou a tonalidade da cor das peças sinterizadas.

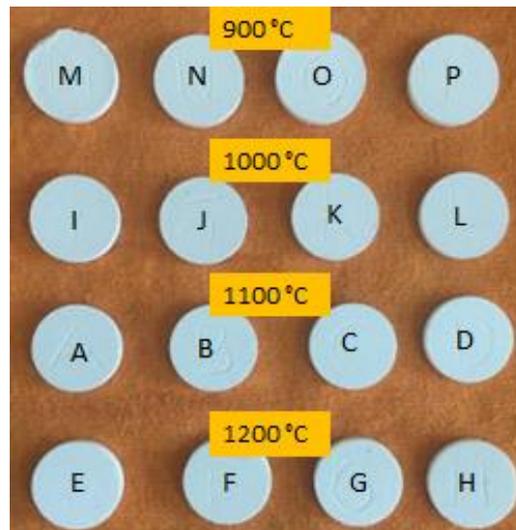


Figura 24 - Peças cerâmicas sinterizadas da massa MV1.

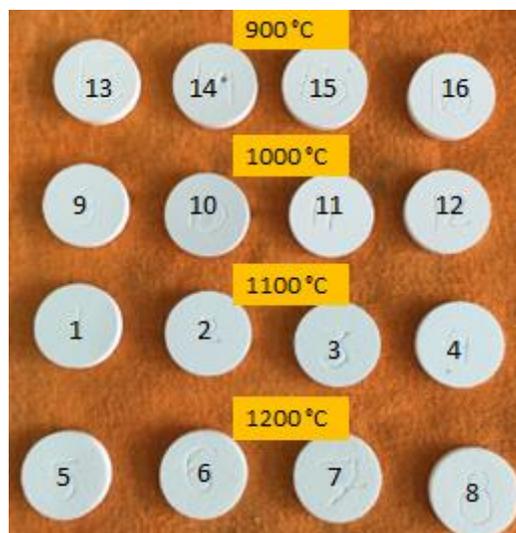


Figura 25 - Peças cerâmicas sinterizadas da massa MV2.

Na Tabela 5 são apresentados os valores de absorção de água das peças cerâmicas sinterizadas em diferentes temperaturas de sinterização para as massas MV1 e MV2. Para melhor visualização a Figura 26 ilustra o comportamento da absorção de água com a temperatura de sinterização. A absorção de água é uma importante propriedade física relacionada ao nível de porosidade aberta da peça cerâmica. Pode-se observar que ambas as massas cerâmicas apresentaram comportamento da absorção de água durante sinterização muito similar. No entanto, a natureza do resíduo de casca de ovo usado como matéria-prima de partida tende a influenciar a porosidade aberta da peça cerâmica. De fato, os valores de absorção de água para a massa MV2 (19,64 – 22,77%) são ligeiramente maiores do que aqueles para massa MV1 (18,11 – 20,46%).

Tabela 5 - Absorção de água das peças cerâmicas.

Absorção de água (%)				
Temperatura (°C)	MV1	Desvio padrão	MV2	Desvio padrão
900	18,91	0,6913	19,64	4,0197
1000	18,99	1,0938	21,06	0,5081
1100	20,46	0,7642	22,77	0,4275
1200	18,11	0,9287	20,07	0,3939

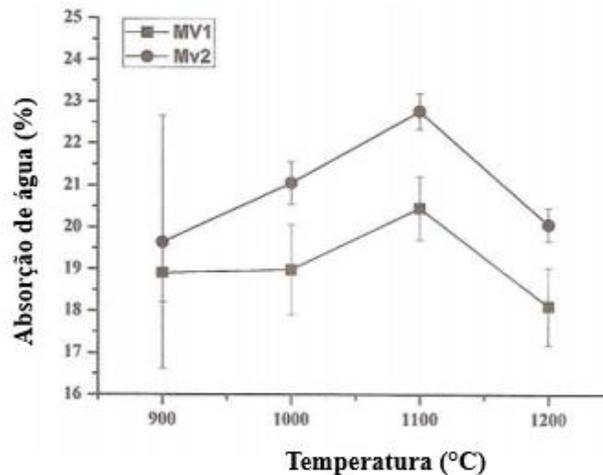


Figura 26 - Absorção de água das peças cerâmicas

O comportamento de absorção de água ligeiramente mais elevado para a formulação MV2 pôde ser observado na análise microestrutural da superfície de fratura das amostras, e por consequência, este fato é refletido na porosidade aparente das peças cerâmicas, uma vez que quanto maior for a absorção de água de um material, espera-se que haja uma porosidade aparente maior.

Na Tabela 6 são apresentados os valores de porosidade aparente das peças cerâmicas sinterizadas em diferentes temperaturas de sinterização para as massas MV1 e MV2. Para melhor visualização a Figura 27 ilustra o comportamento da porosidade aparente com a temperatura de sinterização. Como esperado, os valores de porosidade aparente da massa MV2 (31,86 – 36,26%) são ligeiramente maiores do que aqueles da massa MV1 (31,25 – 33,19%), particularmente entre 1000 e 1200 °C. Isto está de acordo com os valores de absorção de água (Figura 26). Estes resultados indicam também que, independentemente do tipo de resíduo de casca de ovo usado na formulação da massa cerâmica, as peças sinterizadas apresentam potencial para serem empregadas na fabricação de membranas de filtração (Lima et al., 2011).

Tabela 6 - Porosidade aparente das peças cerâmicas.

Temperatura (°C)	Porosidade aparente (%)			
	MV1	Desvio padrão	MV2	Desvio padrão
900	33,19	2,6017	31,86	4,6871
1000	31,25	1,4282	34,16	0,7203
1100	33,06	1,1668	36,26	0,3801
1200	31,46	5,3898	31,86	0,5083

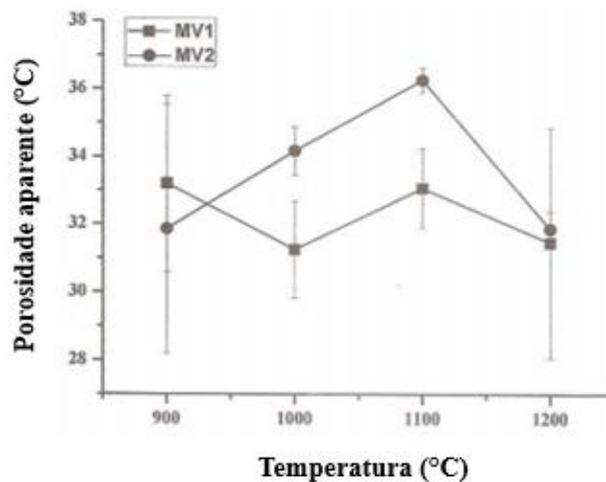


Figura 27 - Porosidade aparente das peças cerâmicas.

Na Tabela 7 são apresentados os valores de densidade aparente das peças cerâmicas sinterizadas em diferentes temperaturas de sinterização para as massas MV1 e MV2. Para melhor visualização a Figura 28 ilustra o comportamento da densidade aparente com a temperatura de sinterização. Os resultados mostram que a natureza do resíduo de casca de ovo provocou somente pequena variação nos valores de massa específica aparente das peças cerâmicas sinterizadas. Verifica-se também uma tendência de diminuição da densidade aparente com o aumento da temperatura de sinterização.

Tabela 7 – Densidade aparente das peças cerâmicas.

Temperatura (°C)	Densidade aparente (g/cm ³)			
	MV1	Desvio padrão	MV2	Desvio padrão
900	1,58	0,0553	1,64	0,1212
1000	1,64	0,0561	1,62	0,0166
1100	1,61	0,0107	1,59	0,0138
1200	1,55	0,1260	1,58	0,0058

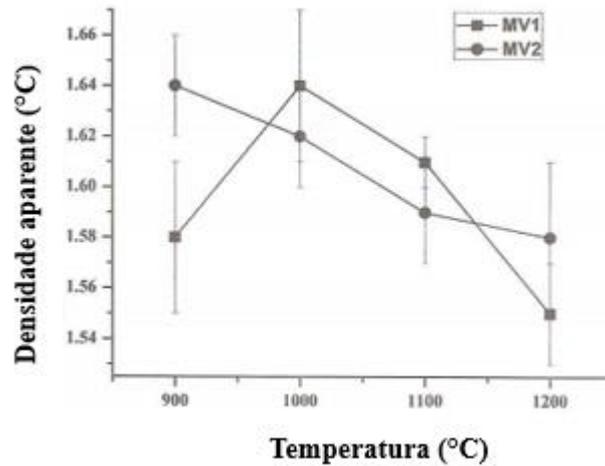


Figura 28 - Densidade aparente das peças cerâmicas.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de perda de massa das peças cerâmicas durante o processo de sinterização para as massas MV 1 e MV2. Para melhor visualização a Figura 29 ilustra o comportamento da perda de massa com a temperatura de sinterização. Os resultados indicaram que ambas as massas cerâmicas apresentaram comportamento de perda de massa muito similar, uma vez que para MV1 foi de (18,87 – 24,49%) e para MV2 foi de (18,16 – 23,47%).

Tabela 8 - Perda de massa das peças cerâmicas.

Temperatura (°C)	Perda de massa (%)			
	MV1	Desvio padrão	MV2	Desvio padrão
900	18,87	1,3627	18,16	0,6333
1000	21,04	0,5739	21,00	1,4110
1100	24,49	0,2781	23,35	1,0632
1200	23,36	0,7393	23,47	0,8640

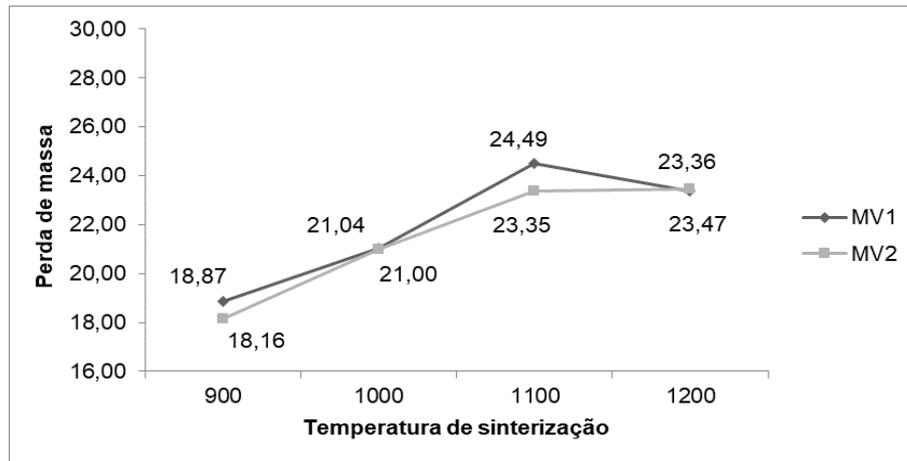


Figura 29 - Perda de massa das peças cerâmicas.

Na Tabela 9 são apresentados os valores de retração linear diametral das peças cerâmicas em função da temperatura de sinterização para as massas MV1 e MV2. Para melhor visualização a Figura 30 ilustra o comportamento da retração linear diametral com a temperatura de sinterização. Como pode ser observado, as peças cerâmicas preparadas com a massa MV2 apresentaram menores valores de retração linear diametral para temperaturas de sinterização entre 1000 e 1200 °C. Este comportamento está de acordo com as demais propriedades físicas.

Tabela 9 - Retração linear das peças cerâmicas.

Temperatura (°C)	Retração linear (%)			
	MV1	Desvio padrão	MV2	Desvio padrão
900	0,66	0,7007	1,17	0,2733
1000	2,71	1,3503	2,33	0,4993
1100	2,73	0,1237	2,34	0,1645
1200	2,23	0,2712	1,82	0,1176

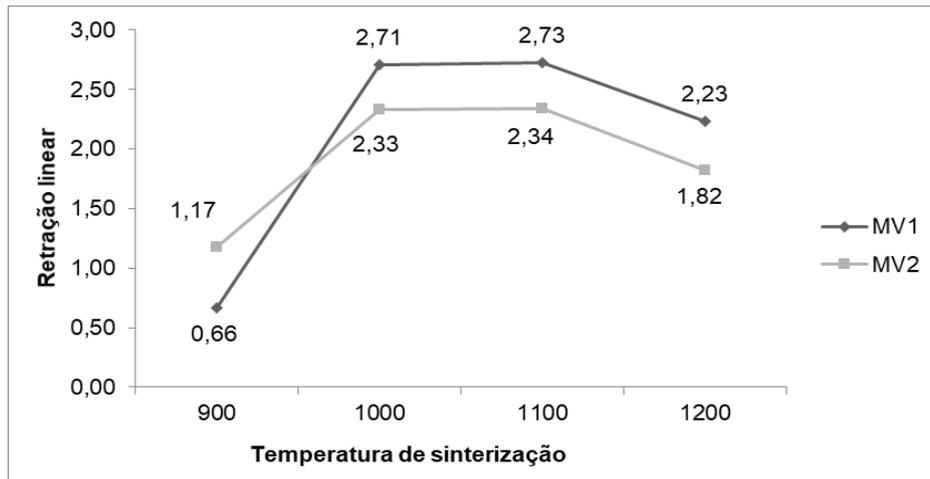


Figura 30 - Retração linear das peças cerâmicas.

Na Tabela 10 são apresentados os valores de resistência à tração das peças cerâmicas em função da temperatura de sinterização para as massas MV1 e MV2. Para melhor visualização a Figura 31 ilustra o comportamento da resistência à tração determinada pelo método de compressão diametral com a temperatura de sinterização. Como pode ser observado, as peças cerâmicas preparadas com a massa MV2 apresentaram valores ligeiramente menores de resistência mecânica para temperaturas de sinterização entre 1000 e 1200 °C. Este comportamento está de acordo com as demais propriedades físicas. Já o efeito da temperatura de queima foi o de aumentar a resistência mecânica das peças cerâmicas.

Tabela 10 – Resistência à tração das peças cerâmicas.

Temperatura (°C)	Resistência à tração (MPa)			
	MV1	Desvio padrão	MV2	Desvio padrão
900	4,06	0,6978	4,46	0,5063
1000	8,83	0,1977	7,76	1,2955
1100	9,22	2,1373	8,97	1,0217
1200	10,92	0,4020	9,90	0,9033

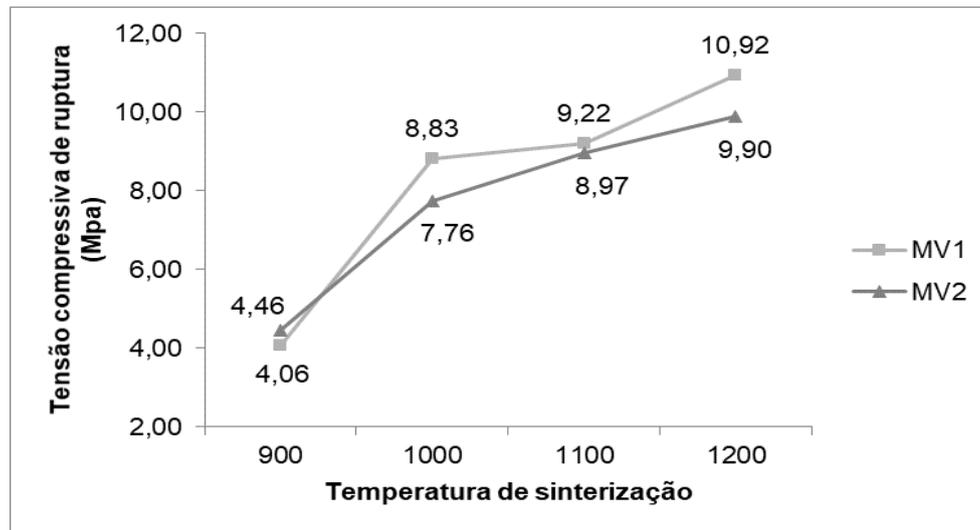


Figura 31 - Resistência à tração das peças cerâmicas.

Todos os ensaios mecânicos realizados e seus resultados são apresentados no Apêndice I.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Neste trabalho de mestrado foi estudada a preparação e caracterização de um material cerâmico poroso à base de anortita a partir das matérias-primas caulim e resíduo de casca de ovo *in natura* e calcinado. Os resultados experimentais e discussão deles permitiram as seguintes conclusões:

- ✓ O caulim é constituído quimicamente essencialmente de óxido de silício (SiO_2) com 46,99% em massa e óxido de alumínio (Al_2O_3) com 39,00% em massa, e apresenta perda ao fogo correspondente a 12,90% em massa. Do ponto de vista mineralógico, o caulim é constituído de caulinita como fase majoritária e mica e quartzo como fases residuais.
- ✓ O resíduo de casca de ovo *in natura* é composto mineralogicamente de carbonato de cálcio em forma de calcita (CaCO_3). Já do ponto de vista químico, ele é majoritariamente composto por óxido de cálcio (CaO) e também apresenta presença alto valor de perda ao fogo de 45,60% em massa.
- ✓ O resíduo de casca de ovo calcinado é composto essencialmente de óxido de cálcio (CaO) com cerca de 90,61% em massa e apresenta valor de perda ao fogo de 8,91% em massa. Do ponto de vista mineralógico, este resíduo é composto por porlandita, ou seja, hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).
- ✓ A partir das análises térmicas (ATD/ATG) realizadas nas duas formulações cerâmicas MV1 – 80% em massa de caulim + 20% em massa de resíduo de casca de ovo *in natura* e MV2 – 80% em massa de caulim + 20% em massa de resíduo de casca de ovo calcinado, foi observado que por volta dos 1000 °C ocorre um evento exotérmico intenso relacionado à formação de novas fases cerâmicas, como por exemplo, a fase anortita.
- ✓ Quanto ao comportamento térmico dilatométrico das massas cerâmicas, notou-se que estas apresentam evolução da sinterização e comportamento dilatométrico muito similar.
- ✓ Na análise microestrutural da superfície de fratura das amostras sinterizadas foi notório ao elevar a temperatura de sinterização, elevou-se a formação de poros e a reação dos materiais para as duas massas cerâmicas, porém, ao compará-las, observou-se que a MV2 apresenta formação de porosidade mais elevada que a MV1. Este resultado está de acordo com a absorção de água e porosidade

aparente, uma vez que os valores para a massa MV2 são ligeiramente maiores do que aqueles para a massa MV1.

- ✓ Na propriedade de massa específica aparente houve pequena variação nos valores das peças cerâmicas sinterizadas e verificou-se uma tendência de diminuição da massa específica aparente com o aumento da temperatura de sinterização. Já para a perda de massa, os resultados indicaram que ambas as massas cerâmicas apresentaram comportamento muito similar.
- ✓ As peças cerâmicas preparadas com a massa MV2 apresentaram menores valores de retração linear diametral e resistência mecânica para temperaturas de sinterização entre 1000 e 1200 °C. Este comportamento está de acordo com as demais propriedades físicas. Já o efeito da temperatura de queima foi o de aumentar a resistência mecânica das peças cerâmicas.
- ✓ As peças cerâmicas apresentaram valores de porosidade aparente próximos na faixa de 31,25 – 33,19% (MV1) e 31,86 – 36,26 (MV2), as quais apresentam potencial para serem empregadas na fabricação de membranas de filtração, independentemente do tipo de resíduo de casca de ovo usado na formulação da massa cerâmica.
- ✓ Por fim, conclui-se que não há necessidade de realizar o tratamento térmico de calcinação do resíduo de casca de ovo “*in natura*” na obtenção de material cerâmico poroso à base de anortita.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- ✓ Realizar a caracterização de fases das peças cerâmicas sinterizadas para as duas formulações.
- ✓ Utilizar diferentes proporções na relação caulim – resíduo.
- ✓ Estudar mais detalhado sobre o potencial para serem empregadas na fabricação de membrana de filtração.

REFERÊNCIAS

- ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica, Informações Técnicas – Definição e Classificação. Disponível em: <<http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>> Acessado em: 03/01/2018.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10 004; Resíduos sólidos: classificação, Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal, Produção Brasileira de Ovos. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/mercado-interno/ovos>> Acessado em 14/02/2018.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>> Acessado em: 17/01/2018.
- ALBUQUERQUE, F. R.; SANTOS, I. M. G.; LIMA, S. J. G.; SANTOS-CÁSSIA, M. R., SOLEDADE, L. E. B; SOUZA, A. G.; MARTINELLI, A. E., Planejamento Experimental Aplicado à Otimização de Massas Cerâmicas contendo Matérias-primas Naturais. Cerâmica, vol. 53, p. 300-2008, 2007.
- ALMEIDA, T. F. Síntese e Caracterização de Biocimento de Fosfato de Cálcio Usando Resíduo de Mármore, 2018. Tese (Doutorado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.
- ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres, História da Cerâmica. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/historia-ceramica>> Acesso em: 03/01/2018.
- ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Gerenciamento dos Resíduos de Serviço de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2006.
- ARAÚJO, J. C.; ASSIS, J. T.; MONINE, V. I., BERTOLINO, L. C., Caracterização de Caulinita pela Difração de Raios X. Revista Matéria, vol. 11, n. 3, p. 361-371, 2006.
- ARAÚJO, V. S., Gestão de Resíduos Especiais em Universidades: Um estudo de caso da Universidade Federal de São Carlos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.
- AREAIAS, I. O. R. Incorporação de Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Município de Campos dos Goytacazes - RJ em Cerâmica Vermelha, 2015. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2015.
- AZEVEDO, V. V. C. et al. Materiais cerâmicos utilizados para implantes. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, V.2.3 (2007) 35-42 ISSN 1809-8797, 2007.
- BALAKRISHNAN, G.; REID, F.C.; BRUHN, D.; KOHLSTEDT, L., J. Am. Ceram. Soc. 84 (2001) 2617.

- BARATA, M. S.; ANGÉLICA, R. S. Caracterização dos resíduos cauliniticos das indústrias de mineração de caulim da Amazônia como matéria-prima para produção de pozolanas de alta reatividade, *Cerâmica* 58, 36-42, 2012.
- BARBA, A.; FELIU, C.; GARCIA, J. et al., *Matérias-primas para la fabricación de Soportes de Baldosas Cerâmicas*. 2ª Ed, Castellón-Espanha, Instituto de Tecnologia Cerâmica- AICE, 292p., 2002.
- BARBOSA, V. M. et al. Avaliação da qualidade da casca dos ovos provenientes de matrizes pesadas com diferentes idades, *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 64, n. 4, p. 1036-1044, 2012.
- BASTOS, R. S., ULIANA, J. G., CALMON, J. L., TRISTÃO, F. A., VIEIRA, G. L., DEGEN M. K. Revisão bibliográfica dos estudos sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção. *Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto*, Rio Grande do Sul: Instituto Brasileiro do Concreto, p. 1-16., 2013.
- BAYER OZTURK, Z., Microstructural characterization of mullite and anorthite-based Porcelain tile using regional clay, *Journal of Ceramic Processing Research*, V. 17, Issue 6, pp. 555-559, 2016.
- BIFFI, G., *O grês porcelanato: manual de fabricação e técnicas de emprego*. 3ª ed. São Paulo: Faenza Editrice do Brasil Ltda, 262 p., 2002.
- BLOG TUDO GOSTOSO, *Resíduo de Casca de Ovo*, 2018. Disponível em: <<http://blog.tudogostoso.com.br/noticias/farinha-de-casca-de-ovo-para-que-serve-e-como-fazer/>> Acessado em 30/01/2018.
- BOUDCHICHA, M. R. et al., Crystallization and sintering of cordierite and anorthite based binary ceramics, *Journal of Materials Science Letters*, V. 20, Issue 3, pp. 215-217, 2001.
- BRASIL. LEI nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acessado em: 15/01/2018.
- BROSTOW, W. et al. Synthesis of hydroxyapatite from eggshells. p. 128-134, 1999.
- BUSCH P. F. Efeito da Incorporação de Resíduo do Processamento de Lapidação de Vidro sodocálcico nas Propriedades Físicas e Mecânicas de Cerâmica Vermelha, 2016 Dissertação (Mestrado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.
- CALLISTER Jr., W. T., *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*, LTC., Sétima Edição (em Português), 2008.
- CAMARGO, C. N. O. Avaliação do Lodo Amarelo de ETA Para Incorporação em Cerâmica Vermelha, 2014. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.
- CARLOS, A. F. A., *A (Re) Produção do espaço urbano*. 1 ed. 1. Reimp. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.
- CARVALHO, J. P. R. G. Estudo dos Parâmetros Técnicos do Adoquim Cerâmico com Incorporação de Resíduo de Rocha Ornamental, 2015. Dissertação (Mestrado) Centro de

Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2015.

CASTILHOS JR., A. B., Resíduos sólidos urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte, Florianópolis, SC, 2003.

CENTREL-LUMINA. Incineração de resíduos, Disponível em: <<http://www.cetrel-lumina.com.br/>> Acessado em 23/01/2018.

CERÂMICA SÃO JOÃO, Jazida de Argila, 2018. Disponível em: <<http://ceramicasaojoaoitu.com.br/producao.html>> Acessado em 30/01/2018.

CHATTERJEE, A. C. et al., Efeito da razão entre feldspatos sódico e potássico no desenvolvimento de fases e microestrutura de porcalanatos queimados, Cerâmica Industrial and Tile & Brick International, H&R Johnson (India) Limited, p. 23-26, 2001.

CHEN, G. H, Sintering, crystallization, and properties of CaO doped cordierite-based glass-ceramics, Journal of Alloys and Compounds, V. 455, Issue 1-2, pp. 298-302, 2008.

CHENG, X. et al., Fabrication and characterization of anorthite-based ceramic using mineral raw materials, Ceramics International, V. 38, Issue 4, pp. 3227-3235, 2012.

CHOUIA, F. et al., Reaction sintering of kaolin-natural phosphate mixtures, Ceramics International, Vol. 41, Issue 6, pp. 8064-8069, 2015.

COLLATO, D., BERGMANN, C. P. Emprego de Resíduo de Celulose da Indústria de Papel como Matéria-prima para Fabricação de Material Cerâmico. Cerâmica Industrial, 14 (3): 30-35., 2009.

CORNIERI, M. G.; FRACALANZA, A.P., Desafios do lixo em nossa sociedade. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n.16 Jun.2010.

CORRÊA, T. H. A.; MANHÃES, R. S. T.; HOLANDA, J. N. F. Conversão de resíduo de casca de ovo galináceo. In: Encontro de Engenharia, ciência de Materiais e Inovação do Estado do Rio de Janeiro, 1., 2015.

DELAQUA, G. C. G. Incorporação da Biomassa Seca de *Salvinia Auriculata* Aubl. Proveniente do Processo de Fitorremediação em Cerâmica Vermelha, 2016. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

DUAN, R. G. et al. Effect of changing TiO₂ content on structure and Crystallization of aOAl₂O₃-SiO₂ system glasses. Journal of The European Ceramic Society, 18, pp. 1729- 1735, 1998.

EMBRAPA – Consumo brasileiro de carnes e ovos per capita, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355242/9156138/Consumo+per+capita+do+Brasil.jpg/93f8c8ae-0c89-4e64-a7a3-038249659f49?t=1472841520017>> Acessado em 14/02/2018.

EMBRAPA – Estatísticas de produção e exportação de ovos no ano de 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/ovos>> Acessado em 14/02/2018.

EMBRAPA – Estatísticas e Desempenho da Produção do Brasil em 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>> Acessado em 14/02/2018.

- FARIA, J. S. Incorporação de Resíduo Pó de Borracha de Pneus Inservíveis em Cerâmica Vermelha, 2015. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2015.
- FERNANDES, B. L.; NEVES, E.; SPILLER, A. L. Produção e utilização da fase mineralógica anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) a partir da cristalização controlada de vidros para utilização como material inteligente. INPI 02022410-9,2003.
- FERNANDES, P. F.; OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA; D., Reciclagem do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte 1: Ensaios Laboratoriais Industriais. Cerâmica Industrial, vol. 8 n.2 Março/Abril. Criciúma – SC, 2003.
- FREIRE, M. N., HOLANDA, J. N. F. Charactercion of avion eggshell waste aiming its use in a ceramic wall tile paste. Cerâmica. Vol. 52, n. 324, São Paulo, 2006.
- FREIRE, M. N.; SOUSA, S.J.G.; HOLANDA, J.N.F. (2008) Using eggshell in red wall tiles, Waste and Resource Management, v. 161, p. 23-27.
- GALVÃO JUNIOR, A. C. Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil. São Carlos (SP); [Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos/USP]. 1994.
- GEANKOPLIS, C. J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. México: CECOSA, 1998.
- GIBERTONI, C.; PAULIN, P. I.; MORELLI, M. R., Caracterização de cerâmicas sinterizadas por fluxo viscoso. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto Alegre – RS, 2004.
- GOMES, C. F., Argilas o que são e para que servem. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 449 p., 1986.
- GOMES, F. P. S. Valorização de Resíduo de Cinza de Serragem de Madeira na Produção de Piso Cerâmico Vitrificado, 2016. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.
- GOMES, L. C.; DI LELLO, B. C.; CAMPOS, J. B.; SAMPAIO, M., Síntese e caracterização de fosfatos de cálcio a partir da casca de ovo de galinha. Cerâmica [online], 2012, 58, n.348, 448-452.
- GOMES, V. Obtenção de material vitro-cerâmico utilizando escória de aciaria, Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica), Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- GOUVEIA, N., Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. Ciência & Saúde Coletiva, v. 17, p.1503-1510, 2012.
- GUEDES, F. H. Reaproveitamento de resíduo de casca de ovo e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmico. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos, RJ, Brasil, 2014.
- HARABI, A. et al., Cerâmica 63 (2017) 311-317.

- HARABI, A. et al., A new and economic approach to fabricate resistant porous membrane supports using kaolin and CaCO₃, *Journal of the American Ceramic Society*, V. 34, Issue 5, pp. 1329-1340, 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Estatística da Produção Pecuária, 2017, Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2016/abate-leite-couro-ovos_201604caderno.pdf> Acessado em 24/01/2018.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Produção de Ovos de Galinha, Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9216-pesquisa-trimestral-da-producao-de-ovos-de-galinha.html>> Acessado em 24/01/2018.
- IMERYS CAPIM, Conheça o Caulim, 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=RfgljrZlvU>> Acessado em: 16/01/2018.
- JACOBI, P. R., BESEN, G. R., Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade.
- JARDIM, N. S.; WELL, C. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado / Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018.
- JORDÁN, M.M., SANFELÍU, T., DE LA FUENTE, C. Firing transformations of tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies, *Applied Clay Science* 20 (2001) 87–95.
- KIEHL, E. S., Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba, SP, Divisão de Biblioteca e Documentação “Luiz de Queiros”/USP, 1998.
- KLEIN, C., HURLBUT, C. S. Manual of Mineralogy. John Wiley & Sons, New. York, 1993, 681p.
- KNETS, I. V. Adaptation and remodeling of articulate cartilage and bone tissue. In: HELMINIEN, H. J.; et al; Joint Loading. Bristol, Wright, cap. 10, pp. 251-263, 1987.
- KOBAYASHI, Y.; KATO, E., *J. Am. Ceram Soc.* 77 (1994) 833.
- KOBAYASHI, Y.; SUMI, K.; KATO, E., *J. Am. Ceram Soc.* 105 (1997) 723.
- KURAMA, S.; OZEL, E., *Ceram. Int.* 35 (2009) 827.
- LACA, A. et al. Eggshell waste as catalyst: a review. *Chemical Engineering Journal*, v. 197, p. 351-359, Oviedo, Espanha, 2017.
- LEITE, F. H. G. Desenvolvimento de Material de Silicato de Cálcio Para Isolação Térmica Usando Resíduo Lama de Cal, 2018. Tese (Doutorado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.
- LEITE, F. H. G. Synthesis and characterization of calcium silicate insulating material using avian eggshell waste. *Journal Ceramics International*, v. 43, p. 4674-4679, Campos dos Goytacazes, 2017.
- LEITE, W. C. A., Estudo da gestão de resíduos sólidos: uma proposta de modelo tomando a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI – 5) como referência. São Carlos. Tese de D.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.

- LIMA, L. M. Q., Lixo: Tratamento e Biorremediação. 3ª ed. Hemus. São Paulo, 1995.
- LIMA, R.C.O., LIRA, H.L., NEVES, G.A., SILVA, M.C., SILVA, S.D. Aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmicas de baixo custo, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, V. 6, N.3 (2011) 163-169.
- LIU, J. et al., Feasible recycling of industrial waste coal fly ash for preparation of anorthite-cordierite based porous ceramic membrane supports with addition of dolomite, Journal of the European Ceramic Society, V. 36, Issue 4, pp. 1059-1071, 2016.
- LLORENS, F. G., Matérias-primas fundentes para a fabricação de grês porcelanato, Cerâmica e Informação, Volume 9, p. 51-55, 2000.
- LOPEZ, I. V. et al., Gestão ambiental no Brasil: Experiência e sucesso, Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1995.
- LUN, C. et al., Low temperature sintering and crystallisation behaviour of low loss anorthite-based glass-ceramics, Journal of Materials Science, V. 38, Issue 4, pp. 693-698, 2003.
- MARQUES, V. M. F. et al., Low temperature synthesis of anorthite based glass-ceramics via sintering and crystallization of glass-powder compacts, Journal of the European Ceramic Society, V. 26, Issue 13, pp. 2503-2510, 2006.
- , Low-temperature sintering of ceramics for the production of low-voltage insulators, InternCeram: International Ceramic review, V. 45, Issue 2, 1996.
- MEDVEDOVSKII, E.Y.; KHARITONOV, F.Y.; SHCHERBINA, T.D., Glass. Ceram. 46 (1990) 204.
- MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas, Ver. Bras. Eng. Agric. Amb, 6 (2): 303-313, 2002.
- MINGHUA, Z., XIUMIN, F., ROVETTA, A., QICHANG, H., VICENTINI, F., BINGKAI, L., GIUSTI, A. YI, L., 2009. Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. Journal of Waste Management. 29, 1227–1233.
- MONTEIRO, J. H. P. *et al.*, Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
- MOTTA, J. F. M., CABRAL JÚNIOR, M., TANNO, L. C., Panorama das Matérias-primas Utilizadas na Indústria de Revestimentos Cerâmicos: Desafios ao Setor Produtivo. Cerâmica Industrial 3, (4-6) Julho/Dezembro: 30-38, 1998.
- NEVES, E. et al. Desenvolvimento de Cristais de Anortita em Vidros, Simpósio Brasileiro de Estruturologia, Tirandentes – MG, 2001.
- NEVES, E. et al. Intelligent Glass Ceramic Materials. Glass Odissey: 6th European Congress on Glass. Montpellier – France, 168p., 2002.
- NEVES, M. A. (1998) Alternativas para valorização da casca de ovo como complemento alimentar e em implantes ósseos. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis.

- NICOLITE, M. (2017). Aproveitamento de resíduo da produção de alumina eletrofundida em cerâmica vermelha. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF/CCT/LAMAV, 106p.
- OLIVEIRA, D. A. et al. A literature review on adding value to solid residues: eggshells. *J. Clean. Prod.* 46, p. 42-47, 2013.
- OLIVEIRA, D. A., BENELLI, P., AMANTE, E. R. Valorização de resíduos sólidos: casca de ovos como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos. 2º Internacional Workshop - Advances in Cleaner Production. Key Elements For a Sustainable World: Energy, Water and Climate Change. São Paulo, 2009.
- OLIVEIRA, D. M., Aplicação de técnica de solidificação/estabilização para resíduo oleoso da indústria petrolífera, utilizando solo argiloso e bentonita. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 131 p., 2003.
- OLIVEIRA, V. M. S.; PARDO, M. B. L. (2007) Fábrica de Cimento Portland: Impactos Ambientais e Gestão de Conflitos Ambientais no Bairro América (1975-1984). *Scientia Plena*. São Cristóvão. V. 3, n. 5, p. 124-132.
- PADILHA, A. F., *Materiais de engenharia: Microestrutura e Propriedades*. São Paulo/SP, Hemus, 2000.
- PATRICK VOILLOT, O portal das pedras preciosas – Anortita, 2018. Disponível em: <<http://www.patrickvoillot.com/pt/anortita-24.html>> Acessado em 30/01/2018.
- PERIN, A., A utilização do lixo reciclável como fonte geradora de emprego, renda e dignidade a adolescentes em situação de risco pessoal e social na Grande Florianópolis, trabalho final de estágio. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/Universidade de Santa Catarina, 1999.
- PETRUCCI, E. G. R., *Materiais de Construção*. 10ª ed. São Paulo: Globo, 435 p., 1995.
- PHILIPPI JR., A.; AGUIAR, A. O. Resíduos Sólidos: Características e Gerenciamento In: PHILIPPI JR., A. (Org.). *Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. Barueri: SP. Manole, 2005, p. 267-321.
- PINTO, N. B., *Tecnologia Cerâmica Aplicada à Produção de Pisos e Azulejos*, Centro de Instrução Profissional Octávia Gaidzinski, 1997.
- RIBEIRO, D. V., MORELLI, M. R., *Resíduos sólidos: Problemas ou oportunidades?*, Rio de Janeiro: Interciência, 2009.
- RIBEIRO, T.; LIMA, S.; *Coleta seletiva de lixo Domiciliar: estudo de caso*. Em: *Caminhos da Geografia* 1(2) 50-60, Dez/2000. Programa de pós-graduação em Geografia, Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, 2000.
- SABOYA, F., XAVIER, G.C., ALEXANDRE, J. The use of the powder Marble by-product to enhance the properties of bricks ceramics. *Science Direct*, V. 21, Nº 10, P. 1950 - 1960., 2007.

- SANTOS, F. Influência do Resíduo de Cinza De Serragem de Madeira nas Propriedades Técnicas de Cerâmica Vermelha, 2016. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.
- SANTOS, P.S, Ciência e Tecnologia de Argilas, volume 1, 2ª. edição, Edgard Blücher, São Paulo, 1989.
- SCARLATO, F. C.; POTIN, J. A.; FURLAN, S. A. (coordenação)., O ambiente urbano. São Paulo: Atual, 1999.
- SCHALCH, V., LEITE, W. C. A., FERNANDES JUNIOR, J. L., CASTRO, M. C. A. A. Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.
- SEGADÃES, A.M. (2006). Use of phase diagrams to guide ceramic production from wastes. *Advances in Applied Ceramics*, 105 (1): 148-54.
- SHREVE, R. N.; BRINK JR, J. A., Indústria de Processos Químicos, Editora Guanabara Koogan S.A., 4ª Edição, p. 122 a 137, Rio de Janeiro/RJ, 1977.
- SIAV – Salão Internacional de Avicultura, Atualidades da Produção Mundial de Ovos, 2013. Disponível em: <http://ovosite.com.br/SimposioOvoSite/img_pp/paraguassu.pdf> Acessado em 14/02/2018.
- SILVA, S. P., Caulim, Balanço mineral brasileiro, Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-caulim>> Acessado em 10/01/2018. 13 p.
- SILVEIRA, J. C. C. Proposta de utilização do vitrocerâmico anortita como um sistema de liberação de fármacos. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde) – Curitiba – PR, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2007.
- SIQUEIRA, F. B. Estudo da Incorporação de Resíduo Sólido de Grits nas propriedades e microestrutura de tijolo solo-cimento. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 121 p., 2013.
- SITE ECOLOOP, Disponível em: <www.ecoloop.eco.br> Acessado em 19/01/2018.
- SITE ECYCLE, Aproveite as cascas de ovos como sementeiras e evite o uso de vasos plásticos, Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/601-aproveite-as-cascas-de-ovos-como-sementeiras-e-evite-o-uso-de-vasos-plasticos-.html>> Acessado em 24/01/2018.
- SITE HYPEVERDE, Disponível em: <www.hypeverde.com.br> acessado em 19/01/2018.
- SOKOLÁŘ, R. et al., Mechanical properties of ceramic bodies based on calcite waste, *Ceramics International*, V. 38, Issue 8, pp. 6607-6612, 2012.
- SOUZA, C. C. Incorporação de resíduo sólido proveniente do processo de remoção de H₂S no tratamento de gás natural em cerâmica vermelha, 2017. Tese (Doutorado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

- ŠTUBŇA, I. et al., Elastic properties of waste calcite-clay ceramics during firing, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, V. 120, Issue 1405, pp. 351-354, 2012.
- SUTCU, M et al., Utilization of recycled paper processing residues and clay of different sources for the production of porous anorthite ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, V. 30, Issue 8, pp. 1785-1793, 2010.
- TRAORÉ, K., KABRÉ, T.S., BLANCHART, P. Gehlenite and anorthite crystallisation from kaolinite and calcite mix, *Ceramics International* 29, 377-383, 2003.
- UFBA – Universidade Federal da Bahia – Escola de Nutrição, Nomenclatura de Ovos. Disponível em: <<http://www.dieteticai.ufba.br/Temas/OVOS/NOMENCLATURA%20DE%20OVOS.pdf>> Acessado em: 21/02/2018.
- VERÇOZA, E. J., *Materiais de Construção I*. 3ª ed. Porto Alegre: Sagra, 153 p., 1987.
- WEISS, A.; RANGE, K. J., Uber Titan im Gitter von kaolin, In *Proceedings of the International Cley Conference*, Istael Universities Press, Vol. 1, p. 53 a 66, Jerusalém, 1966.
- ZAIYOU, S. et al., Sintering of anorthite based ceramics prepared from kaolin DD2 and calcite, *Ceramica*, V. 62, Issue 364, pp. 317-322, 2016.

APÊNDICE I – ENSAIOS MECÂNICOS

Para cada uma das quatro temperaturas de sinterização (900, 1000, 1100 e 1200 °C), quatro amostras foram ensaiadas e os gráficos de tensão x deformação são apresentados.

Para a temperatura de 900 °C, a Figura 32 compreende a formulação MV1 e a Figura 33 a MV2.

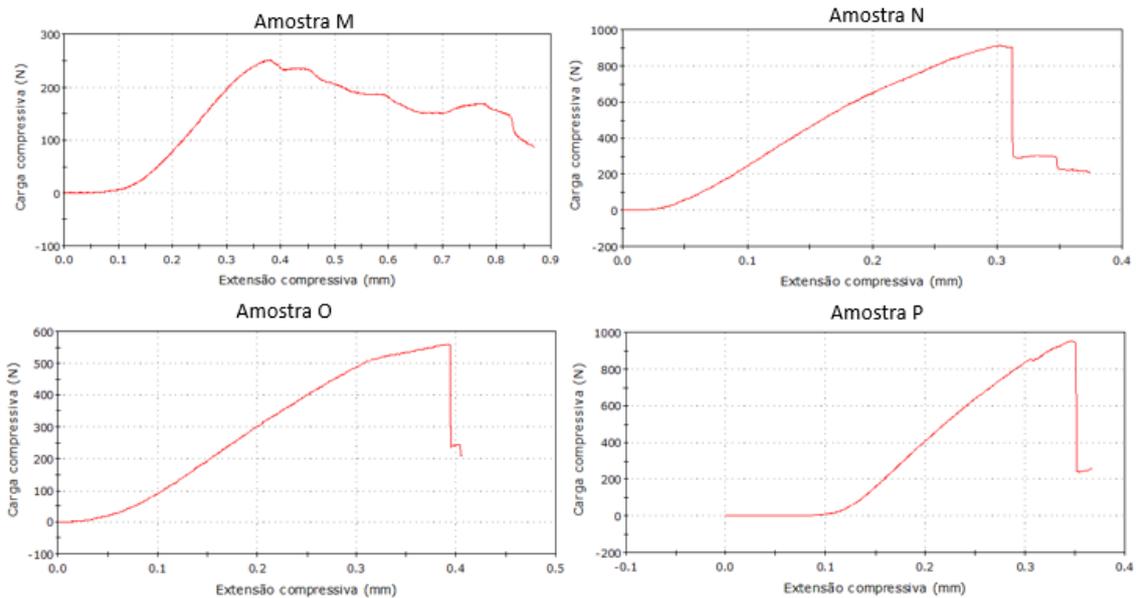


Figura 32 – Curva tensão versus deformação - 900 °C - MV1

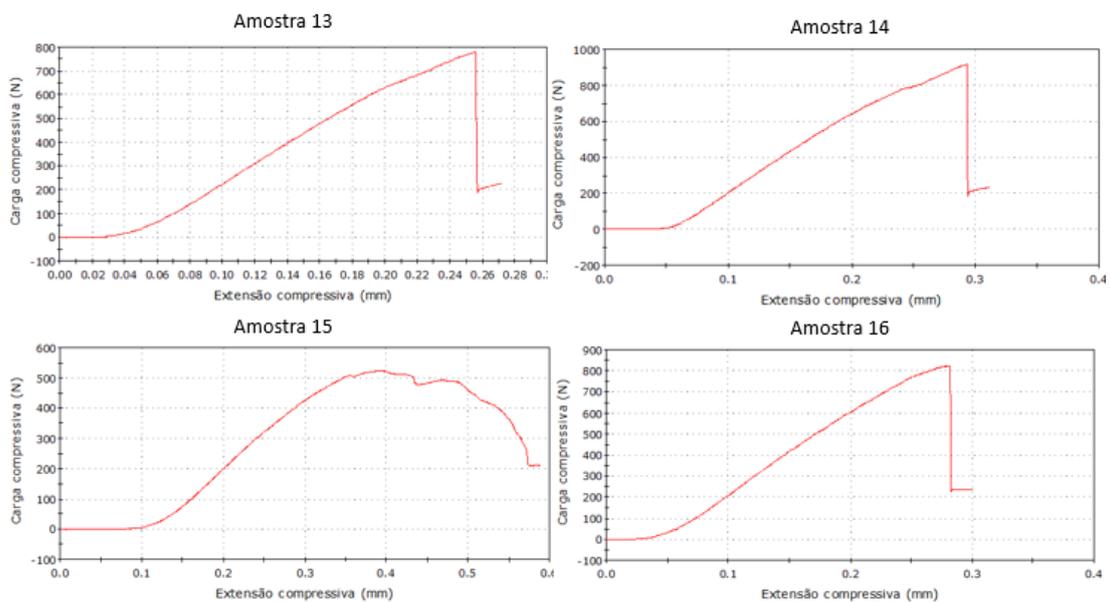


Figura 33 - Curva tensão versus deformação - 900 °C - MV2

Já para a temperatura de 1000 °C, a formulação MV1 tem seus resultados apresentados na Figura 34 e a formulação MV2 na Figura 35.

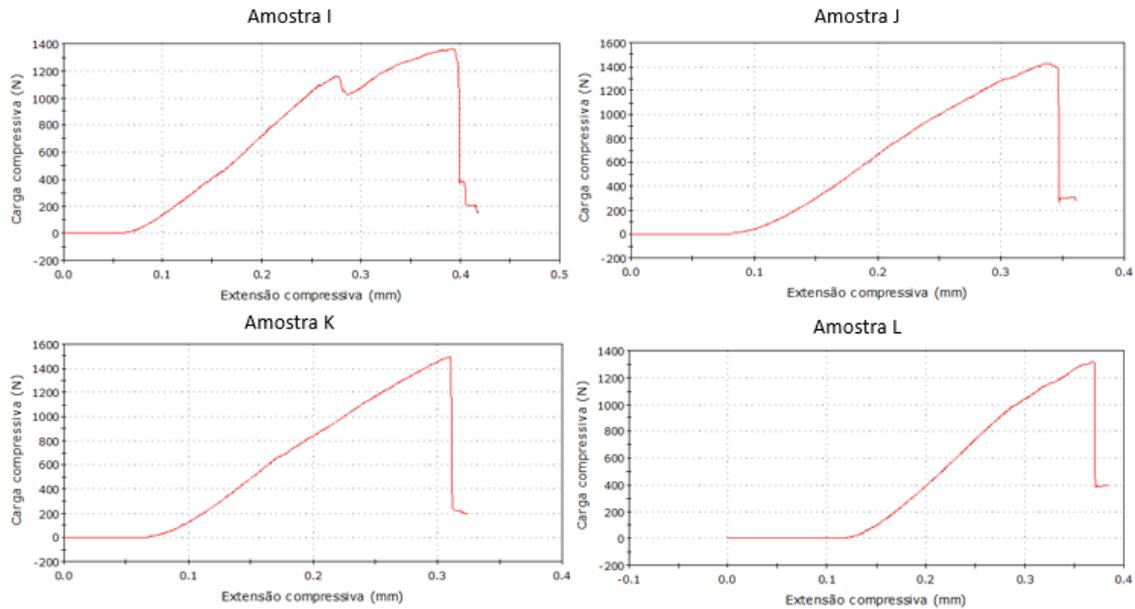


Figura 34 - Curva tensão versus deformação - 1000 °C - MV1

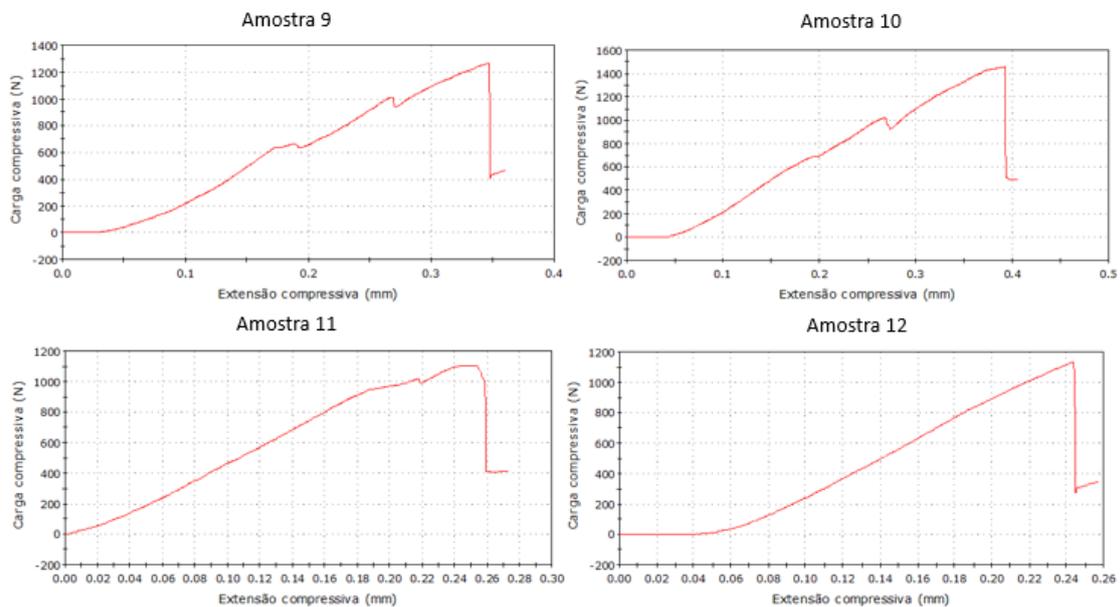


Figura 35 - Curva tensão versus deformação - 1000 °C - MV2

Para a temperatura de 1100 °C, a formulação MV1 tem seus resultados apresentados na Figura 36 e a formulação MV2 na Figura 37.

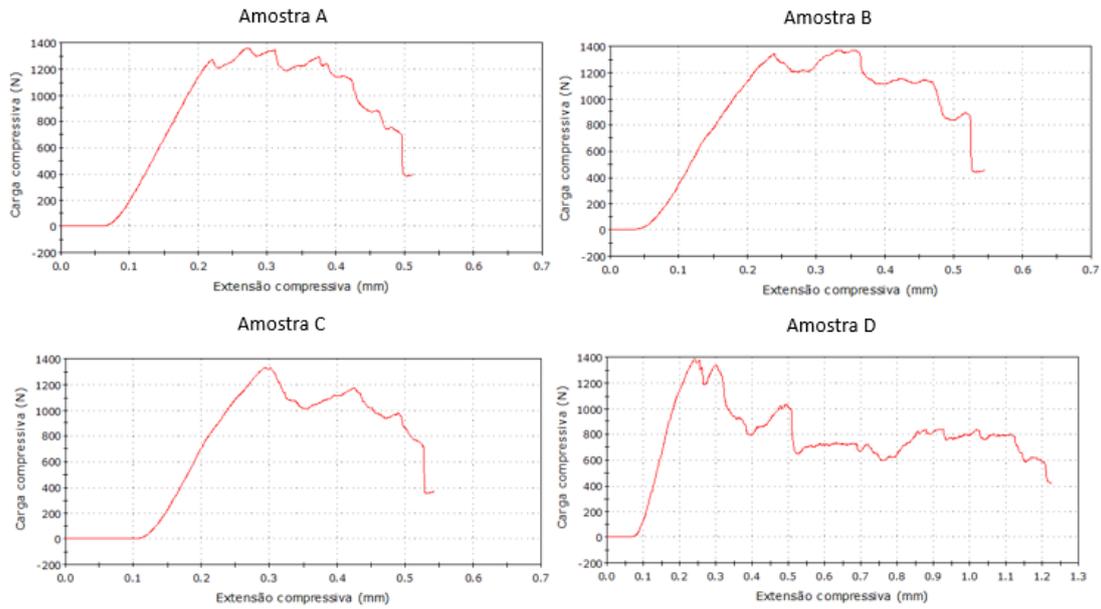


Figura 36 - Curva tensão versus deformação - 1100 °C - MV1

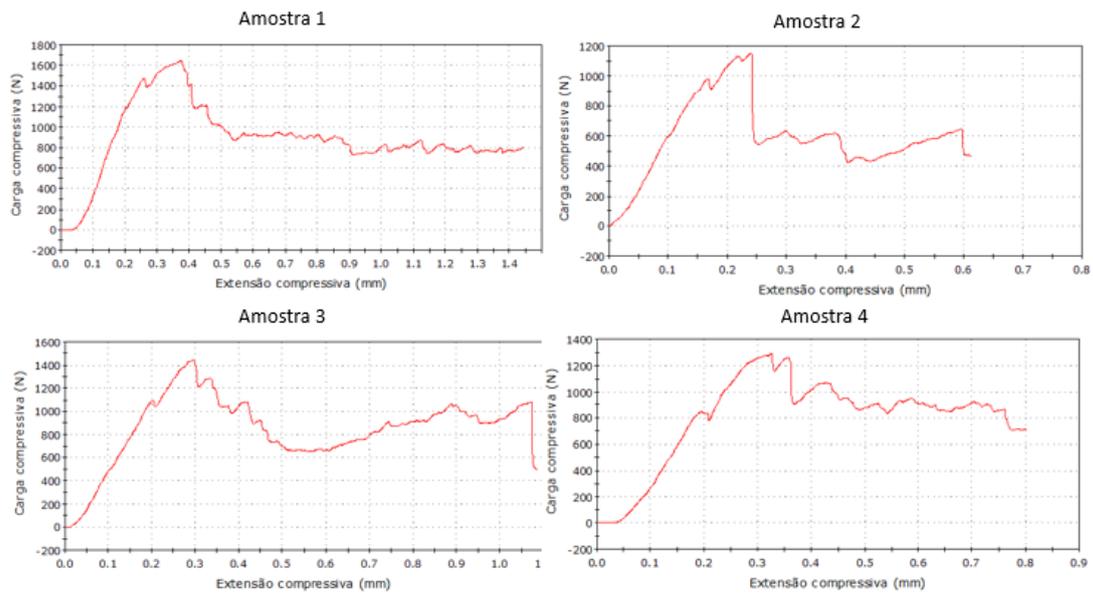


Figura 37 - Curva tensão versus deformação - 1100 °C - MV2

Por fim, para a temperatura de 1200 °C, a formulação MV1 tem seus resultados apresentados na Figura 38 e a formulação MV2 na Figura 39.

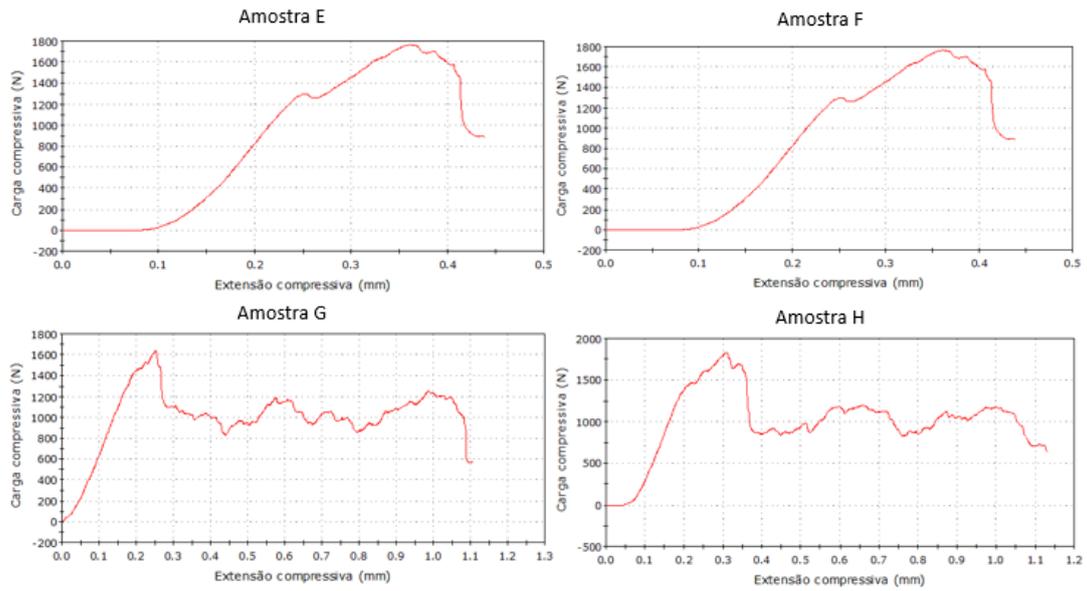


Figura 38 - Curva tensão versus deformação - 1200 °C - MV1

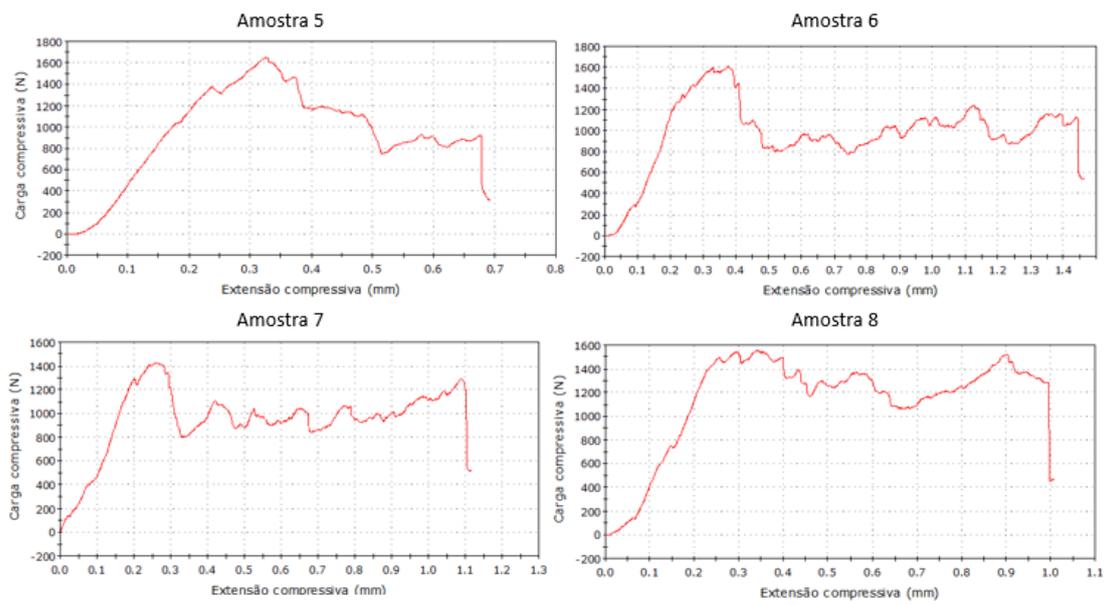


Figura 39 - Curva tensão versus deformação - 1200 °C - MV2