

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE DENSIFICAÇÃO DE MASSA ARGILOSA  
PARA TELHA INCORPORADA COM RESÍDUO PONTA DE CIGARRO**

**LUÍS ANTONIO RANGEL MACIEL**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ**

**MARÇO – 2020**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE DENSIFICAÇÃO DE MASSA ARGILOSA  
PARA TELHA INCORPORADA COM RESÍDUO PONTA DE CIGARRO**

**LUÍS ANTONIO RANGEL MACIEL**

“Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Centro de Ciência 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 – 2020

**FICHA CATALOGRÁFICA**

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

M152 Maciel, Luís Antonio Rangel.

Estudo do comportamento de densificação de massa argilosa para telha incorporada com resíduo de ponta de cigarro / Luís Antonio Rangel Maciel. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.

162 f. : il.

Bibliografia: 150 - 162.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, 2020.

Orientador: José Nilson França de Holanda.

1. Resíduo ponta de cigarro. 2. Massa argilosa. 3. Densificação. 4. Telha Cerâmica. 5. Desenvolvimento sustentável . I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 620.11

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE DENSIFICAÇÃO DE MASSA ARGILOSA  
PARA TELHA INCORPORADA COM RESÍDUO PONTA DE CIGARRO**

**LUÍS ANTONIO RANGEL MACIEL**

“Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Centro de Ciência 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”.

Aprovada em 02 de Março de 2020

Comissão Examinadora:

.....  
Prof. Márcia Giardinieri de Azevedo (D.Sc. Engenharia Química) – UENF

.....  
Prof. Roberto Trindade Faria Júnior (D.Sc. Física) – UENF

.....  
Prof. Fernanda S. M. Luna (D.Sc. Engenharia e Ciência dos Materiais) - UNESA

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

## EPÍGRAFE

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita.”

Mahatma Gandhi

## DEDICATÓRIA

Dedico em especial a Deus pela força, resiliência e proteção. Aos meus professores da UENF e Fabrício que tanto admiro e foram combustíveis para a realização deste feito. Ao meu pai e irmão Marcos Antônio Pai e Filho, a minha mãe Ana Lúcia, aos meus avós Madalena Maciel e Oriovaldo Maciel e a minha mãezinha Magaly Rangel. A Isabela minha companheira de todas as horas. Aos meus amigos mais próximos, pelo carinho, apoio e por estarem sempre presentes em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado me concedendo saúde, resiliência e perseverança para continuar em frente com vigor mesmo nos momentos difíceis.

Também tenho a honra de mencionar a minha mãe Ana Lúcia, que mesmo não estando mais viva, sempre foi meu porto seguro e o seu amor me sustenta dia após dia. Ao meu pai, meu irmão, minha melhor amiga e companheira Isabela Guzzo e meus avós, por sempre acreditarem em mim, me fornecerem todo amor necessário para me abastecer e conceberem tudo em minha vida, desde minha própria existência à construção de meus princípios e códigos morais.

Gostaria de agradecer ao meu orientador José Nilson por toda paciência, confiança, compreensão, dedicação e apoio. Também, aos incansáveis professores que me deram todo o suporte necessário e me passaram um sentimento de amor e parceria contagiante, no qual serei eternamente grato: Márcia Giardinieri, Roberto Faria e Fabrício Bagli. Por último e não menos importante, a Fernanda por ter aceitado de última hora a fazer parte da banca.

A Cerâmica São José pela ótima recepção, pelo fornecimento da massa argilosa industrial e por todo suporte dado.

Ao professor Manuel Vidal da Biologia, por todo suporte e disponibilidade fornecido no momento de beneficiar o resíduo ponta de cigarro.

A UENF por toda a infraestrutura fornecida, aos inesgotáveis técnicos de laboratório Rômulo Leite, Geovana Delaqua, Gabriel, Vanúzia e Milton pelos muitos momentos de ajuda, ensinamentos, paciência e conselhos durante o trabalho.

Aos amigos e parceiros de linha de pesquisa, nos quais foram meu alicerce neste período, são eles: Virgínia Siqueira, Pâmela Busch, Tarcília Amaral, Isabela Areas, Ranny, Bruno Silveira, Geane e Jefferson.

**Muito obrigado!**

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

## ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE DENSIFICAÇÃO DE MASSA ARGILOSA PARA TELHA INCORPORADA COM RESÍDUO PONTA DE CIGARRO

**Luís Antonio Rangel Maciel**

02 de Março de 2020

**Orientador: José Nilson França de Holanda**

A ponta de cigarro é um resíduo sólido altamente poluente e consumido em larga escala em todo o mundo, com grandes problemas de descarte final. Este trabalho avaliou os efeitos da incorporação de até 5% em massa do resíduo ponta de cigarro sobre o comportamento de densificação de uma massa argilosa industrial para produção de telha. As matérias-primas utilizadas foram massa argilosa industrial e resíduo ponta de cigarro, que foram caracterizadas em termos de análise química, análise granulométrica, análise morfológica, plasticidade e análises térmicas (ATD/ATG). Peças cerâmicas foram produzidas por prensagem uniaxial e queimadas entre 950 °C e 1100 °C. As propriedades técnicas (retração linear e volumétrica, massa específica aparente, absorção de água, porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão), análise microestrutural e análise de emissão de gases foram avaliadas. Os resultados experimentais mostraram que o resíduo ponta de cigarro atua como um agente formador de poros e, como tal, tende a diminuir a densificação da massa argilosa durante o processo de queima. Peças cerâmicas contendo até 5 % em massa de resíduo ponta de cigarro e queimadas a partir de 1050 °C apresentaram propriedades técnicas adequadas para produção de telhas. Os resultados experimentais também indicaram que a incorporação do resíduo ponta de cigarro tende a potencializar a emissão de gases (CO, CO<sub>2</sub>, NO e NO<sub>2</sub>) durante o processo de queima. Apesar disso, o resíduo de ponta de cigarro quando incorporado em pequenas quantidades (até 5 % em massa), poderia ser usado como um substituto parcial de argila plástica na produção de telha cerâmica.



Abstract of the Master Dissertation presented to the CCT-UENF as part of the requirements for obtaining a Master's degree in Materials Engineering and Science.

STUDY OF THE DENSIFICATION BEHAVIOR OF CLAYEY MASS FOR ROOFING  
TILE INCORPORATED WITH CIGARETTE BUTT WASTE

**Luís Antonio Rangel Maciel**

March 02, 2020

**Advisor: Prof. José Nilson França de Holanda**

The cigarette butt is a highly polluting solid waste and consumed on a large scale worldwide, with major problems of final disposal. This work evaluated the effects of the incorporation of up to 5 % by mass of the cigarette butt waste on the densification behavior of an industrial clayey mass for roofing tile production. The raw materials used were industrial clayey mass and cigarette butt waste, which were characterized in terms of chemical analysis, granulometric analysis, morphological analysis, plasticity, and thermal analysis (DTA/TGA). Ceramic pieces were produced by uniaxial pressing and fired between 950 °C and 1100 °C. The technical properties (linear and volumetric shrinkages, apparent specific mass, water absorption, apparent porosity, and flexural strength), microstructural analysis and gas emission analysis were evaluated. The experimental results showed that the cigarette butt waste acts as a pore-forming agent and, as such, tends to decrease the densification of the clayey mass during the firing process. The ceramic pieces containing up to 5 % by mass of cigarette butt waste and fired from 1050 °C had adequate technical properties for the production of roofing tiles. The experimental results also indicated that the incorporation of the cigarette butt waste tends to potentiate the emission of gases (CO, CO<sub>2</sub>, NO, and NO<sub>2</sub>) during the firing process. Despite this, the cigarette butt waste when incorporated in small quantities (up to 5 % by mass), could be used as a partial substitute for plastic clay in the production of ceramic roofing tile.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Classificação dos materiais cerâmicos com base em sua aplicação. ....	25
<b>Figura 2:</b> Diagrama granulométrico de Winkler. ....	27
<b>Figura 3:</b> Representatividade da cerâmica vermelha e revestimentos na produção nacional. ....	28
<b>Figura 4:</b> Crescimento na empregabilidade do setor cerâmico. ....	29
<b>Figura 5:</b> Crescimento na quantidade de estabelecimentos cerâmicos. ....	29
<b>Figura 6:</b> Evolução da balança comercial no setor cerâmico. ....	30
<b>Figura 7:</b> Produção Nacional de Cerâmica Vermelha. ....	30
<b>Figura 8:</b> Fluxograma do processo de fabricação de Cerâmica Vermelha. ....	37
<b>Figura 9:</b> Classificação dos resíduos sólidos. ....	42
<b>Figura 10:</b> Pássaro da espécie rynchops niger alimentando seu filhote com bituca de cigarro. ....	56
<b>Figura 11:</b> Filhote de pássaro da espécie rynchops niger se alimentando com bituca de cigarro. ....	56
<b>Figura 12:</b> Esquema representativo dos principais componentes de construção do cigarro. ....	59
<b>Figura 13:</b> Resíduo ponta de cigarro utilizado no estudo em questão. ....	65
<b>Figura 14:</b> Fotos tiradas das misturas (A: Argila e água. B: Argila, água e resíduo ponta de cigarro). ....	66
<b>Figura 15:</b> Compactação manual dos corpos de prova. ....	66
<b>Figura 16:</b> Vista transversal dos tijolos com diferentes porcentagens de ponta de cigarro (a- 0%, b- 2,5%, c- 5% e d- 10%). ....	68
<b>Figura 17:</b> Micrografia dos tijolos com diferentes porcentagens de ponta de cigarro (a- 0%, b- 2,5%, c- 5% e d- 10%). ....	68
<b>Figura 18:</b> Superfície dos tijolos de argila incorporados com resíduo ponta de cigarro em diferentes porcentagens: 0% (a), 2,5% (b), 5% (c), 7,5% (d) e 10% (d). ....	69
<b>Figura 19:</b> Textura superficial dos tijolos com 0%, 2,5%, 5,0% e 10% do resíduo ponta de cigarro. ....	70
<b>Figura 20:</b> Secções transversais dos tijolos com 0%, 2,5%, 5% e 10% do resíduo ponta de cigarro. ....	70
<b>Figura 21:</b> Seção transversal das amostras de tijolos com 7,5% de resíduo ponta de cigarro em diferentes tempos de mistura: (a) 5 min; (b) 10 min e (c) 15 min. ....	72
<b>Figura 22:</b> Seção transversal de amostras de tijolos com 7,5% de resíduo ponta de cigarro em diferentes tempos de mistura: (a) 5 min; (b) 10 min e (c) 15 min. ....	72
<b>Figura 23:</b> Micrografias eletrônicas em 50x ampliação das amostras de tijolos com 7,5% de resíduo ponta de cigarro com tempos de misturas diferentes: (a) 5 min; (b) 10 min; (c) 15 min e (d) 0% de resíduo ponta de cigarro e 5 min de tempo de mistura. ....	73
<b>Figura 24:</b> Micrografias eletrônicas em 50x ampliação das amostras de tijolos com 7,5% de resíduo ponta de cigarro com tempos de misturas diferentes: (a) 5 min; (b) 10 min e (c) 15 min. ....	73

<b>Figura 25:</b> Aparência superficial dos tijolos de argila com diferentes taxas de aquecimento.....	79
<b>Figura 26:</b> Aparência superficial dos tijolos de argila incorporado com 5% de resíduo ponta de cigarro em diferentes taxas de aquecimento.....	80
<b>Figura 27:</b> Seções transversais das amostras incorporadas com 5% de ponta de cigarro queimadas em diferentes taxas de aquecimento. ....	81
<b>Figura 28:</b> Seções longitudinais inferiores com 5% de ponta de cigarro queimadas em diferentes taxas de aquecimento.....	81
<b>Figura 29:</b> Conjuntos de moldes utilizados: Cubo, Tijolo e Barra. ....	82
<b>Figura 30:</b> Fluxograma de etapas envolvidas no procedimento experimental.....	85
<b>Figura 31:</b> Coletor de Cigarros de uma empresa situada no Complexo do Porto do Açú, São João da Barra (RJ).....	86
<b>Figura 32:</b> Referência do resíduo ponta de cigarro. ....	87
<b>Figura 33:</b> Vista Lateral do moinho de facas da marca Marconi e modelo MA340...88	
<b>Figura 34:</b> Amostra do resíduo ponta de cigarro após cominuição em moinho de facas.....	88
<b>Figura 35:</b> Amostra do resíduo de cigarro após o peneiramento em 42 mesh.....	89
<b>Figura 36:</b> Amostra da massa argilosa para telha após o peneiramento.....	89
<b>Figura 37:</b> Corpos de prova após secagem em estufa.....	94
<b>Figura 38:</b> Corpo de prova seco com 0% de Resíduo Ponta de Cigarro.....	95
<b>Figura 39:</b> Corpo de prova seco com 5,0% de Resíduo Ponta de Cigarro.....	95
<b>Figura 40:</b> Organização dos corpos de prova dentro do forno (A: Pré queima. B: Pós queima). ....	97
<b>Figura 41:</b> Distribuição de tamanho de partícula das massas argilosas.....	105
<b>Figura 42:</b> Prognóstico de extrusão das massas argilosas MLA0, MLA2 e MLA4. ....	107
<b>Figura 43:</b> Gráfico de Densidade Real dos grãos.....	108
<b>Figura 44:</b> Gráfico ATD/ATG da Massa Argilosa MLA0.....	112
<b>Figura 45:</b> Gráfico ATD/ATG da Massa Argilosa MLA4.....	112
<b>Figura 46:</b> Micrografia do resíduo ponta de cigarro (A: Zoom de 50x. B: Zoom de 500x.). ....	114
<b>Figura 47:</b> Micrografia do resíduo ponta de cigarro com um zoom mais aproximado (A: Zoom de 1500x. B: Zoom de 3000x).....	114
<b>Figura 48:</b> Micrografia da Matéria prima argilosa (A: Zoom de 500x. B: Zoom de 1000x. C: Zoom de 2000x.). ....	114
<b>Figura 49:</b> Micrografia da Argila incorporada com o resíduo ponta de cigarro (A e B: Zoom de 50x. C: Zoom de 100x. D: Zoom de 500x.). ....	115
<b>Figura 50:</b> Gráfico de Retração Linear de Secagem das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	116
<b>Figura 51:</b> Gráfico de Retração Volumétrica de Secagem das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	117
<b>Figura 52:</b> Gráfico da Massa Específica da peça seca das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	118
<b>Figura 53:</b> Gráfico da Resistência à Flexão da peça seca das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro...119	

<b>Figura 54:</b> Fotos dos corpos de prova pós queima em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado com fundo preto – Vista Superior. ....	120
<b>Figura 55:</b> Fotos dos corpos de prova pós queima em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado com fundo preto – Vista Lateral. ....	120
<b>Figura 56:</b> Fotos dos corpos de prova pós queima em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado com fundo preto – Vista Frontal. ....	120
<b>Figura 57:</b> Corpos de prova pós queima em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado com fundo branco. ....	121
<b>Figura 58:</b> Imagens feitas em Microscópio Estereoscópio em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado. ....	122
<b>Figura 59:</b> Gráfico de Perda ao Fogo das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	123
<b>Figura 60:</b> Gráfico de Porosidade Aparente das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	124
<b>Figura 61:</b> Gráfico de Massa Específica Aparente das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	126
<b>Figura 62:</b> Gráfico de Absorção de Água das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	127
<b>Figura 63:</b> Gráfico de Retração Linear de Queima das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	128
<b>Figura 64:</b> Gráfico de Retração Volumétrica de Queima das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	129
<b>Figura 65:</b> Gráfico da Tensão de Ruptura à Flexão das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro. ....	130
<b>Figura 66:</b> Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA0. ....	132
<b>Figura 67:</b> Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA1. ....	132
<b>Figura 68:</b> Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA2. ....	133
<b>Figura 69:</b> Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA3. ....	133
<b>Figura 70:</b> Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA5. ....	134
<b>Figura 71:</b> Micrografias ópticas das peças cerâmicas queimadas em função da temperatura de queima e da % de resíduo incorporado em um zoom de 10 x. ....	135
<b>Figura 72:</b> Perfil da curva de emissão de CO <sub>2</sub> proveniente da queima das massas argilosas MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro. ....	137
<b>Figura 73:</b> Perfil da curva de emissão de CO proveniente da queima das massas argilosas MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro. ....	139
<b>Figura 74:</b> Emissão de poluentes na combustão. ....	141
<b>Figura 75:</b> Perfil da curva de emissão de NO proveniente da queima das massas argilosas MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro. ....	142
<b>Figura 76:</b> Perfil da curva de emissão de NO <sub>2</sub> proveniente das massas argilosas MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro. ....	144

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Alguns componentes carcinogênicos presentes no Cigarro. ....	61
<b>Tabela 2:</b> Resultados experimentais das misturas contendo o resíduo ponta de cigarro. ....	67
<b>Tabela 3:</b> Concentração de metais pesados (mg/L) presente nos tijolos de argila incorporados com resíduo ponta de cigarro. ....	67
<b>Tabela 4:</b> Valores calculados de condutividade térmica dos tijolos incorporados.....	70
<b>Tabela 5:</b> Resultado do experimento com diferentes tempos de mistura. ....	71
<b>Tabela 6:</b> Valores calculados de condutividade térmica de tijolos de argila fabricado com diferentes porcentagens de resíduo ponta de cigarro e diferentes tempos de mistura.....	74
<b>Tabela 7:</b> Propriedades variando taxa de aquecimentos e % resíduo ponta de cigarro. ....	74
<b>Tabela 8:</b> Relação da densidade a seco com a condutividade térmica experimental e teórica variando até 5% de resíduo ponta de cigarro. ....	75
<b>Tabela 9:</b> Propriedades físicas e mecânicas dos tijolos padrões e incorporados com pontas de cigarro em diferentes taxas de aquecimentos (extremos). ....	76
<b>Tabela 10:</b> Emissão Total Estimada calculada para tijolos de argila. ....	77
<b>Tabela 11:</b> Emissão Total Estimada calculada para tijolos de argila incorporada com resíduo ponta de cigarro.....	78
<b>Tabela 12:</b> Propriedades Físicas e Mecânicas das amostras de tijolo de argila queimada com diferentes taxas de aquecimento. ....	79
<b>Tabela 13:</b> Propriedades Físicas e Mecânicas das amostras de tijolo de argila incorporada com resíduo ponta de cigarro queimada em diferentes taxas de aquecimento.....	80
<b>Tabela 14:</b> Valores calculados de energia economizada durante a queima para tijolos de argila incorporados com 2,5% e 5% de resíduo ponta de cigarro. ....	83
<b>Tabela 15:</b> Comparação das propriedades físicas e mecânicas de tijolos de argila padrão e propriedades estimadas de tijolos incorporados com 1% de resíduo ponta de cigarro. ....	83
<b>Tabela 16:</b> Composições das formulações propostas (% em massa). ....	90
<b>Tabela 17:</b> Composição granulométricas das massas argilosas (%). ....	106
<b>Tabela 18:</b> Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de plasticidade das massas argilosas MLA0, MLA2 e MLA4.....	106
<b>Tabela 19:</b> Resultado de Densidade Real dos grãos.....	108
<b>Tabela 20:</b> Resultado da Análise Química FRX da massa argilosa MLA0. ....	109
<b>Tabela 21:</b> Resultado da Análise Química FRX do resíduo ponta de cigarro para elementos metálicos.....	110
<b>Tabela 22:</b> Resultado da Análise Química FRX do resíduo ponta de cigarro para óxidos.....	110
<b>Tabela 23:</b> Resultado de Retração Linear de Secagem. ....	116
<b>Tabela 24:</b> Resultado de retração volumétrica de secagem. ....	117

<b>Tabela 25:</b> Resultados de massa específica bulk dos corpos de prova. ....	118
<b>Tabela 26:</b> Resultado de Tensão à Flexão da peça seca após secagem.....	119
<b>Tabela 27:</b> Resultado de perda ao fogo dos corpos de prova queimados. ....	123
<b>Tabela 28:</b> Resultado de Porosidade Aparente dos corpos de prova queimados...	124
<b>Tabela 29:</b> Resultado de Massa Específica Aparente. ....	126
<b>Tabela 30:</b> Resultado de absorção de água dos corpos de prova queimados. ....	127
<b>Tabela 31:</b> Resultado de retração linear de queima. ....	128
<b>Tabela 32:</b> Resultado de retração volumétrica de queima.....	129
<b>Tabela 33:</b> Resultado da tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova queimados. .....	130
<b>Tabela 34:</b> Resultado em ppm da emissão de CO <sub>2</sub> proveniente da queima das massas argilosas e resíduo proposto.....	137
<b>Tabela 35:</b> Resultado em ppm da emissão de CO proveniente da queima das massas argilosas e resíduo proposto.....	139
<b>Tabela 36:</b> Resultado em ppm da emissão de NO proveniente da queima das massas argilosas e resíduo proposto.....	142
<b>Tabela 37:</b> Resultado em ppm da emissão de NO <sub>2</sub> proveniente da queima das massas argilosas e resíduo proposto.....	144

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1:</b> Cálculo do Índice de Plasticidade de Atterberg (IP) .....	92
<b>Equação 2:</b> Cálculo de retração linear de secagem .....	95
<b>Equação 3:</b> Cálculo de retração volumétrica de secagem.....	95
<b>Equação 4:</b> Massa específica da peça seca .....	96
<b>Equação 5:</b> Cálculo de perda ao fogo .....	97
<b>Equação 6:</b> Cálculo de Massa Específica Aparente.....	98
<b>Equação 7:</b> Cálculo de Absorção de água .....	99
<b>Equação 8:</b> Cálculo de Porosidade Aparente.....	99
<b>Equação 9:</b> Cálculo de Retração Linear de Queima. ....	99
<b>Equação 10:</b> Cálculo de Retração Volumétrica de Queima.....	100
<b>Equação 11:</b> Cálculo de Tensão de Ruptura à Flexão. ....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC - Associação Brasileira de Cerâmica  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica  
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
ASTM - *American Society for Testing and Materials*  
ATD - Análise Térmica Diferencial  
ATG - Análise Térmica Termogravimétrica  
EPA - Environmental Protection Agency  
EPI - Equipamento de Proteção Individual  
INCA - Instituto Nacional de Câncer  
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia  
MLA - Massa Luís Antonio  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
ONU - Organização das Nações Unidas  
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas  
SENAC - Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial  
SESC - Serviço Social do Comércio  
UCAM - Universidade Cândido Mendes  
USEPA - United States Environmental Protection Agency



## SUMÁRIO

EPÍGRAFE .....	5
DEDICATÓRIA.....	6
AGRADECIMENTOS .....	7
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS .....	13
LISTA DE EQUAÇÕES .....	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	16
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	20
1.1. Considerações Iniciais .....	20
1.2. Objetivos Gerais.....	22
1.2.1. Objetivos específicos .....	22
1.3. Justificativas.....	23
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	24
2.1. Materiais Cerâmicos .....	24
2.1.1. Classificação.....	24
2.2. Cerâmica Vermelha .....	26
2.2.1. Telhas Cerâmicas.....	31
2.3. Matéria Prima.....	32
2.3.1. Minerais e rochas.....	332
2.3.2. Argilas.....	34
2.3.3. Argilominerais .....	34
2.4. Propriedades Gerais das Argilas.....	35
2.5. Processamento de cerâmica vermelha .....	35
2.5.1. Processamento de telhas cerâmicas .....	38
2.6. Resíduos Sólidos .....	40
2.6.1. Classificação dos resíduos sólidos .....	41
2.7. Incorporação de resíduos sólidos em cerâmica vermelha .....	43
2.9. Classificação dos resíduos em cerâmica vermelha .....	50
2.10. Resíduo de Ponta de Cigarro.....	51
2.10.1. Consumo de cigarro no Brasil e no mundo .....	56
2.10.2. O cigarro e seus constituintes.....	59

2.10.2.1. Acetato de Celulose.....	63
2.10.2.2. Papel (constituente do cigarro) .....	64
2.11. O Resíduo de Ponta de Cigarro e sua incorporação em Cerâmica Vermelha.....	65
<b>CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>85</b>
3.1. Matérias primas.....	86
3.2. Beneficiamento das matérias primas .....	87
3.3. Formulação das massas cerâmicas .....	90
3.4. Preparação das massas cerâmicas .....	90
3.5. Caracterização das matérias primas.....	91
3.5.1. Ensaio de Caracterização Física.....	91
3.5.1.1. Análise Granulométrica.....	91
3.5.1.2. Índices de Plasticidade de Atterberg.....	92
3.5.1.3. Densidade Real dos grãos.....	92
3.5.2. Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica.....	92
3.5.3. Análise Morfológica.....	93
3.5.4. Análise Química (FRX) .....	93
3.6. Preparação dos corpos de prova cerâmicos .....	93
3.7. Secagem das peças cerâmicas .....	94
3.8. Queima das peças cerâmicas .....	96
3.9. Caracterização física e mecânica das peças cerâmicas queimadas .....	97
3.9.1. Perda ao Fogo .....	97
3.9.2. Massa Específica Aparente .....	98
3.9.3. Absorção de Água .....	98
3.9.4. Porosidade Aparente .....	99
3.9.5. Retração Linear de Queima .....	99
3.9.6. Retração Volumétrica de Queima .....	100
3.9.7. Tensão de Ruptura à Flexão .....	100
3.9.8. Análise Microestrutural .....	101
3.9.8.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	101
3.9.8.2. Microscopia Óptica (MO) .....	101
3.9.9. Análise de Emissão de gases.....	101
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>105</b>
4.1. Caracterização das matérias primas.....	105

4.1.1. Ensaio de caracterização física.....	105
4.1.1.1. Análise granulométrica.....	105
4.1.1.2. Índices de Plasticidade de Atterberg.....	106
4.1.1.3. Densidade Real dos grãos .....	107
4.1.2. Análise química (FRX).....	108
4.1.3. Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica .....	111
4.1.4. Análise Morfológica .....	113
4.2. Caracterizações das peças cerâmicas seca .....	116
4.2.1. Retração Linear de Secagem.....	116
4.2.2. Retração Volumétrica de Secagem .....	117
4.2.3. Massa Específica bulk após secagem.....	118
4.2.4. Tensão de Ruptura à Flexão após secagem .....	119
4.3. Caracterização física e mecânica das peças cerâmicas queimadas .....	120
4.3.1. Perda ao Fogo .....	122
4.3.2. Porosidade Aparente .....	124
4.3.3. Massa Específica Aparente .....	125
4.3.4. Absorção de Água .....	127
4.3.5. Retração Linear de Queima.....	128
4.3.6. Retração Volumétrica de Queima .....	129
4.3.7. Tensão de Ruptura à Flexão .....	130
4.3.8 Análise Microestrutural .....	131
4.3.8.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	131
4.3.8.2. Microscopia Óptica (OP).....	135
4.3.9. Análise de Emissão de gases.....	136
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES .....	147
5.1. Conclusão .....	147
5.2. Sugestões e perspectivas para trabalhos futuros .....	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	150

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações Iniciais

O desenvolvimento industrial crescente junto ao crescimento econômico encaminha a novos padrões de vida norteados pelo consumismo e pela cultura do produto descartável. Sendo assim, é necessária uma gestão ambiental mais rigorosa, em busca de processos produtivos e tecnologias mais limpas e conscientes, pois há uma grande preocupação com os resíduos sólidos que aumentam desenfreadamente (MINGHUA *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2011).

Os resíduos sólidos não só pluralizam, mas também podem ser compostos por materiais de difícil degradação, assim, dificultando a destinação final e, por consequência, causando graves impactos ambientais ao serem deixados em aterros sanitários ou lixões, gerando a degradação do solo, poluição do ar e contaminação do lençol freático e mananciais (FERNANDES *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2011).

Os órgãos de regulamentação ambiental estão restritivos na administração da alta quantidade de resíduo sólido produzido e descartado inadequadamente. Logo, surge como uma medida ambientalmente sustentável, o enaltecimento e a reutilização de resíduo sólido em muitas áreas da indústria e de pesquisa (KADIR e MOHAJERANI, 2011).

A preocupação e preservação ambiental aliada a fatores econômicos e a escassez dos recursos naturais não renováveis, passaram a gerar uma valorização pelos resíduos industriais decorrendo na utilização em larga escala na indústria cerâmica, uma vez que esta consegue admitir e dar destino final para um grande volume de resíduos poluentes, de diferentes origens e tipos, já que sua produção possui enorme proporção comparada a outros ramos industriais (WENDER e BALDO, 1998; BARATA *et al.*, 2012; BASTOS *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2015).

A indústria cerâmica tem buscado desenvolver produtos de qualidade comprovada, com o intuito de acompanhar o mercado, para isso, utilizam a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologia em seus equipamentos e processos industriais. As propriedades físicas, químicas e mineralógicas das matérias-primas naturais utilizadas associadas às características do processamento cerâmico, permite este

segmento uma gama de alternativas na reciclagem de resíduos sólidos. Isto proporciona uma consequente redução dos impactos ambientais gerados (WENDER; BALDO, 1998; REIS, 2007; KADIR e MOHAJERANI, 2011; SILVA *et al.*, 2015).

A possibilidade de reutilizar resíduos sólidos na formulação da massa argilosa usada na indústria de cerâmica vermelha permite reduzir o consumo da argila, que é um recurso natural não renovável (SILVA *et al.*, 2015). Em muitos lugares do mundo, já é realidade a escassez de matéria-prima oriunda da natureza para se produzir o referido material (ZHANG, 2013).

Outra vantagem da introdução de resíduos sólidos que contenham elementos tóxicos na massa que será utilizada na fabricação de produtos de cerâmica vermelha é o fato de a compatibilidade físico-química da cerâmica vermelha permitir que a matriz cerâmica sinterizada encapsule o composto incorporado e o conjunto torna-se ambientalmente inerte (WENDER e BALDO, 1998; BARATA *et al.*, 2012; BASTOS *et al.*, 2013; MONTEIRO e VIEIRA, 2014; SILVA *et al.*, 2015).

A ponta de cigarro residual é gerada em alta escala no mundo todo e quando descartada de maneira imprópria, causa impactos negativos ao meio ambiente. Há uma grande complexidade na reciclagem do resíduo ponta de cigarro, pois não existem mecanismos que assegurem uma destinação eficiente e ambientalmente correta de seus constituintes e ao mesmo tempo seja economicamente viável. Então, o segmento da cerâmica vermelha surge como uma alternativa a ser estudada para viabilizar o potencial uso deste resíduo sólido (MOHAJERANI *et al.*, 2016).

Conforme dados fornecidos por Souza Cruz (2018), indústria fabricante de cigarros que fabrica para o mundo, em torno de 5,4 trilhões de unidades por ano (são 18 bilhões todos os dias). O Brasil é considerado o maior mercado latino-americano desta mercadoria, correspondente a 42 % do total vendido na América Latina.

Os fumantes de todo o mundo compram cerca de 6,5 trilhões de cigarros a cada ano. Em contrapartida, destes trilhões de filtros de cigarro utilizados, apenas um terço estimado deles chegam ao lixo e o restante é jogado casualmente na rua ou pelas janelas (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2019).

Manter condições adequadas para o desenvolvimento da vida no nosso planeta tem sido um grande desafio, devido ao enorme desgaste sofrido pelo meio

ambiente desde o último século. Assim, a missão principal da Ciência tem sido estudar algumas soluções para que a natureza consiga sobreviver aos danos causados pela humanidade.

Portanto, a presente dissertação de mestrado propõe uma solução tecnológica alternativa para a disposição final do resíduo ponta de cigarro. Neste trabalho foi estudada a possibilidade do uso de resíduo de ponta de cigarro na fabricação de telha cerâmica, com ênfase especial sobre o comportamento de densificação, propriedades técnicas e microestrutura sinterizada.

## **1.2. Objetivos Gerais**

Esta dissertação tem como objetivo principal avaliar os efeitos da incorporação de resíduo de ponta de cigarro sobre o comportamento de densificação de uma massa argilosa industrial usada na produção de telha cerâmica. A massa argilosa industrial foi fornecida por uma empresa de cerâmica vermelha localizada no Polo Cerâmico da região de Campos dos Goytacazes-RJ.

### **1.2.1. Objetivos específicos**

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) Incorporação de resíduo ponta de cigarro em uma massa argilosa industrial para telha;
- b) Investigar o efeito da adição do resíduo ponta de cigarro no comportamento de densificação da massa argilosa;
- c) Caracterização física, química e mecânica dos corpos cerâmicos incorporados com resíduo ponta de cigarro após secagem e queima;
- d) Avaliar a microestrutura sinterizada dos corpos cerâmicos incorporados com resíduo ponta de cigarro;
- e) Avaliar o potencial de aplicação do resíduo ponta de cigarro na produção de telha cerâmica;
- f) Analisar os gases emitidos durante o processo de sinterização.

### 1.3. Justificativas

O material de resíduo sólido estudado neste trabalho (resíduo ponta de cigarro) representa um potencial e incisivo poluente proveniente do consumo da sociedade brasileira e do mundo. Além disso, os consumidores deste produto, geralmente dão uma disposição final ambientalmente inadequada, na qual vem se tornando um problema significativo, principalmente quando se trata do ambiente marinho, onde vem despertando significantes reportagens nos principais jornais do Brasil e do mundo.

O município de Campos dos Goytacazes, situado na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, não apresenta um cenário diferente do restante do país.

É importante destacar que a possibilidade de incorporação do resíduo de ponta de cigarro em cerâmica vermelha promove a inertização de seus componentes tóxicos, evita a deposição dos mesmos em ruas, praias, mares e aterros industriais, contribuindo para o equilíbrio ecológico nos pequenos e grandes centros, assim como em regiões indústrias.

Esta dissertação também tem como motivação a contribuição científica no estudo deste potencial resíduo sólido na incorporação de massa cerâmica para telhas. O uso de resíduo ponta de cigarro já tem sido estudado na fabricação de blocos cerâmicos (tijolos). Entretanto, existe uma lacuna na literatura quando do seu emprego para fabricação de telhas cerâmicas de alta qualidade técnica.

Neste contexto, o presente trabalho de mestrado serve de base para uma destinação final ambientalmente correta do resíduo de ponta de cigarro, bem como na valorização deste resíduo sólido na obtenção de telha cerâmica que é um produto de cerâmica vermelha na qual possui um maior valor agregado em relação a bloco cerâmico.

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 classificados como cerâmicos são formados por combinações de elementos metálicos associados aos elementos não metálicos: geralmente são óxidos, nitretos e carbetos. Além disso, os argilominerais, os cimentos e os vidros também estão presentes nesse grupo (PADILHA, 2000).

Referente ao comportamento mecânico, de maneira geral, são mais duros e resistentes a alterações químicas do que em relação aos dos metais (VAN VLACK, 2000).

Tradicionalmente, esses materiais são frágeis, suscetíveis à fratura, isolantes à passagem de calor e eletricidade (baixa condutividade térmica e elétrica) e comparado aos polímeros e metais são mais resistentes às temperaturas elevadas e a ambientes severos (CALLISTER, 2013).

Como em sua maioria são compostos formados por materiais metálicos e não metálicos, sua ligação interatômica pode ser totalmente iônica ou predominantemente iônica com natureza covalente (VAN VLACK, 2000).

Relacionado ao comportamento óptico, podem ser transparentes, translúcidos ou opacos, e dependendo do óxido presente, podem apresentar comportamento magnético (CALLISTER, 2013).

#### **2.1.1. Classificação**

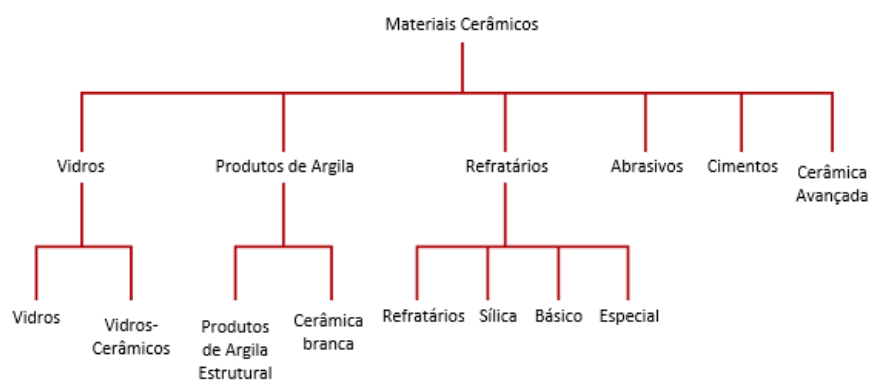
Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (2018), o setor cerâmico pode ser classificado por:

- Cerâmica Vermelha: Materiais de coloração avermelhada geralmente utilizados em construção civil;
- Materiais de Revestimento (Placas cerâmicas): Materiais também utilizados na construção civil, em formato de placas com intuito de revestir paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos;



- Cerâmica Branca: Grupo muito variado, pois é constituído por materiais de coloração branca recobertos normalmente por uma camada vítrea transparente e incolor. Então, pode-se subdividir este grupo em: louça sanitária, louça de mesa, isoladores elétricos para alta e baixa tensão, cerâmica artística, etc;
- Materiais refratários: Este tipo de cerâmica tem como objetivo suportar temperaturas elevadas que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações;
  - Isolantes térmicos: Materiais com baixa condutividade térmica;
  - Fritas e Corantes: São importantes para determinar acabamentos dos materiais cerâmicos. A Frita é um vidro moído, aplicado na superfície do corpo cerâmico que, após a queima, adquire aspecto vítreo, oferecendo: estética, impermeabilidade da peça, aumento da resistência mecânica, etc. Os Corantes constituem-se de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos adicionados aos esmaltes (vidrados), cuja finalidade é oferecer colorações das mais diversas tonalidades e efeitos especiais;
  - Abrasivos: É considerado como material cerâmico por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos das cerâmicas;
  - Vidro, cimento e cal: Importantes segmentos da cerâmica;
  - Cerâmica de Alta Tecnologia/Cerâmica avançada: Materiais elaborados a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza e por meio de processos rigorosamente controlados.

A Figura 1, segundo o Callister (2013), mostra um resumo de como os materiais cerâmicos podem ser classificados segundo sua aplicação:



**Figura 1:** Classificação dos materiais cerâmicos com base em sua aplicação.

Fonte: Adaptado de CALLISTER, 2013.

## 2.2. Cerâmica Vermelha

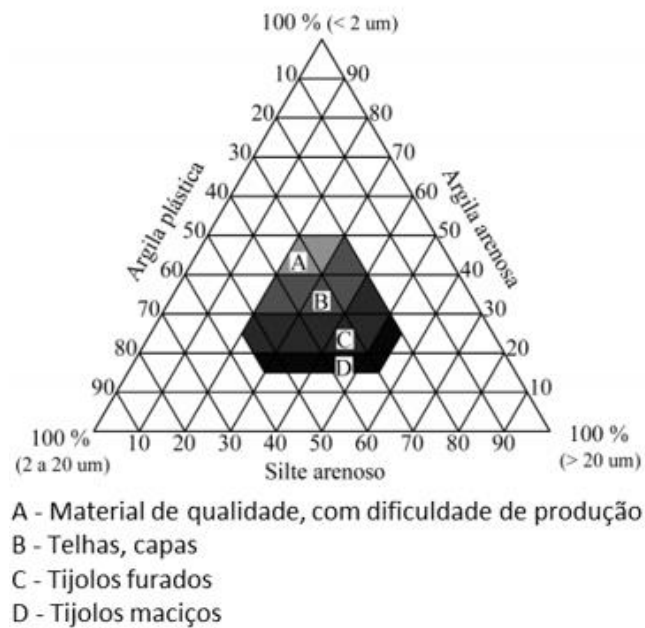
A classificação dada por materiais cerâmicos vermelhos pertence aos materiais cerâmicos que apresentam uma coloração avermelhada após a queima. Essa cor característica é proveniente do óxido de ferro contida na composição da argila, além de outros minerais presentes no processamento térmico e a coloração varia conforme a quantidade dos demais componentes. (PINHEIRO e HOLANDA, 2010).

A massa cerâmica vermelha possui uma propriedade chamada de plasticidade que lhe a trabalhabilidade suficiente para ser moldada. Normalmente, a queima desse tipo de material acontece em uma temperatura inferior a 1100°C (GALÁN e APARICIO, 2011).

As argilas são matérias-primas de composição mista, com predomínio de minerais de argila (como caulinita, esmectitas, illitas e cloritós) associado com quartzo e carbonatos. Em quantidades menores também possuem feldspatos e óxidos de ferro em sua composição (GALÁN e APARICIO, 2011).

A massa argilosa geralmente é feita de forma empírica com intuito de obter uma composição apropriada de plasticidade e trabalhabilidade, além de fusão e resistência mecânica pós queima. Normalmente, a preparação da massa argilosa é feita por meio da mistura de uma argila rica em plasticidade, caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais; com uma argila caracterizada pela sua menor plasticidade, rica em quartzo que é considerado como material redutor de plasticidade (MOTTA *et al.*, 2001).

A partir do princípio de que uma massa argilosa não pode ter somente argilas plásticas, pois compromete o processamento, a conformação das peças, além da secagem e da queima, faz-se necessário realizar um estudo para alcançar uma composição granulométrica e massa adequada. A Figura 2, mostra o Diagrama de Winkler, utilizado no estudo de composição da massa cerâmica associando a composição granulométrica e seus respectivos campos de aplicação (PRADICELLI e MELCHIADES, 1997).



**Figura 2:** Diagrama granulométrico de Winkler.

Fonte: PRADICELLI e MELCHIADES, 1997.

Na prática ceramista, entretanto, a classificação granulométrica da massa é dada em conformidade com a experiência do mesmo e cerâmicas adotam a mesma massa para produção de telhas e blocos cerâmicos (tijolos furados). Além disso, é difícil obter uma padronização e a transferência do saber cerâmico (MOTTA *et al.*, 2001).

A Associação Nacional da Indústria Cerâmica (2018), ressalta a importância do setor cerâmico no âmbito socioeconômico brasileiro e mundial e em relação à construção civil, setor em constante desenvolvimento no Brasil. Assim, conforme fontes da ANICER, a cerâmica vermelha no Brasil é composta de aproximadamente 6.903 empresas resultando em um faturamento de 18 Bilhões de reais ao ano, gerando 293 mil empregos diretos e aproximadamente 900 mil empregos indiretos. Além disso, este segmento reflete em 90% das alvenarias e coberturas do Brasil e 4,8% da Indústria da Construção Civil, acarretando uma produção de 4.000.000.000 peças/mês de blocos cerâmicos, 1.300.000.000 peças/ano de telhas e 325,5 km de tubos.

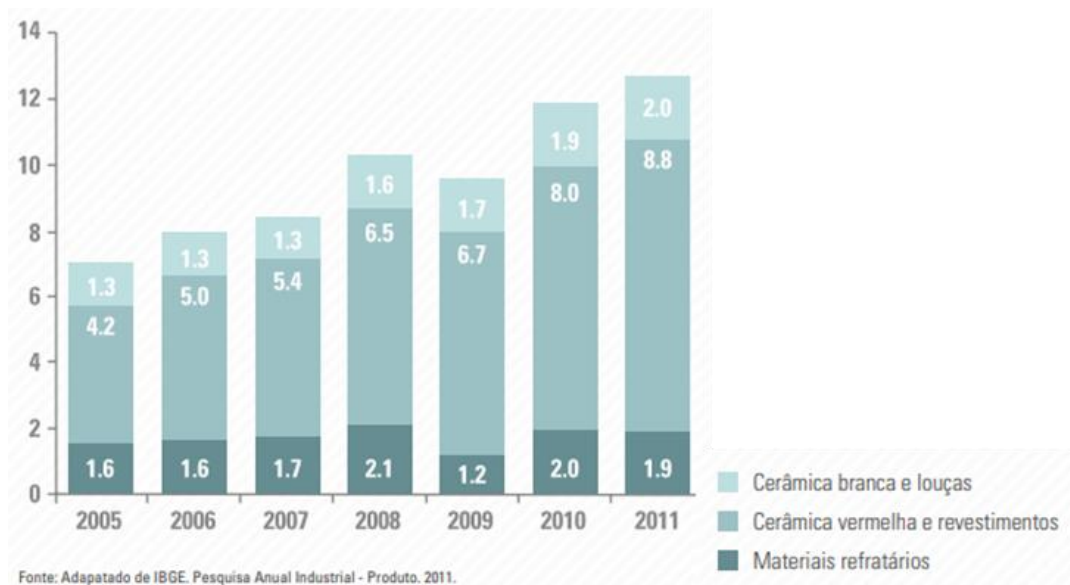
Conforme o SEBRAE (2015), no Brasil, a cerâmica vermelha é produzida em sua maioria por empresas de pequeno e médio porte, com intuito de servir a construção civil em geral. Essas empresas estão localizadas por todo o país, em

regiões onde há maior disponibilidade de matéria-prima e iminência dos mercados consumidores.

O bloco de vedação é um dos materiais mais arcaicos quando se trata do setor de construção, e ainda continua sendo um dos mais estimados em virtude de sua durabilidade, facilidade de manuseio, característica estética e preço acessível (PHONPHUAK e CHINDAPRASIRT, 2015; BORIES *et al.*, 2014).

No Brasil, o setor fatura o equivalente a 18 Bilhões de reais e este número representa em torno de 1% do Valor Bruto da Produção Industrial (VBPI), como mostra a Figura 3 (SEBRAE, 2015; ANICER, 2018).

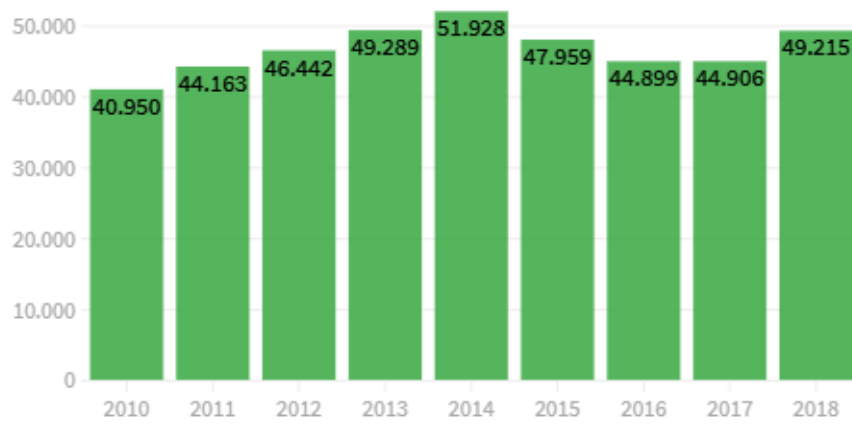
Em relação a produção da Cerâmica Vermelha, de acordo com a Figura 4, é possível visualizar o crescimento da representatividade da cerâmica vermelha e revestimentos na produção nacional, ocasionado pelo crescimento de construção civil no país (SEBRAE, 2015).



**Figura 3:** Representatividade da cerâmica vermelha e revestimentos na produção nacional.

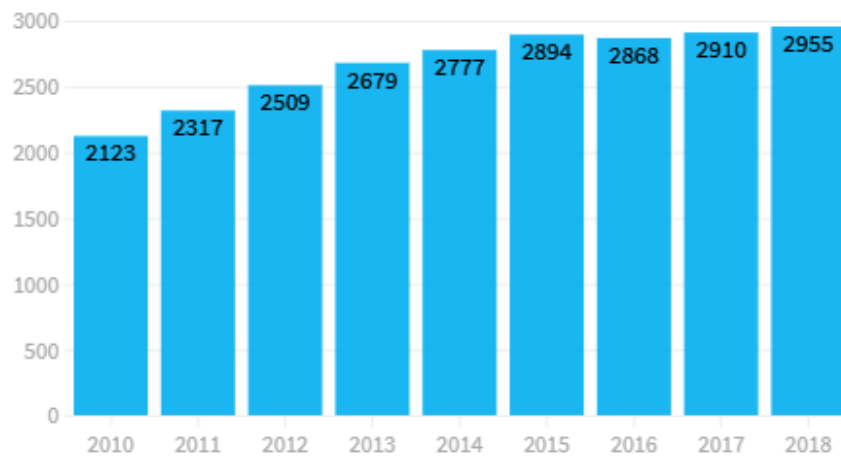
Fonte: SEBRAE, 2015.

De acordo com FIESC (2018), no Estado de Santa Catarina, o setor mostrou variação de 20,2% no número de empregos entre 2010 e 2018 (Figura 4). Em termos de estabelecimentos, houve ampliação de 39,2% no mesmo período (Figura 5).


**EMPREGOS**


**Figura 4:** Crescimento na empregabilidade do setor cerâmico.

Fonte: FIESC (2018).


**ESTABELECIDAMENTOS**


**Figura 5:** Crescimento na quantidade de estabelecimentos cerâmicos.

Fonte: FIESC (2018).

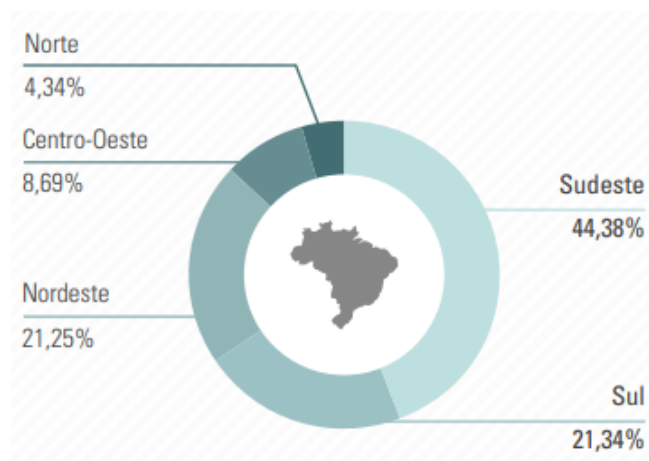
Entre os anos de 2012 e 2019, em Santa Catarina, as exportações do setor cerâmico caíram 38%, enquanto as importações tiveram alta de 1,4%, como mostra a figura 6 (FIESC 2019).



**Figura 6:** Evolução da balança comercial no setor cerâmico.

Fonte: FIESC (2019).

Ainda, segundo a SEBRAE (2015), a produção nacional de cerâmica vermelha por região se destacou no Sul e Sudeste do país. A região Nordeste também mostrou bom desempenho na sua produção, como mostra a Figura 7.



**Figura 7:** Produção Nacional de Cerâmica Vermelha.

Fonte: SEBRAE, 2015.

### 2.2.1. Telhas Cerâmicas

No Brasil, desde o início da colonização é utilizado telhas produzidas com material cerâmico. Primitivamente, as telhas eram produzidas manualmente com mão-de-obra escrava que as esculpam em suas próprias pernas, de modo que dava forma ao canal por onde a água deveria fluir (INMETRO, 2018).

As telhas cerâmicas são elementos utilizados para coberturas de construções civis com intuito de proteger as mesmas da água de chuva, empregadas em todo o mundo e possuem muitas conformações e características técnicas diferente de acordo com sua região. Existem diversos tipos, como: francesa, colonial, italiana, holandesa, portuguesa e romana (NECKEL JUNIOR, 2008).

Segundo dados da Associação Nacional da Indústria Cerâmica, a telha romana é a mais utilizada em construções populares (ANICER, 2018).

A matéria-prima principal utilizada na fabricação das telhas cerâmicas, é a argila e é escolhida e preparada em conformidade com as propriedades técnicas e normativas que o produto final deve adquirir. Além disso, as telhas são produzidas na coloração natural da argila, entretanto, também pode ser produzida com cores artificialmente adquiridas por meio da esmaltação com aditivos corantes, ou então por meio de tratamentos especiais de queima. No caso da esmaltação, pode ter a função de uma camada protetora contra intempéries (NECKEL JUNIOR, 2008).

O INMETRO realiza análises de conformidade em materiais de construção para obter informações que servirão de referência para programas de qualidade (INMETRO, 2018).

Em maio de 1996, na primeira análise realizada pelo INMETRO, percebeu-se alterações sofridas na conformidade dos produtos finais. Desde então, existem regras para analisar o percentual de conformidade de telhas cerâmicas. Os ensaios realizados para o critério de aceitação da peça cerâmica são: massa seca, absorção de água, impermeabilidade, carga de ruptura à flexão, dimensões nominais (altura, comprimento e largura), espessura e empenamento (INMETRO, 2018).

## **2.3. Matéria Prima**

### **2.3.1. Minerais e rochas**

O mineral é um sólido de ocorrência natural e cristalino, ou seja, com um arranjo atômico altamente ordenado e uma composição química homogênea e definida, mas não obrigatoriamente fixa. Além disso, são frequentemente formados por processos, mudanças de fase e estes são elementos constituintes básicos das rochas que formam a litosfera (KLEIN e DUTROW, 2012).

A rocha é um sólido natural constituído por agregados de um ou mais minerais de ocorrência natural da litosfera, proveniente de um determinado processo geológico e arranjado conforme as condições de temperatura e pressão existente durante sua formação. Também, podem ser corpos de minerais não cristalinos, como o vidro vulcânico (obsidiana) e materiais sólidos orgânicos, como o carvão (CAPUTO, 1987).

Com relação à gênese, as rochas podem ser classificadas de acordo com sua formação, no qual englobam três grupos: ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas (CAPUTO, 1987).

As rochas ígneas são aquelas conseguinte do resfriamento e consolidação de material fundido ou magma e essas podem ser intrusivas (plutônicas) ou extrusivas (vulcânicas) (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

As rochas sedimentares são constituídas pelos detritos oriundos da desagregação de rochas já existentes ou pelo acúmulo de substâncias orgânicas animais ou vegetais ou, também, pela precipitação química dos sais presentes em rios, lagos e mares. São exemplos: calcário, arenito e conglomerado (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

As rochas sedimentares mais comuns podem ser classificadas em arenosas (detríticas), argilosas (detríticas) e carbonatadas (não detríticas), estas últimas subdivididas em calcários e dolomitos. As rochas argilosas são as mais abundantes das rochas sedimentares (CPRM, 2015).

As rochas metamórficas são provenientes da transformação ou metamorfismo das rochas sedimentares e magmáticas. A este grupo pertencem: os gnaisses



(metamorfose dos granitos, os mármore (metamorfose dos calcários) e os quartzitos (metamorfose dos arenitos) (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

Dentre muitos minerais formadores de rochas, alguns podem ser citados, como: Silicatos (Feldspato, Mica, Quartzo, Serpentina, Dorita e talco), Óxidos (Hematita, Magnetita e Limonita), Carbonatos (Calcita e Dolomita) e Sulfatos (Gesso e Anidrita) (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

### **2.3.2. Argilas**

O composto argiloso é um material natural e terroso, finamente dividido, formado fundamentalmente por argilominerais e outros minerais classificados como minerais acessórios, além de matéria orgânica e outras impurezas (SANTOS, 1989).

Os materiais de cerâmica vermelha são principalmente formados pelas argilas, que apresentam boa retenção a água e fica suscetível a moldagem por meio de baixos esforços quando adicionada certa quantidade de água, caracterizando a propriedade de plasticidade. Isso justifica o fato delas serem formadas basicamente por compostos lamelares de baixa granulometria (TAVARES e GRIMME, 2002). Outrossim, possuem além da trabalhabilidade e resistência a verde, a seco e após o processo de queima, questões significativas na manufatura de uma variedade de produtos cerâmicos (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2005).

Este composto também é altamente desejável como matéria-prima cerâmica pelo desenvolvimento da plasticidade quando associado com água, e endurecimento submetido ao fogo, que elimina o teor de água (MAROTTA e HERUBIN, 1997).

Pela sua granulometria fina, geralmente adquire plasticidade quando umedecido com água e quimicamente são formadas por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio (SANTOS, 1989).

O material cerâmico produzido com argila tem por característica ser durável, resistente ao fogo e requer pouca manutenção. Além do mais, o que faz com que este material seja autêntico nas unidades de construções, são suas propriedades como: resistência mecânica, resistência ao fogo, durabilidade, beleza e desempenho com argamassa (HENDRY e KHALAF, 2001).

Existe uma ampla variabilidade no material argiloso utilizado na produção cerâmica, que consiste na variação da composição e localidade de origem do solo (HENDRY e KHALAF, 2001).

Este tipo de material possui uma ampla distribuição geográfica, grande variedade de composição e custo reduzido no valor de mercado. Então, para que seja viável a exploração de uma jazida e produção do produto cerâmico, devem-se ter as seguintes características: facilidade de exploração, acessibilidade, grandes reservas e proximidade com o mercado potencial (GALÁN e APARICIO, 2011).

### **2.3.3. Argilominerais**

Os argilominerais são minerais normalmente cristalinos e quimicamente são silicatos de alumínio hidratado, contendo outros componentes como magnésio, ferro, cálcio, sódio, potássio, lítio e outros (SANTOS, 1989).

Ademais, Santos (1989) também conceitua os minerais argilosos pela definição dada pelo *Comité International pour l'Etude des Argiles*, na qual os argilominerais são silicatos hidratados formados em redes cristalinas lamelares, constituídos por folhas, planos ou camadas contínuas de tetraedros  $\text{SiO}_4$ , ordenados em forma hexagonal, condensados com folhas ou camadas octaédricas.

Conforme a Associação Brasileira de Cerâmica (2018), quando as argilas são agregadas à água, são os argilominerais que contribuem em proporcionar vasta variedade de aplicações tecnológicas ao conjunto argiloso, uma vez que nesta condição, são potencializadas algumas propriedades como: plasticidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas.

Os principais grupos de argilominerais são caulinita, illita e esmectitas ou montmorilonita (ABC, 2018).

O tipo de estrutura e as possíveis modificações na composição dentro da estrutura é o que diferencia os argilominerais. Neste caso, do alumínio por magnésio ou ferro, e do silício por alumínio ou ferro, e conseqüentemente compromete nas propriedades resultantes (ABC, 2018).

## 2.4. Propriedades Gerais das Argilas

As propriedades das argilas podem ser caracterizadas nos seguintes estados: a) natural ou bruto (úmida ou após secagem), b) após desagregação com ou sem divisão granulométrica em uma ou mais peneiras a seco, c) depois da divisão em meio líquido por meio de peneiras, floculação e secagem, d) posterior a divisão fluidodinâmica com floculação e secagem, caso seja preciso. Logo, devido à variabilidade citada anteriormente, é necessária uma amostra que seja bem detalhada em relação ao tratamento prévio recebido pela mesma para sua caracterização (SANTOS, 1989).

De acordo com Santos (1989), os argilominerais também têm suas propriedades comprometidas pela substituição isomórfica causada pela espécie mineralógica e composição química da mesma. Em adendo, as argilas podem se diferenciar pela composição mineralógica qualitativa e quantitativa, resultando em diferentes propriedades químicas, físicas, mecânicas e tecnológicas.

Para Santos (1989), para uma correta identificação das particularidades de um mineral argiloso, requer essencialmente inteirar-se da variabilidade de suas propriedades físicas e mecânicas, composição química, capacidade de troca de cátions, morfologia, propriedades micrométricas (granulometria, área específica, porosidade, etc), plasticidade, propriedades reológicas, propriedades físico-mecânicas em função da temperatura e retração de secagem e pós a queima.

## 2.5. Processamento de cerâmica vermelha

As propriedades do material cerâmico vermelho dependem da composição das argilas e essas exercem influência no processamento, sendo fundamentais, pois essas propriedades concedem às características de trabalhabilidade no preparo, na conformação e na etapa de sinterização (processamento térmico), proporcionando a resistência mecânica requerida (SANTOS, 1989; TAVARES e GRIMME, 2002; CABRAL JUNIOR *et al.*, 2005). Além disso, podem trazer consequências negativas como baixa produtividade em função das perdas por trincas e rachaduras após a queima (TAVARES e GRIMME, 2002).

A preparação de massa no processamento cerâmico é indispensável para a qualidade e produtividade do produto a ser fabricado. Este procedimento colabora para a redução do consumo energético e do desgaste dos equipamentos. Problemas na fabricação como: trincas, deformações, variação no processo da extrusão, variações na amperagem, variações no corte, variações na regulação de boquilha, variações na quantidade produzida, entre outros, podem ser evitados ou diminuídos com uma correta preparação da massa associado com um monitoramento efetivo do processo (TURBINO e BORBA, 2006).

O processamento inicia após a fase de mineração, onde a matéria-prima, geralmente natural e encontrada na crosta terrestre, é tratada, ou seja, moídos, classificados conforme sua granulometria e dependendo, purificada. O material quando sintético, vem pronto e necessita apenas de ajuste de granulometria (ABC, 2018).

A priori, a argila somente seca ao sol tinha uma resistência que resultava em uma durabilidade limitada. Então, para aprimorar, se passou a submeter o material a temperaturas mais elevadas. Neste caso, ocorre o fenômeno chamado de sinterização, que altera a estrutura cristalográfica das argilas expostas a altas temperaturas em condições específicas de preparação. Outra condição importante, onde deve ser racionar de forma homogênea dentro do forno para concretizar a sinterização coerentemente ao longo da peça (TAVARES e GRIMME, 2002).

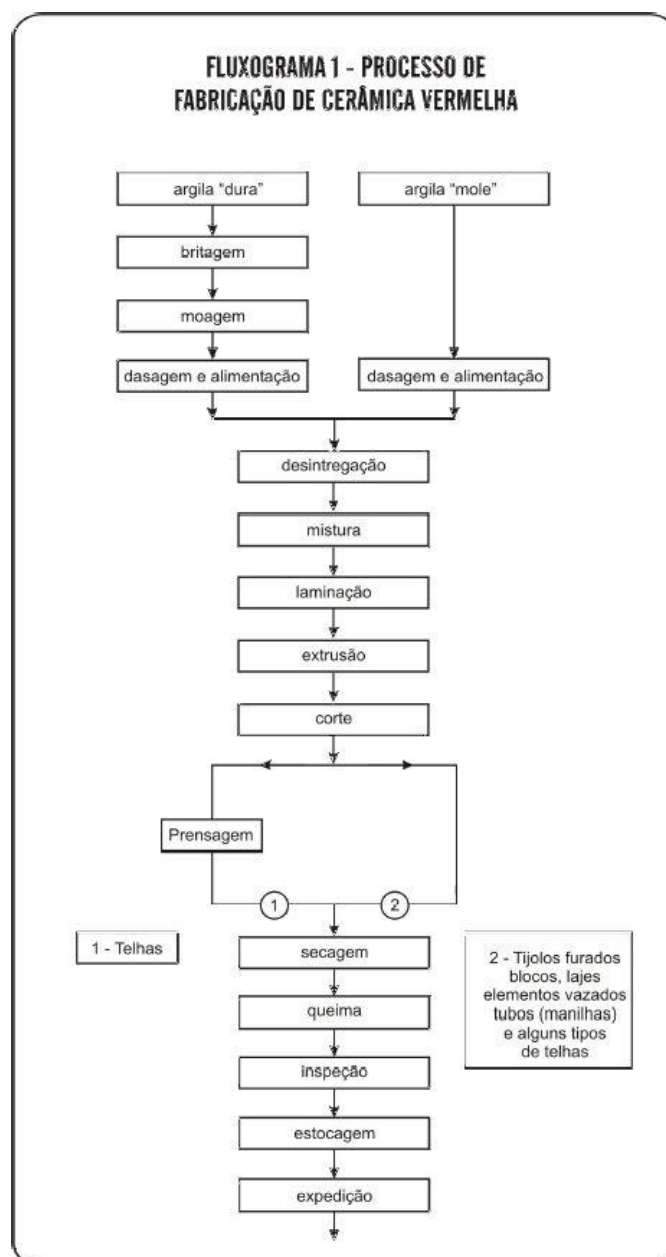
Na cerâmica vermelha, a sinterização é mais crítica para telhas e blocos estruturais, pois a exigência técnica é mais rigorosa (CABRAL JÚNIOR, 2005).

Conforme Tavares e Grimme (2002), as etapas básicas do processamento de cerâmica vermelha é:

- 1) Preparação da argila: Etapa onde as argilas são retiradas das lavras e levadas para as empresas do setor para serem submetidos ao sazramento a céu aberto;
- 2) Moldagem: As argilas são hidratadas até alcançarem plasticidade de processamento e em seguida, conformadas;
- 3) Secagem: Após as peças atingirem o formato desejado, são submetidas à etapa de secagem de obterem a forma desejada as peças passam parte de secagem (forno ou ao ar livre);

4) Queima: Neste estágio, as peças são sujeitas às temperaturas de 900 a 950°C e então ocorre o fenômeno da sinterização conferindo propriedades de resistência ao material.

A Associação Brasileira de Cerâmica (2019) define as etapas do processo de fabricação de produtos de cerâmica vermelha conforme o fluxograma ilustrado na Figura 8, onde possui várias etapas, como: pré-preparo da matéria-prima, preparação, conformação, secagem, tratamento térmico, inspeção e estocagem dos elementos finais fabricados.



**Figura 8:** Fluxograma do processo de fabricação de Cerâmica Vermelha.

Fonte: ABC, 2018.

Na conformação das peças, os pós devem ser completamente misturados com água a fim de produzir propriedades de escoamento compatíveis com a técnica de conformação e a peça cerâmica depois de conformada, deve apresentar resistência mecânica suficiente para permanecer íntegra durante as operações de transporte, secagem e cozimento. Isto é, esta etapa é responsável por conferir trabalhabilidade na massa, por meio da plasticidade, e pela resistência mecânica a cru; e após o tratamento térmico, ela é responsável por promover a sinterização, e como consequência, há a elevação de sua resistência mecânica (CALLISTER, 2008).

O termo plasticidade se trata ao comportamento desenvolvido pelo material quando se deforma permanentemente após a aplicação de uma força sem se romper, e mantém esta forma após a remoção da força, sendo fundamental no processamento da cerâmica vermelha, onde a massa precisa ter uma resistência suficiente para permanecer na forma desejada após a conformação das peças (MURRAY, 2006).

De acordo com Santos (1989), a argila desenvolve plasticidade quando em contato com água, consequência da força de atração entre os argilominerais em conjunto com a ação lubrificante da água entre as partículas anisométricas lamelares. Isso quer dizer que a argila produzirá a plasticidade em quantidades de água suficiente para ocupar toda a superfície acessível dos argilominerais.

A plasticidade da argila permite que estes produtos possam ser conformados por extrusão, contribuindo para redução do custo de produção. Desta forma, constata-se a importância desta propriedade para a cerâmica vermelha, principalmente por ser um setor caracterizado (SANTOS, 1989).

### **2.5.1. Processamento de telhas cerâmicas**

Segundo Azevedo (2018), a mesma sequência de etapas que é considerada na cerâmica vermelha em geral, como mostra na Figura 8, também pode ser empregado na fabricação de telhas, que podem ser fabricadas por meio de duas técnicas de conformação: extrusão e prensagem.

A conformação por extrusão se refere a uma técnica amplamente utilizada na conformação de produtos de cerâmica vermelha, sendo o processo mais eficiente e

permite alcançar uma maior fabricação de telhas e ao longo dos anos vem sofrendo algumas modificações simplórias em sua tecnologia para adaptar os produtos cerâmicos à tendências de mercado. Outra vantagem deste processo de conformação é o corte da peça que, neste caso, é feito por lâmina, e não por fio, evitando a rebarba. Entretanto, tem a limitação para produção somente de seções constantes (RIBEIRO *et al.*, 2003; WIECK e DUALBI, 2013).

Ainda sobre a extrusão, a massa cerâmica precisa estar dura e com pouca água no momento da conformação, para que no momento do corte, reduza a possibilidade de gerar rebarba e causar defeitos na peça, contribuindo também para redução do custo. Uma massa mais dura requer uma maior pressão na rosca, solicitando mais o motor que faz a rosca girar e por consequência, aumenta o consumo de energia elétrica. Por outro lado, é obtido um maior empacotamento, acarretando uma maior qualidade do produto final, assim como melhores propriedades físicas e mecânicas. Além disso, no processo de secagem, o corpo cerâmico retrai menos e gasta menos energia (YAKUB *et al.*, 2012).

De acordo com Pureza (2004), a aplicação do processo de conformação por extrusão permite conformar qualquer tipo de matéria-prima com plasticidade natural ou adquirida por aditivos plastificantes.

O processo de prensagem pode ser realizado por diversos métodos. Na indústria de cerâmica vermelha é aplicada a prensagem uniaxial de ação simples para fabricação de produtos com geometrias simples, espessura reduzida e alta conformidade dimensional, e prensagem uniaxial de ação dupla quando se deseja fabricar peças com maiores espessuras (PEÇANHA JUNIOR, 2006).

Uma desvantagem deste processo de conformação é a possibilidade de aparecimento de trincas e empenos nas peças conformadas, nas quais geralmente aparecem com clareza após a conformação ou também podem aparecer apenas após o tratamento térmico. Esse defeito acontece por meio do atrito provocado pelas partículas em contato com as paredes internas da matriz durante a compactação, onde conduz ao gradiente de compactação no interior do corpo cerâmico. Na prensagem uniaxial de ação simples, existe a concentração de compactação unilateral próxima ao pistão, e na prensagem uniaxial de ação dupla, a concentração de compactação ocorre no interior do corpo (PEÇANHA JUNIOR, 2006).

Custódio *et al.* (2012) relacionaram os métodos de conformação por prensagem a seco e por extrusão a fim de compará-los e constaram que a extrusão

oferece ao produto uma maior resistência mecânica, maior coesividade, menor absorção e devido ao maior empacotamento, há maior retração pelo favorecimento do processo de sinterização. Já a prensagem a seco, mostra-se como um processo menos eficiente em relação à densificação e compactação do corpo cerâmico, assim, sendo determinante nas propriedades finais da peça conformada.

## **2.6. Resíduos Sólidos**

Com a transformação no panorama de vida social, o contingente populacional se concentrou nos grandes centros urbanos. A melhor infraestrutura básica passou a estar na cidade, com melhores alternativas de usufruir serviços essenciais como educação, saúde, transporte e lazer (CARLOS, 2008).

O índice de geração de resíduos sólidos aumentou consideravelmente por causa da ligeira civilização associado ao crescimento econômico, ao melhoramento dos padrões de vida, o consumismo e o surgimento da cultura do produto descartável (MINGHUA *et al.*, 2009).

Quando os resíduos sólidos não são descartados de maneira correta acarreta uma ameaça constante à saúde e ao ecossistema local, comprometendo a qualidade de vida local, além de colaborar para a degradação ambiental (COLLATO e BERGMANN, 2009; SIQUEIRA, 2013).

A lei nº 12.305/10 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi concebida com o objetivo de tratar os problemas ambientais, econômicos e sociais do Brasil, oriundo do uso errôneo dos usuários de resíduos sólidos. Então, a presente lei conceitua trazendo assuntos fundamentais para essa tratativa à tona, como: gestão integrada dos resíduos sólidos, padrões sustentáveis de produção e consumo, logística reversa, reciclagem, rejeitos, resíduos sólidos, responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, reutilização, dentre outros (BRASIL, 2010).



Segundo Brasil (2010), resíduos sólidos são definidos como:

“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”.

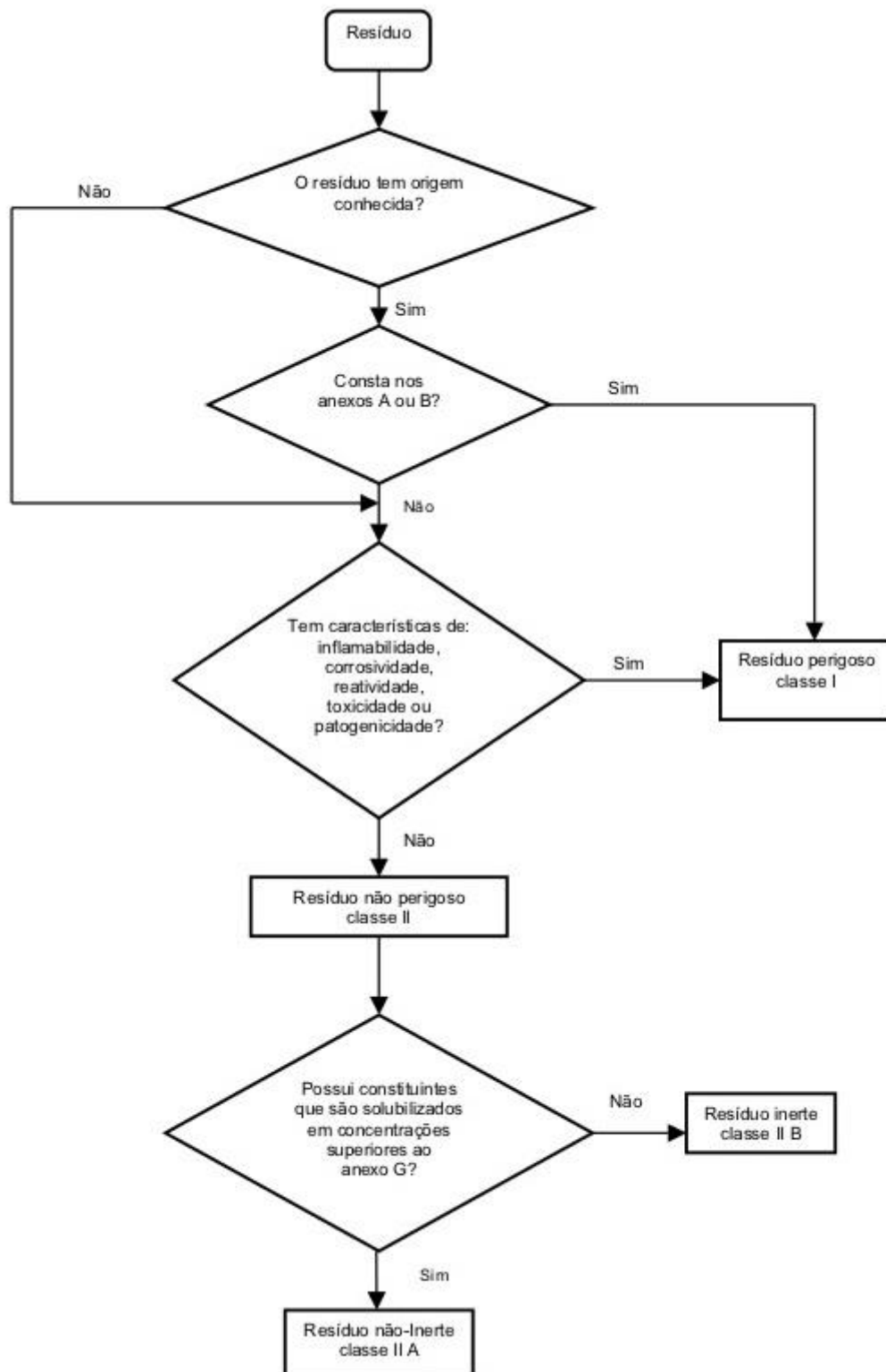
Também, existe a Norma ABNT NBR 10004, onde define resíduos sólidos como:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

### **2.6.1. Classificação dos resíduos sólidos**

Conforme a Norma NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são especificados conforme o processo que o originou, seus constituintes, características, quanto aos riscos potenciais e comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias que prejudicam à saúde pública e ao meio ambiente. Então, estes são classificados em: resíduos classe I – Perigosos, Resíduos classe II – Não perigosos, Resíduos classe II A – Não inertes e Resíduos classe II B – Inertes.

Na Figura 9 é apresentado um fluxograma detalhando melhor as classificações citadas anteriormente.



**Figura 9:** Classificação dos resíduos sólidos.

Fonte: ABNT NBR 10004:2004.

Os resíduos classe I são designados como perigosos e em função das suas características físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem fornecer risco à

saúde pública e ao meio ambiente. Além disso, são aqueles resíduos que apresentam propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os resíduos classe II A são não inertes e não apresentam periculosidade, entretanto, possuem características como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Os resíduos classe II B são inertes e quando exposto estaticamente ou dinamicamente à água destilada ou deionizada em temperatura ambiente, não tem nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água, com exceção de seu aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

## **2.7. Incorporação de resíduos sólidos em cerâmica vermelha**

O avanço industrial crescente exige uma gestão ambiental mais rigorosa em busca preventiva a processos produtivos e tecnologias mais limpas, pois há uma crescente preocupação com os resíduos sólidos por causa da grande quantidade deste, pela constituição cada vez mais incorporada com elementos de difícil degradação e pela destinação final destes, onde causam graves impactos ambientais ao serem deixados em aterros sanitários ou lixões, gerando a degradação do solo, poluição do ar e contaminação do lençol freático e mananciais (FERNANDES *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2011).

O volume remanescente proveniente das atividades industriais diárias não para de aumentar para atender a demanda da população crescente. Atrelado a isso, os regulamentos ambientais se configuram mais restritivos, gerando uma demanda de técnicas alternativas para administrar esses resíduos. Então, surge como um método ambientalmente suscetível, a reciclagem destes e isso têm fortalecido campos de pesquisa neste âmbito por muitas décadas (KADIR e MOHAJERANI, 2011).

A geração e conseqüente acúmulo de rejeitos sólidos oriundo de indústrias resultaram em um aumento na preocupação ambiental, fortalecendo a reutilização destes, e assim, possibilitando não só uma alternativa para a questão da poluição,

mas também uma alternativa para projeto de edifícios verdes, por meio de desenvolvimento de material de construção sustentável (RAUT *et al.*, 2011).

Além disso, especialmente na última década, há uma crescente demanda na construção civil inerente ao aumento populacional, gerando um desalinhamento entre a demanda e a oferta destes materiais de construção civil. Então, os pesquisadores estão buscando desenvolver soluções alternativas sustentáveis (RAUT *et al.*, 2011).

O desenvolvimento sustentável é definido pelo equilíbrio e equidade entre as dimensões econômico, ambiental e social e, entretanto, é comprometido pela atual destinação da maioria dos resíduos sólidos (SANTOS *et al.*, 2011).

A indústria cerâmica sobressai na reutilização de resíduos industriais e urbanos, uma vez que possuem um alto volume de produção que permite a admissão de grandes quantidades de rejeitos. As propriedades físicas e químicas das matérias-primas cerâmicas associado às características do processamento cerâmico permite este segmento uma gama de alternativas na reciclagem de resíduos sólidos (WENDER e BALDO, 1998; BARATA *et al.*, 2012; BASTOS *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2015).

A introdução de resíduos industriais nas massas de cerâmica tornou-se uma alternativa viável que colabora na destinação de alguns resíduos sólidos e consequente redução dos impactos ambientais gerados por estes (REIS, 2007; KADIR e MOHAJERANI, 2011). Existem muitos testes realizados com este intuito e as propriedades resultantes tem sido satisfatória (KADIR e MOHAJERANI, 2011).

A cerâmica argilosa possui uma produção em larga escala e existe a viabilidade tecnológica de introduzir resíduos na fabricação de seus produtos contribuindo na qualidade de seus produtos e essa possibilidade pode resultar em vantagens tanto na natureza ambiental, como no universo econômico (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2005; MAMLOUK e ZABUEWSKI, 2006; ALBUQUERQUE *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2008).

A incorporação de resíduos sólidos oriundos de atividades industriais em materiais cerâmicos é um recurso utilizado para diminuir impactos ambientais provenientes da utilização indiscriminada, e também resulta em uma maneira de reutilizar estes recursos atendendo exigências de órgãos ambientais (MONTEIRO e VIEIRA, 2014).

Nos últimos trinta anos, com o surgimento da responsabilidade ecológica, estes tipos de produtos foram transformados por meio da incorporação de resíduos, de recursos renováveis ou minerais (BORIES *et al.*, 2014). Estes componentes formadores de poros, empregados para proporcionar principalmente leveza, também modificam outras propriedades como: absorção de água, densidade, resistência mecânica e até isolamento térmico (KADIR e MOHAJERANI, 2011; BORIES *et al.*, 2014). Então, com essa nova demanda, é essencial ter o comprometimento de produzir que associe a inovação e desempenho térmico e mecânico (BORIES *et al.*, 2014).

Quando se incorpora resíduos de fontes renováveis ou fósseis e recursos minerais em materiais de construção, se torna pertinente e vantajoso, pois é uma maneira de minimizar a poluição seja por diminuir a contaminação do solo em aterros ou por auxiliar na eliminação de materiais tóxicos no meio ambiente (ARSENOVIC *et al.*, 2012).

Dentre os materiais cerâmicos, a cerâmica vermelha é a que melhor se aplica em incorporação de resíduos, esta possui como matéria prima bruta a argila. Com o aumento na procura, o aumento da produção cresce, solicitando o crescimento na aquisição da argila. Considerando a viabilidade na reutilização dos resíduos sólidos na aplicação da massa de produto produzido pela indústria cerâmica vermelha, é possível reduzir significativamente o consumo da argila, que é um recurso natural e não renovável (SILVA *et al.*, 2015).

Conforme o estudo dos autores Menezes *et al.* (2002) e Zhang (2013), é preciso investir em pesquisas e aplicar tecnologias mais limpas não só em termos técnicos, econômicos e ambientais no segmento cerâmico, mas também em relação a padronização, políticas governamentais e educação que diz respeito com reciclagem de resíduos e desenvolvimento sustentável. Assim, será possível impulsionar a ampla produção e aplicação de tijolo formado de materiais residuais, proporcionando alta energia incorporada e grande quantidade de carbono.

Ainda, Monteiro e Vieira (2014) afirmam que podem ser citadas outras vantagens práticas, como: o aumento da velocidade de processamento, redução no desgaste do equipamento, aumento das propriedades mecânicas e economia no consumo de combustível.

Nas próximas décadas, a prática de incorporar a massa da argila no setor cerâmica parece ser a mais solução mais efetiva para a reciclagem de resíduos

industriais, em especial o Brasil que possui grandes recursos de argila (MONTEIRO e VIEIRA, 2014).

Em muitos lugares do mundo, já é realidade a escassez de matéria-prima oriunda da natureza para se produzir o referido material. Ainda que muita pesquisa tenha sido conduzida, a produção comercial de tijolos a partir de materiais residuais ainda é muito limitada. As possíveis razões estão relacionadas aos métodos de produção de tijolos a partir de resíduos materiais, a contaminação dos materiais usados, a ausência de padrões e a lenta aceitação de tijolos à base de materiais residuais pela indústria e pelo público (ZHANG, 2013).

Quando se incorpora resíduos sólidos como matérias primas secundárias em massa cerâmica, se obtém um ganho de volume que além de reduzir o impacto ambiental, acarreta ganhos financeiros em virtude da diminuição da matéria prima primária, neste caso, a argila. Então, este ramo industrial, destaca-se pela alternativa de utilizar variados tipos de resíduos, entretanto, é desejável cuidados para não comprometer as propriedades técnicas requeridas para a aceitação da mercadoria final (SPERB, 2016).

Também, é de suma importância avaliar todo o método, inserindo também as consequências negativas da produção, neste caso, as emissões de gases no momento da secagem e nas etapas de queima, o consumo elétrico, a logística de transporte de matérias-primas, principalmente do resíduo a ser incorporado. Portanto, é necessário que seja realizado um estudo mais incisivo dessas vertentes para também contemplar as vertentes ambientais da incorporação desejada (BORIES *et al.*, 2014).

Quanto aos requisitos ambientais, quando se aplica um resíduo na cerâmica vermelha, é importante ressaltar a liberação de elementos tóxicos que pode existir no rejeito, como também os impactos gerados por estes ao meio ambiente. Existem situações em que um elemento tóxico do resíduo pode ser decomposto durante a queima e, em seguida, lançado para a atmosfera como um perigoso poluente (MONTEIRO e VIEIRA, 2014).

Outra vantagem da utilização de materiais residuais na fabricação de cerâmica vermelha é que os elementos tóxicos presentes são envolvidos e podem tornar a argila junto ao resíduo, ambientalmente inerte (MONTEIRO e VIEIRA, 2014).

Os resíduos que se comportam como agente formador de poros, originalmente de materiais orgânicos ou inorgânicos, são amplamente utilizados no processo de fabricação de tijolos de argila e além de contribuir para a diminuição do aquecimento global e desenvolvimento sustentável, também melhoram as propriedades de isolamento térmico. Dito isto, foi realizada uma análise da diferença do material residual orgânico e inorgânico na condutividade térmica do material cerâmico incorporado. Portanto, se concluiu que o material orgânico ofereceu melhor desempenho e segurança em comparação com o material inorgânico. No entanto, o material inorgânico ainda pode ser preferível, considerando melhores propriedades do material, processamento e riscos (KARIM *et al.*, 2019).

## **2.8. Emissão de gases durante a queima de cerâmica vermelha incorporada**

Diante dos problemas ambientais apresentados nas últimas décadas, a preocupação com a emissão gasosa intensificou-se consideravelmente. Contudo, pouco alerta tem sido feito à emissão dos gases poluentes liberados durante a etapa de queima desses novos produtos cerâmicos (SOUZA *et al.*, 2008). Além disso, as pesquisas não dão muita atenção a este assunto, conseqüentemente, não existem muitas informações na literatura sobre a emissão gasosa durante o processo de queima de cerâmica vermelha (TOLEDO *et al.*, 2004).

Os principais componentes gasosos liberados na queima de massas cerâmicas argilosas são: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). Em fortes concentrações, estes gases prejudicam o meio-ambiente, equipamentos, ferramentas e principalmente a saúde humana (MORGAN, 1993).

Com o desenvolvimento do conceito sob o qual o meio ambiente não é um instrumento de apropriação desregulada do desenvolvimento humano, foi concebido a consciência da necessidade de sua preservação e uso racional. Como consequência, originaram-se no campo jurídico as estruturas legais sob as quais se passou a buscar garantir o chamado desenvolvimento sustentável (GRAU NETO e BASSO, 2006).

Buscando o desenvolvimento sustentável de forma a prevenir o aquecimento global, o Protocolo de Kyoto surge em 1997, como um tratado complementar à

Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, definindo metas de redução de emissões de gases para os países desenvolvidos e os que, à época, apresentavam economia em transição para o capitalismo, considerados os responsáveis históricos pela mudança atual do clima (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

Ao longo do primeiro período de compromisso, entre 2008-2012, 37 países industrializados e a Comunidade Europeia comprometeram-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa para uma média de 5% em relação aos níveis de 1990. Já no segundo período de compromisso, as partes se comprometeram a reduzir as emissões dos gases de efeito estufa em pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990 no período de oito anos, entre 2013-2020. Cada país negociou a sua própria meta de redução de emissões em função da sua visão sobre a capacidade de atingi-la no período considerado (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

O Brasil aprovou o documento em 23 de agosto de 2002, tendo sua aprovação interna se dado por meio do Decreto Legislativo nº 144 de 2002. Entre os principais emissores de gases de efeito estufa, somente os Estados Unidos não aderiu ao Protocolo. No entanto, continuaram com responsabilidades e obrigações definidas pela Convenção (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

O Brasil, fazendo jus à sua tradição diplomática e à liderança que já há tempos assumiu no trato internacional da questão ambiental, bem como ao fato de ter desenvolvido relevante sistema legal de proteção ambiental interno, coloca-se à frente das discussões mais relevantes em pauta, trazendo grande contribuição para o aprimoramento do sistema internacional e garantindo a manutenção de sua integridade (GRAU NETO e BASSO, 2006).

O aquecimento global vem repercutindo e ganhando força no âmbito mundial de negociações, pois desperta a comunidade internacional diante da alarmante situação que o aumento gradativo da temperatura média da superfície terrestre poderá causar em alguns anos. A principal explicação para isso acontecer é a intensificação do efeito estufa, fenômeno natural que permite que a manutenção da temperatura na terra, assim mantida em patamares para que possa existir vida na terra (MOREIRA e GIOMETTI, 2008).

Os gases do efeito estufa são basicamente: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). Estes gases acarretam um aumento na



espessura da camada atmosférica, o que permite que os raios solares atingem a superfície terrestre, devido a camada de gases de efeito estufa, e parte deles ficam retidos na atmosfera. A outra parte, atinge a superfície terrestre, aquecendo-a e irradiando calor. Conseqüentemente, ocorre o aumento da temperatura e o aquecimento global (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

O Ministério do Meio Ambiente (2019) define os gases do efeito estufa como:

- O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é o mais abundante, sendo emitido como resultado de inúmeras por meio do uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e é utilizado como referência para classificar o poder de aquecimento global dos demais gases de efeito estufa;
- O gás metano ( $\text{CH}_4$ ) é produzido pela decomposição da matéria orgânica, sendo encontrado geralmente em aterros sanitários, lixões e reservatórios de hidrelétricas, criação de gado e cultivo de arroz. Com poder de aquecimento global 21 vezes maior que o  $\text{CO}_2$ ;
- O óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) cujas emissões resultam, entre outros, do tratamento de dejetos animais, do uso de fertilizantes, da queima de combustíveis fósseis e de alguns processos industriais, possui um poder de aquecimento global 310 vezes maior que o  $\text{CO}_2$ ;
- O hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) é utilizado principalmente como isolante térmico e condutor de calor; gás com o maior poder de aquecimento, é 23.900 vezes mais ativo no efeito estufa do que o  $\text{CO}_2$ ;
- O hidrofluorcarbonos (HFCs), utilizados como substitutos dos clorofluorcarbonos (CFCs) em aerossóis e refrigeradores; não agredem a camada de ozônio, mas têm, em geral, alto potencial de aquecimento global (variando entre 140 e 11.700);
- Os perfluorcarbonos (PFCs) são utilizados como gases refrigerantes, solventes, propulsores, espuma e aerossóis e têm potencial de aquecimento global variando de 6.500 a 9.200.

As emissões de gases de efeito estufa é muito recorrente no cotidiano em quase todas as atividades humanas e setores da economia: na agricultura (na preparação da terra para plantio e aplicação de fertilizantes), na pecuária (no tratamento de dejetos animais e pela fermentação entérica do gado), no transporte

(pelo uso de combustíveis fósseis, como gasolina e gás natural), no tratamento dos resíduos sólidos (pela forma como o lixo é tratado e disposto), nas florestas (pelo desmatamento e degradação de florestas) e nas indústrias (nos processos de produção, como cimento, alumínio, ferro e aço) (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

A intensificação da temperatura terrestre pode acarretar a eventos climáticos cada vez mais incisivos, como recorde da amplitude das ondas, derretimento de geleiras, aumento do nível do mar, alteração no suprimento de água doce, maior número de ciclones, tempestades cada vez mais destrutivas e frequentes enchentes, secas cada vez mais intensas, rápido ressecamento dos solos, extinção de algumas espécies de plantas e animais, entre outros (MOREIRA e GIOMETTI, 2008).

## **2.9. Classificação dos resíduos em cerâmica vermelha**

Consoante a Dondi *et al.* (1997a; 1997b), os resíduos introduzidos na incorporação de massas cerâmicas, podem ser classificados em:

- Resíduos combustíveis: são aqueles que quando queimados, provocam reações exotérmicas, liberando calor. Entretanto, apresenta o malefício gerado pela liberação de gases, isto é, a toxicidade deste gás e aumento da porosidade do material após ser queimado;
- Resíduos fundentes: são aqueles que reduzem o ponto de fusão das massas cerâmicas, resultando em economia energética de combustível na etapa queima da fabricação ou a formação de fase vítrea com características pertinente ao processo cerâmico;
- Resíduos de cinzas volantes: são aqueles resultantes da queima de componentes residuais com alto teor de carbono, gerando matéria inorgânica que não possui propriedades combustíveis;
- Resíduos redutores de plasticidade e plastificantes: são aqueles que geram uma redução de plasticidade geral quando associados às massas cerâmicas.

Monteiro e Vieira (2014) sugerem outra classificação ideal fundamentada tanto na natureza específica do resíduo quanto no processamento e propriedades do produto cerâmico. Neste caso, os resíduos de cinzas volantes e resíduos redutores

de plasticidade e plastificantes entram na classificação de resíduos que afetam a propriedade e isso se justifica pelas cinzas serem muito específicas e conforme sua composição pode ser englobada em outras classificações. Outrossim, é que o comportamento plástico de um material residual está associado na presença e quantidade de minerais de argila.

Sendo assim, a divisão oferecida por Monteiro e Vieira (2014), foi:

- Resíduos combustíveis: são aqueles possuem carbonáceo (matéria combustível que contém carbono), nos quais auxiliam em termos de energia para o processo de sinterização de cerâmica;
- Resíduos fundentes: são aqueles que apresentam teor de elementos alcalinos e alcalino-terrosos que formam fases líquidas e cooperam diminuição da temperatura de sinterização;
- Resíduos que afetam as propriedades das cerâmicas: são aqueles que possuem substâncias que alteram o comportamento da cerâmica e não são inclusos nas duas primeiras categorias.

## **2.10. Resíduo de Ponta de Cigarro**

A sociedade ao desenvolver maneiras específicas de viver vai assumindo hábitos que não vão de encontro com a preservação ao meio ambiente. Neste caso, o consumo de cigarros e o descartar das guimbas ou bitucas (ponta de cigarro) em locais inapropriados. Apesar desse resíduo sólido ser aparentemente minúsculo e insignificante, ele possui quantidades consideráveis de materiais tóxicos (MARCHI *et al.*, 2014).

O cigarro quando descartado de maneira imprópria acarreta a geração de resíduos sólidos e contaminantes do solo, da água e dos lençóis freáticos (RIOS e OLIVEIRA, 2018).

A ONU (Organização das Nações Unidas) Meio Ambiente realizou no ano de 2017 uma campanha coleta nas praias de 10 estados brasileiros (124 km percorridos) e como resultado, foram recolhidos, por 2,8 mil voluntários, mais de 23,7 toneladas de resíduos, e dentre os itens apresentados, a maior quantidade foi de ponta de cigarro (GLOBO, 2018).

Foi realizado um estudo prático por Machado (2016), onde foi implementado um projeto para reduzir pontas de cigarro com o uso de “bituqueiras” para o descarte correto desse resíduo na praia Martin de Sá em Caraguatatuba/SP. Foi instalado em oito pontos da praia ao longo de quatro sábados de Abril de 2016 em uma área de 100 m<sup>2</sup>, foram coletados um total de 484 pontas de cigarro (117 pontas de cigarro onde havia o equipamento e 367 nos locais aonde não havia o equipamento). Então, o resultado foi uma média de 22,9 pontas depositadas em um período de 6 h em 100 m<sup>2</sup> de praia, isto é, aproximadamente de 1 ponta de cigarro a cada 4 m<sup>2</sup> e com o dispositivo, essa média foi de 7,3, indicando cerca de 32% das pontas foram recolhidos.

Um projeto chamado “pegada do bem” reuniu cerca de 200 pessoas no ano de 2018 para tentar minimizar a poluição na praia de São Conrado localizada no Rio de Janeiro, fizeram um quantitativo do lixo recolhido da praia e perceberam que a ponta de cigarro foi o resíduo mais retirado (GLOBO, 2018).

Em outra oportunidade no litoral de São Paulo, no ano de 2018, dezenas de voluntários por ação do projeto de conscientização realizado do Instituto Gremar, recolheram 49,5 kg de lixo, totalizando 9.824 itens, sendo 7.142 pontas de cigarro. O intuito é conscientizar e preservar o ambiente marinho que nos últimos anos têm aumentado a quantidade de animais marinhos encontrados debilitados nas praias em virtude da ingestão de lixo que é despejado no meio ambiente (GLOBO, 2018).

A Semana Mares Limpos, movimento elaborado pela ONU Meio Ambiente em parceria com o Instituto Ecosurf, com início no ano de 2017 e intuito de gerar informações, ter um panorama amplo em relação ao lixo presente em praias brasileiras e geração de uma ação educativa, foi possível recolher em sua primeira edição 24 toneladas de lixos por 136 grupos e em torno de 10 mil voluntários em 16 estados litorâneos e dois estados interioranos. Dentre os lixos, foram recolhidos: pontas de cigarro, canudos, tampinhas, garrafas e sacolas plásticas de supermercado, sacos plásticos em geral; com um maior quantitativo, os filtros de cigarro tiveram um valor de 49.994 unidades (NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL, 2017).

A Rede Papel Bituca, administrada pelo Instituto de Sistemas Organizados para a Sustentabilidade, presente em São Paulo, transforma o resto do cigarro em papel, englobando esse princípio em descarte correto em shows. De acordo com a Rede Papel Bituca, cerca de 34 milhões de pontas de cigarro são descartadas

diariamente nas ruas da São Paulo, o que corresponde a 1,7 milhões de maços, que poderiam encher um apartamento de 70 metros quadrados e essas pontas levam cerca quatro anos em média para se decomporem, causando problemas ambientais em metrópoles, florestas, campos, obstrução das redes fluviais, incêndios e o principal: poluir litros de água (SENAC, 2016).

As pontas de cigarro também são reutilizadas em processo de hidrossemeadura, isto é, o método que reveste as encostas sem vegetação. Este método instituído por Marco Antônio Barbosa Duarte, aluno de Biologia da Universidade de Brasília. Neste intuito de reciclagem, o rejeito do tabaco, o filtro e o papel são segregados quimicamente e mecanicamente e todo o resíduo é inserido em um biodigestor, e, após 90 horas, bactérias específicas quebram as toxinas e separam dos rejeitos, que passam por uma técnica de segregação. Neste caso, é reciclado 100% do resíduo: filtro, restos de tabaco, papel e caixa do cigarro. Os filtros contribuem como uma manta de sustentação, já o papel e restos de tabaco contribuem como fertilizantes, e posteriori tem a possibilidade de serem inseridos na mesma área que a manta de sustentação está sendo utilizada (TONON *et al.*, 2012).

Não existem muitas práticas de coleta e reciclagem de pontas de cigarro. Ponderando essa vertente, a Rede de Hospitais São Camilo de São Paulo promoveu uma ação para conscientizar, incentivar e organizar o descarte correto dos resíduos de cigarro. Nos primeiros sete meses do ano de 2018 foi significativo o resultado: foram recolhidos 48 kg de pontas de cigarro, deixando de contaminar aproximadamente 60 mil litros de água (HOSPITAL SÃO CAMILO, 2018).

Além disso, como este tipo de resíduo é classificado como lixo tóxico Classe 1, é considerado na mesma categoria dos resíduos hospitalares por promoverem mais de 8 mil substâncias tóxicas somente no filtro. Então, o projeto tem parceria da Poiato Recicla, a primeira estação de coleta e reciclagem de resíduos de cigarro do Brasil e os resíduos recolhidos são transformados em massa celulósica utilizando tecnologia desenvolvida pela Universidade de Brasília (HOSPITAL SÃO CAMILO, 2018).

A *Ocean Conservancy* é uma organização que anualmente promove a limpeza de praias e durante 32 anos foram recolhidos mais de 60 milhões de pontas de cigarro nos mares (não específico), representando um terço de tudo que é retirado dos mares, isto é, um volume considerado maior que os plásticos. Também, os pesquisadores encontraram resíduos de cigarro em aproximadamente 70% das

aves marinhas e 30% das tartarugas marinhas (NBC NEWS, 2018; ROUTE BRASIL, 2018; ÉPOCA NEGÓCIOS, 2018).

No relatório feito pela *Ocean Conservancy*, no ano de 2019 os 10 lixos mais recorrentes nos oceanos seguiram uma tendência no qual se repete desde 2017, porém o rejeito mais encontrado que é a ponta de cigarro, vem se repetindo em incontáveis anos anteriores, no ano em questão, foi recolhido do oceano 5.716.331 pontas de cigarros com filtro (OCEAN CONSERVANCY, 2019).

No mundo, são fabricados em torno de 5,5 trilhões de cigarros todos os anos e a maioria deles é composto de filtros de acetato de celulose, no qual demora mais de 10 anos para se decompor totalmente no meio ambiente. Associado ao descarte incorreto, os oceanos se tornam um abrigo deste poluente (ROUTE BRASIL, 2018).

No Brasil, a cidade de Votorantim (SP), se tornou pioneira em possuir uma usina de reciclagem de pontas de cigarro. O projeto foi desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de Brasília. Foram produzidos caixas coletoras para depositar o rejeito e isso contribui para o descarte ecologicamente correto. São recolhidos periodicamente um total de 130 quilos em 2600 caixas espalhadas em 17 municípios. O responsável pela ideia da reciclagem é do diretor industrial Marcos Poiato, que trabalhava na indústria farmacêutica e teve a percepção de mercado. Com este projeto, é possível fabricar uma folha de papel com pelo menos 25 pontas de cigarro e este produto é utilizado em atividades pedagógicas (GLOBO, 2016).

No processo de nidificação, isto é, quando os pássaros estão construindo seus ninhos, trazem plantas frescas com constituintes voláteis que repelem parasitas. Existem indícios que os pássaros que vivem nos centros urbanos, incorporam bitucas de cigarro em seus ninhos, mas o efeito ainda é incipiente. As pontas dos cigarros fumados são constituídas de substâncias como a nicotina, pesticidas e outros compostos que também podem causar efeitos como repelentes de artrópodes e assim causando redução no número de ectoparasitas (SUAREZ-RODRIGUEZ; LOPEZ-RULL; GARCIA, 2012).

Um grupo de cientistas conseguiu converter pontas de cigarros, que são constituídos por um material tóxico e não biodegradável em materiais que podem ser usados no revestimento de eletrodos de supercapacitores, que são componentes utilizados no meio industrial para o armazenamento de quantidades significativas de energia e alto desempenho a base de carbono por meio de um processo químico,

chamado de carbonatação pirolítica para carbono dopado com Nitrogênio. O carbono dopado com Nitrogênio derivado de resíduos de cigarro-bitucas foi estudado em termos de microestrutura, composição elementar, condutividade eletrônica e desempenho capacitivo. Os resultados indicam que o carbono dopado em Nitrogênio derivado de resíduos de cigarro com bitucas de cigarro continha uma pequena quantidade de heteroátomos residuais de N e O. O eletrodo de carbono exibiu desempenho super capacitivo satisfatório (WANG *et al.*, 2019).

A corrosão é um processo de ocorrência natural de degradação e desgaste em vários tipos de materiais metálicos. Dentre as alternativas utilizadas para prevenir essa deterioração estão os inibidores naturais. Então, foi estudada a possibilidade da utilização de compostos aquo-solúveis de filtros de cigarros (após seu consumo) como inibidor natural. Os resultados apresentaram o potencial caráter inibidor sobre o aço carbono, material metálico profusamente utilizado na indústria. Foi avaliado dois tipos de filtro: amarelo e branco. Geralmente, segundo o presente estudo, os filtros amarelos apresentam maiores teor de nicotina e estes produziram uma maior proteção ao aço avaliado. Portanto, ficou constatado como promissor o emprego dos resíduos sólidos de cigarros como possível inibidor de corrosão ao aço carbono (MACHADO e RODRIGUES, 2016; PERAÇA *et al.*, 2017).

Conforme o BBC News Brasil (2019), a sobrevivência dos pássaros não tem sido uma tarefa fácil em nenhum lugar. Foi registrado em uma praia na Flórida (Estados Unidos), um pássaro alimentando seu filhote com uma bituca de cigarro (Figura 10) e o filhote carregando o filtro em seu bico (Figura 11). O pássaro é da espécie *Rynchops niger*, conhecido no Brasil como Bico-de-Tesoura. Segundo a Royal Society for the Protection of Birds (Sociedade Real para Proteção dos Pássaros), do Reino Unido, é dolorosa saber que a natureza está lutando para se adaptar ao lixo humano. Segundo especialistas, é comum pássaros confundirem filtros de cigarro com alimentos e até mesmo já tem registros do presente resíduo sendo usado como material de nidificação por algumas espécies.



**Figura 10:** Pássaro da espécie *rynchops niger* alimentando seu filhote com bituca de cigarro.

Fonte: BBC News Brasil, 2019.



**Figura 11:** Filhote de pássaro da espécie *rynchops niger* se alimentando com bituca de cigarro.

Fonte: BBC News Brasil, 2019.

### 2.10.1. Consumo de cigarro no Brasil e no mundo

O tabaco tem uma importância socioeconômica importante para o Sul do Brasil, estando em 556 municípios do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e no Paraná. De acordo com dados fornecidos pela Associação dos Fumicultores do Brasil, na safra dos anos de 2017 e 2018, o tabaco foi cultivado em 289 mil hectares por meio 150 mil produtores rurais, se aproximando de 600 mil pessoas envolvidas neste processo produtivo, resultando em uma receita anual bruta de R\$6,28 bilhões. A produção alcançou 632 mil toneladas, onde 50% foram produzidos no Rio Grande do Sul, 28% em Santa Catarina e 22% no Paraná, fornecendo 40 mil empregos diretos (SINDITABACO, 2019).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial, se mantendo em evidência no cenário mundial e desde 1993, é o maior exportador de tabaco do mundo. Na produção em sua totalidade, mais de 85% destina-se ao mercado internacional, tendo em torno de 100 países como clientes em todo o mundo. Em 2018, as



exportações do setor alcançaram 457 mil toneladas e divisas de US\$ 1,99 bilhão/FOB\* (SINDITABACO, 2019).

A indústria produtora de cigarros fornece para o mundo, cerca de 5,4 trilhões de unidades por ano e no Brasil é considerado o maior mercado latino-americano desta mercadoria, correspondente a 42% do total vendido na América Latina. O mercado condiz com um valor global estimado de aproximadamente R\$ 2,5 trilhões. Além disso, a indústria mundial que vende o tabaco compromete economicamente mais de 200 países, sendo um produto expressivo para milhões de pessoas envolvidas direta ou indiretamente na sua produção e venda (SOUZA CRUZ, 2018).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), aproximadamente 20% da população mundial já fumou tabaco alguma vez na vida e existiam 1,1 bilhão de fumantes adultos em todo o planeta. Em comparação com o ano 2000, a quantidade absoluta de usuários não se alterou apesar da diminuição de 27 para 20% devido a população ter aumentado (ONU BR, 2018).

Ainda, a ONU BR (2018), afirma que em todo o mundo, mais de 24 milhões de crianças com faixa etária entre 13 e 15 anos fumam cigarros (17 milhões de meninos e 7 milhões de meninas), equivalente a 7% de todos os jovens nessa faixa etária.

No mundo, referente ao ano de 2017 existe 1,3 bilhão de fumantes e no Brasil representa o oitavo lugar no ranking de número absoluto de fumantes, 7,1 milhões de mulheres e 11,1 milhões de homens (VEJA, 2017).

Alguns lugares do mundo como China, Índia, Estados Unidos e Rússia, o tabagismo tem alta incidência. Calcula-se, referente ao ano de 2017, que um em cada quatro homens e uma em cada vinte mulheres fumam. Além disso, cerca de 80% de quem fuma vivem em 24 países, dois terços em países de baixa e média renda, entretanto, o consumo de cigarro no mundo vem aumentando em países em desenvolvimento e diminuindo em países desenvolvidos (VEJA, 2017).

Oigman-pszczol e Creed (2007) realizaram um estudo fornecendo a primeira avaliação da quantidade e tipo de lixo marinho em Armação dos Búzios, Brasil. Búzios é um dos principais e mais popular ambiente turístico, que atrai milhares de visitantes. A amostragem foi realizada em transectos de 4 m de largura, paralelos ao litoral. Foram contados aproximadamente 16.000 itens de lixo, pertencentes a sete categorias. O papel era o item de cama mais abundante, em particular, representado por bitucas de cigarro e o plástico foi o detrito marinho submerso mais abundante

observado. A abundância e distribuição de lixo na região de Armação dos Búzios parece ser especialmente influenciada pelos visitantes recreativos, refletindo práticas inadequadas de descarte.

Os fumantes de todo o mundo compram cerca de 6,5 trilhões de cigarros a cada ano. São 18 bilhões todos os dias. Em contrapartida, destes trilhões de filtros de cigarro utilizados, apenas um terço estimado deles chegam ao lixo e o restante é jogado casualmente na rua ou pelas janelas (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2019).

É estimado que 5,6 trilhões de cigarros são fumados e que são jogadas fora de maneira imprópria em torno de 4,5 trilhões de pontas de cigarro anualmente em todo o mundo (SLAUGHTER *et al.*, 2011).

Nos Estados Unidos foi realizada uma contagem e os resíduos provenientes de cigarro assumiram um valor de 30 % com relação ao total recolhido, tanto em vias navegáveis quanto em vias terrestres. Durante a *Ocean Conservancy's yearly International Coastal Cleanup*, no ano de 2009, foram extraídos um total de 2.189.252 rejeitos de cigarros, o que representa aproximadamente um peso de 821 libras e desloca um volume de 1095 litros (SLAUGHTER *et al.*, 2011).

De acordo com Novotny e Slaughter (2014), tiveram dificuldade de estimar a quantidade de cigarros consumidos globalmente a cada ano e descartados como lixo, mas afirmam que a proibição do fumo em ambientes fechados, acentuou a quantidade deste resíduo sendo descartado incorretamente.

Aflito com o descarte incorreto do resíduo ponta de cigarro e motivado pela Lei Antifumo em São Paulo, Fabiano Russo criou a Bituca Verde em 2010, uma empresa de reciclagem que atua recolhendo bitucas de cigarro e oferece um destino correto. Desde então, a empresa e seus associados retiraram do meio ambiente aproximadamente 3 milhões de bitucas. A empresa a aberta a contribuição de qualquer pessoa, se tiver um coletor específico para o resíduo e assim, é possível atingir uma maior gama de interessados pela preservação ambiental e um futuro mais sustentável. Além disso, a Bituca Verde também converte todo o resíduo e mistura a outros de alto poder calórico, isto é, eles passam por um tratamento químico e é transformado em um produto que substitui carvão em fornos de indústrias cimenteiras, contribuindo para a diminuição do desmatamento (FIESP, 2019).

### 2.10.2. O cigarro e seus constituintes

Conforme a Souza Cruz (2018), os cigarros são feitos basicamente de três elementos: tabaco, papel e filtro (Figura 10). O tabaco pode variar, pois cada marca apresenta a sua mistura específica e também o mesmo pode variar de acordo com a safra, já que este é um produto agrícola. Os únicos aditivos permitidos atualmente pela Anvisa na etapa de homogeneização são: umectantes, açúcares, amido e conservantes.



**Figura 12:** Esquema representativo dos principais componentes de construção do cigarro.

Fonte: Alves, 2016.

Apesar de sua semelhança, os fabricantes de cigarros produzem de acordo com as preferências dos consumidores, isto é, modificam o fumo utilizado e os parâmetros físicos de construção (design) do cigarro (NORMAN, 1999).

O filtro colabora na aparência do produto e impede o contato da boca do usuário com as partículas provenientes do fumo. Outra função do filtro é a remoção dos constituintes da fase particulada do alcatrão e a nicotina e os absorve como vapor, sem modificar o sabor e o aroma da fumaça (NORMAN, 1999; ADAM et al., 2010).

O panorama é trágico, pois o filtro que compõe a ponta de cigarro é formado de um material não biodegradável e atualmente o cigarro sobrepõe o plástico sendo o maior encarregado de poluir os oceanos (ROUTE BRASIL, 2018). Este material, chamado de acetato de celulose, é anexado a quase todos os cigarros vendidos nos Estados Unidos e na maioria dos países do mundo (PULS *et al.*, 2010; NOVOTNY e SLAUGHTER, 2014).

O acetato de celulose é o material mais utilizado produção de filtros, pois possui características de alta eficiência e facilidade de fabricação. Ainda, sua

coloração é branca, então, oferece ao produto o aspecto de higiene e limpeza (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997; NORMAN, 1999).

Cada produto de cigarro possui uma composição específica, pois pode ocorrer variedade proveniente do tipo de folha do tabaco empregado na sua fabricação, da região onde foi plantada, das técnicas de processamento e de fermentação. Cerca de 10% dessas substâncias formam fase particulada da fumaça do cigarro, que envolve a nicotina e alcatrão - produtos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos: fenóis, benzopirenos, benzenos. Os demais 90%, possuem monóxido de carbono, dióxido de carbono, cianetos, aldeídos e diversos outros produtos orgânicos (MELLO *et al.*, 2001).

Segundo Browne (1990) e Souza Cruz (2018), um blend é o arranjo de diferentes variedades de fumo em diferentes proporções. A mistura que representará a formulação do produto e conseqüentemente o que caracterizará o sabor e os teores. Também, é considerada a etapa mais crítica e de maior custo do cigarro.

Ambientalmente falando e contemplando a toxicidade fornecida ao ecossistema, as pontas de cigarro e outros produtos remanescentes do tabaco, são o tipo mais recorrente e incisivo de lixo identificado em ambientes citadinos e em litorais de todo o mundo. Estes produtos são compostos por todas as toxinas, nicotina e carcinogênicos encontrados em produtos de tabaco (PULS *et al.*, 2010; NOVOTNY e SLAUGHTER, 2014).

Na fabricação do tabaco são utilizados muitos produtos químicos para o cultivo do alcatrão (planta característica do tabaco) e os resíduos destes podem ser identificados em cigarros prontos para consumo. Dentre os resíduos, incluem: pesticidas, herbicidas, inseticidas, fungicidas e rodenticidas. Ademais, mais de 4 mil produtos químicos também podem ser propagados no meio ambiente por meio de particulados do próprio cigarro e fumaça (HOFFMANN e HOFFMANN, 1997; SLAUGHTER *et al.*, 2011).

O tabaco é composto de nicotina, uma substância química que também é utilizada em plantas pesticidas. Além disso, outros produtos químicos são possíveis de serem encontrados neste produto, como: hidrocarbonetos poliaromáticos, vários arcinogênicos, nitrosaminas, monóxido de carbono, cianeto de hidrogênio, nitrogênio óxidos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, amônia, acetaldeído, formaldeído, benzeno, fenol, argônio, piridinas, acetona e metais pesados, entre outros produtos tóxicos (SLAUGHTER *et al.*, 2011).

A cada tragada, são absorvidas mais de 4700 substâncias pelo organismo de quem fuma, inclusive os agrotóxicos utilizados no plantio do tabaco, pois estes estão presentes no produto final, além do monóxido de carbono, chumbo e muitos outros elementos que podem ser vistos na (RIO, 2015).

Existem mais de 4.720 substâncias tóxicas presentes no cigarro, como: monóxido de carbono, amônia, cetonas, formaldeído, acetaldeído, acroleína. Do total, 70 substâncias são cancerígenas, sendo as principais: arsênio, níquel, fenóis, ésteres, benzopireno, cádmio, chumbo, resíduos de agrotóxicos e substâncias radioativas (BYRD, 1992; INCA, 2018; UNIMED, 2018). A Tabela 1 apresenta uma seleção destes compostos, onde o Grupo 1 apresenta compostos Carcinogênicos para o homem e o Grupo 2 apresenta os compostos que provavelmente são carcinogênicos para o homem:

**Tabela 1:** Alguns componentes carcinogênicos presentes no Cigarro.

<b>Composto</b>	<b>Grupo</b>	<b>Composto</b>	<b>Grupo</b>
Benzo [α]pireno	1	1,3 Butadieno	2B
4-Aminobifenil	1	Acetaldeído	2B
2-Naftilamina	1	Isopreno	2B
Formaldeído	1	Estireno	2B
Benzeno	1	Catecol	2B
Óxido de etileno	1	Níquel	2B
Cádmio	1	Cobalto	2B
N-nitrosornicotina	1	Cumbo	2B

Fonte: Adaptado de GEISS e KOTZIAS, 2007.

Moriwaki *et al.* (2009) realizaram estudo com os resíduos encontrados na beira de estradas e constatou que as pontas de cigarro são os resíduos mais recorrente (a média foi de 150 bitucas de cigarro por quilômetro em um mês com um peso de 90 gramas por quilômetro) e verificou que a composição de sua amostragem é composta por: arsênico, nicotina, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e metais pesados.

O estudo de Dobaradaran *et al.* (2018), relata a abundância de pontas de cigarro lixiviados para o ambiente marinho e após monitorarem no Norte do Golfo Pérsico, os resultados indicaram que esse resíduo é fonte importante de contaminação prolongada de metais tóxicos no ambiente aquático, como Hg e Pb.

Estes metais pesados podem contaminar além dos cursos de água e solos, gerando a possibilidade de ser engolido por um animal terrestre ou marinho, colocando a vida dele em risco.

Foi realizado um estudo por Alizai *et al.* (2003), onde foi feita uma análise petrográfica de amostras coletadas em locais específicos ao longo da margem costeira de Nova York, onde indicou que essas amostras continham principalmente de partículas de areia, silte e argila. Porém, essas partículas estavam misturadas com diversas impurezas, incluindo bitucas de cigarro que foram transportados para as áreas costeiras pelas correntes de maré e tempestade. Metais pesados incluindo Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Cd, Ni, As, Pb e Zn foram detectados nas amostras selecionadas e os autores afirmaram que níveis excessivos de concentração de metais pesados e quantidades crescentes de lixo nos sedimentos na Baía costeira de Nova York podem afetar o biosistema marinho e representar riscos à saúde humana naquela região.

Os pesquisadores Novotny e Slaughter (2014) realizaram estudos de toxicidade dos elementos lixiviados de pontas de cigarro água salgada e água doce, e constataram que estes compostos são tóxicos para o aquático microrganismos e peixes de teste.

Em uma pesquisa realizada por Slaughter *et al.* (2011), foi descoberto que a toxidade pode estar relacionada à marca de cigarro, assim como conteúdo de alcatrão.

O resíduo ponta de cigarro é considerado um dos lixos mais recorrente e incisivo identificados nos ambientes urbanos e em litorais de todo o mundo. Estes produtos possuem toxinas, nicotina e carcinogênicos (PULS *et al.*, 2010; NOVOTNY e SLAUGHTER, 2014). Além disso, são constituídos de um filtro polimérico não biodegradável, chamado de acetato de celulose (NOVOTNY e SLAUGHTER, 2014; TORKASHVAND *et al.*, 2020).

As pontas de cigarro quando descartadas no meio ambiente, podem levar uma década para se degradar, tempo no qual o torna não biodegradável (DW Brasil, 2019; BBC News Brasil, 2019). Porém, quando exposto a ambientes chuvosos ou que venta, podem acabar encaminhando este resíduo sólido para os esgotos, rios e finalmente, os oceanos e suas praias, onde liberam substâncias químicas tóxicas, como ácido acético e arsênico (NOVOTNY *et al.*, 2009; DW Brasil, 2019).

A decomposição do resíduo ponta de cigarro possui uma demora de uma década ou mais, pois 95% dos filtros de cigarros são compostos de acetato de celulose, de difícil degradação e possui milhares de substâncias tóxicas que prejudicam o solo (reduzindo significativamente o tempo de vida das árvores), contaminam rios e entopem tubulações e bueiros (FIESP, 2019).

As pontas de cigarro são resíduos perigosos e tem a tendência de permanecer no meio ambiente por um longo tempo quando descartada incorretamente (TORKASHVAND *et al.*, 2020).

A luz solar degrada e quebra as partículas do filtro em partículas muito pequenas, essas partículas minúsculas não desaparecem e acabam no solo ou na água, contaminando o ecossistema local. As diversas toxinas presentes neste resíduo quando em contato com a água, afeta os ecossistemas aquáticos e matam uma variedade de invertebrados de água doce (SINTEMA-MT, 2019).

Também, o presente resíduo pode desencadear em incêndios, seja acidentalmente ao jogar bitucas de cigarros ainda acesas pela janela de veículos em beira de estradas ou até mesmo causar incêndio em matas, por meio de um cigarro ou fogueira, por exemplo, ou intencionalmente para limpar a terra. Este assunto tem se tornado muito recorrente em todo mundo, pois tem sido frequente grandes e desastrosas queimadas na Mata Atlântica no Brasil e em diversos cantos do mundo, como Sibéria, Indonésia e o continente africano (O GLOBO, 2019).

#### **2.10.2.1. Acetato de Celulose**

O acetato de celulose é um polímero biodegradável de grande importância comercial, principalmente por causa das suas propriedades de ser um polímero neutro e possuir a capacidade de formar filmes transparentes em baixo custo. Além disso, este material apresenta uma vasta utilidade na produção de fios para a indústria têxtil, filtros, filmes fotográficos transparentes, pigmentados, materiais plásticos, cápsulas para a indústria farmacêutica, entre outros (SENNA *et al.*, 2011).

O acetato de celulose geralmente é produzido pela reação da celulose, a partir da polpa de madeira, na presença de catalisadores como: anidrido acético, ácido acético e ácido sulfúrico. Entretanto, a utilização dessa matéria-prima possui desvantagens como o alto custo inerente ao processamento, o tempo necessário

para que as árvores estejam em condições propícias para a fabricação de celulose, fora os danos gerados ao meio ambiente proveniente da geração de efluentes e desmatamento (FRADE, 2011).

Também, pode-se dizer que este composto é o éster orgânico de maior importância gerado pela celulose. As propriedades térmicas, físicas, mecânicas e químicas do acetato de celulose estão diretamente relacionadas à extensão e grau de substituição dos grupos hidroxilas presentes em sua composição (SENNA *et al.*, 2011).

#### **2.10.2.2. Papel (constituente do cigarro)**

Segundo Alves (2016), a barra de fumo referida na Figura 12, tem a função de fornecer o fumo, combustível para a queima e a formação da fumaça.

Uma das matérias-primas que é utilizado na fabricação do cigarro, é o papel, no qual tem a função de envolver completamente e unir o filtro com a barra de fumo (BROWNE, 1990; HOFFMANN e HOFFMANN, 1995). Ademais, o papel fornece um formato cilíndrico que é característico do cigarro e este formato tem influência como regulador da queima, ou seja, no número de tragadas por meio da taxa de queima e porosidade do papel (GEISS e KOTZIAS, 2007).

O papel é considerado um resíduo sólido nobre, pois sua reutilização conserva o meio ambiente impedindo o desmatamento de milhões de árvores e conseqüentemente isso melhora a qualidade do ar que respiramos (BARBOSA JÚNIOR, 2006; SOUSA; MATOS; ARAÚJO, 2016). Também, se deve dar importância na reciclagem deste material, devido à diminuição de seu volume em aterros, economia matéria-prima, água e energia na fabricação novos produtos (GRIPPI, 2006).

Devido a produção em larga escala inerente à gama de sua utilização, é inevitável que se realize o processo de reciclagem do resíduo sólido papel (RIBEIRO e AKIKONAGASHIMA, 2013).



### 2.11. O Resíduo de Ponta de Cigarro e sua incorporação em Cerâmica Vermelha

Existe uma grande dificuldade quando se trata da reciclagem de ponta de cigarro, pois não se encontram mecanismos ou procedimentos que garantem uma segregação eficiente de seus constituintes e que ao mesmo tempo seja economicamente viável. Então, uma possível solução para esta problemática é a realização de estudos para incorporar este resíduo como matéria prima a ser incorporada na produção cerâmica (MOHAJERANI *et al.*, 2016).

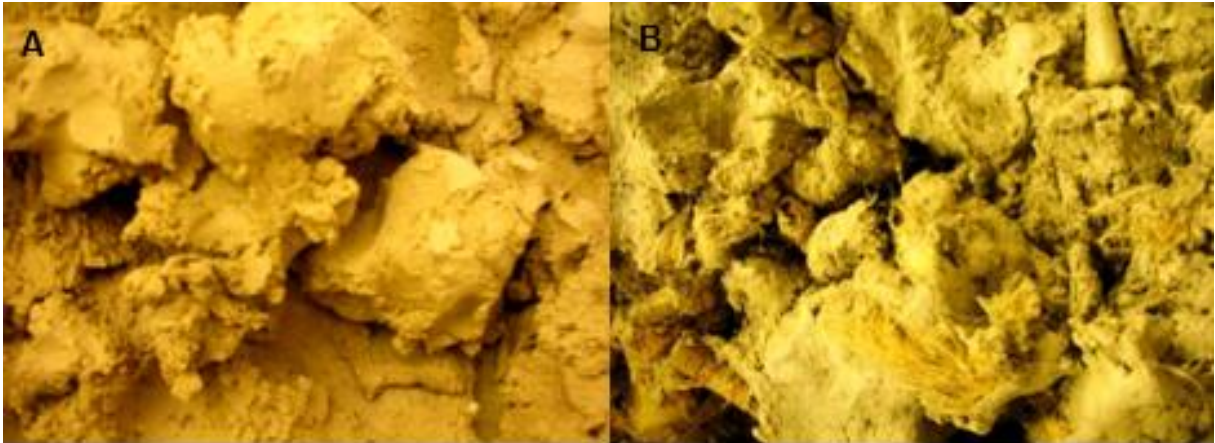
Kadir *et al.* (2009) realizaram estudo sobre a incorporação de diferentes quantidades de resíduo ponta de cigarro em tijolos de baixa densidade. Primeiramente, o resíduo proposto foi desinfetado, como mostra a Figura 13.



**Figura 13:** Resíduo ponta de cigarro utilizado no estudo em questão.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2010.

Em seguida, é misturado por meio de um misturador mecânico (Figura 14) e compactado manualmente utilizando tamanhos e massas pré-determinadas (Figura 15) e por fim, queimado. Com relação a desinfecção só foi mencionado que o material ficou em uma temperatura de 105°C durante 24 horas, entretanto, não especificou o produto utilizado para este procedimento.



**Figura 14:** Fotos tiradas das misturas (A: Argila e água. B: Argila, água e resíduo ponta de cigarro).

Fonte: MOHAJERANI *et al.*, 2016.



**Figura 15:** Compactação manual dos corpos de prova.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2008.

De acordo com Kadir e Mohajerani (2012) e Mohajerani *et al.* (2016), as amostras queimadas foram testadas e os resultados em consoante com a Tabela 2, mostram que a densidade foi reduzida, a resistência à compressão e flexão dos tijolos testados diminuíram, a absorção de água e a taxa inicial de absorção aumentaram à medida que a densidade reduziu e a porosidade dos tijolos aumentaram com o aumento do volume do resíduo. Além disso, estimou-se que mais de 60% da energia de queima pode ser economizada adicionando-se 5% de peso do resíduo.

**Tabela 2:** Resultados experimentais das misturas contendo o resíduo ponta de cigarro.

Identificação de Mistura	Resistência a Compressão (MPa)	Resistência a Flexão (MPa)	Absorção de água (%)	Taxa inicial de absorção (kg.m <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	Densidade média (kg.m <sup>-3</sup> )
0.0	25.65	2.79	5	0.2	2118
2.5	12.57	2.48	9	1.4	1941
5.0	5.22	2.40	15	2.3	1611
7.5	3.00	1.30	18	4.1	1591
10.0	3.00	1.24	18	4.9	1482

Fonte: Adaptado de KADIR e MOHAJERANI, 2012; MOHAJERANI *et al.*, 2016.

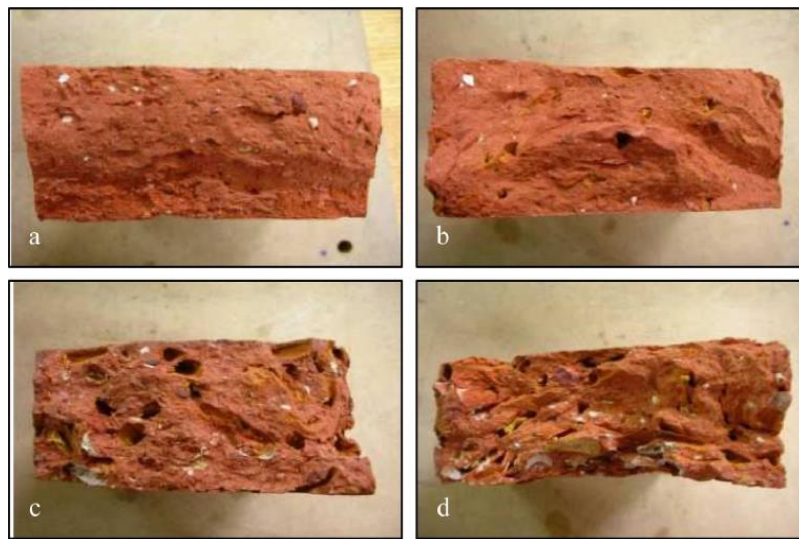
Foi realizado o teste de lixiviação para investigar os níveis de possíveis lixiviados de metais pesados. Três procedimentos diferentes foram empregados: *Australian Bottle Leaching Procedure* e *Toxicity Characteristics Leaching Procedure* e *Static Leachate Test*. O último teste foi realizado para investigar as características de lixiviado a longo prazo das amostras (coletados continuamente por longas durações de 25, 41, 71 e 134 dias). Os resultados, conforme Tabela 3, mostraram traços de metais pesados, entretanto, com valores inferiores aos limites regulamentares aceitáveis por *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) e *Environmental Protection Agency* (EPA) (KADIR e MOHAJERANI, 2008; AESLINA e MOHAJERANI, 2012).

**Tabela 3:** Concentração de metais pesados (mg/L) presente nos tijolos de argila incorporados com resíduo ponta de cigarro.

Metais Pesados	% resíduo ponta de cigarro			
	0%	2,5%	5%	10%
Arsênio (As)	0.007	0.019	0.093	0.123
Selênio (Se)	-	-	-	-
Mercúrio (Hg)	-	-	-	-
Bário (Ba)	0.590	0.440	0.605	0.510
Cádmio (Cd)	-	-	-	-
Cromo (Cr)	0.033	0.005	0.028	0.009
Chumbo (Pb)	0.130	0.019	0.058	0.034
Prata (Ag)	-	-	-	-
Zinco (Zn)	0.965	0.180	7.75	1.285
Cobre (Cu)	0.190	0.320	0.680	1.090
Níquel (Ni)	0.007	0.006	0.016	0.009

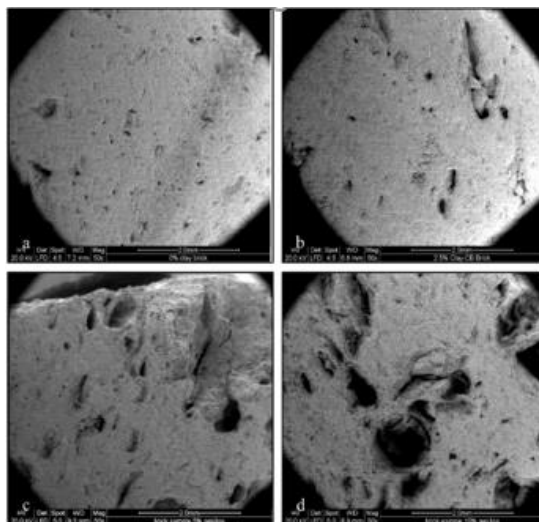
Fonte: Adaptado de KADIR e MOHAJERANI, 2008; AESLINA e MOHAJERANI, 2012.

O estudo realizado por Mohajerani et al. (2016) cita que o aumento de volume residual na incorporação da ponta de cigarro na fabricação dos tijolos de argila, resultou na formação de mais trincas e os poros aumentaram em número e tamanho e demonstra por meio da Figura 16. Essas mudanças também foram vistas nas imagens de micrografia eletrônica analisadas em 50 vezes de aumento (Figura 17) usando as mesmas amostras de tijolos em vários níveis de conteúdo do resíduo proposto pelo autor em questão.



**Figura 16:** Vista transversal dos tijolos com diferentes porcentagens de ponta de cigarro (a- 0%, b- 2,5%, c- 5% e d- 10%).

Fonte: MOHAJERANI et al., 2016.

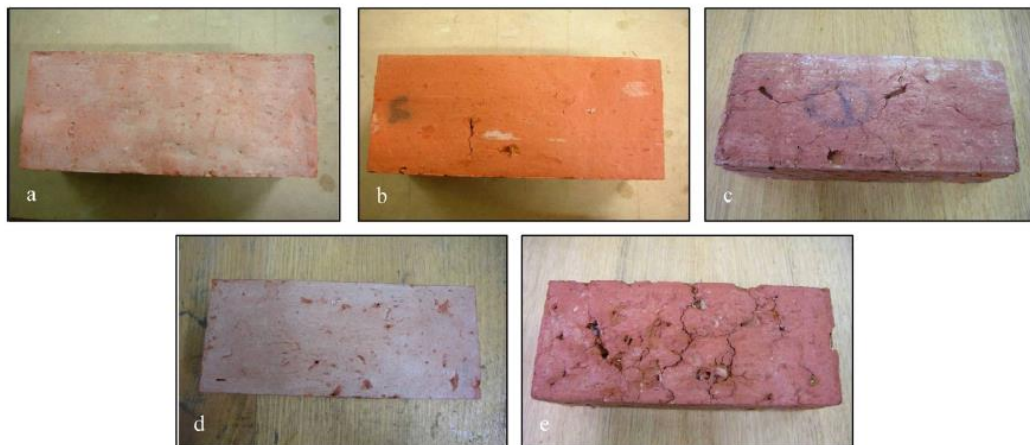


**Figura 17:** Micrografia dos tijolos com diferentes porcentagens de ponta de cigarro (a- 0%, b- 2,5%, c- 5% e d- 10%).

Fonte: MOHAJERANI et al., 2016.

Na Figura 17 (a), que é referente ao o tijolo de argila pura, a micrografia mostra poucos micros poros visíveis. No entanto, a observação da Figura 17 (b), (c) e (d) revelou, respectivamente, as mudanças significativas no crescimento dos tamanhos de poro para tijolos com conteúdo de resíduo ponta de cigarro aumentando de 2,5% para 10% em massa. Isso correspondeu à redução na densidade a seco, o que resultou no aumento das propriedades de absorção de água (MOHAJERANI *et al.*, 2016).

Também, Mohajerani *et al.* (2016), mostrou por meio da Figura 18, que a densidade dos tijolos incorporados diminuiu quase linearmente, resultando em tijolos mais leve com maior conteúdo do resíduo proposto. Tijolos de menor densidade, podem ser vantajosos na construção, pois podem reduzir a carga estrutural estática, são mais fáceis de manusear, podem ser transportados a custos mais baixos, têm menor condutividade térmica e podem ser produzidos mais quantidade de produtos cerâmicos por tonelada de matéria prima. É aceitável substituir os tijolos por uma alternativa leve na maioria das aplicações, exceto quando um tijolo de maior resistência é necessário ou quando uma determinada aparência é necessária para propósitos arquitetônicos.



**Figura 18:** Superfície dos tijolos de argila incorporados com resíduo ponta de cigarro em diferentes porcentagens: 0% (a), 2,5% (b), 5% (c), 7,5% (d) e 10% (d).

Fonte: MOHAJERANI *et al.*, 2016.

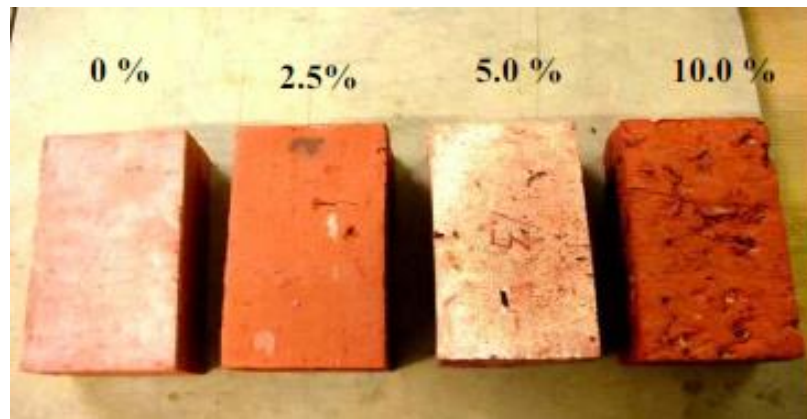
Kadir *et al.* (2009) realizaram teste de condutividade térmica em tijolos incorporados com resíduo ponta de cigarro, conforme apresentado na Tabela 4. Pode-se observar que esta propriedade foi melhorada em 51 e 58% para 5 e 10% de

conteúdo de resíduo ponta de cigarro respectivamente. Porém, os corpos de prova se tornaram mais porosos, como mostra as Figuras 19 e 20.

**Tabela 4:** Valores calculados de condutividade térmica dos tijolos incorporados.

Identificação de Mistura	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )	Condutividade Térmica (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Taxa de redução de Condutividade Térmica (%)
0.0	2118	1.08	0
2.5	1941	0.85	21
5.0	1611	0.53	51
10.0	1482	0.45	58

Fonte: Adaptado de KADIR *et al.*, 2009.



**Figura 19:** Textura superficial dos tijolos com 0%, 2,5%, 5,0% e 10% do resíduo ponta de cigarro.

Fonte: KADIR *et al.*, 2009.



**Figura 20:** Secções transversais dos tijolos com 0%, 2,5%, 5% e 10% do resíduo ponta de cigarro.

Fonte: KADIR *et al.*, 2009.

A condutividade térmica de tijolos e outros materiais de alvenaria depende da densidade e, portanto, da porosidade do material. Neste caso, a densidade diminui e a porosidade aumentou. Isto é, à medida que a porcentagem do resíduo ponta de cigarro aumenta, a densidade seca e a condutividade térmica dos tijolos diminuem (KADIR *et al.*, 2009).

Os autores Kadir e Mohajerani (2011) em outra oportunidade também investigaram o efeito do tempo de mistura nas propriedades físicas e mecânicas. Amostras de tijolos foram feitas com 7,5% em peso de conteúdo do resíduo de ponta de cigarro empregando os seguintes tempos de mistura: 5, 10 e 15 minutos, conforme Figura 14.

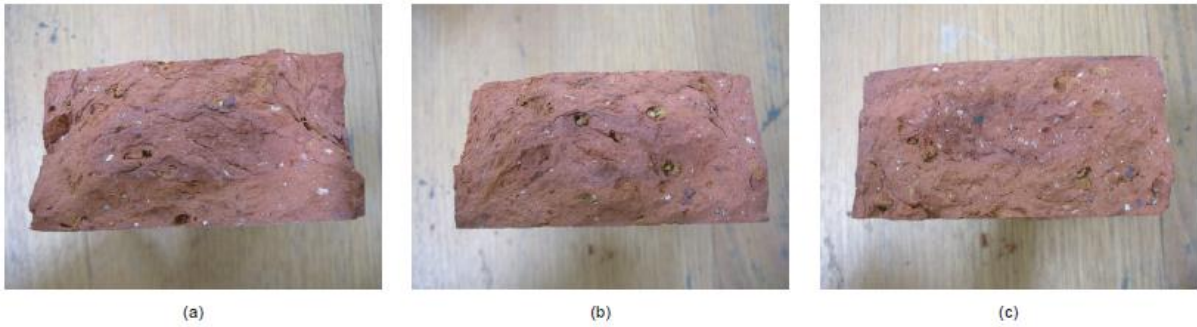
Os resultados para esta etapa da investigação são apresentados em Tabela 5, mostrando que a resistência à compressão variou linearmente de 2,97 a 6,36 MPa à medida que o tempo de mistura aumentou de 5 para 15 min, e similarmente, a densidade aumentou de 1591 a 1789 kg/m<sup>3</sup>. Estes aumentos na força de compressão e densidade, equivalente a cerca de 53 e 11%, respectivamente, bem como uma redução de cerca de 4% na absorção de água. Isso mostra que o tempo de mistura surtiu um efeito significativamente positivo sobre as propriedades mecânicas deste tipo do material proposto.

**Tabela 5:** Resultado do experimento com diferentes tempos de mistura.

Identificação de Mistura / Tempo de Mistura	Resistência a Compressão (MPa)	Absorção de água (%)	Taxa inicial de absorção (kg.m <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	Densidade média (kg.m <sup>-3</sup> )
7.5 / 15 min	6.36	14	3.9	1789
7.5 / 10 min	4.25	14	3.5	1756
7.5 / 5 min	2.97	18	4.1	1591

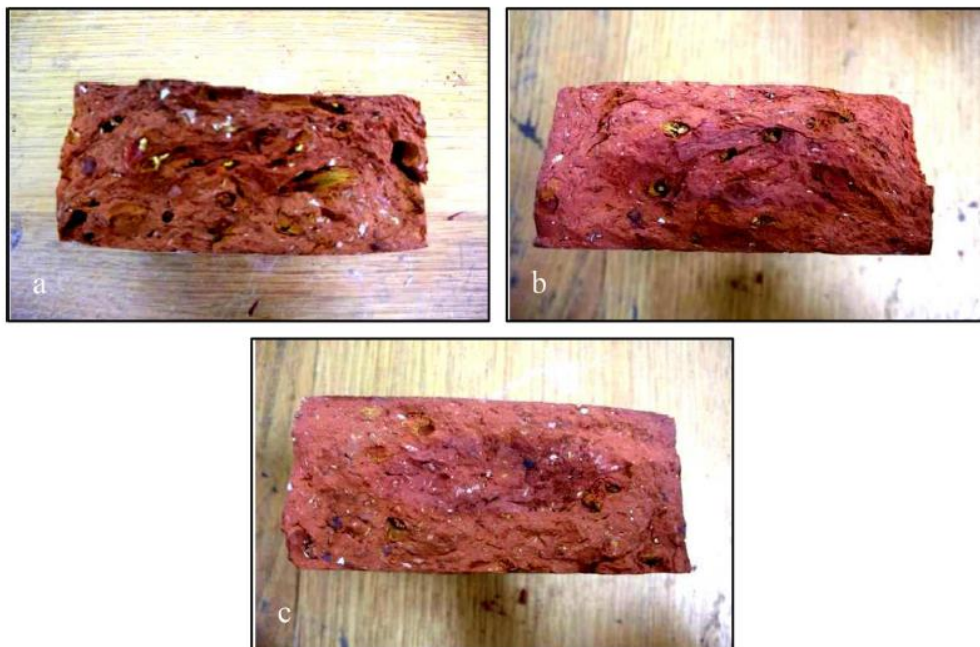
Fonte: Adaptado de KADIR e MOHAJERANI, 2011.

Nas pesquisas de Kadir e Mohajerani (2011) e Mohajerani *et al.* (2016), foi ilustrado por meio das Figuras 21 e 22 o efeito do tempo de mistura na textura das seções dos tijolos e pode ser visto que à medida que o tempo de mistura aumentou, os poros se tornaram menores e mais homogêneos.



**Figura 21:** Seção transversal das amostras de tijolos com 7,5% de resíduo ponta de cigarro em diferentes tempos de mistura: (a) 5 min; (b) 10 min e (c) 15 min.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2011.

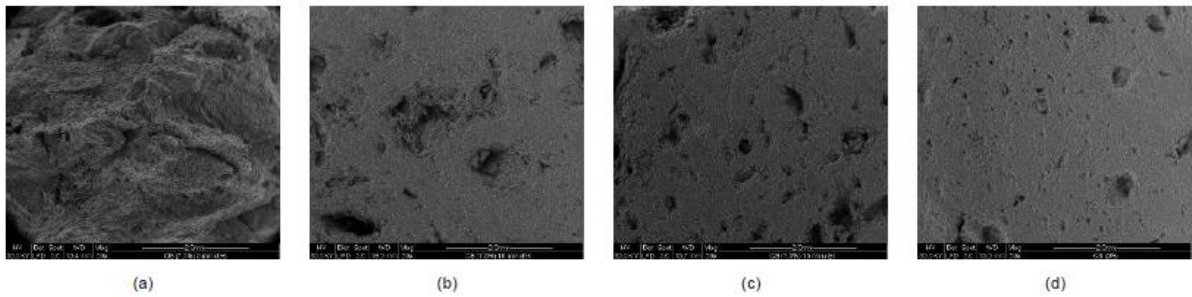


**Figura 22:** Seção transversal de amostras de tijolos com 7,5% de resíduo ponta de cigarro em diferentes tempos de mistura: (a) 5 min; (b) 10 min e (c) 15 min.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2012; MOHAJERANI *et al.*, 2016.

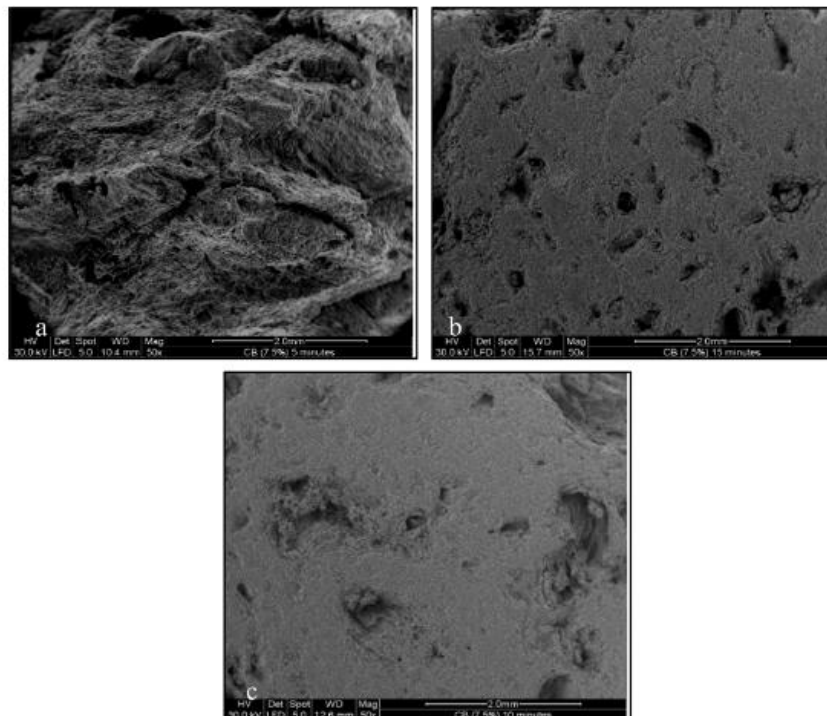
As Figuras 23 e 24 também mostram o efeito do tempo de mistura por meio de imagens de micrografia eletrônica produzidas com 50 vezes de aumento. Nas Figuras 23 (a) e 24 (a), por 5 min de tempo de mistura, as fibras do resíduo ponta de cigarro podem ser vistas. As Figuras 23 (b), 24 (b), 23 (c) e 24 (c) mostram que, com o aumento do tempo de mistura, o tamanho dos micros poros diminuiu, mas o número de poros aumentou e na Figura 23 (d), a textura da superfície do tijolo melhorou e tornou-se mais semelhante ao que não tem o resíduo.





**Figura 23:** Micrografias eletrônicas em 50x ampliação das amostras de tijolos com 7,5% de resíduo ponta de cigarro com tempos de misturas diferentes: (a) 5 min; (b) 10 min; (c) 15 min e (d) 0% de resíduo ponta de cigarro e 5 min de tempo de mistura.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2011.



**Figura 24:** Micrografias eletrônicas em 50x ampliação das amostras de tijolos com 7,5% de resíduo ponta de cigarro com tempos de misturas diferentes: (a) 5 min; (b) 10 min e (c) 15 min.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2012; MOHAJERANI *et al.*, 2016.

Segundo Kadir e Mohajerani (2011), este efeito ocorreu principalmente devido ao aumento do grau de desintegração das fibras e a distribuição mais uniforme dos pedaços menores de fibras da ponta de cigarro na mistura. Portanto, os pesquisadores constataram que quanto maior o tempo de mistura na fabricação de tijolos incorporado com resíduo ponta de cigarro, menor a porosidade e é possível obter melhores propriedades.

Os tempos de mistura também afetaram o desempenho da condutividade térmica. Os resultados apresentados na Tabela 6 mostram que os valores de condutividade térmica aumentaram de forma constante à medida que os tempos de mistura diminuía. Isso ocorreu devido ao aumento da densidade seca e, portanto, redução da porosidade das amostras com tempos de mistura mais altos (KADIR e MOHAJERANI, 2011).

**Tabela 6:** Valores calculados de condutividade térmica de tijolos de argila fabricado com diferentes porcentagens de resíduo ponta de cigarro e diferentes tempos de mistura.

Identificação de Mistura (%)	Tempo de Mistura (min)	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )	Condutividade Térmica (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Redução de Condutividade Térmica (%)
0.0	5	2118.0	1.08	0
2.5	5	1941.0	0.85	21
5.0	5	1611.0	0.53	51
10.0	5	1482.0	0.45	58
7.5	5	1591.0	0.52	52
7.5	10	1756.0	0.65	40
7.5	15	1789.0	0.68	37

Fonte: Adaptado de KADIR e MOHAJERANI, 2011.

No estudo realizado por Sarani e Kadir (2013a), diferentes porcentagens do resíduo ponta de cigarro foram incorporadas blocos cerâmicos queimado em diferentes taxas de aquecimento diferente durante a queima (1°C/min, 3°C/min e 5°C/min) em uma temperatura de patamar em um valor de 1050 °C. Os resultados revelaram a dependência da densidade aparente e da porosidade aparente na propriedade térmica do tijolo queimado. Assim, as densidades aparentes diminuía constantemente com um aumento na quantidade do resíduo e enquanto isso, a porosidade aparente teve um aumento significativo. As relações entre condutividade térmica, densidade e porosidade aparente estão apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7:** Propriedades variando taxa de aquecimentos e % resíduo ponta de cigarro.

Propriedades	1°C/min			3°C/min			5°C/min		
	0%	2,5%	5,0%	0%	2,5%	5,0%	0%	2,5%	5,0%
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2.55	2.38	2.35	2.43	2.37	2.28	2.40	2.37	2.35
Porosidade Aparente (%)	28	34	37	31	36	35	31	35	36
Condutividade Térmica (W/m.K)	0.964	0.805	0.908	0.912	0.871	0.826	0.880	0.850	0.779

Fonte: Adaptado de SARANI e KADIR, 2013a.

A partir destes resultados, o efeito nas propriedades foi paralelo ao crescimento dos poros, diminuição da densidade e melhoria na condutividade térmica do tijolo de argila queimado. A melhor propriedade térmica é de 0,779 W/m.K, que foram determinados quando 5% do resíduo conteúdo disparado a taxas de aquecimento de 5 °C/min. Portanto, é indicado que o resíduo ponta de cigarro poderia ser utilizado como aditivos formadores de poros em corpos de tijolos ou em isolamentos e para produzir o desempenho ideal, se recomenda utilizar 1°C/min como taxa de aquecimento e 2,5% resíduo ponta de cigarro (SARANI e KADIR, 2013a).

Em outro estudo, Sarani e Kadir (2013b), tiveram o objetivo de estimar valor da condutividade térmica e foi feito uma comparação do valor de condutividade térmica teórico com outro valor por meio de um trabalho laborial. O trabalho experimental para condutividade térmica foi realizado usando um método chamado de Hot Guarded Plate Method e o resultado teórico foi obtido por meio de um modelo desenvolvido no software *Statistical Package for the Social*.

Ainda, os resultados obtidos por Sarani e Kadir (2013b), estão representados na Tabela 8 e mostram que os valores de densidade a seco diminuem com o aumento da quantidade de resíduo ponta de cigarro e concluíram que a condutividade térmica há uma forte dependência da densidade. Também, a condutividade térmica apresentou melhor desempenho com o aumento do resíduo e a condutividade térmica experimental possui uma relação com a condutividade teórica, pois os resultados foram muito próximos (SARANI e KADIR, 2013b).

**Tabela 8:** Relação da densidade a seco com a condutividade térmica experimental e teórica variando até 5% de resíduo ponta de cigarro.

Propriedades	1°C/min			3°C/min			5°C/min		
	0%	2,5%	5,0%	0%	2,5%	5,0%	0%	2,5%	5,0%
<b>Densidade a seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.372	2.142	2.041	2.358	2.108	1.970	2.254	2.147	2.064
<b>Condutividade Térmica Experimental (%)</b>	0.970	0.860	0.820	0.881	0.874	0.768	0.900	0.887	0.791
<b>Condutividade Térmica Teórica (W/m.K)</b>	0.829	0.737	0.696	0.824	0.723	0.668	0.782	0.739	0.706

Fonte: Adaptado de SARANI e KADIR, 2013b.

As pesquisas realizadas por Kadir e Mohajerani (2014) e Mohajerani *et al.* (2016), avaliam o efeito da taxa de aquecimento em estágios de taxas diferentes (0,7°C/min, 2°C/min, 5°C/min e 10°C/min) nas emissões de gases e nas propriedades de tijolos de argila queimados e tijolos de argila queimados incorporados com pontas de cigarro. Os resultados apresentados nestes artigos fornecem informações úteis em relação aos tijolos com e sem a incorporação de resíduo ponta de cigarro.

Da mesma maneira e com os mesmos resultados, os autores Kadir e Mohajerani (2013) realizaram uma pesquisa avaliando a influências da taxa de aquecimento nas propriedades físicas e mecânicas do tijolos de argila incorporados com resíduo ponta de cigarro, porém foi avaliado apenas os extremos de taxa de aquecimento (2°C/min e 5°C/min) e resíduo ponta de cigarro (0% e 5%). Como resultado, pode-se observar na Tabela 9, que as taxas de aquecimento mais altas diminuem o valor da resistência à compressão, mas aumenta ligeiramente os valores de absorção e densidade. Em conclusão, taxas de aquecimento mais altas são capazes de produzir propriedades físicas e mecânicas adequadas, onde devem ser considerados uma opção na indústria de tijolos, a fim de minimizar o custo de fabricação e redução significativamente da poluição ambiental.

**Tabela 9:** Propriedades físicas e mecânicas dos tijolos padrões e incorporados com pontas de cigarro em diferentes taxas de aquecimentos (extremos).

Taxas de aquecimento (°C.min <sup>-1</sup> )	Identificação de Mistura	Resistência a Compressão (MPa)	Taxa inicial de absorção (kg.m <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	Densidade a seco média (kg.m <sup>-3</sup> )
2	0	17.90	1.00	2124
2	5.0	10.05	1.32	1853
5	0	16.34	3.57	2134
5	5.0	9.40	3.99	1736

Fonte: Adaptado de KADIR e MOHAJERANI, 2013.

Neste estudo, o resíduo ponto de cigarro foi incorporado ao tijolo de argila queimado em diferentes percentuais (0%, 2,5% e 5,0%), todas as amostras foram queimadas até 1050 °C com diferentes taxas de aquecimento (1°C/min, 3°C/min e 5°C/min). Propriedades incluindo resistência à compressão, densidade seca, retração de queima e absorção de água são relatadas e discutidas. A diminuição da

taxa de aquecimento refletiu em um aumento na resistência à compressão e retração de queima e diminuição da densidade seca e absorção de água. A partir dos resultados, foi sugerido que seja adotado a taxas de aquecimento de 1°C/min com 2,5% do resíduo ponta de cigarro para obter propriedades mais adequadas (KADIR; SARANI; LEMAN, 2014).

Durante os ciclos de queima, foi utilizado um equipamento para detectar: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO), cianeto de hidrogênio (HCN) e emissões de Cloro (Cl<sub>2</sub>) foram medidos em diferentes taxas de aquecimento. Esses gases são os principais gases esperados emitidos pelos tijolos de argila queimado (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

Os resultados para tijolos de argila sem o resíduo são apresentados na Tabela 10 e percebe-se que os menores valores de Emissão Total Estimada obtidos em altas taxas de aquecimento (5 °C/min e 10 °C/min) podem ser devidos à alta concentração de vapor de água que foi mantida dentro do sistema de poros e assim inibiu a oxidação do conteúdo orgânico. Em contrapartida, em baixas taxas de aquecimento, particularmente a 2°C/min, a acessibilidade ao oxigênio deveria melhorar devido ao baixo nível de vapor de água dentro do sistema de poros. Sendo assim, a oxidação do conteúdo orgânico foi capaz de ocorrer completamente por causa do sistema de poros de vapor de água livre, produzindo assim maiores emissões de gases (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

**Tabela 10:** Emissão Total Estimada calculada para tijolos de argila.

Taxas de aquecimento (°C.min <sup>-1</sup> )	Tempo de aquecimento (h)	Tempo de queima (h)	Identificação da Mistura (%)	Emissão Total Estimada (ETE) (ppm.hr.kg <sup>-1</sup> )				
				CO	CO <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	HCN	NO
0.7	25	3	0.0	270.03	89.30	5.46	3.33	72.09
2	8.8	3	0.0	120.84	162.01	12.74	18.75	46.14
5	3.5	3	0.0	143.25	140.29	1.13	11.21	20.35
10	1.8	3	0.0	79.29	90.25	0.46	4.83	21.51

Fonte: do de KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016.

A maioria dos gases obteve a menor valor a 10 °C/min, exceto para HCN a 0,7 °C/min. Os valores caíram constantemente a 2°C/min, em comparação com os valores a 10 °C/min (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

A existência do resíduo ponta de cigarro em baixas taxas de aquecimento também ajuda a melhorar a condição do sistema de poros no tijolo. Isso reduz o nível de vapor de água, aumentando assim a acessibilidade ao oxigênio. Neste caso, a oxidação do conteúdo orgânico estava quase completa, resultando em maiores emissões de gases. Por outro lado, como mostra a Tabela 11, as concentrações de gás liberadas foram significativamente menores em altas taxas de aquecimento (5°C/min e 10°C/min) (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

**Tabela 11:** Emissão Total Estimada calculada para tijolos de argila incorporada com resíduo ponta de cigarro.

Taxas de aquecimento (°C.min <sup>-1</sup> )	Tempo de aquecimento (h)	Tempo de queima (h)	Identificação da Mistura (%)	Emissão Total Estimada (ETE) (ppm.hr.kg <sup>-1</sup> )				
				CO	CO <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	HCN	NO
0.7	25	3	5.0	1583.80	2463.90	5.15	8.32	108.62
2	8.8	3	5.0	1227.00	3261.90	2.09	34.03	157.79
5	3.5	3	5.0	670.42	2410.80	1.28	14.83	90.98
10	1.8	3	5.0	303.66	1751.90	0.38	11.52	38.31

Fonte: Adaptado de KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016.

Para amostras de tijolos com resíduo ponta de cigarro, os valores de emissão dos gases foram significativamente maiores quando comparadas com amostras de tijolos de argila queimadas nas mesmas taxas de aquecimento, especialmente para CO e CO<sub>2</sub> a 0,7°C/min e 2°C/min. No entanto, as emissões de gases em tijolos incorporados com resíduo ponta de cigarro, diminuiram significativamente quanto aplicado à taxas de aquecimento mais altas (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

Os efeitos de diferentes taxas de aquecimento nas propriedades físicas e mecânicas dos tijolos de argila são apresentados na Tabela 12. Constatou-se que diferentes taxas de aquecimento afetam as propriedades do tijolo de argila, embora não criticamente. As vantagens de usar taxas de aquecimento mais altas são menor duração de queima, maior eficiência energética e menor emissão de gases (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

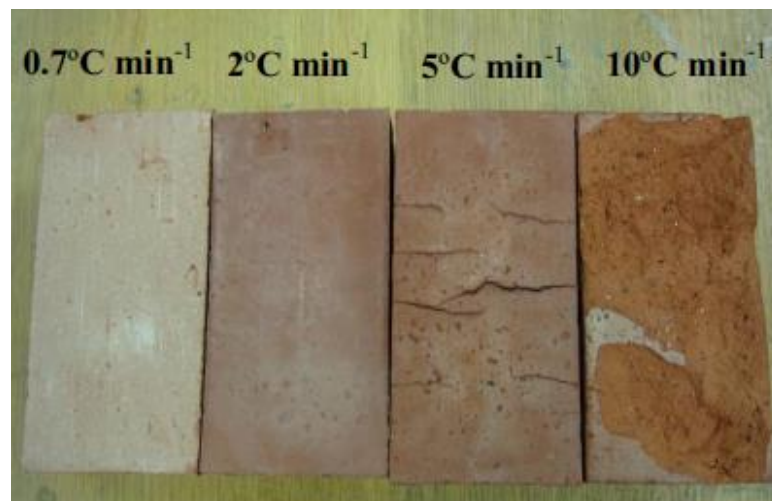
Além disso, observou-se que baixas taxas de aquecimento produziram um produto melhor em termos de aparência (Figura 25) e para produzir tijolo de boa qualidade, o ideal é queimar até cerca de 2°C/min. Em uma temperatura de 5°C/min,

é possível obter bons resultados para resistência à compressão, densidade seca e propriedades de absorção de água, no entanto, não sobreviveram aos efeitos de desintegração e rachaduras visíveis durante o processo de queima. Até 10 °C/min, mesmo as amostras de tijolos dificilmente sobreviveram com a maior parte da superfície se desintegrando durante o processo de queima. Esta situação deve-se à liberação súbita de gás aprisionado ou a expansão da água aprisionada em amostras de tijolos com sistemas de poros pobres (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

**Tabela 12:** Propriedades Físicas e Mecânicas das amostras de tijolo de argila queimada com diferentes taxas de aquecimento.

Taxas de aquecimento (°C.min <sup>-1</sup> )	Identificação de Mistura	Resistência a Compressão (MPa)	Absorção de água (%)	Módulo de Ruptura (MPa)	Taxa inicial de absorção (kg.m <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	Densidade a seco média (kg.m <sup>-3</sup> )
0.7	0.0	25.65	5	2.79	0.24	2118
2	0.0	17.90	7	6.04	1.00	2124
5	0.0	7	7	-	3.57	2134
10	0.0	N/A	5	N/A	3.11	2213

Fonte: Adaptado de KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016.



**Figura 25:** Aparência superficial dos tijolos de argila com diferentes taxas de aquecimento.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2013; KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016.

Os efeitos de diferentes taxas de aquecimento nas propriedades físicas e mecânicas dos tijolos de argila incorporadas com resíduo ponta de cigarro são apresentados na Tabela 13. Estes resultados mostram que a porosidade dos tijolos

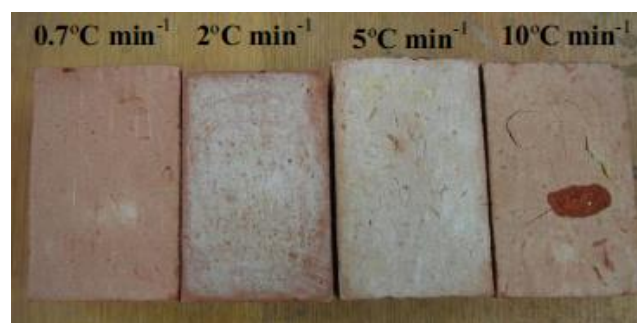
com o resíduo, aumentou com taxas de aquecimento mais altas. Este efeito é diferente comparado aos tijolos de argila devido à adição da ponta de cigarro. Isso também aconteceu devido à diminuição do valor da densidade seca (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

**Tabela 13:** Propriedades Físicas e Mecânicas das amostras de tijolo de argila incorporada com resíduo ponta de cigarro queimada em diferentes taxas de aquecimento.

Taxas de aquecimento (°C.min <sup>-1</sup> )	Identificação de Mistura	Resistência a Compressão (MPa)	Absorção de água (%)	Módulo de Ruptura (MPa)	Taxa inicial de absorção (kg.m <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	Densidade a seco média (kg.m <sup>-3</sup> )
0.7	5.0	14.25	11	4.61	1.45	1901
2	5.0	10.05	10	4.43	1.32	1853
5	5.0	9.40	15	4.30	3.99	1736
10	5.0	5.03	14	3.08	3.97	1680

Fonte: Adaptado de KADIR; MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016.

A incorporação de ponta de cigarro em tijolos de argila também permitiu que as amostras fabricadas fossem queimadas e sobrevivessem a altas taxas de aquecimento até cerca de 10 °C/min, sem enfrentar grandes desintegrações ou rachaduras, como ocorreu com as amostras de tijolos. No entanto, em termos de aparência, as amostras de tijolos manufaturados com menores taxas de aquecimento foram ligeiramente melhores em comparação às maiores taxas de aquecimento com relação a superfície das amostras, como mostra a Figura 26 (KADIR e MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016).

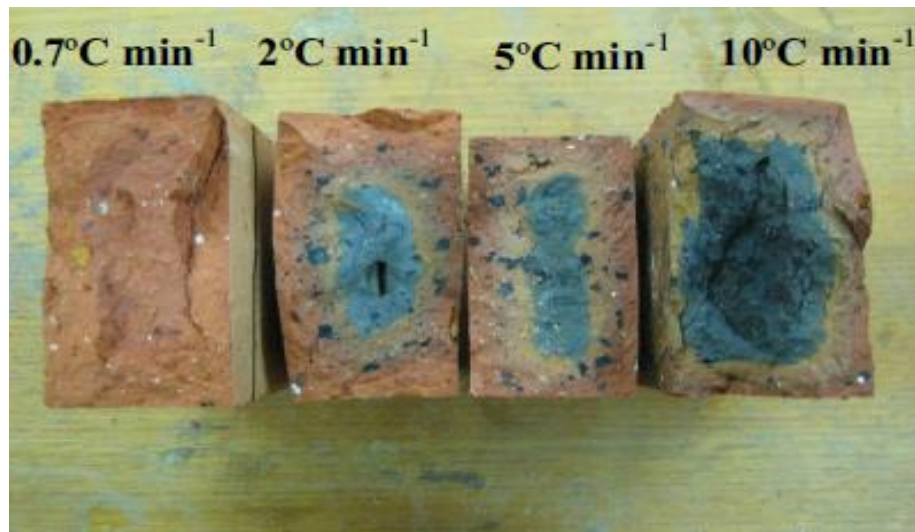


**Figura 26:** Aparência superficial dos tijolos de argila incorporado com 5% de resíduo ponta de cigarro em diferentes taxas de aquecimento.

Fonte: KADIR; MOHAJERANI, 2014; MOHAJERANI *et al.*, 2016.

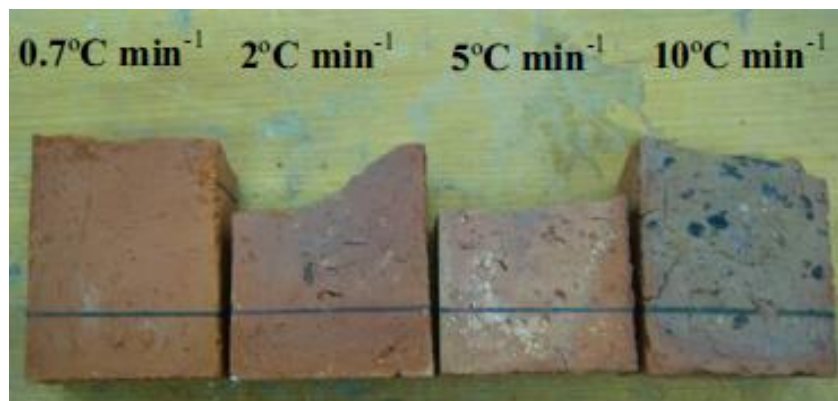


Kadir e Mohajerani (2014) também mostram por meio da Figura 27 as seções transversais das amostras em diferentes taxas de aquecimento e as mais altas, foi observado que a região central ficou preto devido à combustão incompleta do conteúdo orgânico fornecido pelo resíduo incorporado. O efeito de "*black coring*" foi maior à medida que a taxa de aquecimento aumentou, especialmente a 10°C/min. A Figura 28 mostra claramente que a 10°C/min, mesmo a parte longitudinal inferior das amostras fabricadas foi afetada e preenchida com manchas escuras.



**Figura 27:** Seções transversais das amostras incorporadas com 5% de ponta de cigarro queimadas em diferentes taxas de aquecimento.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2014.



**Figura 28:** Seções longitudinais inferiores com 5% de ponta de cigarro queimadas em diferentes taxas de aquecimento.

Fonte: KADIR e MOHAJERANI, 2014.

Então, como conclusão às pesquisas de Kadir e Mohajerani (2014) e Mohajerani *et al.* (2016), foi estabelecido que as taxas mais altas de aquecimento podem levar a uma redução significativa das emissões de gases, já que a maioria dos tijolos de argila e tijolo de argila incorporada com ponta de cigarro apresentaram os menores valores de Emissão Total Estimada a 10°C/min. Por outro lado, em termos físicos e mecânicos, os tijolos de argila demonstraram propriedades aceitáveis até 2°C/min, enquanto o tijolo incorporado é mais resistente em altas taxas de aquecimento, uma vez que estabeleceu propriedades aceitáveis até 10°C/min. Quanto à aparência, taxas mais baixas de aquecimento produziram um melhor produto final. Por fim, os autores afirmaram que tijolos de argila incorporados com ponta de cigarro e altas taxas de aquecimento devem ser considerados como uma opção ou uma alternativa na indústria de tijolos para minimizar o custo e o tempo de fabricação.

Os pesquisadores Mohajerani *et al.* (2016) realizaram estimativas para a energia que poderia ser economizada na queima de tijolos incorporados com resíduo ponta de cigarro em quantidades de 2,5% e 5% em peso. Os corpos de provas testados possuem 3 formatos distintos (Figura 29) e foram fabricados nas mesmas condições de todos anteriores, conforme Kadir *et al.*, 2009. Os resultados estão apresentados nas Tabela 14 e é possível observar que poderia haver um potencial de economia de energia de aproximadamente 31% ao queimar tijolos com 2,5% de ponta de cigarro e uma economia de energia de aproximadamente 58% ao queimar Tijolos 5,0% de ponta de cigarro.



**Figura 29:** Conjuntos de moldes utilizados: Cubo, Tijolo e Barra.

Fonte: MOHAJERANI *et al.*, 2016.

**Tabela 14:** Valores calculados de energia economizada durante a queima para tijolos de argila incorporados com 2,5% e 5% de resíduo ponta de cigarro.

Amostras	Identificação de Mistura (%)	Massa de Argila (kg)	Massa de Resíduo ponta de cigarro (kg)	Energia usada (MJ)	Energia Economizada (MJ)	Porcentagem de energia economizada (%)
Tijolo	2.5	3.004	0.077	4.544	2.028	30.8
Barra	2.5	2.428	0.062	3.673	1.637	30.8
Cubo	2.5	1.619	0.042	2.449	1.091	30.8
Tijolo	5.0	2.733	0.144	2.733	3.839	58.4
Barra	5.0	2.209	0.116	2.209	3.101	58.4
Cubo	5.0	1.473	0.078	1.473	2.067	58.4

Fonte: Adaptado de MOHAJERANI *et al.*, 2016.

A economia de energia obtida neste estudo demonstra que a adição de deste resíduo à argila para a fabricação de tijolos auxilia na queima, devido ao seu teor de acetato de celulose, que contribui positivamente para a entrada de calor do forno durante a queima de tijolos e reduz a quantidade de energia necessária (MOHAJERANI *et al.*, 2016).

O artigo feito por Mohajerani *et al.* (2016), analisa e apresenta os resultados de parte de um estudo em andamento sobre a incorporação do resíduo ponta de cigarro em tijolos de cerâmica vermelha e propõe a incorporação de 1% por peso deste na fabricação de tijolos de argila. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 15 e é possível observar que as propriedades de um tijolo com 1% de resíduo ponta de cigarro estão muito próximas das dos tijolos de argila padrão, com todas as propriedades dentro dos limites aceitáveis.

**Tabela 15:** Comparação das propriedades físicas e mecânicas de tijolos de argila padrão e propriedades estimadas de tijolos incorporados com 1% de resíduo ponta de cigarro.

Identificação de Mistura	Resistência a Compressão (MPa)	Resistência a Flexão (MPa)	Absorção de água (%)	Taxa inicial de absorção ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Densidade média ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )
0.0	25.65	2.79	5	0.2	2118
1.0	19.53	2.73	7.4	0.64	2008

Fonte: Adaptado de MOHAJERANI *et al.*, 2016.

Baseado nas informações anteriores, Mohajerani *et al.* (2016) conclui que é possível incorporar resíduo ponta de cigarro em tijolos de argila, o que ajudaria a resolver os problemas ambientais causados pelo descarte de cigarros sem fazer

mudanças significativas nos tijolos fabricados. Além disso, é estimado uma economia de 9% de energia de queima pela incorporação de 1% do presente resíduo. Se cada fabricante de tijolos produzisse 2,5% de seus tijolos com 1% de resíduo ponta de cigarro incorporado, todos as pontas de cigarro produzidos em todo o mundo poderiam teoricamente ser reciclados.

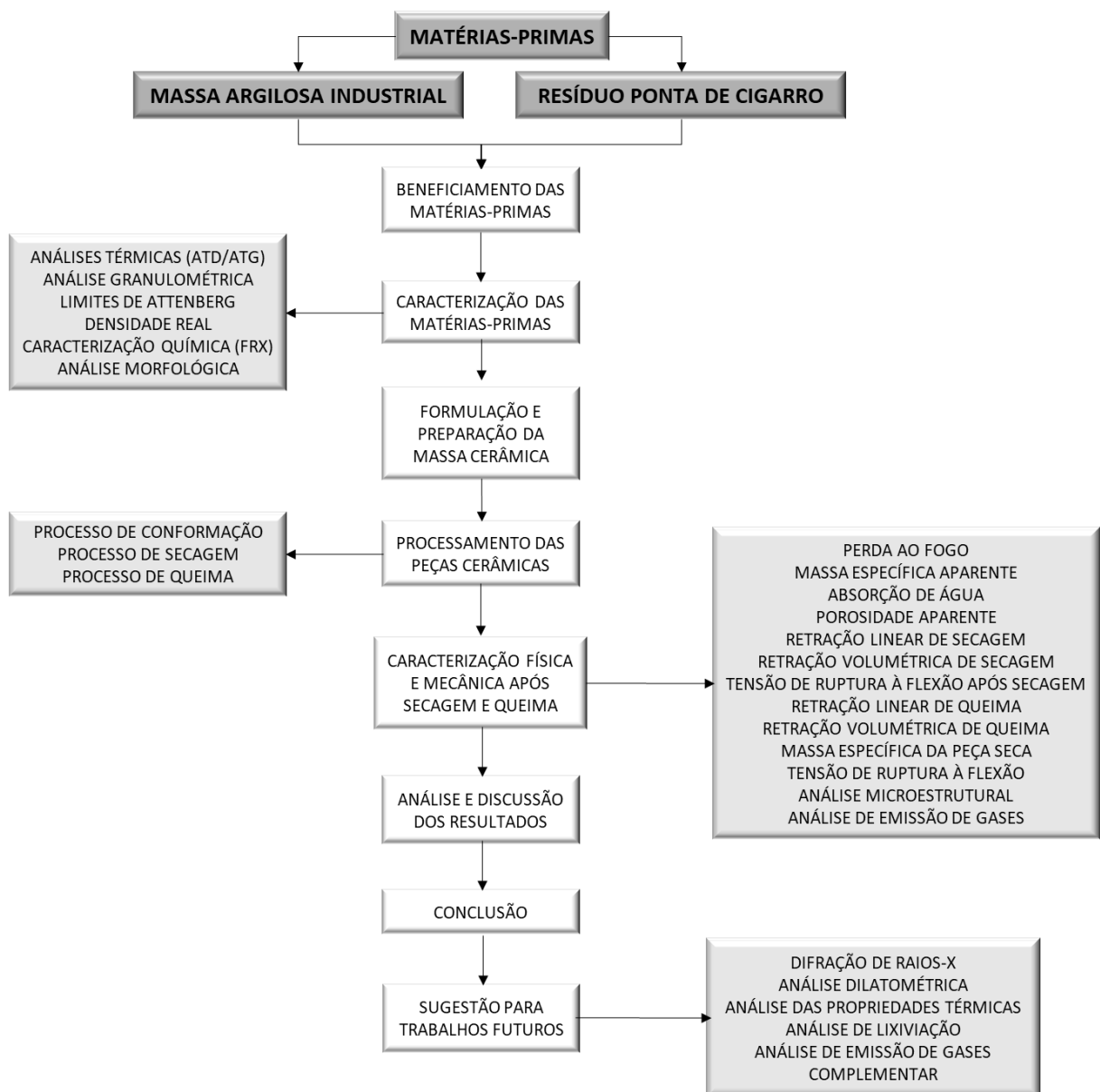
Ainda, Zhang (2013) e Monteiro e Vieira (2014) indicaram que o resíduo ponta de cigarro tem contribuição energética como combustível por meio da queima. Já Phonphuak e Chindaprasirt (2015) indicaram que este resíduo tem contribuição como formador de poros no tijolo cerâmico queimado.

Portanto, de acordo com o exposto anteriormente, existem oportunidades de melhorias no estudo de incorporação do resíduo ponta de cigarro na cerâmica vermelha, como: melhoramento do processo de fabricação e no beneficiamento da matéria prima residual para obter melhores compactações, aparência e maximizar os resultados das propriedades tecnológicas. Toda vida, é enriquecedor este estudo, pois dentro da literatura sobre incorporação do resíduo ponta de cigarro em cerâmica vermelha não foi constatado trabalho sobre a incorporação deste tipo de resíduo na formulação de massa argilosa para a fabricação de telha cerâmica.

Sendo assim, a presente proposta de dissertação pretende contribuir com uma nova possibilidade para valorização do resíduo ponta de cigarro, que é a sua incorporação em massa argilosa para telha cerâmica. Isto é muito importante do ponto de vista econômico e ambiental, pois a telha cerâmica apresenta um valor agregado em cerca de três vezes mais do que aquele de tijolo (bloco cerâmico furado).

## CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e a metodologia empregados na realização deste trabalho de dissertação de mestrado, que envolvem etapas relacionadas às matérias primas, o processamento e ensaios físicos e mecânicos. A Figura 30 apresenta o fluxograma experimental seguido no desenvolvimento deste trabalho.



**Figura 30:** Fluxograma de etapas envolvidas no procedimento experimental.

### 3.1. Matérias primas

Neste trabalho foram utilizadas as seguintes matérias-primas: massa argilosa industrial específica para telhas e resíduo ponta de cigarro. A massa argilosa industrial foi fornecida pela Cerâmica São José, que é uma empresa cerâmica instalada no Polo Cerâmico do município de Campos dos Goytacazes/RJ. Esta empresa cerâmica é pioneira na fabricação de telhas na região de Campos dos Goytacazes/RJ e possui o certificado do Programa Setorial da Qualidade de Telhas Cerâmicas (PSQ-TC), uma iniciativa do Ministério das Cidades em parceria com a ANICER (Associação Nacional das Indústrias Cerâmicas), que buscam destacar as empresas que forneçam materiais adequados às normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

A massa argilosa industrial usada neste trabalho corresponde a uma mistura de distintas argilas vermelhas, a qual foi formulada na própria indústria buscando o equilíbrio de plasticidade apropriada para produção de telha cerâmica de boa qualidade técnica e de acordo com as especificações das normas vigentes.

O resíduo ponta de cigarro foi recolhido em uma empresa multinacional específica com aproximadamente 600 funcionários e situada no Complexo do Porto do Açú no município de São João da Barra/RJ. Nesta empresa, existe uma área para os fumantes com um único coletor de cigarros, como mostra a Figura 31.



**Figura 31:** Coletor de Cigarros de uma empresa situada no Complexo do Porto do Açú, São João da Barra (RJ).

### 3.2. Beneficiamento das matérias primas

Para a realização do beneficiamento, é preciso estabelecer uma referência do material que será colhido para a incorporação do resíduo proposto na produção de telha cerâmica proposta, como mostra a Figura 32.



**Figura 32:** Referência do resíduo ponta de cigarro.

Como se pode observar na Figura 30, a proposta é utilizar o resíduo ponta de cigarro da maneira na qual o mesmo é encontrado no meio ambiente.

Algumas pessoas fumam o cigarro até o filtro, outras deixam uma parte útil maior e outras consomem até mesmo o filtro. Neste caso, não será segregado por tamanho ou parte do cigarro, isto é, a parte útil (onde se encontram as substâncias tóxicas) também será considerada.

Após a etapa de coleta, o resíduo ponta de cigarro foi beneficiado para torná-lo adequado para incorporação à massa argilosa. O resíduo ponta de cigarro foi triturado em um moinho de facas para a diminuição granulométrica, deixando o mais fragmentado possível e, principalmente, mantendo uma constante homogeneidade do material, processando uma quantidade que englobe o total do material residual a ser utilizado com intuito de manter o mesmo padrão. O moinho de facas utilizado é da marca *Marconi* e modelo MA340 (Figura 33), disponibilizado pelo Laboratório de Zootecnia e Nutrição Animal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).



**Figura 33:** Vista Lateral do moinho de facas da marca Marconi e modelo MA340.

Além disso, toda vez que o resíduo ponta de cigarro foi manuseado em alguma etapa do beneficiamento, foi necessário o uso de alguns equipamentos de proteção individual (EPI), pois este tipo de material é tóxico e torna o ambiente insalubre, especificamente ao sistema respiratório. Os EPI's utilizados foram: luva nitrílica, óculos e respirador purificador de ar tipo peça semifacial.

O ajuste granulométrico foi por meio de peneiramento manual em uma peneira de 42 mesh, isto é, malha com espaçamentos menores do que 0,355 mm. Além da necessidade no ajuste do grão, o peneiramento também é de extrema importância para segregar e descartar partículas maiores de papel e outras impurezas.

A Figura 34 mostra como a matéria prima residual ficou após a passagem através do moinho de facas e a Figura 35 mostra como a mesma se comportou após o peneiramento.



**Figura 34:** Amostra do resíduo ponta de cigarro após cominuição em moinho de facas.





**Figura 35:** Amostra do resíduo de cigarro após o peneiramento em 42 mesh.

A massa argilosa foi coletada na empresa cerâmica diretamente do silo alimentador. A massa argilosa industrial foi submetida ao processo de secagem em estufa a 110 °C durante 24 h.

Em seguida a argila foi destorroada e desagregada por meio de pistilo e graal de porcelana. Por fim, as partículas passaram pela peneira de 42 mesh (< 0,355 mm ASTM).

É importante ressaltar que tanto a matéria prima argilosa quanto o resíduo foram adequados à mesma granulometria.

A Figura 36 representa como a argila se comportou após o peneiramento.



**Figura 36:** Amostra da massa argilosa para telha após o peneiramento.

Portanto, a etapa de beneficiamento consistiu basicamente em adequar as matérias primas na fração < 42 mesh por meio dos mecanismos descritos anteriormente, para em seguida submeter todo material à secagem em estufa a 110°C durante 24 horas. Após beneficiamento, as matérias primas estão prontas

para as etapas de caracterização e preparação dos corpos de prova por prensagem e queima.

### 3.3. Formulação das massas cerâmicas

As massas argilosas deste trabalho foram formuladas utilizando distintas proporções de massa argilosa industrial para telha e resíduo ponta de cigarro. Para a identificação, foi adotada uma nomenclatura, conforme mostrado na Tabela 16.

Neste trabalho estudou-se a incorporação em até 5 % em massa de resíduo de ponta de cigarro. Essa escolha se justifica pelo fato de o resíduo proposto atuar como um agente formador de poros durante o processo de queima.

**Tabela 16:** Composições das formulações propostas (% em massa).

Massa Cerâmica	Massa Argilosa	Resíduo Ponta de Cigarro
MLA0	100,00	0,00
MLA1	98,75	1,25
MLA2	97,50	2,50
MLA3	96,25	3,75
MLA4	95,00	5,00

### 3.4. Preparação das massas cerâmicas

Inicialmente foi realizada a pesagem das matérias-primas beneficiadas usando uma balança de precisão da marca Marte Científica e modelo UX8200S. Depois, foi realizada a etapa de mistura e homogeneização com a massa argilosa e resíduo de ponta de cigarro, de acordo com as proporções descritas na Tabela 16, usando um Moinho de Bolas da marca Gaderlin por um período de 20 minutos.

Segundo estudos comprovados por Mohajerani et al. (2016), quanto maior o tempo de mistura, melhores propriedades são obtidas e o mesmo determinou como ideal um tempo de 15 min.

### **3.5. Caracterização das matérias primas**

#### **3.5.1. Ensaio de Caracterização Física**

Primeiramente, foram realizados os seguintes ensaios: granulometria, limites de Atterberg e massa específica real dos grãos.

Para a realização dos ensaios propostos neste tópico, foram utilizadas amostras passadas na peneira de 42 mesh, isto é, na mesma granulometria da aplicação proposta.

##### **3.5.1.1. Análise Granulométrica**

A análise granulométrica da massa argilosa industrial para telha tem o objetivo de determinar os tamanhos das partículas ou grãos que compõe a formulação argilosa proposta, bem como gerar a curva granulométrica.

Este ensaio foi realizado de acordo com os procedimentos da NBR 7181 (ABNT, 1984), pelo processo combinado de peneiramento e sedimentação. Para execução da técnica de sedimentação, utilizou-se como hexametáfosfato defloculante, Carbonato de Sódio e água destilada. Esta mistura permaneceu 24 horas em um recipiente de vidro e em seguida, realizou-se a agitação por meio de um dispersor por 15 minutos. A velocidade de decantação foi determinada pela Lei de Stokes que consiste na retirada de várias amostras da suspensão em buretas graduadas, através de um densímetro em intervalos de tempo definidos. Os valores encontrados são lançados no gráfico do peneiramento e, desse modo, obtém-se a curva de distribuição de partículas dos grãos da amostra ensaiada.

Foi estabelecido realizar os demais procedimentos somente dos extremos das formulações, pois a variabilidade seria pouca. Então, foram ensaiadas somente as formulações: MLA0, MLA2 e MLA4.

### 3.5.1.2. Índices de Plasticidade de Atterberg

Os Limites de consistência de Atterberg são usados pra determinar as propriedades plásticas da massa argilosa industrial em conformidade com as normas NBR 6459 (ABNT, 1984) para o limite de liquidez e NBR 7180 (ABNT, 1984) para o limite de plasticidade.

Assim como na análise granulométrica, foi estabelecido realizar os demais procedimentos somente dos extremos das formulações.

O ensaio do limite de liquidez foi realizado em um aparelho chamado de “Casagrande” para contabilizar o número de bateladas que é parâmetro para encontrar o valor do limite de liquidez e o ensaio de limite de plasticidade foi feito na placa esmerilhada com o bastão padrão.

O Índice de Plasticidade de Atterberg (IP) foi determinado por meio da Equação 1:

$$IL = LL - LP \quad (1)$$

Onde:

*IP*: índice de plasticidade de Atterberg (%); *LL*: limite de liquidez (%); *LP*: limite de plasticidade (%).

### 3.5.1.3. Densidade Real dos grãos

O ensaio de densidade dos grãos foi determinado segundo a NBR 6508 (1984) e NBR 6457 (1986) e utilizou-se o método clássico do picnômetro.

## 3.5.2. Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica

No intuito de entender o comportamento térmico da massa argilosa, foram feitas Análise Térmica Diferencial (ATD) e Análise Térmica Termogravimétrica (ATG) em atmosfera oxidante (ar) com taxa de aquecimento de 10°C/min até temperatura máxima de 1000 °C.

As análises térmicas permitiram identificar os fenômenos endotérmicos e/ou exotérmicos, bem como perda de massa durante o aquecimento.

### **3.5.3. Análise Morfológica**

O estudo da morfologia das partículas da massa argilosa industrial para telha foi realizado através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um microscópio eletrônico de varredura, marca Shimadzu e modelo SSX-550 com espectrômetro de energia dispersiva (EDS) acoplado, instalado no Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF). A preparação da amostra para análise consistiu da secagem em estufa a 110 °C por 24 horas e metalização pela cobertura da amostra com uma fina camada de ouro.

### **3.5.4. Análise Química (FRX)**

A determinação dos componentes químicos da massa argilosa industrial para telha foi feita utilizando um espectrômetro de Fluorescência de Raios X, de energia dispersiva (EDX), da marca *Shimadzu*, modelo EDX 700, acoplado a um computador para o processamento de dados.

## **3.6. Preparação dos corpos de prova cerâmicos**

Neste trabalho, os corpos de prova cerâmicos foram conformados por prensagem uniaxial em uma matriz de aço inoxidável retangular nas seguintes dimensões: 115 mm de comprimento, 25 mm de largura e 10 mm de altura.

Para realização da prensagem, foi utilizada uma prensa hidráulica instalada no Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF), da marca Metal PEM, modelo PHP, de capacidade de 15 toneladas.

A priori, as massas cerâmicas precisam de umidade para melhor compactação. Então, foi acrescentado à formulação 7% em massa de água por meio de um borrifador de água. Este processo é lento, onde à medida que o material é

umidificado, também é misturado manualmente por meio de pistilo e graal e depois é misturado por 20 minutos (mesmo tempo utilizado na mistura da massa argilosa e resíduo ponta de cigarro) no moinho de bolas a fim de que a distribuição dos componentes se torne uniforme. Por fim, a umidificação se encerra ficando com a massa estática durante 24 horas para a completa umidificação.

Para garantir uma massa melhor homogeneizada para ser compactada na matriz, ela foi passada em uma peneira de 35 mesh (0,425 mm de abertura).

Finalmente, os corpos de prova foram prensados por prensagem uniaxial utilizando uma pressão de compactação de 24 MPa. Ressalta-se que cada corpo de prova foi preparado com uma quantidade de 50 gramas de matéria prima, cuja altura do corpo cerâmico foi da ordem de 10 mm.

Para garantir confiabilidade e minimizar a variabilidade intrínseca dos materiais cerâmicos, foram produzidos para cada formulação e em cada temperatura de queima uma quantia de 5 corpos de prova. Em seguida, foi gerado a média e o desvio padrão de cada lote para a definição das propriedades tecnológicas e análises propostas.

### 3.7. Secagem das peças cerâmicas

Após a compactação, os corpos de provas cerâmicos passaram pelo processo de secagem a 110°C durante 24 horas em estufa instalada no Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF), da marca *Deleo* e modelo 499.

A Figura 37 mostra o aspecto dos corpos de prova secos.



**Figura 37:** Corpos de prova após secagem em estufa.

Também, nas Figuras 38 e 39 mostram mais aproximado as extremidades de incorporação (0% e 5%) do Resíduo Ponta de Cigarro.



**Figura 38:** Corpo de prova seco com 0% de Resíduo Ponta de Cigarro.



**Figura 39:** Corpo de prova seco com 5,0% de Resíduo Ponta de Cigarro.

Por meio das fotos, pode-se afirmar que os corpos de prova secos se mantiveram com o aspecto inalterado mediante a incorporação do resíduo ponta de cigarro.

As seguintes propriedades após secagem foram determinadas: retração linear de secagem, retração volumétrica de secagem e massa específica bulk.

A retração linear de secagem  $RL_S$  das peças cerâmicas foi determinada de acordo com a Equação 2:

$$RL_S = \left( \frac{L_u - L_s}{L_u} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$RL_S$ : retração linear de secagem (%);  $L_u$ : comprimento da peça cerâmica úmida (mm);  $L_s$ : comprimento da peça cerâmica seca (mm).

A retração volumétrica de secagem  $RV_S$  das peças cerâmicas foi determinada de acordo com a Equação 3:

$$RV_S = \left( \frac{V_u - V_s}{V_u} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$RV_s$ : retração volumétrica de secagem (%);  $V_u$ : volume da peça cerâmica úmida ( $\text{mm}^3$ );  $V_s$ : volume da peça cerâmica seca ( $\text{mm}^3$ ).

A massa específica bulk das peças cerâmicas das peças secas foi determinada utilizando o método dimensional especificado pela Norma ASTM C373-72 por meio da Equação 4:

$$\rho_b = \frac{M}{V} \quad (4)$$

Onde:

$\rho_b$ : massa específica bulk ( $\text{g/cm}^3$ ); M: massa da peça cerâmica seca (g); V: volume da peça cerâmica seca ( $\text{cm}^3$ ).

As medidas de massa das peças cerâmicas foram feitas com o auxílio da balança de precisão da marca *Marte Científica*, modelo UX8200S. As dimensões das peças cerâmicas foram medidas com o auxílio de um paquímetro digital da marca *Mitutoyo* com +/- 0,01mm de resolução.

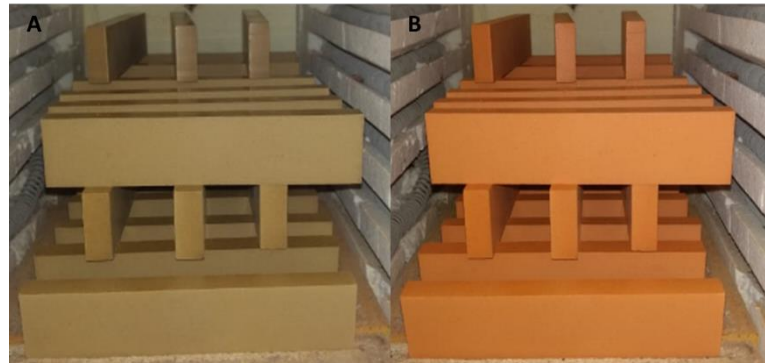
### 3.8. Queima das peças cerâmicas

As peças cerâmicas secas foram submetidas a processo de queima lenta em um forno do tipo mufla instalado no Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNEF) da marca *EGD Equipamentos* e modelo EDG3P-S 3000.

Os corpos de provas foram queimados nas temperaturas de 950°C, 1000°C, 1050°C e 1100°C durante 2 h na temperatura de patamar com taxa de aquecimento de aproximadamente 2°C/min e resfriamento lento por inércia da temperatura atingida pelo forno elétrico até a temperatura ambiente.

A Figura 40 (a) mostra a organização dos corpos de prova dentro do forno antes da queima e a Figura 40 (b) mostra a organização dos corpos de prova pós queima. A arrumação dos corpos cerâmicos dentro do forno na etapa de queima é fundamental para minimizar defeitos e evitar combustão incompleta.





**Figura 40:** Organização dos corpos de prova dentro do forno (A: Pré queima. B: Pós queima).

O processo de queima é um tratamento térmico em alta temperatura, importante para consolidar as partículas e influencia diretamente na microestrutura e propriedade final desejada. O aquecimento e resfriamento lento são parâmetros característicos na fabricação de telhas, com o intuito de obter melhores propriedades e evitar desvios da peça cerâmica.

### 3.9. Caracterização física e mecânica das peças cerâmicas queimadas

#### 3.9.1. Perda ao Fogo

A perda ao fogo foi determinada de acordo com a Equação 5:

$$PF = \frac{M_s - M_c}{M_s} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

PF: perda ao fogo (%);  $M_s$ : massa da amostra seca a 110 °C em estufa (g);  
 MC: massa da amostra calcinada (g).

Além do cálculo proposto, também foi feito uma perda ao fogo somente do resíduo proposto. O forno utilizado foi forno elétrico do tipo mufla da marca *EGD Equipamentos*, modelo EDG3P-S 3000.

### 3.9.2. Massa Específica Aparente

A massa específica aparente (MEA) das peças cerâmicas foi determinada seguindo os procedimentos descritos pela Norma ASTM C373, como mostra a Equação 6:

$$MEA = \frac{M_s}{M_u - M_i} \times D_{H2O} \quad (6)$$

Onde:

MEA: massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>); Ms: massa da peça cerâmica seca (g); Mu: massa da peça cerâmica saturada com água (g); Mi: massa da peça cerâmica imersa em água (g); D<sub>H20</sub>: Densidade da água (g/cm<sup>3</sup>).

De acordo com a Norma ASTM C 373-72, é necessário realizar o procedimento de secagem (110°C por 24 horas) e depois as peças cerâmicas foram pesadas e colocadas em um recipiente com água, mantidos em água fervente por 2 horas, e resfriados submersos em água corrente até temperatura ambiente. Em seguida, é eliminado o excesso da água superficial de cada peça com um pano úmido, registrando-se então a massa novamente e assim, torna-se possível calcular a massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água.

A determinação das variáveis da Equação 8 é baseada pelo Princípio de Arquimedes e o seguinte procedimento experimental se faz necessário:

- a) Medição da massa seca pós queima;
- b) O aparato necessário às medições foi montado anexo à balança digital de precisão da marca *Marte* e modelo AL500;
- c) O corpo de prova foi colocado no local a ela destinado de forma que esta ficou suspensa e imersa na água.

### 3.9.3. Absorção de Água

A Absorção de água das peças cerâmicas foi determinada seguindo os procedimentos descritos pela Norma ASTM C373, como mostra a Equação 7:

$$AA = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

AA: absorção de água (%);  $M_u$ : massa das peças cerâmicas saturadas com água (g);  $M_s$ : massa das peças cerâmicas secas (g).

### 3.9.4. Porosidade Aparente

A porosidade aparente das peças cerâmicas foi determinada de acordo com a Norma ASTM C373-72, demonstrada na Equação 8:

$$P_a = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

$P_a$  é a porosidade aparente (%);  $M_u$  é a massa dos corpos cerâmicos úmidos (g);  $M_s$  é a massa dos corpos cerâmicos secos (g); e  $M_i$  é a massa do corpo cerâmico imerso em água, que será medida pelo método da balança hidrostática (g).

### 3.9.5. Retração Linear de Queima

A retração linear de queima das peças queimadas foi determinada por meio da medida do comprimento com o auxílio de um paquímetro digital da marca *Mitutoyo* (+/- 0,01mm de resolução), através da Equação 9:

$$RL_q = \frac{L_s - L_q}{L_s} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

$RL_q$ : retração linear de queima (%);  $L_s$ : comprimento da peça cerâmica seca (mm); e  $L_q$ : comprimento da peça cerâmica queimada (mm).

### 3.9.6. Retração Volumétrica de Queima

A retração volumétrica de queima das peças queimadas foi determinada por meio da medida do comprimento com o auxílio de um paquímetro digital da marca *Mitutoyo* (+/- 0,01mm de resolução), através da Equação 10:

$$RV_q = \frac{V_s - V_q}{V_s} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

$RV_q$ : retração volumétrica de queima (%);  $V_s$ : volume da peça cerâmica seca (mm); e  $V_q$ : volume da peça cerâmica queimada (mm).

### 3.9.7. Tensão de Ruptura à Flexão

A tensão de ruptura à flexão das peças cerâmicas queimadas foi determinada de acordo com a Norma C674-77 (ASTM, 1989), utilizando-se uma máquina de ensaios universal do Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNEF) da marca *Instron* e modelo 5582. A taxa de carregamento utilizada foi de 0,5 mm.min<sup>-1</sup> e distância entre os cutelos de 90 mm. A tensão de ruptura à flexão (ensaio de carregamento em três pontos) foi calculada pela Equação 12:

$$TRF = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (11)$$

Onde:

TRF: tensão de ruptura a flexão (MPa); P: carga de ruptura (N); L: distância entre os apoios (mm); b: largura da peça cerâmica (mm); d: altura da peça cerâmica (mm).

Ademais, foi determinada a tensão de ruptura a flexão da peça seca, a chamada resistência mecânica à verde, com intuito de avaliar o comportamento mecânico da peça antes de ser queimada e comprovar uma boa homogeneização e compactação da peça cerâmica.

### **3.9.8. Análise Microestrutural**

Os corpos de provas cerâmicos destinados à análise microestrutural foram cortados utilizando um disco diamantado. O corte dos corpos de prova foi transversal à região da fratura e em amostras selecionadas de acordo com o resultado dos ensaios tecnológicos.

#### **3.9.8.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

Após o ensaio de tensão de ruptura à flexão, foi analisada a microestrutura da superfície de fratura das peças cerâmicas queimadas via microscopia eletrônica de varredura (MEV), com o objetivo de acompanhar a formação de poros e as mudanças da microestrutura a medida que quantidade de resíduo ponta de cigarro foi incorporado e temperatura de queima foi aumentada.

Para isso, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura do Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) da marca *Shimadzu* e modelo SSX-550.

#### **3.9.8.2. Microscopia Óptica (MO)**

As superfícies de fratura das amostras queimadas selecionadas foram também avaliadas utilizando o Microscópio Confocal da marca *Olympus Corporation* modelo LG-PS2-5 do Laboratório de Materiais Avançados da Universidade Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

### **3.9.9. Análise de Emissão de gases**

A avaliação da emissão gasosa gerada a partir da queima das peças cerâmicas preparadas, com ou sem incorporação de resíduo ponta de cigarro, tem como principal objetivo um estudo preliminar sobre alguns agentes poluentes que podem estar presentes na mistura gasosa liberada durante o processo de queima.

A etapa de queima empregada na fabricação cerâmica pode promover a eliminação de materiais potencialmente tóxicos por meio da volatilização, variações químicas e decomposição térmica dos constituintes das matérias primas de partida. Por esse motivo, a massa cerâmica isenta ou incorporada com resíduo poluente obrigatoriamente estão sujeitas à legislação ambiental. Uma grande preocupação é com relação às emissões gasosas durante a fabricação do produto cerâmico, especialmente durante a etapa de queima. As emissões gasosas podem causar impacto ambiental com o aumento significativo da poluição do ar.

Avaliar a evolução e intensidade das liberações gasosas envolvidas durante a etapa de queima é importante para saber o quanto nocivo ao ambiente este material pode ser, assim como, identificar quais constituintes estão gerando essa anomalia e a sua dependência com as várias propriedades físicas, mecânicas e térmicas que podem permitir a definição de metas que busquem a substituição ou controle deste constituinte a fim de otimizar o processo produtivo cerâmico com o meio ambiente.

É importante deixar em evidência que não há intenção de estabelecer qualquer comparação com níveis pré-estabelecidos pela legislação. Para que esta comparação fosse realizada, a análise dos gases deveria ser feita a partir de amostragens do efluente na chaminé dos fornos das indústrias cerâmicas e neste caso, foi laboratorial. Logo, as medidas realizadas é uma simulação qualitativa, não condizendo com os valores industriais.

O objetivo é determinar o perfil dos gases emitidos, considerando os diversos teores de resíduos incorporados à massa e, assim, analisar o comportamento cinético do processo de queima no interior do forno. A análise gasosa, juntamente com os ensaios tecnológicos, é mais uma forma de se verificar se uma mistura é viável ou não, sob o ponto de vista ambiental.

Também, deve-se levar em consideração que a concentração dos gases liberados durante a queima de determinado material sofre modificação em função de diversos parâmetros tais como: percentual de resíduo adicionado, fluxo de ar no forno e tipo de forno/combustível utilizado no processo. Neste teste, variou-se o percentual de resíduo adicionado e manteve-se constante os demais parâmetros.

Nesta etapa foram feitos ensaios de emissão gasosa para corpos de prova isento de resíduo e incorporado com resíduo ponta de cigarro. Nas amostras incorporadas, foi dado o enfoque nos extremos da incorporação, isto é, na massa argilosa incorporada com o resíduo ponta de cigarro em 2,5% (MLA2) e em 5%

(MLA4). Além disso, foi feita a emissão gasosa para o resíduo de ponta de cigarro puro.

O ensaio de emissão gasosa foi realizado por meio de um analisador de gases na faixa do infravermelho URAS 14 ABB da marca *Hartmann & Braun* e uma unidade analisadora para medição de emissão de gases de combustão da marca *Testo* modelo 350 XL. Ambos conectados a um forno Forno Tubular Horizontal da marca *Maitec* e Modelo FT1200/H. Tais equipamentos estão instalados no Laboratório de Ciências Físicas da Universidade Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

Na presente dissertação de mestrado foram determinadas as concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Nesta análise de gases foi identificado a quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por meio do equipamento analisador de gases URAS e monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrogênio (NO) e Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) por meio do equipamento analisador de gases TESTO.

Para uma queima normalizada, na parte anterior ao forno, onde se encontra a entrada de ar foi conectado um saco coletor de gases (saco *Thermo Andersen*, com válvula Robert) preenchido com oxigênio com a finalidade de manter uma atmosfera homogênea para todas as queimas.

Para realizar o procedimento experimental foi necessário produzir os corpos de provas e elaborar os parâmetros utilizados para configurar o ciclo de queima no forno (temperatura de patamar da queima e taxa de aquecimento).

Foi estipulado uma amostragem de 3 corpos de provas para cada formulação, pois foi encontrado um padrão bem estabelecido nos resultados com somente 3 amostras. Também, foi realizada a queima somente com o resíduo. Em ambas as circunstâncias, as amostras foram centralizadas no forno.

Na produção dos corpos de prova foi estabelecido utilizar as mesmas condições das amostras produzidas para as propriedades cerâmicas: massa de 50 gramas, formato prismático, nas dimensões: 115 de comprimento e 25,4 de largura e uma pressão de compactação de 24 MPa.

Na queima só do resíduo, foi queimado 2,5 gramas do resíduo ponta de cigarro em um cadinho baixo de porcelana. Essa massa foi escolhida, pois é a quantidade utilizada na incorporação das amostras de 50 gramas com 5,0% de resíduo ponta de cigarro, isto é, o máximo de incorporação proposto.

A faixa de temperaturas envolvidas no ciclo de queima para a coleta de gases consistiu da temperatura ambiente até 1100 °C, temperatura máxima utilizada na análise das propriedades cerâmicas. Sendo assim, foi possível obter resultados para corroborar as análises anteriores que utilizou como base outras temperaturas, como: 950°C, 1000°C e 1050°C. A taxa de aquecimento utilizada foi 2°C/min até 500°C e 5°C/min de 500°C até 1100°C e o fornecimento do valor de temperatura dada pelo equipamento foi isócrono em intervalos de 2 minutos.

Para coletar as amostras gasosas diretamente do forno em cada temperatura investigada, foi utilizado um controle de fluxo de 1,6 litros/min e uma bomba de sucção.

Inicialmente foram coletados os gases produzidos da queima em vazio do forno, com o objetivo de se ter uma referência sobre as possíveis influências das características do forno no experimento e ao final de cada experimento, o equipamento era limpo com água e passagem de Oxigênio no sistema, com intuito de evitar contaminação nas coletas subsequentes. Entretanto, em análises de gases é possível que ocorra imprecisão de medidas, evento normal em ambiente de laboratório devido a fatores como temperatura ambiente, atmosfera do forno e a contaminação, discreta, do tubo de queima no interior do forno.



## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

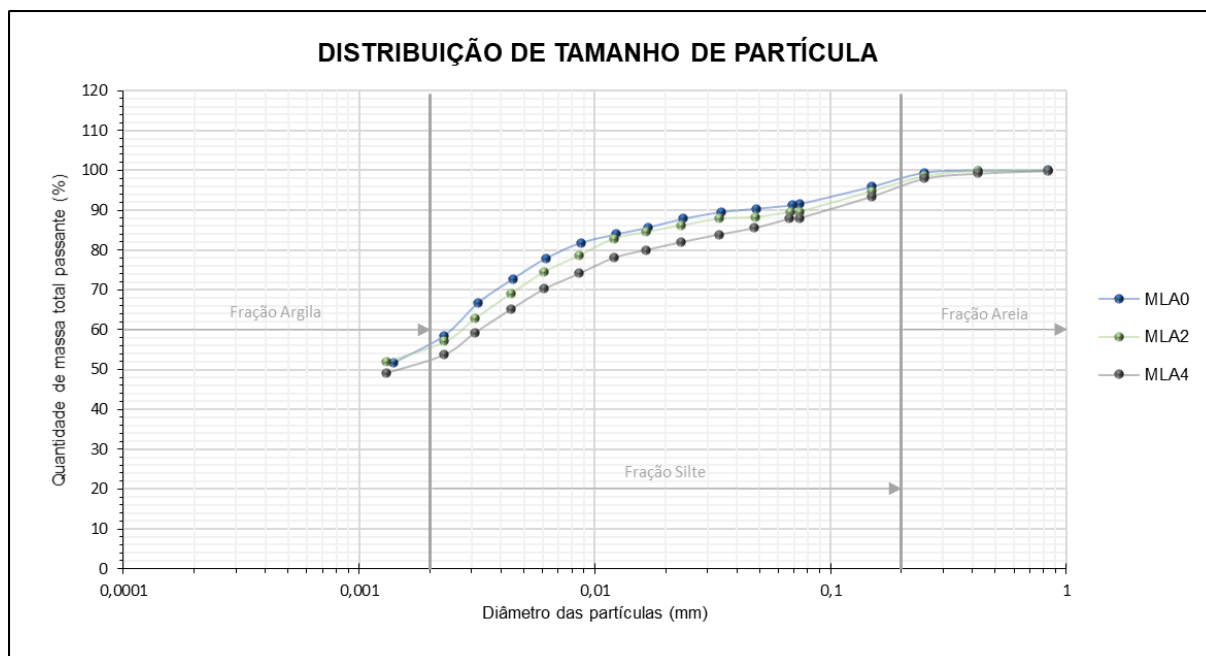
### 4.1. Caracterização das matérias primas

#### 4.1.1. Ensaio de caracterização física

##### 4.1.1.1. Análise granulométrica

As curvas granulométricas das massas cerâmicas MLA0, MLA2 e MLA4 são apresentadas na Figura 41. Foi observado que as formulações MLA2 e MLA4 possuem tamanho de partículas compreendido na faixa de 0,0013 - 0,84 mm, enquanto que MLA0 (massa argilosa pura) possui tamanho de partícula compreendido na faixa de 0,0014 – 0,84 mm. Isto significa que a incorporação do resíduo ponta de cigarro não levou a alteração significativa na granulometria da massa argilosa tradicional utilizada para produzir telha cerâmica.

Caso a diferença granulométrica fosse discrepante, isso iria influenciar na densificação e conseqüentemente nas propriedades tecnológicas.



**Figura 41:** Distribuição de tamanho de partícula das massas argilosas.

As frações granulométricas e classificação unificada das massas argilosas MLA0, MLA2 e MLA4 são apresentadas na Tabela 17.

**Tabela 17:** Composição granulométricas das massas argilosas (%).

<b>COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)</b>			
	<b>&lt;2<math>\mu</math>m</b>	<b>2-20<math>\mu</math>m</b>	<b>&gt;20<math>\mu</math>m</b>
<b>MLA0</b>	56,2	34,7	9,1
<b>MLA2</b>	55,5	33,5	11,1
<b>MLA4</b>	52,3	34,8	12,9

De acordo com os dados da Tabela 17 é possível perceber que em todas as formulações, predominaram a fração com tamanho de partícula < 2  $\mu$ m e a fração com tamanho de partículas 2-20  $\mu$ m. Também, no geral, ocorreram somente pequenas variações nos valores das frações granulométricas entre as massa argilosa preparadas.

#### 4.1.1.2. Índices de Plasticidade de Atterberg

A Tabela 18 apresenta os resultados dos limites de consistência de Atterberg (limite líquido (LL) e limite de plasticidade (LP)) obtidos para as massas argilosas MLA0, MLA2 e MLA4. O índice de plasticidade (IP) foi encontrado conforme a Equação 1.

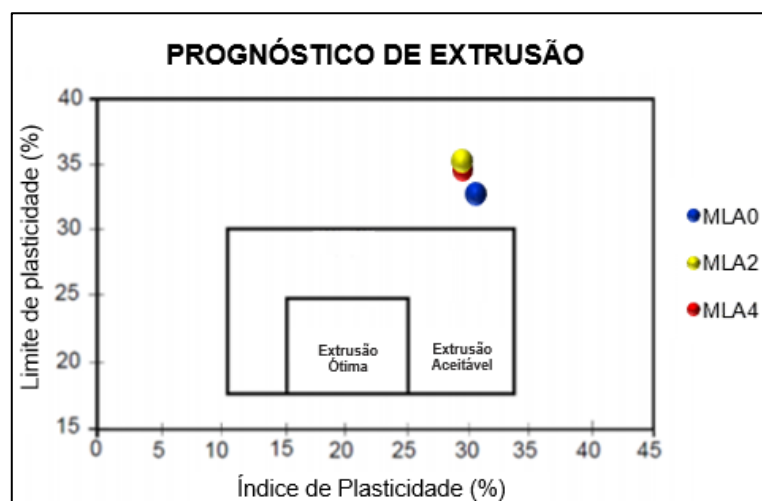
**Tabela 18:** Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de plasticidade das massas argilosas MLA0, MLA2 e MLA4.

<b>ÍNDICES DE ATTEBERG</b>			
<b>Massas Cerâmicas</b>	<b>Limite de Liquidez</b>	<b>Limite de Plasticidade</b>	<b>Índice de Plasticidade</b>
MLA0	64,0%	33,5%	30,5%
MLA2	64,9%	35,2%	29,7%
MLA4	64,5%	34,8%	29,7%

Como se pode observar na Tabela 18 o índice de plasticidade teve uma pequena queda de 0,8% com a incorporação de até 5 % em peso de resíduo ponta de cigarro. Com base nisso e no prognóstico de extrusão apresentado na Figura 42, onde os pontos ficaram muito próximos, pode-se dizer que a incorporação do resíduo de ponta de cigarro quando comparado à massa argilosa industrial MLA0 pura, não é significativa a ponto de comprometer a trabalhabilidade da massa cerâmica.

A Figura 42 apresenta a localização das massas argilosas estudadas no gráfico de prognóstico de extrusão elaborado a partir do limite de plasticidade e índice de plasticidade, que indica regiões de extrusão ótima e aceitável (MARSIGLI & DONDI, 1997). É possível obter por meio deste gráfico um prognóstico da etapa de conformação em termos da trabalhabilidade de extrusão das massas argilosas.

Os resultados da Tabela 18 indicaram que todas as massas argilosas apresentaram alta plasticidade, como mostrado pelos valores de limite de plasticidade (33,5 – 35,2 %) e índice de plasticidade (29,7 – 30,5%). Isto se deve, como mostrado na Tabela 17, a alta quantidade de partículas finas ( $< 2 \mu\text{m}$ ), que corresponde à fração argila.



**Figura 42:** Prognóstico de extrusão das massas argilosas MLA0, MLA2 e MLA4.

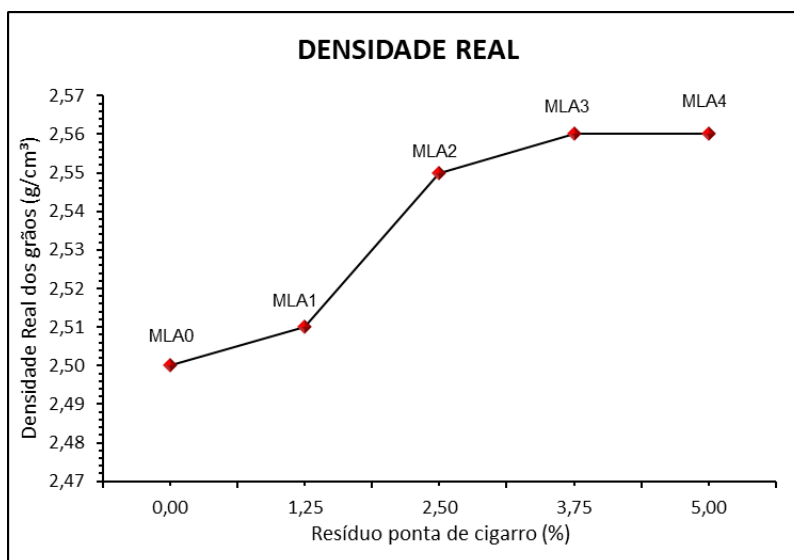
As massas argilosas estudadas estão localizadas fora das zonas de extrusão aceitável ou ótima, como mostrado na Figura 42. No entanto, estão bem próximas da região de extrusão aceitável. Essa situação está relacionada aos altos valores de limite de plasticidade (33,5 – 35,2%), inclusive da massa argilosa pura. Assim, para a adequação de uma trabalhabilidade aceitável ou ótima é necessário diminuir ambos o limite de plasticidade e índice de plasticidade.

#### 4.1.1.3. Densidade Real dos grãos

Os resultados da densidade real dos grãos em todas as formulações estão apresentados por meio da Tabela 19 e graficamente na Figura 43.

**Tabela 19:** Resultado de Densidade Real dos grãos.

Identificação da Mistura	Densidade Real (g/cm <sup>3</sup> )
0,00% (MLA0)	2,50
1,25% (MLA1)	2,51
2,50% (MLA2)	2,55
3,75% (MLA3)	2,56
5,00% (MLA4)	2,56

**Figura 43:** Gráfico de Densidade Real dos grãos.

Os resultados da Figura 36 indicaram que a incorporação do resíduo ponta de cigarro resultou somente em um pequeno aumento de cerca de 2,35 % na densidade real dos grãos da massa argilosa pura. Este resultado está de acordo com os dados granulométricos observados na Tabela 17.

#### 4.1.2. Análise química (FRX)

A análise química e a perda ao fogo da massa argilosa industrial utilizada neste trabalho são apresentadas na Tabela 20. Pode-se observar que a massa argilosa é constituída essencialmente por três compostos majoritários com 49,80 % de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), 26,46 % de óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e 7,63 % de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), mas com predominância de dióxido de silício.

**Tabela 20:** Resultado da Análise Química FRX da massa argilosa MLA0.

Elemento químico	Valor (% em massa)
SiO <sub>2</sub>	49,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,63
K <sub>2</sub> O	1,44
TiO <sub>2</sub>	1,11
MgO	0,77
Na <sub>2</sub> O	0,49
CaO	0,46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14
MnO	0,05
Perda ao fogo	11,57

Nas argilas o dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) apresenta-se normalmente na forma de sílica livre (quartzo) ou presentes nos minerais argilosos. A alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que é o segundo elemento mais abundante e o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) estão presentes como uma das impurezas mais frequentes associadas as argilas usadas na fabricação de cerâmica vermelha.

O óxido de silício tem grande importância na composição da estrutura, pois são óxidos formadores de rede quando sinterizado. Os óxidos de sódio e cálcio também tem contribuição na modificação de rede diminuindo a porosidade da cerâmica e com isso contribuindo na melhoria das propriedades mecânicas (CALLISTER, 2012).

Ainda seguindo a Tabela 20, temos a presença do pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e óxido de manganês (MnO). Segundo os autores Sousa *et al.* (2010) e Correia e Durigan (2009), estes compostos podem ser utilizados como adubo. Então, este é um indício de que a argila de origem desta massa argilosa passou por algum processo de fertilização. Nota-se também a presença de óxidos fundentes em pequenas porções, como: óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), óxido de cálcio (CaO), óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O) e óxido de magnésio (MgO).

A Perda ao Fogo da massa argilosa é da ordem de 11,57%, a qual pode estar relacionada à presença de argilominerais, hidróxidos e matéria orgânica e é compatível com a Perda ao Fogo calculada e demonstrada pela Tabela 27 e Figura 59.

As Tabelas 21 e 22 mostram os resultados das análises químicas, na forma elementar e em termos de óxidos, realizadas na amostra do resíduo ponta de cigarro, respectivamente.

**Tabela 21:** Resultado da Análise Química FRX do resíduo ponta de cigarro para elementos metálicos.

Elemento químico	Quantidade (% em massa)
Ca	44,51
K	27,78
Ti	15,70
Cl	4,54
Fe	2,40
Si	2,29
V	0,78
S	0,69
Mn	0,36
Zr	0,04
Sr	0,04

**Tabela 22:** Resultado da Análise Química FRX do resíduo ponta de cigarro para óxidos.

Elemento químico	Quantidade (% em massa)
CaO	40,61
K <sub>2</sub> O	25,93
TiO <sub>2</sub>	14,58
SiO <sub>2</sub>	8,27
Cl	5,27
SO <sub>3</sub>	2,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,88
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35
MnO	0,25
SrO	0,03

Relacionando as análises químicas do resíduo e da massa argilosa pura, podemos perceber que existem elementos que são comuns em ambos, como: SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO e MnO. Isso mostra uma boa compatibilidade entre os compostos, resultando em uma massa argilosa mais coerente e com bons resultados provenientes da incorporação, ou seja, substituição da matéria-prima principal por rejeitos sólidos.

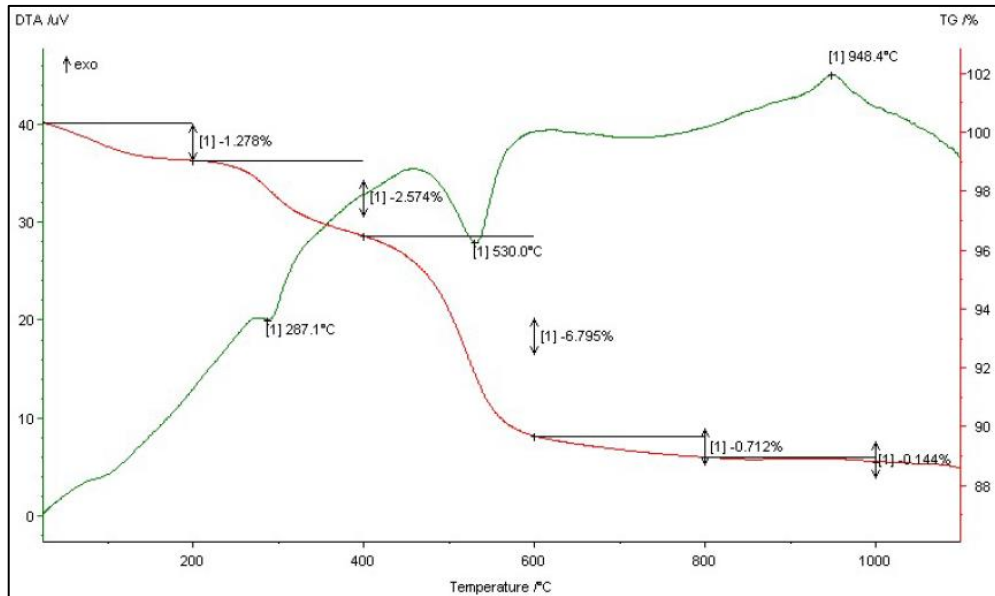
Os elementos metálicos presentes em maiores quantidades são correspondentes aos óxidos, onde é importante destacar os elementos presentes em maiores quantidades  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{SiO}_2$ . Apesar destes elementos terem contribuição residual na massa argilosa incorporada, são compostos interessantes nessa substituição para oferecer boas propriedades.

A análise química do resíduo também buscou identificar algum componente químico que justificasse a emissão dos gases  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$  e os componentes pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e óxido de manganês ( $\text{MnO}$ ) presentes na massa argilosa são indícios de possíveis geradores destes gases. Este assunto será discutido com mais detalhes e intensidade no tópico 4.3.9. deste trabalho.

Além disso, foi realizada a Perda ao Fogo por meio de um método simplificado da secagem seguido de queima de uma massa de 2,1 gramas (quantidade aleatória) do resíduo ponta de cigarro, com uma perda de massa de 9,52% na secagem e de 89,47% na queima. Logo, o resíduo ponta de cigarro quase na sua totalidade será volatizado durante o processo de sinterização.

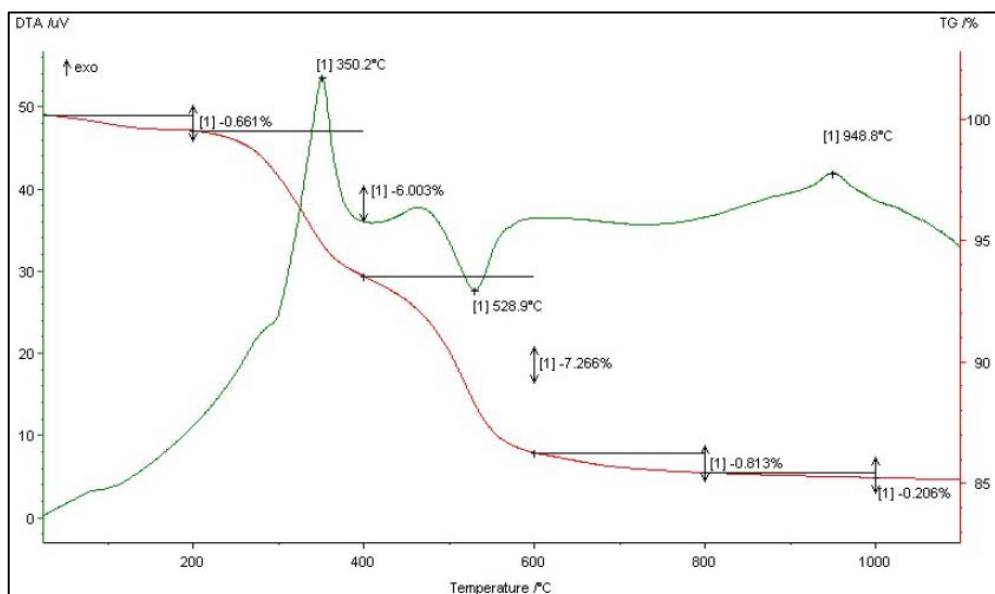
#### **4.1.3. Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica**

As Figuras 44 e 45 mostram as curvas das análises térmicas gravimétrica e diferencial das massas argilosas MLA0 e MLA4, respectivamente. As curvas em verde demonstram os comportamentos energéticos das massas quando submetidas à temperatura e as curvas em vermelho estão relacionadas com a perda de massa.



**Figura 44:** Gráfico ATD/ATG da Massa Argilosa MLA0.

Nas curvas presentes na Figura 44, referente a massa argilosa MLA0 (100% argila), observa-se primeiramente um evento endotérmico que resulta em uma perda de massa de 1,28% devido ao detrimento de água fisicamente adsorvida nas partículas dos minerais presentes na massa argilosa. Entre 200°C e 400°C, houve uma perda de massa de 2,57%, devido a decomposição de matéria orgânica. Na temperatura de 530°C ocorreu um pico endotérmico relativo à desidroxilação da caulinita, com uma perda de massa de 6,8%. Por fim, na temperatura de 948,4°C ocorreu um pico exotérmico relativo à formação de espinélios que geram a mulita contribuindo para cristalização do material.



**Figura 45:** Gráfico ATD/ATG da Massa Argilosa MLA4.



Nas curvas presentes na Figura 45, da massa argilosa MLA4, na qual é a massa que contém 95,0% de argila e 5% do resíduo ponta de cigarro, é possível interpretar que primeiramente temos um evento endotérmico que resultou em uma perda de massa de 0,66% devido ao detrimento de água fisicamente adsorvida nas partículas dos minerais presentes na massa argilosa. Entre 200°C e 400°C, aproximadamente, houve uma perda de massa de 6,0%, devido à decomposição de matéria orgânica.

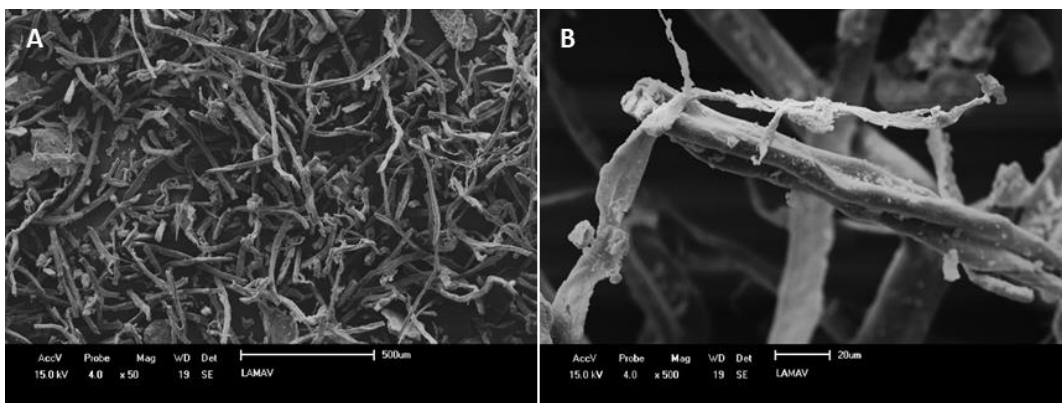
É importante ressaltar o evento exotérmico que ocorre particularmente na massa argilosa incorporada em uma temperatura de 350,2°C. Este fenômeno acontece devido à adição do resíduo que é composto por material amorfo e orgânico. Na temperatura de 528,9°C ocorreu um pico endotérmico relativo à desidroxilação da caulinita, com uma perda de massa de 7,27%. Finalmente, na temperatura de 948,8°C ocorreu um pico exotérmico relativo à formação de espinélios que gerarão a mulita contribuindo para a cristalização do material.

Comparando os gráficos das Figuras 44 e 45, pode-se observar que a inserção do resíduo ocasionou apenas um aumento de perda de massa entre as temperaturas de 200°C e 400°C. Porém, é importante ressaltar que este aumento foi aproximadamente 57,17%, onde a massa argilosa MLA0 teve uma perda de massa de 2,57% e a massa argilosa MLA4 uma perda de 6,0%.

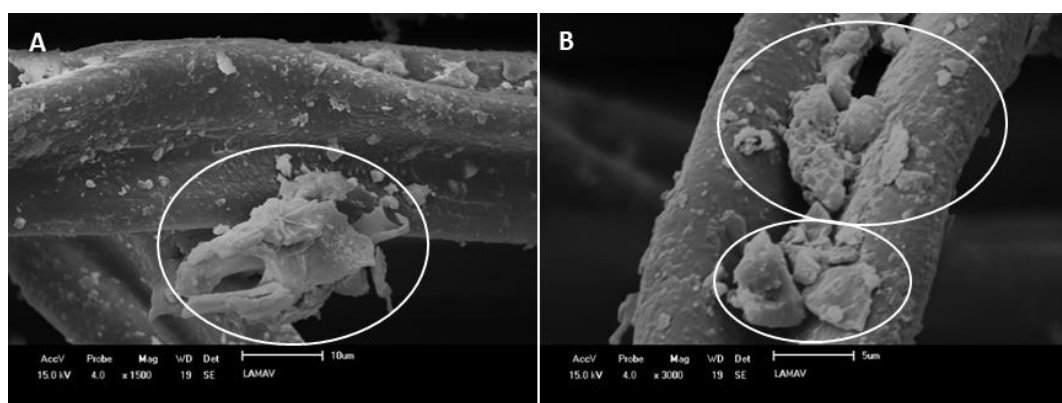
Apesar disso, é importante destacar um benefício de geração de calor e contribuição para uma melhor sinterização que o efeito exotérmico em torno de 350°C proveniente da inserção do resíduo ponta de cigarro trouxe para o material.

#### **4.1.4. Análise Morfológica**

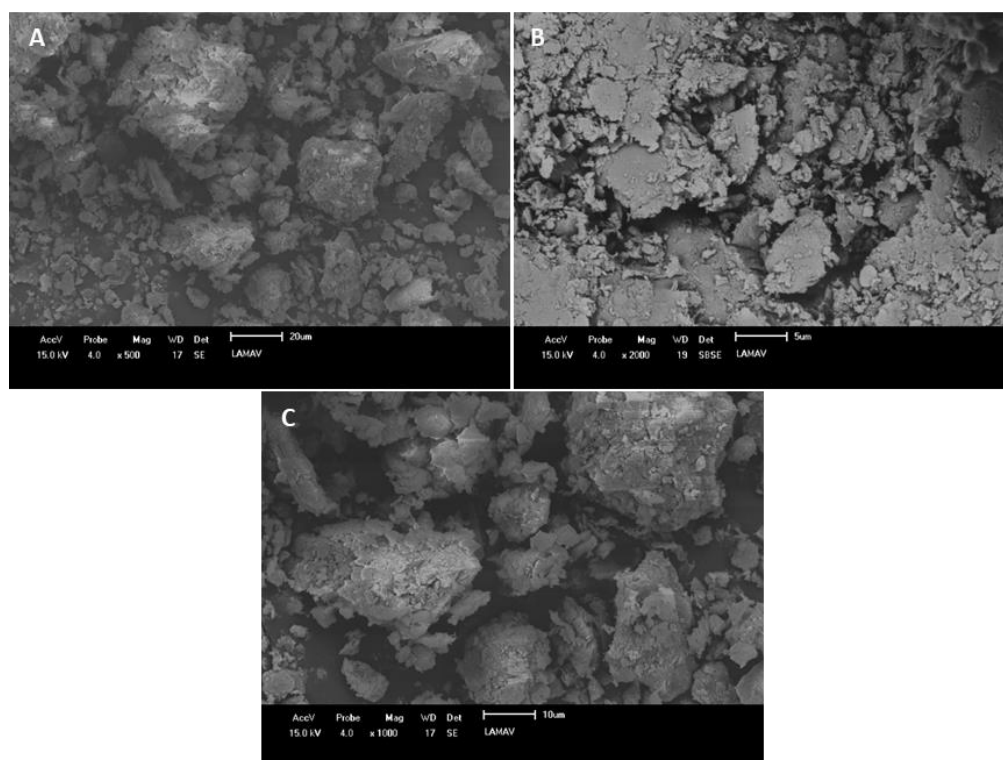
Na análise morfológica foi investigada a aparência física da matéria prima, isto é, o aspecto e forma do resíduo ponta de cigarro em um zoom de 50 e 500 vezes (Figura 46) e com um zoom mais aproximado de 1500 e 3000 vezes (Figura 47) e da matéria prima argilosa em um zoom de 500, 1000 e 2000 vezes (Figura 48). Em todos os casos foi realizado o ensaio após o beneficiamento e mistura, simulando a situação real do produto.



**Figura 46:** Micrografia do resíduo ponta de cigarro (A: Zoom de 50x. B: Zoom de 500x.).



**Figura 47:** Micrografia do resíduo ponta de cigarro com um zoom mais aproximado (A: Zoom de 1500x. B: Zoom de 3000x).

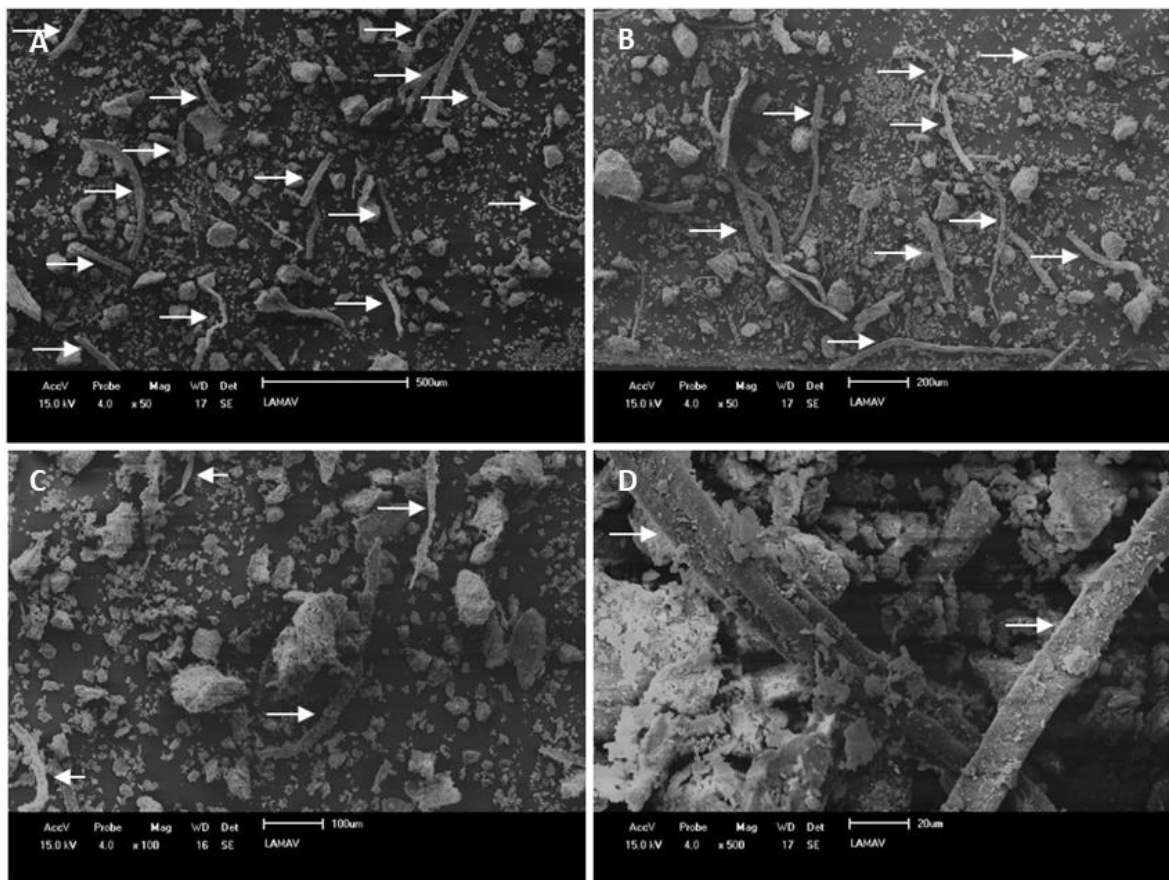


**Figura 48:** Micrografia da Matéria prima argilosa (A: Zoom de 500x. B: Zoom de 1000x. C: Zoom de 2000x.).

É possível observar primeiramente na Figura 46 que o resíduo ponta de cigarro tem um perfil pontiagudo e característico de um material fibroso ao ser triturado. Em seguida, na Figura 47, a matéria prima residual aparece com outro material de formato irregular no qual se entende como o papel e a matéria prima orgânica que também compõe o conjunto da ponta de cigarro.

Finalmente, na Figura 48, a massa argilosa aparece com formatos de placas, onde se observa que a massa argilosa se apresenta aglomerada, com os grãos mais unidos e arranjos mais volumosos.

Na Figura 49 é mostrado o resíduo ponta de cigarro envolvido pela massa argilosa no processo de incorporação com zoom de 50, 100 e 500 vezes. Também, com o embasamento morfológico anteriormente explicado, foi possível diferenciar e adicionar setas na cor branca com o intuito de indicar o resíduo ponta de cigarro em meio as partículas de argila.



**Figura 49:** Micrografia da Argila incorporada com o resíduo ponta de cigarro (A e B: Zoom de 50x. C: Zoom de 100x. D: Zoom de 500x.).

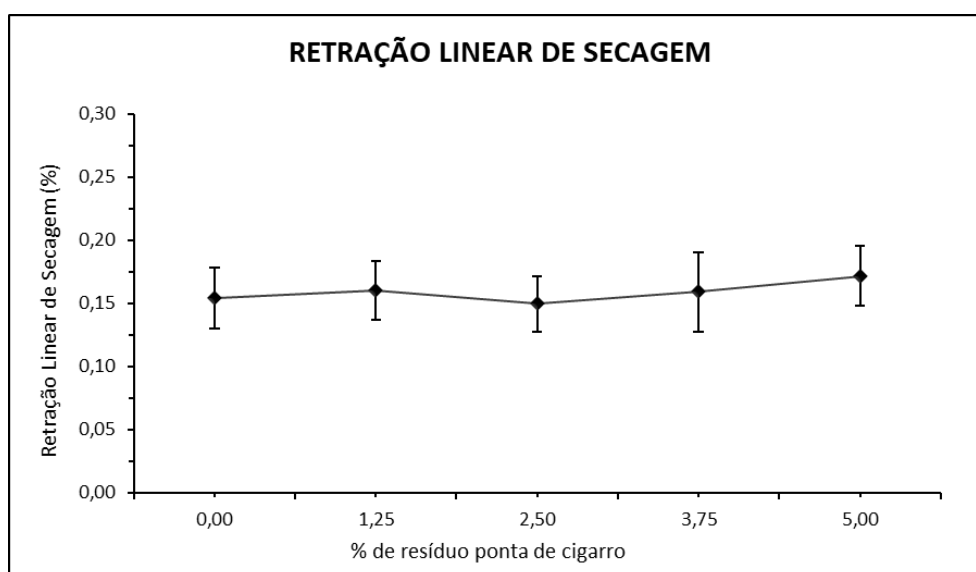
## 4.2. Caracterizações das peças cerâmicas seca

### 4.2.1. Retração Linear de Secagem

Na Tabela 23 e Figura 50 estão apresentados os resultados de retração linear dos corpos de provas após a etapa de secagem.

**Tabela 23:** Resultado de Retração Linear de Secagem.

RETRAÇÃO LINEAR DE SECAGEM (%)		
Identificação da Mistura	Média	Desvio Padrão
MLA0	0,15	0,02
MLA1	0,16	0,02
MLA2	0,15	0,02
MLA3	0,16	0,03
MLA4	0,17	0,02



**Figura 50:** Gráfico de Retração Linear de Secagem das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

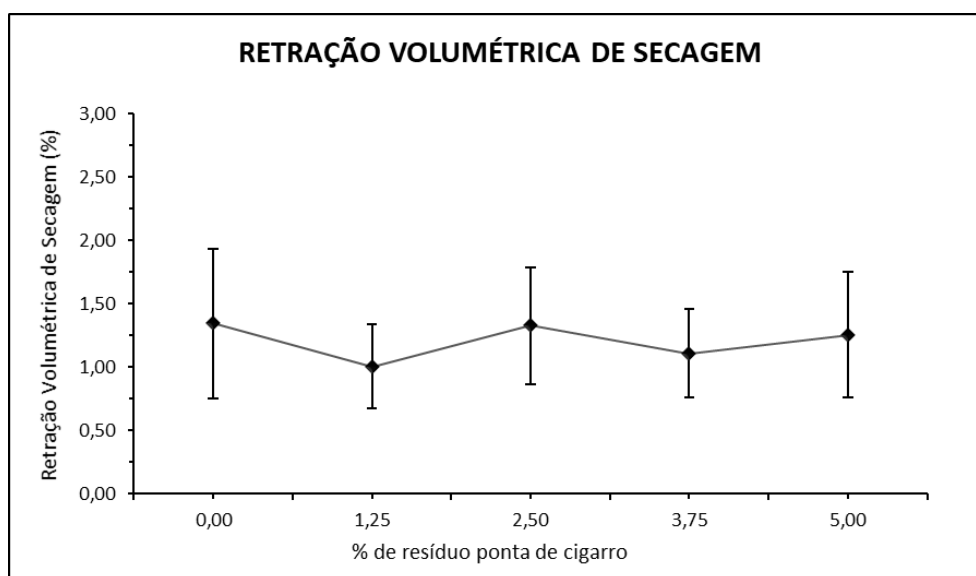
Na retração linear de secagem, a temperatura na qual os corpos cerâmicos são submetidos só permite retração linear devido a perda de massa proveniente de água adsorvida. Neste caso, os resultados indicam que na etapa da secagem a incorporação do resíduo de ponta de cigarro não aumentou a média da retração linear dos corpos de provas.

#### 4.2.2. Retração Volumétrica de Secagem

Os resultados da retração volumétrica de secagem em função da quantidade de resíduo incorporado estão apresentados na Tabela 24 e Figura 51.

**Tabela 24:** Resultado de retração volumétrica de secagem.

RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE SECAGEM (%)		
Identificação da Mistura	Média	Desvio Padrão
MLA0	1,34	0,59
MLA1	1,00	0,33
MLA2	1,33	0,46
MLA3	1,11	0,35
MLA4	1,25	0,50



**Figura 51:** Gráfico de Retração Volumétrica de Secagem das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

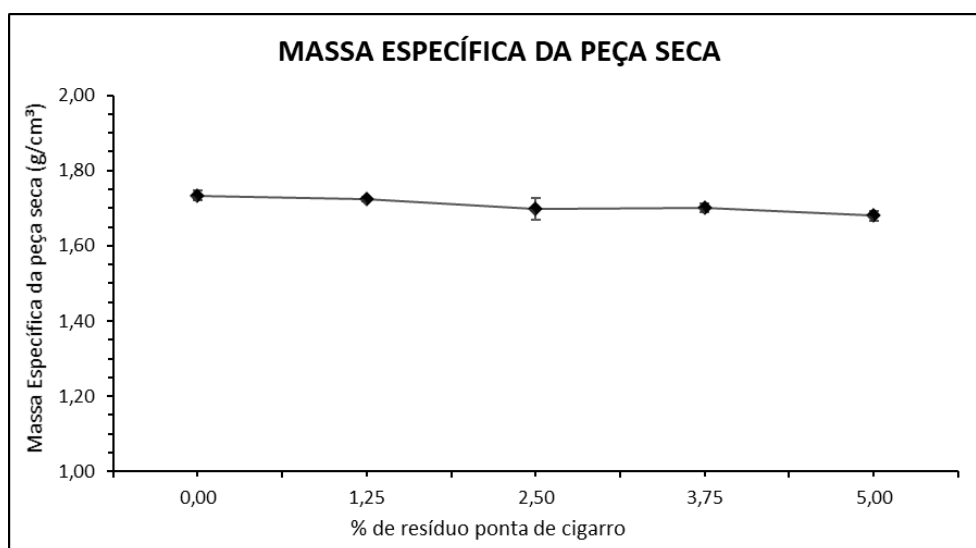
Como pode ser observado, o desvio padrão é alto e isso ocorre porque se contempla a retração nas 3 dimensões (comprimento, largura e altura) dos corpos cerâmicos ao invés de uma única linear e a altura é obtida de maneira empírica, influenciando diretamente na variabilidade da altura final. Também, neste caso, a retração é em torno de 10 vezes maior, pois assume a perda de água adsorvida nas 3 dimensões.

### 4.2.3. Massa Específica bulk após secagem

Na Tabela 25 e Figura 52 estão indicados os resultados de massa específica bulk dos corpos de prova após a etapa de secagem.

**Tabela 25:** Resultados de massa específica bulk dos corpos de prova.

MASSA ESPECÍFICA DA PEÇA SECA (g/cm <sup>3</sup> )		
Identificação da Mistura	Média	Desvio Padrão
MLA0	1,73	0,01
MLA1	1,72	0,01
MLA2	1,70	0,03
MLA3	1,70	0,01
MLA4	1,68	0,01



**Figura 52:** Gráfico da Massa Específica da peça seca das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

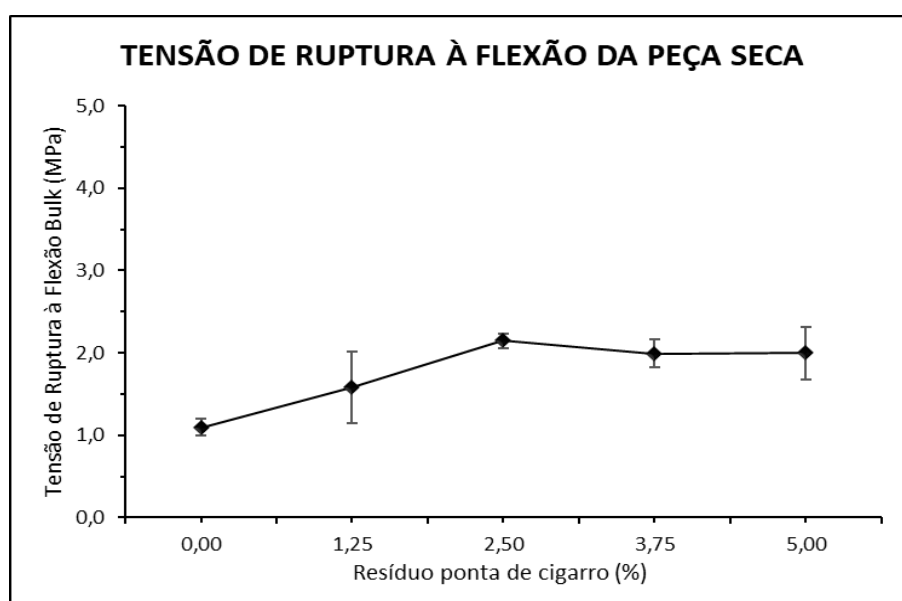
De acordo com os resultados da Tabela 25 e Figura 52, fica evidente que o resíduo ponta de cigarro não alterou significativamente a massa específica bulk da peça quando observada depois da secagem. Uma pequena diminuição da massa específica bulk é observada e pode ser atribuída à contribuição do resíduo ponta de cigarro na massa cerâmica com sua menor densidade.

#### 4.2.4. Tensão de Ruptura à Flexão após secagem

Na Tabela 26 e Figura 53 estão inseridos os resultados obtidos da Tensão à Flexão dos corpos de prova secos.

**Tabela 26:** Resultado de Tensão à Flexão da peça seca após secagem.

TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO DA PEÇA SECA (MPa)		
Identificação da Mistura	Média	Desvio Padrão
0,00% (MLA0)	1,10	0,10
1,25% (MLA1)	1,58	0,44
2,50% (MLA2)	2,15	0,09
3,75% (MLA3)	1,99	0,16
5,00% (MLA4)	2,00	0,32



**Figura 53:** Gráfico da Resistência à Flexão da peça seca das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

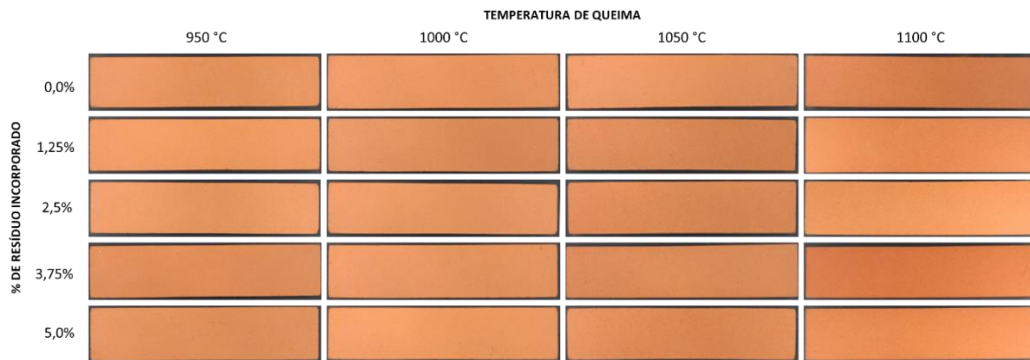
Foi observado que o resíduo ponta de cigarro incorporado melhorou a resistência mecânica a seco dos corpos de prova em consequência da compactação melhorada. A evolução foi de até aproximadamente 48,84 % com aumento de 1,10 MPa para 2,15 MPa em seu ápice e em uma incorporação de 2,5% de resíduo ponta de cigarro.

Esta melhor compactação do material quando incorporado com o resíduo ponta de cigarro só foi possível em virtude do beneficiamento dado ao resíduo ponta

de cigarro inicialmente, por meio do moinho de facas seguido do ajuste granulométrico, conforme Figuras 32, 34 e 35.

### 4.3. Caracterização física e mecânica das peças cerâmicas queimadas

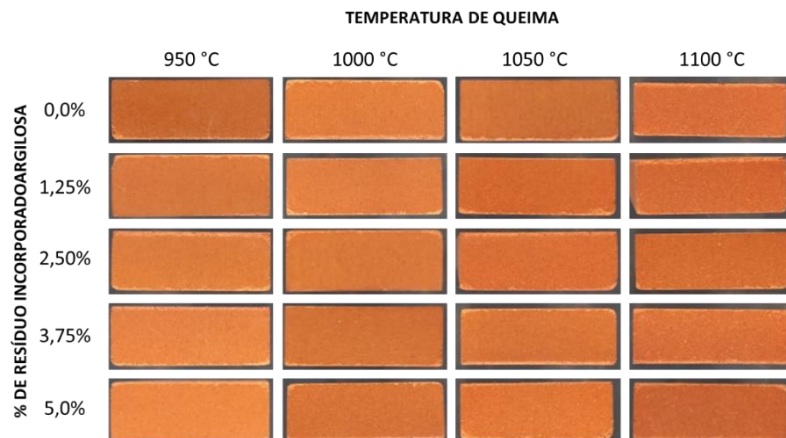
As Figuras 54, 55 e 56 mostram como ficaram os aspectos dos corpos de provas queimados, observadas em fundo preto.



**Figura 54:** Fotos dos corpos de prova pós queima em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado com fundo preto – Vista Superior.



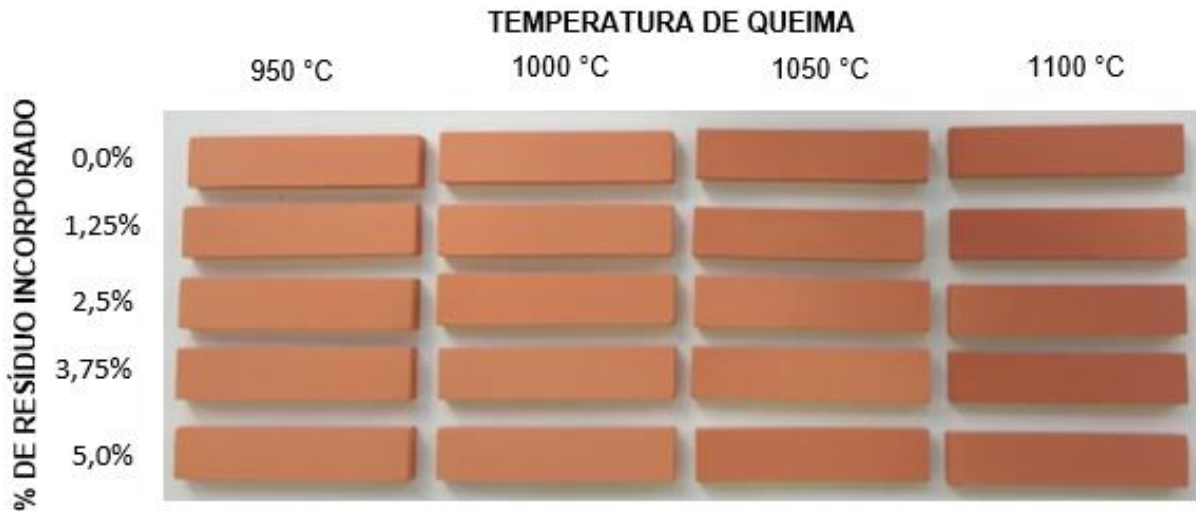
**Figura 55:** Fotos dos corpos de prova pós queima em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado com fundo preto – Vista Lateral.



**Figura 56:** Fotos dos corpos de prova pós queima em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado com fundo preto – Vista Frontal.



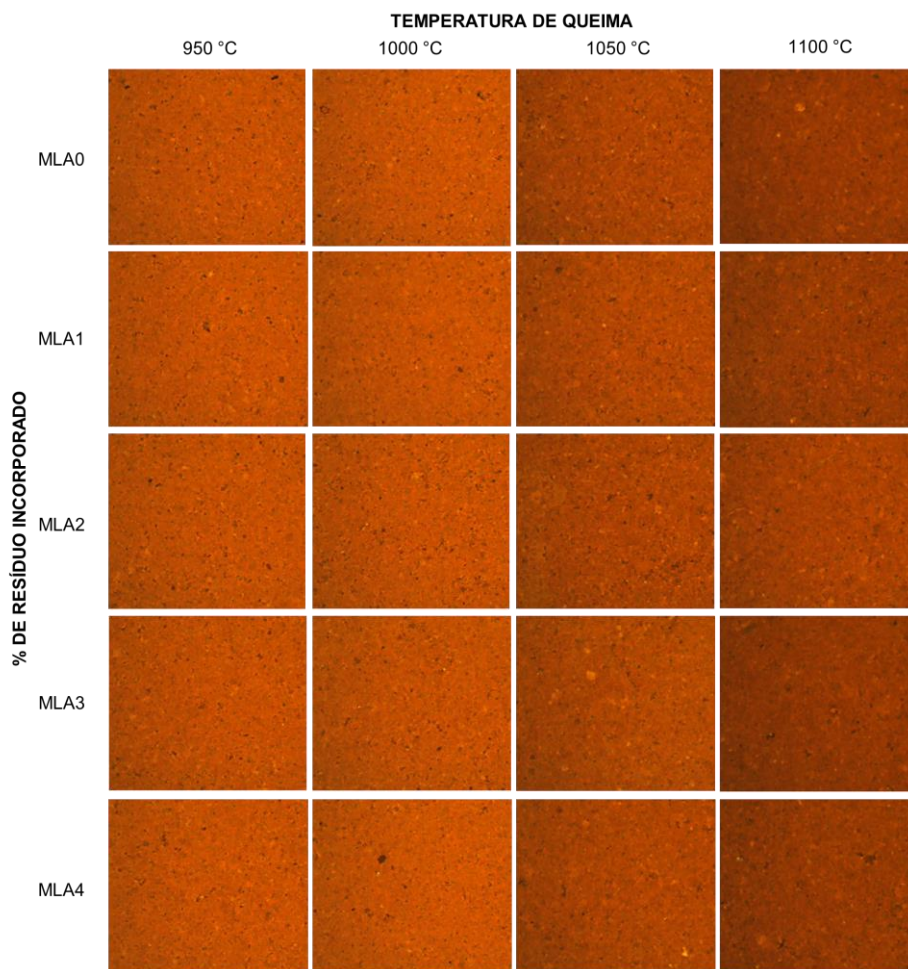
Com intuito de melhorar a visualização, também foi produzido outra foto com fundo branco com todos os corpos de provas juntos em uma mesma imagem, como mostrado na Figura 53.



**Figura 57:** Corpos de prova pós queima em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado com fundo branco.

Tanto com fundo branco quanto com o fundo preto, foi possível perceber a tonalidade que os corpos de prova adquiriram, assim como sua textura lisa. À medida que foi aumentando a quantidade de resíduo não foi visto diferença na tonalidade e nem no aspecto físico, porém, com o aumento de temperatura os corpos de prova tiveram uma tonalidade mais escura.

As imagens anteriores foram obtidas com uma câmera convencional manualmente com luminosidade natural. A fim de complementar as imagens anteriores e ter imagens em um equipamento onde fosse estabelecidos parâmetros padrões de luminosidade, distância e posição, também foram tiradas fotografias em um microscópio estereoscópio, como mostrado na Figura 58.



**Figura 58:** Imagens feitas em Microscópio Estereoscópio em função da temperatura de queima e % de resíduo incorporado.

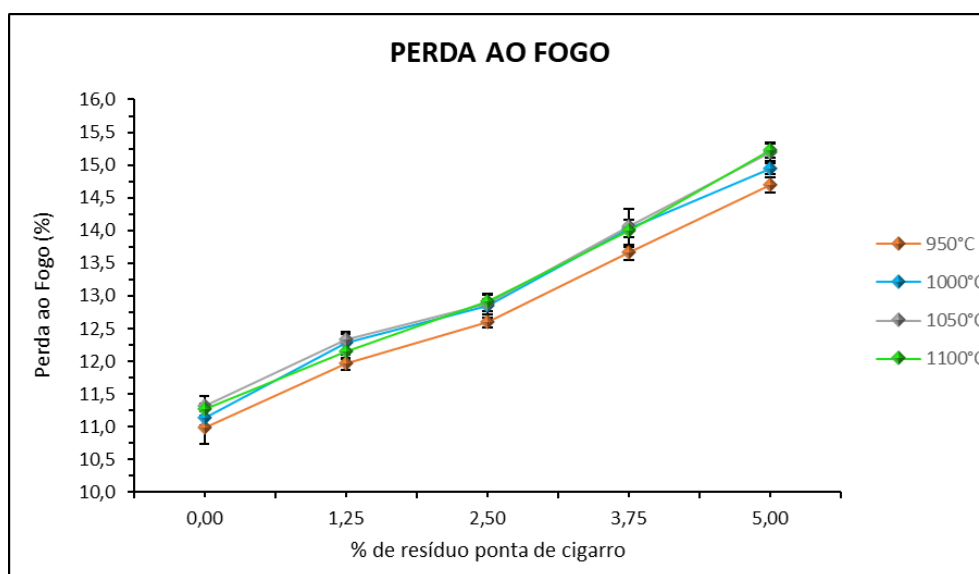
A partir da Figura 58 é possível visualizar que a porosidade superficial se manteve semelhante em todas as massas argilosas e em todas as temperaturas. Também, corroborando as imagens anteriores, é possível perceber que a tonalidade fica mais escura conforme a temperatura de queima aumenta (horizontalmente) e não tem diferença entre as massas argilosas (verticalmente).

#### 4.3.1. Perda ao Fogo

Na Tabela 27 e Figura 59 são apresentados os resultados obtidos de perda ao fogo dos corpos de prova queimados em diferentes temperaturas, calculada por meio da Equação 6.

**Tabela 27:** Resultado de perda ao fogo dos corpos de prova queimados.

Identificação da Mistura	PERDA AO FOGO (%)							
	Média				Desvio Padrão			
	950°C	1000°C	1050°C	1100°C	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
0,00% (MLA0)	10,99	11,13	11,32	11,26	0,24	0,12	0,15	0,09
1,25% (MLA1)	11,96	12,28	12,33	12,15	0,09	0,18	0,09	0,11
2,50% (MLA2)	12,59	12,86	12,87	12,92	0,07	0,09	0,16	0,09
3,75% (MLA3)	13,67	14,03	14,07	13,99	0,11	0,29	0,09	0,09
5,00% (MLA4)	14,70	14,94	15,20	15,22	0,11	0,08	0,13	0,12

**Figura 59:** Gráfico de Perda ao Fogo das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

Na Figura 59 fica evidente que a perda ao fogo se comporta de maneira ascendente aumentando proporcionalmente à quantidade de resíduo incorporado. Por exemplo, comparando-se os extremos (MLA0 e MLA4) é observada uma diferença de aproximadamente 26%.

Essa significativa perda ao fogo, influencia diretamente na densificação do material, pois representa uma quantidade significativa de perda de massa proveniente de volatilização de água adsorvida e de constituição, matéria orgânica e efeitos da cristalização, como mostra o ATG/ATD nas Figuras 44 e 45.

Os efeitos da perda ao fogo representada acima, decorrem sobre a retração linear, retração volumétrica e porosidade no material sinterizado. Conseqüentemente, influencia na absorção de água e resistência mecânica dos corpos de prova.

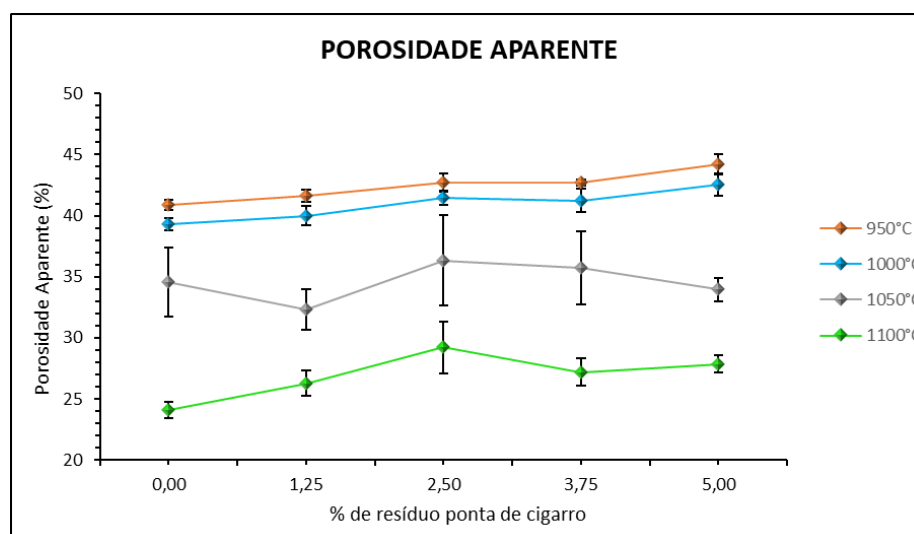
As curvas ficaram próximas, isso quer dizer que a temperatura não exerceu muita influência do ponto de vista de perda ao fogo. Portanto, o aumento da perda ao fogo teve uma contribuição significativa do resíduo ponta de cigarro, que é destruído e volatilizado durante o processo de queima. Em outras palavras, aumentou a quantidade de matéria orgânica e amorfa que são característicos para causar perda de massa e diminuiu a quantidade de argila, conseqüentemente, menos argilomineral e minerais acessórios.

#### 4.3.2. Porosidade Aparente

Na Tabela 28 e Figura 60 são apresentados os resultados obtidos de porosidade aparente dos corpos de prova em função da temperatura de queima e quantidade de resíduo incorporado.

**Tabela 28:** Resultado de Porosidade Aparente dos corpos de prova queimados.

Identificação da Mistura	POROSIDADE APARENTE (%)							
	Média				Desvio Padrão			
	950°C	1000°C	1050°C	1100°C	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
0,00% (MLA0)	40,87	39,30	34,59	24,07	0,39	0,50	2,83	0,65
1,25% (MLA1)	41,66	39,97	32,33	26,27	0,51	0,80	1,65	1,03
2,50% (MLA2)	42,68	41,48	36,32	29,21	0,74	0,60	3,69	2,11
3,75% (MLA3)	42,72	41,22	35,72	27,20	0,24	0,95	3,01	1,15
5,00% (MLA4)	44,22	42,57	33,95	27,86	0,81	0,91	0,97	0,74



**Figura 60:** Gráfico de Porosidade Aparente das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

É possível observar na Figura 56 que a quantidade de resíduo ponta de cigarro incorporado teve uma diferença de porosidade aparente desprezível, dentro dos limites de dispersão. Já o efeito da temperatura de queima é predominante para que diminua a porosidade aparente, mesmo que o resíduo ponta de cigarro seja um agente formador de poros.

Apriori, a porosidade aparente é uma das propriedades mais influentes no estudo de densificação e o resíduo ponta de cigarro se comporta como um agente formador de poros. Porém, quando sinterizado, mostrou características específicas que minimizam a porosidade aparente, isto é: a perda ao fogo apresentada anteriormente que resultaria em formação de porosidade foi minimizada devido a formação de cinzas compostas por óxidos fundentes no após a queima do resíduo ponta de cigarro, que contribui para o fechamento dos poros. Outrossim, é o beneficiamento dado ao resíduo inicialmente, onde o mesmo foi triturado e adequado à mesma granulometria da matéria-prima principal, a argila. Logo, o resíduo foi distribuído de maneira uniforme e gradual em toda extensão do corpo cerâmico, sem concentrações que pudessem gerar porosidades acentuadas.

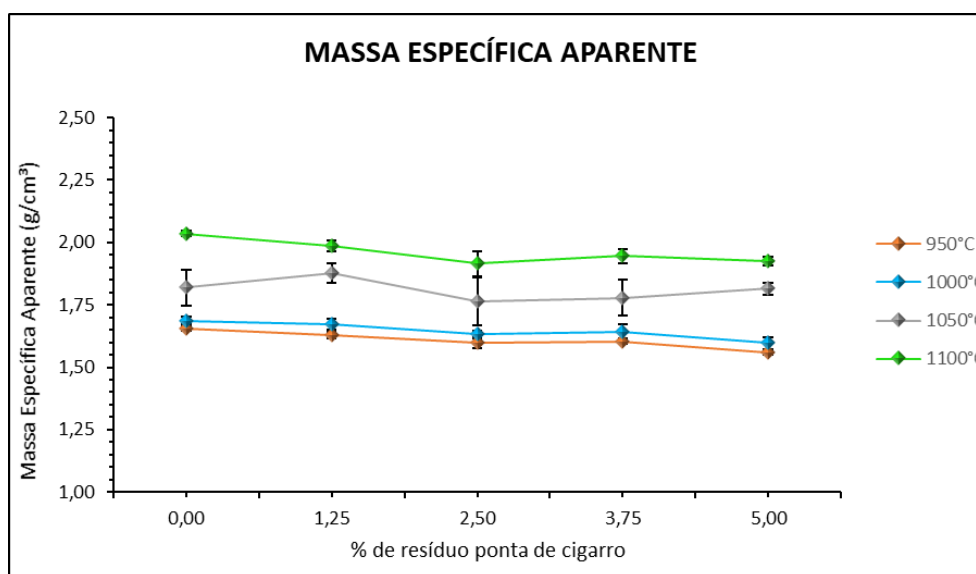
Entretanto, a razão majoritária para a diminuição da porosidade aparente é a temperatura de queima empregada. Isso acontece porque em temperaturas mais altas ( $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ) ocorre o mecanismo de consolidação formando a fase líquida, a qual tende a fechar os vazios internos. Logo, os menores valores de porosidade aparente são em  $1100^{\circ}\text{C}$  e esta propriedade influenciará diretamente em outras propriedades fundamentais, como massa específica aparente, absorção de água e tensão de ruptura à flexão.

#### **4.3.3. Massa Específica Aparente**

Os resultados de massa específica aparente dos corpos de prova queimados estão descritos graficamente por meio da Figura 61 e os valores correspondentes na Tabela 29.

**Tabela 29:** Resultado de Massa Específica Aparente.

Identificação da Mistura	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )							
	Média				Desvio Padrão			
	950°C	1000°C	1050°C	1100°C	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
0,00% (MLA0)	1,65	1,69	1,82	2,04	0,01	0,01	0,07	0,01
1,25% (MLA1)	1,63	1,67	1,88	1,99	0,01	0,02	0,04	0,02
2,50% (MLA2)	1,60	1,63	1,76	1,91	0,02	0,02	0,10	0,05
3,75% (MLA3)	1,60	1,64	1,78	1,94	0,01	0,03	0,07	0,03
5,00% (MLA4)	1,56	1,60	1,82	1,92	0,01	0,02	0,02	0,02

**Figura 61:** Gráfico de Massa Específica Aparente das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

A massa específica aparente tem seu comportamento influenciado pela porosidade aparente. Como podemos ver na Figura 61, os menores valores de massa específica aparente refletem nos maiores valores de porosidade aparente (Figura 60), pois quanto maior a porosidade aparente, mais poroso e menos denso o material, conseqüentemente, menor a massa específica aparente. Logo, são inversamente proporcionais.

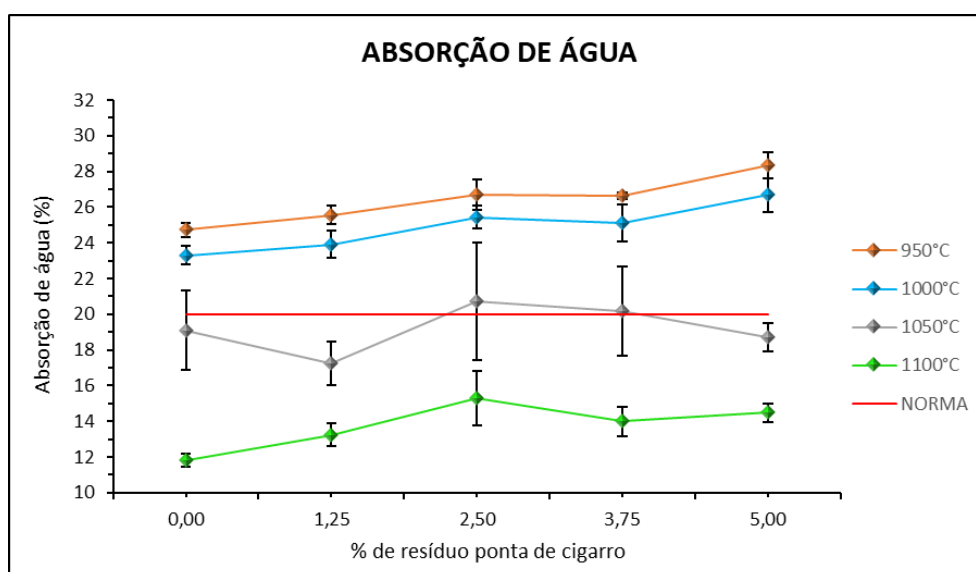
Na temperatura de 1050°C, existe uma maior variabilidade, mas ao considerar o desvio padrão encontrado, se observa que massa específica aparente é praticamente inalterada com o aumento na quantidade de resíduo incorporado.

#### 4.3.4. Absorção de Água

Na Tabela 30 e Figura 62 são apresentados os valores resultantes de absorção de água dos corpos de prova queimados.

**Tabela 30:** Resultado de absorção de água dos corpos de prova queimados.

Identificação da Mistura	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)							
	Média				Desvio Padrão			
	950°C	1000°C	1050°C	1100°C	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
0,00% (MLA0)	24,72	23,31	19,09	11,83	0,37	0,49	2,23	0,38
1,25% (MLA1)	25,56	23,91	17,25	13,23	0,50	0,77	1,24	0,65
2,50% (MLA2)	26,71	25,43	20,74	15,29	0,86	0,63	3,29	1,50
3,75% (MLA3)	26,63	25,11	20,17	13,99	0,21	1,01	2,50	0,82
5,00% (MLA4)	28,35	26,66	18,71	14,48	0,73	0,97	0,79	0,51



**Figura 62:** Gráfico de Absorção de Água das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

Os resultados da Figura 62 é de fundamental importância no estudo de densificação e em termos de aplicação prática, é necessário seguir em conformidade com a especificação de absorção de água ( $\leq 20\%$ ) para telha cerâmica da Norma ABNT NBR 15310.

Como consequência das propriedades anteriores, a temperatura de sinterização teve o efeito predominante em relação à adição de resíduo ponta de

cigarro e diminui significativamente a absorção de água dos corpos de prova queimados.

Correlacionando com as propriedades anteriores, à medida que aumentou a temperatura, melhorou a densificação e aumentou a massa específica aparente proveniente da diminuição da porosidade aparente.

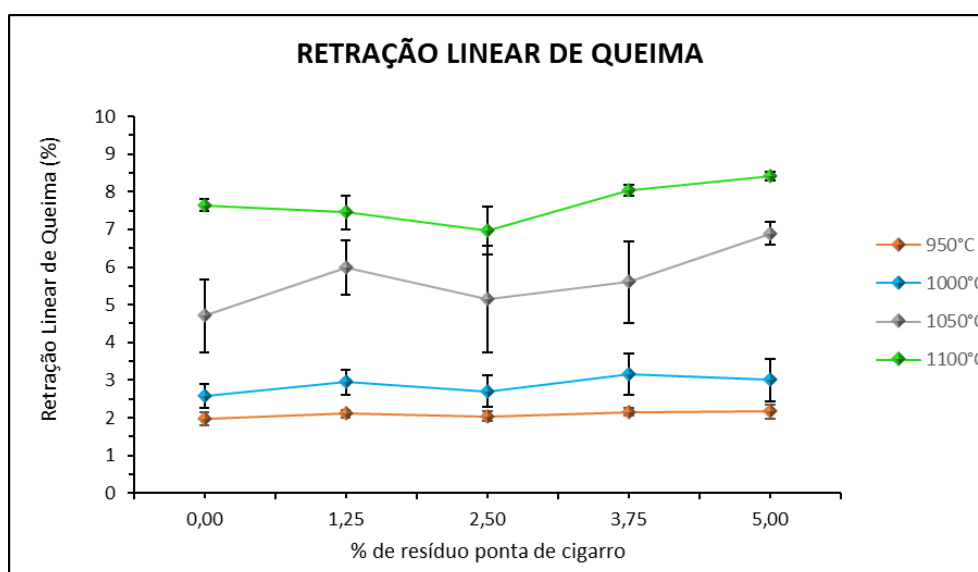
Neste intuito, foi possível obter resultados dentro da especificação de absorção de água para os corpos de prova queimados a partir de 1050°C em até 5% em massa do resíduo ponta de cigarro.

#### 4.3.5. Retração Linear de Queima

Os resultados da retração linear na etapa de queima são apresentados na Tabela 31 e Figura 63.

**Tabela 31:** Resultado de retração linear de queima.

Identificação da Mistura	RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA (%)							
	Média				Desvio Padrão			
	950°C	1000°C	1050°C	1100°C	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
0,00% (MLA0)	1,98	2,59	4,71	7,65	0,17	0,32	0,97	0,15
1,25% (MLA1)	2,11	2,95	5,98	7,45	0,10	0,34	0,72	0,46
2,50% (MLA2)	2,04	2,70	5,15	6,97	0,13	0,42	1,41	0,63
3,75% (MLA3)	2,16	3,16	5,61	8,04	0,11	0,56	1,09	0,15
5,00% (MLA4)	2,17	3,00	6,89	8,42	0,18	0,57	0,30	0,11



**Figura 63:** Gráfico de Retração Linear de Queima das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.



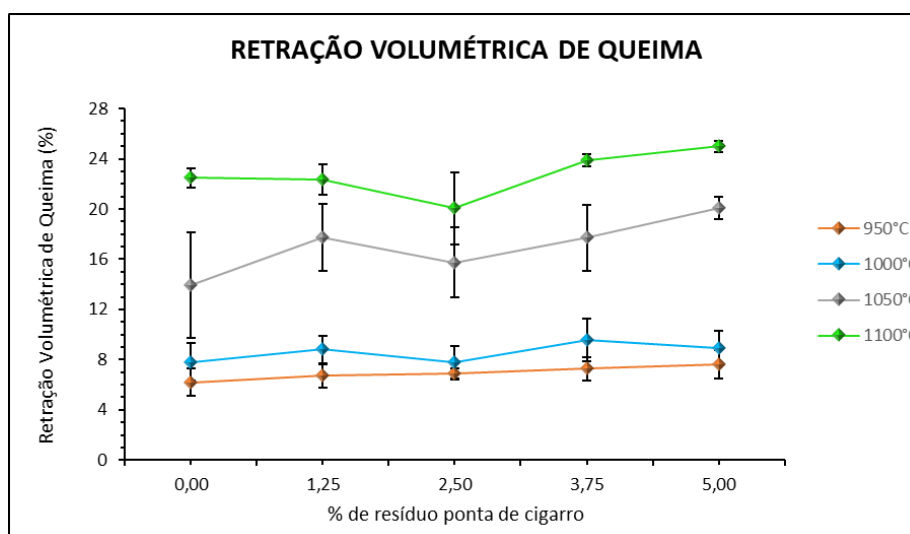
A retração linear de queima aumentou à medida que a temperatura de queima aumentou, mas a quantidade de resíduo ponta de cigarro incorporado não influenciou significativamente na retração linear como mostrado na Figura 82. A temperatura de queima foi o fator predominante para que ocorra a retração linear na queima devido à perda de massa proveniente do processo de secagem por meio da perda de água adsorvida e do processo sinterização no qual perde massa por meio da perda de absorvida, matéria orgânica e também pela cristalização.

#### 4.3.6. Retração Volumétrica de Queima

Os resultados da retração volumétrica de queima em função da quantidade de resíduo incorporado e temperatura de queima estão apresentados na Tabela 32 e Figura 64.

**Tabela 32:** Resultado de retração volumétrica de queima.

Identificação da Mistura	RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE QUEIMA (%)							
	Média				Desvio Padrão			
	950°C	1000°C	1050°C	1100°C	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
0,00% (MLA0)	6,20	7,82	13,96	22,47	1,10	1,52	4,19	0,77
1,25% (MLA1)	6,71	8,80	17,74	22,33	0,91	1,12	2,66	1,19
2,50% (MLA2)	6,88	7,76	15,73	20,05	0,45	1,30	2,78	2,88
3,75% (MLA3)	7,26	9,58	17,72	23,87	0,89	1,72	2,64	0,50
5,00% (MLA4)	7,61	8,90	20,10	24,99	1,15	1,38	0,91	0,44



**Figura 64:** Gráfico de Retração Volumétrica de Queima das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

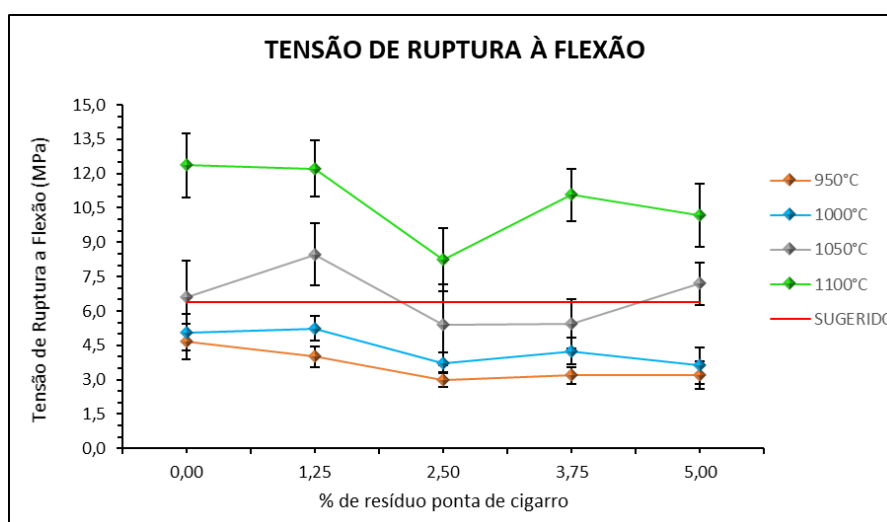
Comparado à retração linear, a retração volumétrica apresentou curvas idênticas com a mesma tendência e valores proporcionalmente aumentados. Isso quer dizer que os corpos de provas diminuíram por um inteiro, ou seja, em todas as dimensões e também aumenta em função da temperatura de queima.

#### 4.3.7. Tensão de Ruptura à Flexão

Os resultados de tensão de ruptura à flexão em função da quantidade de resíduo incorporado e temperatura de queima estão apresentados na Tabela 33 e Figura 65.

**Tabela 33:** Resultado da tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova queimados.

Identificação da Mistura	TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO (MPa)							
	Média				Desvio Padrão			
	950°C	1000°C	1050°C	1100°C	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
0,00% (MLA0)	4,66	5,06	6,61	12,36	0,78	0,79	1,57	1,39
1,25% (MLA1)	4,01	5,24	8,47	12,22	0,46	0,52	1,36	1,22
2,50% (MLA2)	3,00	3,73	5,40	8,24	0,32	0,44	1,75	1,38
3,75% (MLA3)	3,18	4,25	5,44	11,07	0,35	0,56	1,07	1,13
5,00% (MLA4)	3,22	3,61	7,20	10,17	0,60	0,80	0,93	1,37



**Figura 65:** Gráfico da Tensão de Ruptura à Flexão das amostras incorporadas com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro.

O valor de tensão de ruptura à flexão para telhas cerâmicas recomendado por Santos (1989) é de 6,37 MPa (65 kgf/cm<sup>2</sup>), como indicado por meio de uma linha vermelha no gráfico da Figura 65.

Para tanto, os valores de tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova alcançaram o valor apropriado para a fabricação de telhas a partir de 1050°C, seguindo o mesmo comportamento das propriedades de porosidade aparente, absorção de água e massa específica aparente dos corpos de prova. Isso acontece como consequência de uma densificação uniforme e dentro dos padrões pré-estabelecidos abrangendo toda extensão dos lotes.

A incorporação do resíduo ponta de cigarro provocou pequena diminuição da tensão de ruptura à flexão, porém dentro dos limites de dispersão. Já a temperatura de queima provocou forte influência na resistência mecânica dos corpos de prova queimados devido ao grau de sinterização e densificação, como aconteceu com a porosidade aparente e massa específica aparente.

#### **4.3.8 Análise Microestrutural**

##### **4.3.8.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A análise microestrutural foi realizada por meio das imagens obtidas por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura com a intenção substancial de avaliar o aspecto da porosidade na região que ocorreu a fratura quando o corpo de prova foi submetido ao ensaio de flexão para, portanto, associar e justificar os resultados das propriedades anteriormente encontradas.

As imagens foram divididas em quadrantes de uma única formulação na dependência da temperatura de queima. Essa escolha foi feita por meio dos resultados obtidos nas propriedades tecnológicas, onde se constatou que a temperatura é o principal parâmetro que influenciou nas propriedades tecnológicas.

As Figuras 66-70 apresentam as micrografias obtidas por MEV relacionadas às massas argilosas MLA0, MLA1, MLA2, MLA3 e MLA4, respectivamente.

A análise microestrutural revelou que mesmo quando as peças são queimadas em temperaturas mais altas, a porosidade e o aspecto da fratura tiveram mudanças significativas, as quais apresentam microporosidades e porosidades maiores. Constatou-se que a análise microestrutural é bem correlacionada com as propriedades tecnológicas, que mostraram uma forte influência da temperatura de queima.

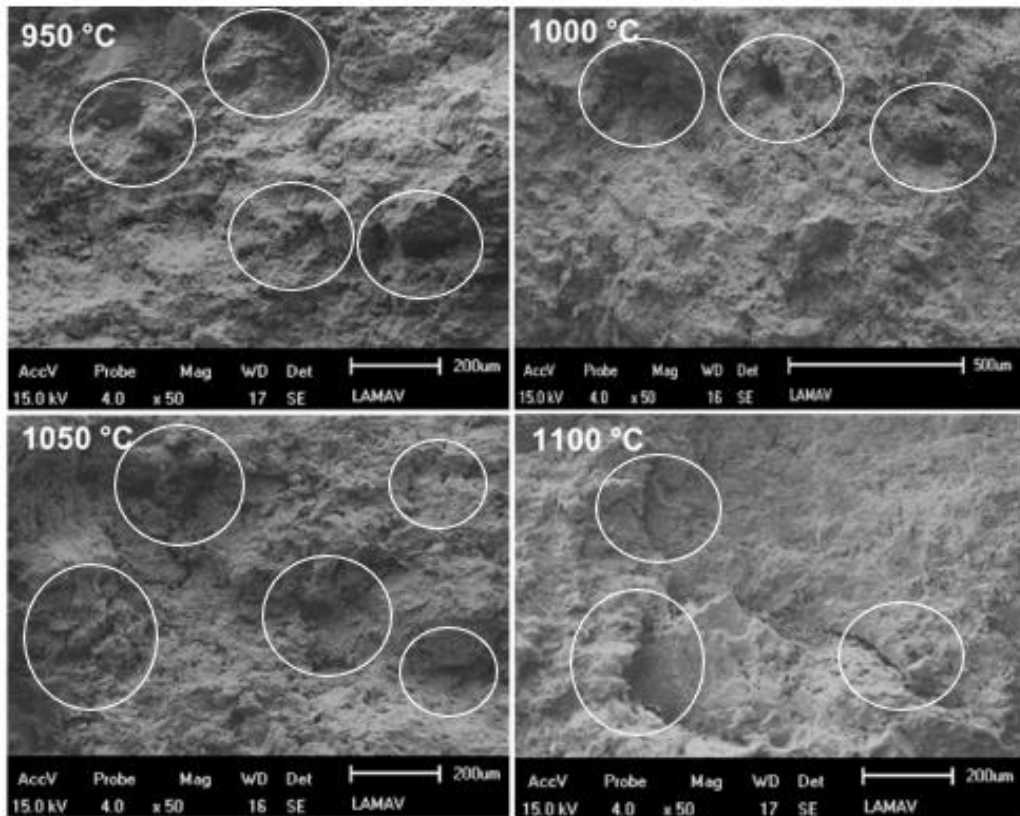


Figura 66: Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA0.

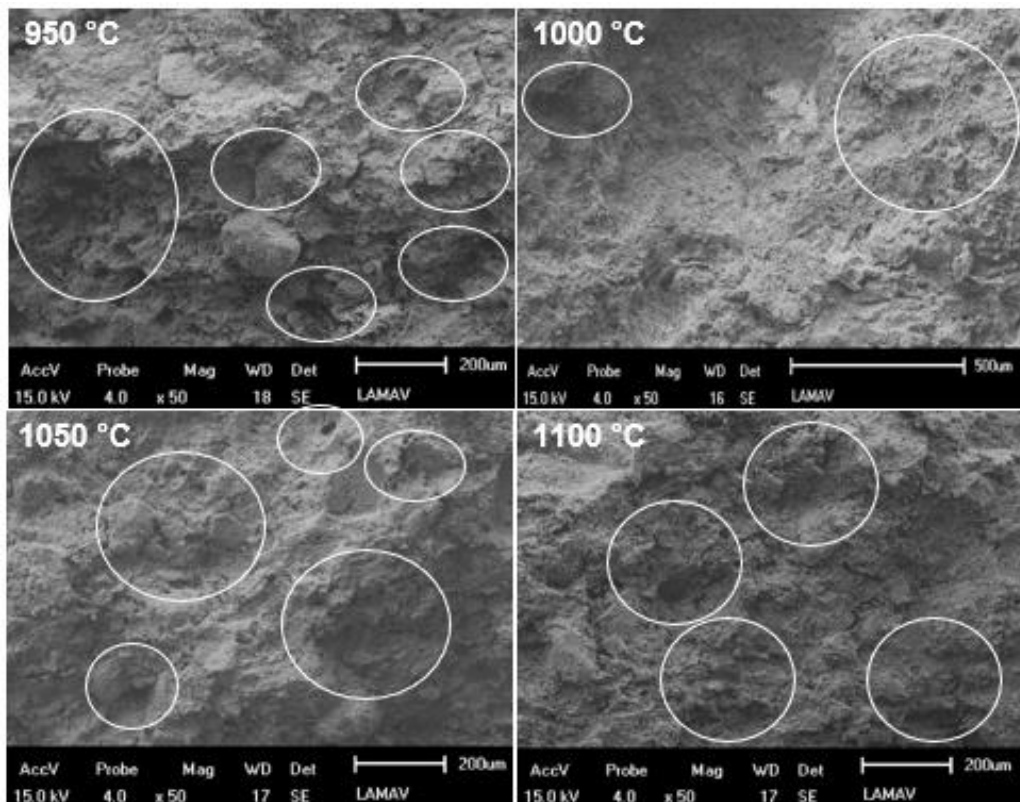


Figura 67: Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA1.

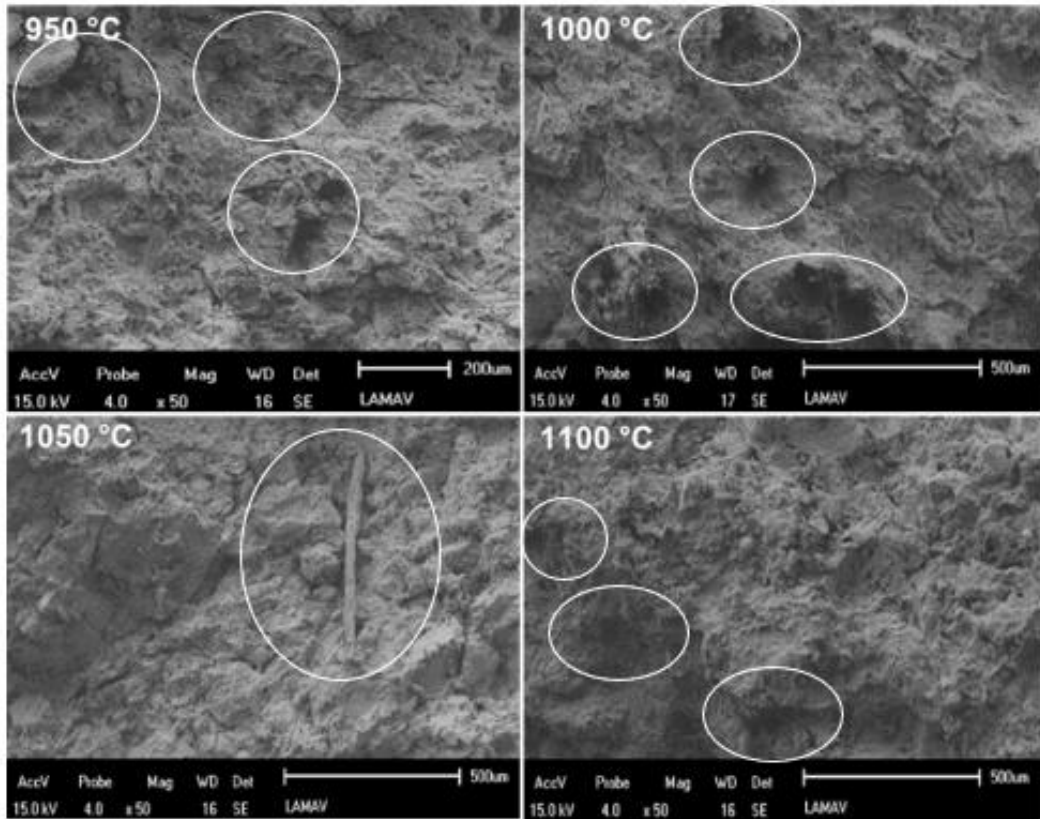


Figura 68: Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA2.

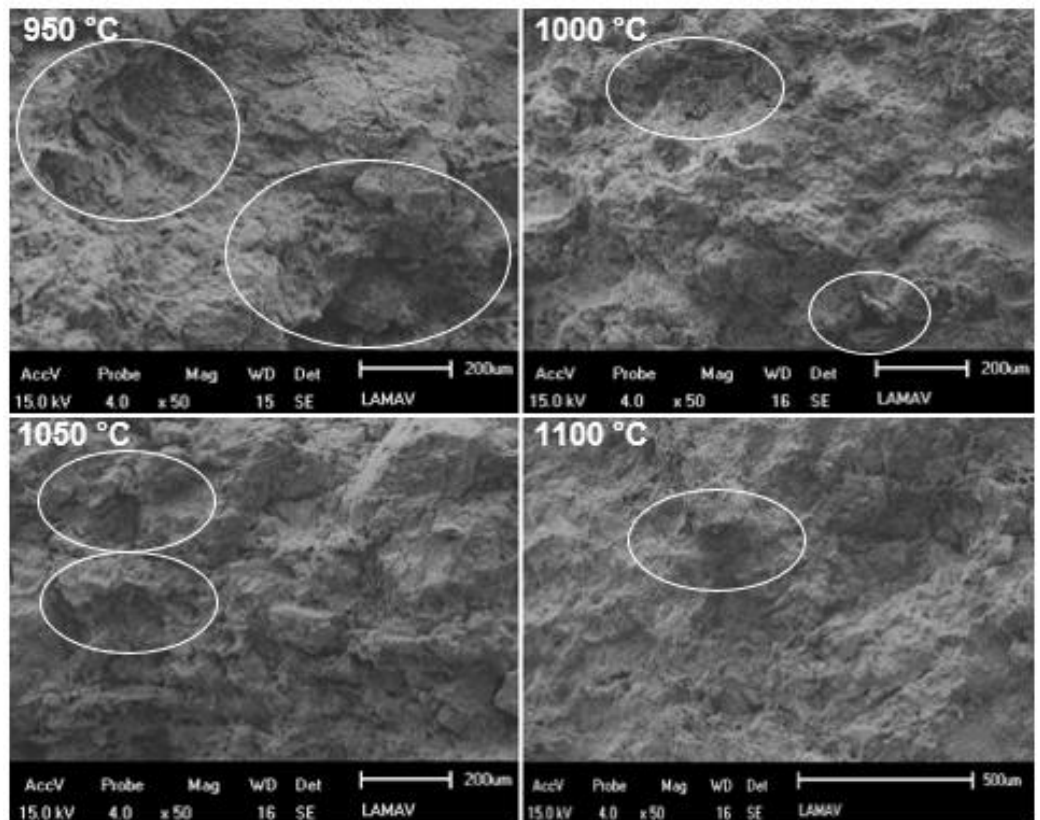
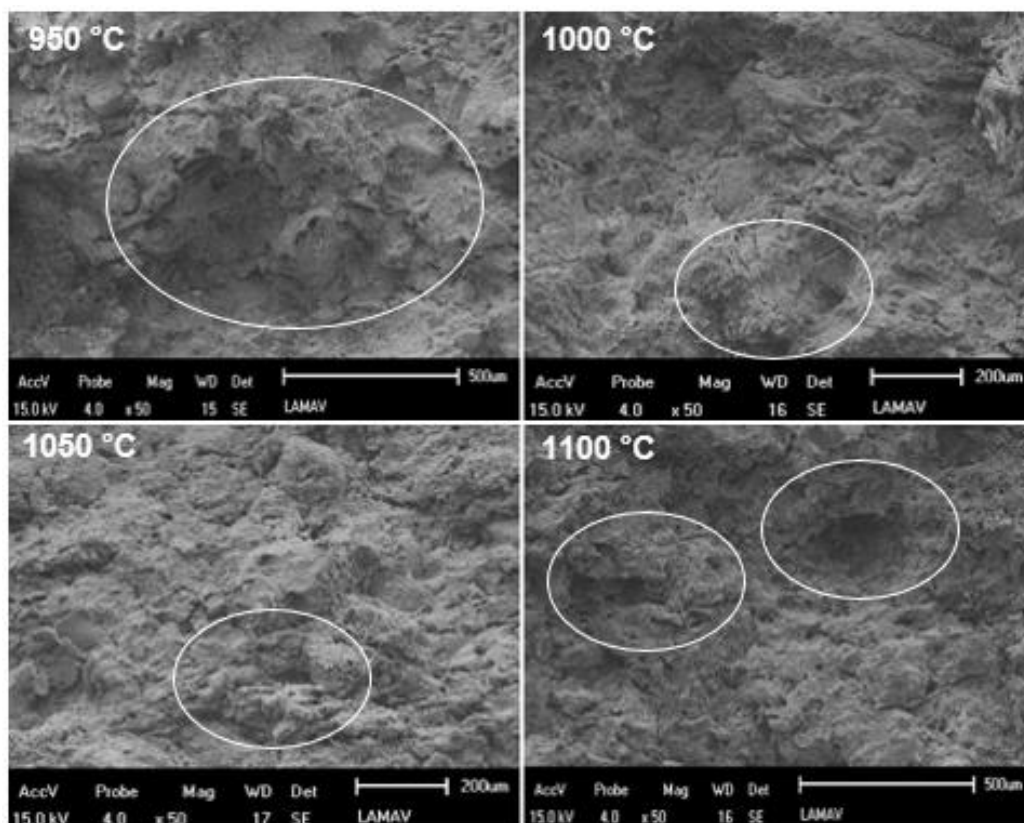


Figura 69: Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA3.



**Figura 70:** Micrografia na região da fratura dos corpos de prova MLA5.

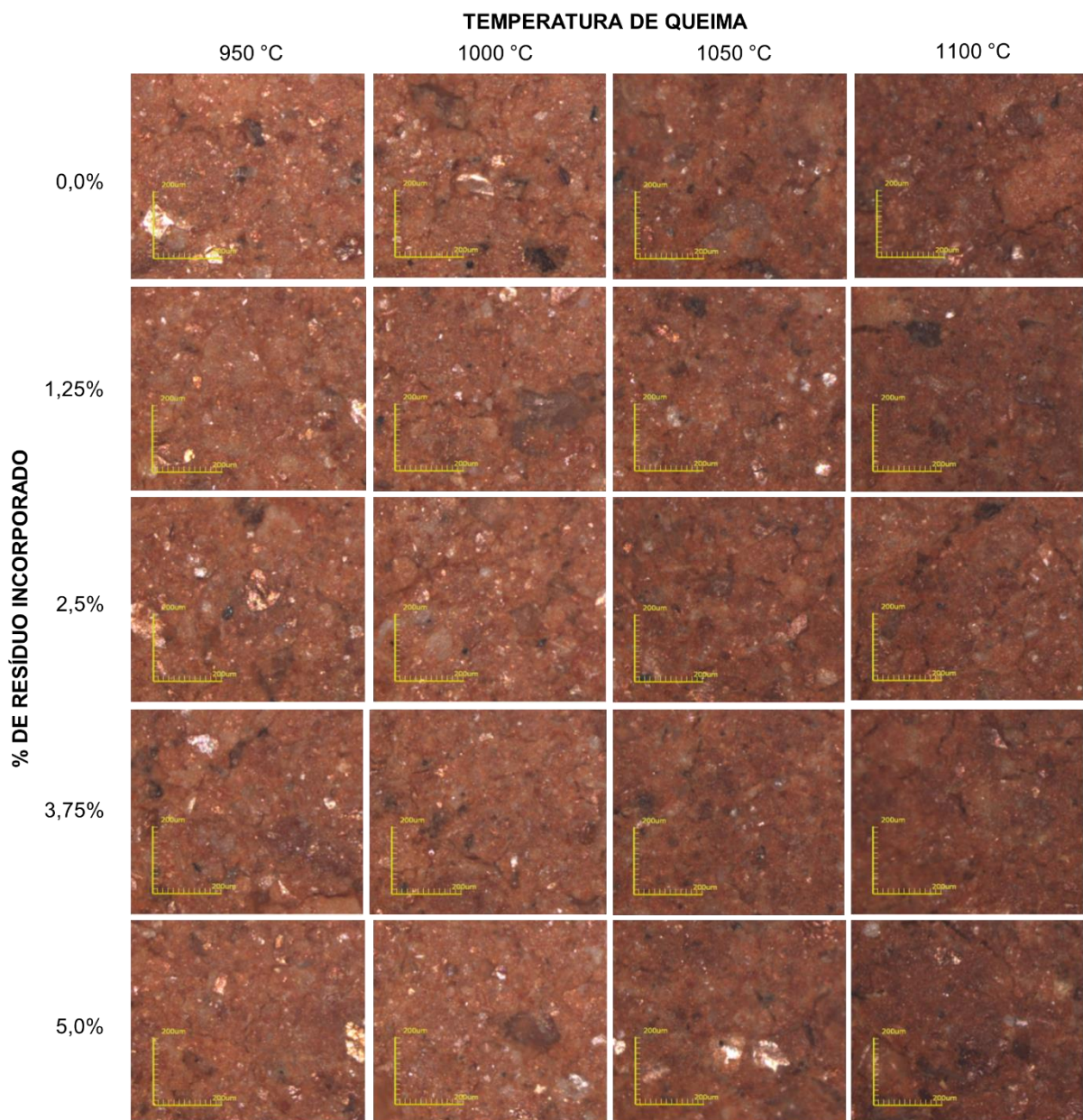
Em geral, comparando os extremos de temperatura (950°C e 1100°C), pode-se notar que há uma pequena diferença no tamanho das porosidades, tendendo a fechar. Este fato é justificável devido à formação da fase líquida na matriz argilosa e à medida que foi aumentando o resíduo ponta de cigarro, a variação nas microporosidades foram significantes, pois este resíduo quando sinterizado, se transforma em cinzas de óxidos fundentes nos quais também ajudam no fechamento de poros.

Conforme dados de porosidade aparente (Figura 60), é possível comprovar quantitativamente os efeitos observados nas micrografias de que a porosidade diminui com o aumento de temperatura e que não são perceptíveis variações significantes à medida que aumenta a quantidade de resíduo.

Ainda em 1100°C existem microporos abertos e uma maneira de comprovar a geração destes poros em meio à densificação é por meio da Análise de Emissão de gases ao longo da sinterização, discutido no tópico 4.3.9., onde se pode observar que independentemente do tipo de gás, sua quantidade aumenta com o aumento da quantidade de resíduo ponta de cigarro e temperatura de queima.

#### 4.3.8.2. Microscopia Óptica (OP)

A Figura 71 apresenta as imagens geradas pela Microscopia Óptica em um zoom de 10x das amostras de MLA0, MLA1, MLA2, MLA3 e MLA4 nas temperaturas de 950, 1000°C, 1050°C e 1100°C. O objetivo é analisar a microestrutura do material, sua forma, as diferentes fases e como estão distribuídos no corpo de prova.



**Figura 71:** Micrografias ópticas das peças cerâmicas queimadas em função da temperatura de queima e da % de resíduo incorporado em um zoom de 10 x.

Na Figura 71, pode-se observar que no processo de densificação o material cerâmico assume a cor alaranjada devido a uma quantidade considerável de ferro como já descrito pela análise química na Tabela 20. Também, é possível identificar grãos de quartzo nas regiões brilhantes enquanto as partículas mais escuras estão associadas às impurezas presentes na argila.

Observa-se, em geral, a homogeneização do material com o aumento da concentração de resíduo ponta de cigarro e à medida que aumenta a temperatura de queima, o aspecto fica mais escuro.

#### **4.3.9. Análise de Emissão de gases**

Após acompanhar a evolução dos gases liberados durante a queima dos corpos de prova MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro, foi avaliado o perfil das curvas e os picos de concentrações (ppm) em volume dos gases detectados. Também, foi associado com a composição química e mineralógica e os diferentes eventos térmicos com os resultados de emissão coletados.

É imprescindível ressaltar que o intuito nesta etapa é discutir os resultados obtidos na análise gasosa, juntamente com os outros resultados apresentados neste trabalho, verificando o quanto a mistura da massa argilosa misturada com o resíduo ponta de cigarro é viável ou não, sob o ponto de vista ambiental. Outro ponto determinante, é que a análise é qualitativa não tendo a intenção de estabelecer qualquer comparação com níveis pré-estabelecidos pela legislação.

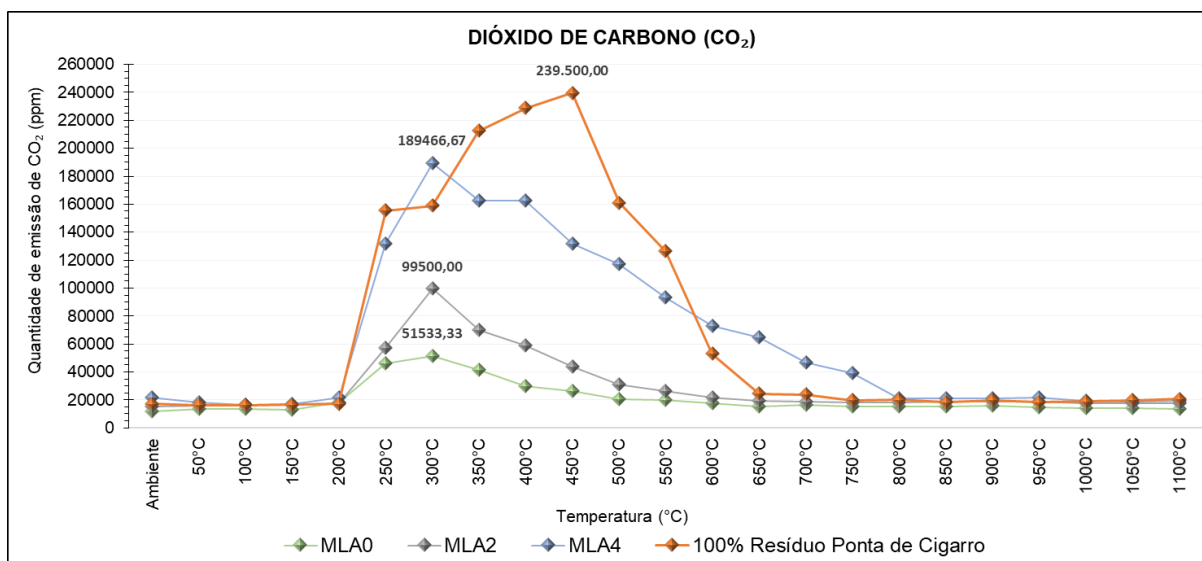
Antes de iniciar a análise dos resultados, foram observados valores de emissão de todos os gases em intensidades maiores quando queimou o resíduo ponta de cigarro puro e isso influencia diretamente no processo de densificação do material e suas propriedades tecnológicas. Isso acontece, pois quando o resíduo é incorporado à argila e sinterizado, ele tem a matéria prima argilosa dificultando a liberação de gases somente pelos poros e gerando uma menor intensidade deste gás.

Outrossim, é a correlação com as Análises Térmicas ATD/ATG presentes no item 4.1.3., onde, tanto os picos de emissões gasosas em CO e CO<sub>2</sub> quanto os picos das perdas de massa e comportamento energético, estão coincidindo entre 200°C e 400°C. A justificativa mais adequada encontrada foi à desidroxilação de



água de constituição e decomposição de matéria orgânica proveniente da argila e em maiores proporções quando incorporado com resíduo ponta de cigarro. Em seguida, a desidroxilação da caulinita que será descrita com mais detalhe ao longo do presente tópico.

A Figura 72 mostra o gráfico que traça perfil da curva gerada na emissão do gás CO<sub>2</sub> com seus picos discriminados desde a temperatura ambiente e na Tabela 34 com os resultados de cada ponto da curva a partir de 200°C.



**Figura 72:** Perfil da curva de emissão de CO<sub>2</sub> proveniente da queima das massas argilosas MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro.

**Tabela 34:** Resultado em ppm da emissão de CO<sub>2</sub> proveniente da queima das massas argilosas e resíduo proposto.

DÍÓXIDO DE CARBONO - CO <sub>2</sub> (ppm)				
Temperatura	MLA0	MLA2	MLA4	RESÍDUO
200°C	18100,00	17733,33	21433,33	17200,00
250°C	46066,67	56966,67	131933,33	155500,00
300°C	51533,33	99500,00	189466,67	158900,00
350°C	41400,00	69700,00	162600,00	212400,00
400°C	29500,00	58966,67	162500,00	228700,00
450°C	26350,00	44000,00	131700,00	239500,00
500°C	20700,00	30900,00	117133,33	160900,00
550°C	20100,00	26533,33	93133,33	126300,00
600°C	17333,33	21800,00	72700,00	52800,00
650°C	15350,00	19200,00	64733,33	24500,00
700°C	16350,00	18800,00	46673,33	23900,00
750°C	15400,00	18100,00	38966,67	19600,00
800°C	15300,00	18066,67	21266,67	20100,00

850°C	15300,00	18533,33	20833,33	18300,00
900°C	15550,00	18500,00	20833,33	19600,00
950°C	14833,33	18533,33	21433,33	18400,00
1000°C	14233,33	17700,00	19566,67	19000,00
1050°C	13866,67	17466,67	19000,00	19600,00
1100°C	13700,00	17800,00	19133,33	20700,00

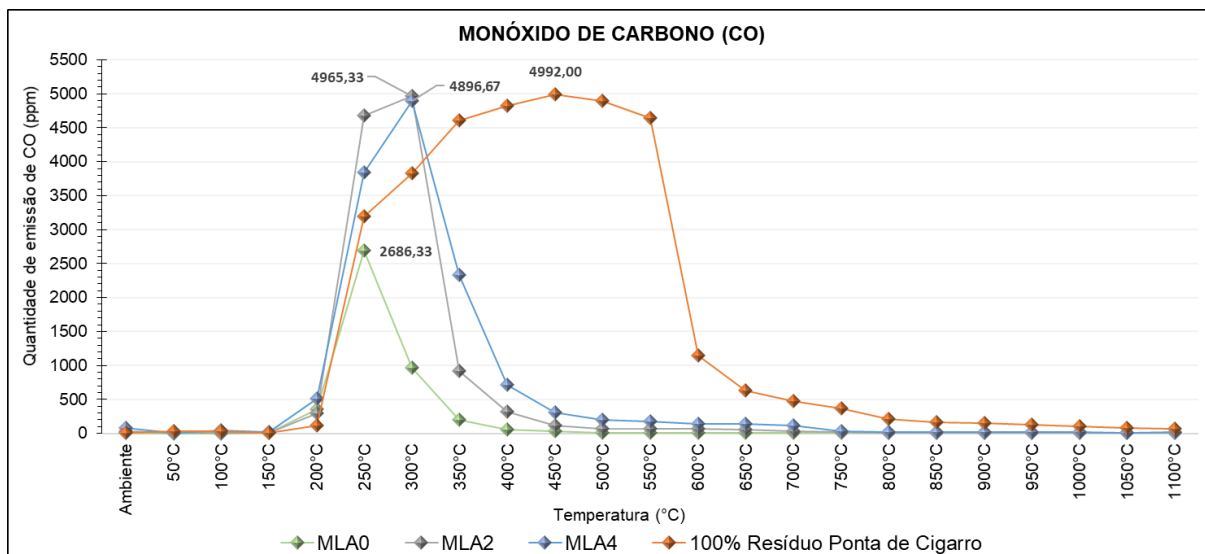
Na emissão de CO<sub>2</sub> foi observado que todas as formulações, com exceção do resíduo puro, o mesmo perfil, tendendo a aumentar a partir de 200°C, com pico em 300°C e depois cair.

Pode-se observar que o maior pico é de 239500 ppm para o resíduo puro e de 189466,67 ppm para a massa argilosa MLA4, onde possui maior quantidade de resíduo incorporado dentre as demais. Esta massa argilosa apresenta também os maiores picos em toda etapa de queima e comparado com a massa argilosa padrão (MLA0), representando aproximadamente uma emissão de CO<sub>2</sub> 3,68 vezes maior.

A faixa de temperatura onde a emissão de CO<sub>2</sub> se mostrou ativo foi entre 200°C e 800°C.

As origens dessas emissões estão relacionadas, fundamentalmente, à decomposição da matéria orgânica. De fato, o resíduo ponta de cigarro é composto de matéria orgânica. É importante destacar que o vapor de água resultante da desidratação de hidróxidos e, principalmente, da desidroxilação da caulinita presente na argila tende a aumentar a atividade dos componentes gasosos. A interação entre o carbono e o vapor d'água (umidade) também provoca uma maior produção de CO<sub>2</sub>.

A Figura 73 mostra o gráfico que traça perfil da curva gerada na emissão do gás CO com seus picos discriminados desde a temperatura ambiente e na Tabela 35 com os resultados de cada ponto da curva a partir de 200°C.



**Figura 73:** Perfil da curva de emissão de CO proveniente da queima das massas argilosas MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro.

**Tabela 35:** Resultado em ppm da emissão de CO proveniente da queima das massas argilosas e resíduo proposto.

MONÓXIDO DE CARBONO - CO (ppm)				
Temperatura	MLA0	MLA2	MLA4	RESÍDUO
200°C	357,67	295,33	514,67	119,00
250°C	2686,33	4678,67	3842,33	3188,00
300°C	970,33	4965,33	4896,67	3831,00
350°C	196,50	914,00	2332,67	4606,00
400°C	60,33	316,67	713,67	4825,00
450°C	34,00	116,00	308,67	4992,00
500°C	11,67	66,33	203,00	4891,00
550°C	11,00	64,67	170,67	4644,00
600°C	12,00	62,00	141,00	1147,00
650°C	10,00	52,00	141,17	627,00
700°C	5,00	33,67	118,33	471,00
750°C	3,50	13,67	31,67	365,00
800°C	3,00	9,67	23,00	211,00
850°C	3,00	8,00	19,67	162,00
900°C	3,00	6,33	17,33	153,00
950°C	3,00	5,67	16,67	131,00
1000°C	3,33	5,00	19,33	100,00
1050°C	4,33	8,33	12,33	75,00
1100°C	5,00	10,33	16,67	64,00

Em todas as amostras, com exceção do resíduo puro, as curvas tiveram um padrão semelhante, porém o pico de emissão em MLA0 apareceu 50°C a menos do que as demais formulações e a emissão de CO teve um valor muito baixo até 150°C.

Na massa argilosa pura teve um aumento significativo em 250°C e logo uma queda até valores menores em 400°C. Quando incorporado, as massas argilosas MLA2 e MLA4, tiveram um padrão entre elas no perfil da curva com aumento abrupto em 250°C culminando em um auge na temperatura de 300°C e queda em 400°C mantendo valores menores até o final.

O pico de maior intensidade foi com resíduo ponta de cigarro puro com valor de 4992,00 ppm em 450°C. No entanto, ao contrário do CO<sub>2</sub>, o resíduo puro não teve um valor muito maior do que as massas argilosas, onde as formulações MLA2 e MLA4, ficaram com valores de intensidade máxima muito próximo 4965,33 ppm e 4896,67 ppm.

A faixa de temperatura onde a emissão de CO se mostrou ativo nas amostras cerâmicas foi exclusivamente entre 200°C e 450°C. E na queima do resíduo puro, foi de 200°C a 800°C.

Este resultado e o perfil do CO estão associados às condições atmosféricas do forno na combustão durante a queima dos corpos de prova. Quando a atmosfera está rica em oxigênio ocorre à combustão completa, havendo uma maior liberação de CO<sub>2</sub> e o caso contrário tende a diminuir o CO<sub>2</sub> e aumentar a liberação de CO. Inclusive, é possível determinar a eficiência de um forno industrial por meio da quantidade de CO emitido.

A matéria orgânica existente em muitas argilas naturais é composta de ácidos húmicos e fúlvicos, que têm uma gama de grupos orgânicos funcionais nos quais interagem com os vapores liberados pelos processos de desidratação e de desidroxilação das argilas (em torno de 300°C a 600°C), tal qual, com o oxigênio da atmosfera presente no forno e gases dos combustíveis que resultam na liberação de outros compostos como: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, e CH<sub>4</sub> (SOUZA, 2007; INGUANZO *et al.*, 2002).

O nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>) em condições normais é um gás de maior abundância na atmosfera, porém tem um papel direto relativamente limitado nos processos atmosféricos e da vida. Serve como uma molécula precursora para a formação de NO<sub>3</sub>, a partir do qual os processos vegetais sintetizam aminoácidos, proteínas, clorofila e ácidos nucléicos (moléculas orgânicas que são direta ou indiretamente essenciais a todos os seres vivos) (GODISH, 2004).

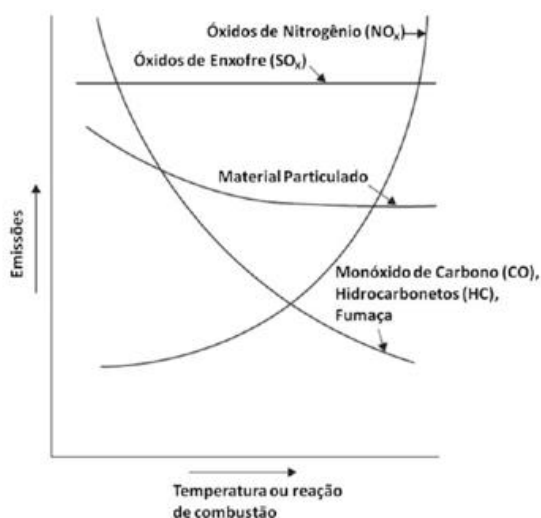
O termo geralmente empregado como NO<sub>x</sub> é o que designa a soma de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), os dois componentes de

nitrogênio mais emitidos em processos de combustão. Normalmente, as quantidades de NO formadas são muito maiores que as de NO<sub>2</sub>. Contudo, uma vez lançado na atmosfera, o NO rapidamente se transforma em NO<sub>2</sub> (CARVALHO JUNIOR; LACAVA, 2003).

O nitrogênio reage com O<sub>2</sub> para produzir óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) que incluem N<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>, ácido nítrico em fase gasosa (HNO<sub>3</sub>) e substâncias de vida curta. Concentrações destes compostos ou substâncias, diferentemente de seus precursores (N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>), variam significativamente em tempo e espaço (GODISH, 2004).

Quando é submetido a elevadas temperaturas e pressões (encontradas no interior de câmaras de combustão, fornos, etc.), o nitrogênio reage com o oxigênio e se converte em monóxido de nitrogênio (NO) e em dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), que é nocivo à saúde (GODISH, 2004).

Especificamente na combustão, as emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO) estão inversamente relacionadas e dependentes da eficiência da combustão. Caso seja admitida uma maior quantidade de ar, há um aumento da eficiência da queima, conseqüentemente gerando menos CO. Porém, tal fato potencializa as emissões de NO<sub>x</sub>, devido ao aumento da temperatura e da quantidade de nitrogênio disponível na atmosfera. A Figura 74 apresenta a maneira que a emissão dos poluentes varia com o aumento da temperatura de combustão para uma situação hipotética (VALLERO, 2008).

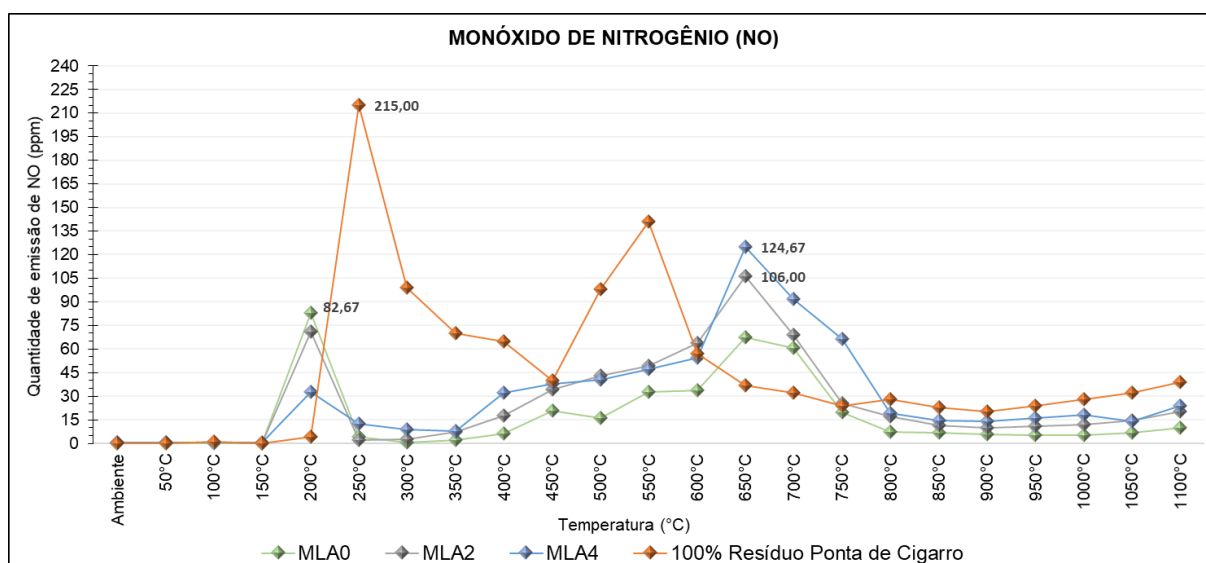


**Figura 74:** Emissão de poluentes na combustão.

Fonte: Adaptado de Vallero, 2008.

A alta temperatura de operação das câmaras de combustão e a utilização de combustíveis com teores de nitrogênio são fatores que contribuem para a formação de NO. Cada um desses parâmetros é significativo em relação ao nível final de NO emitido (CARVALHO JUNIOR; LACAVA, 2003).

A Figura 75 mostra o gráfico que traça perfil da curva gerada na emissão do gás NO com seus picos discriminados desde a temperatura ambiente e a Tabela 36 com os resultados de cada ponto da curva a partir de 200°C.



**Figura 75:** Perfil da curva de emissão de NO proveniente da queima das massas argilosas MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro.

**Tabela 36:** Resultado em ppm da emissão de NO proveniente da queima das massas argilosas e resíduo proposto.

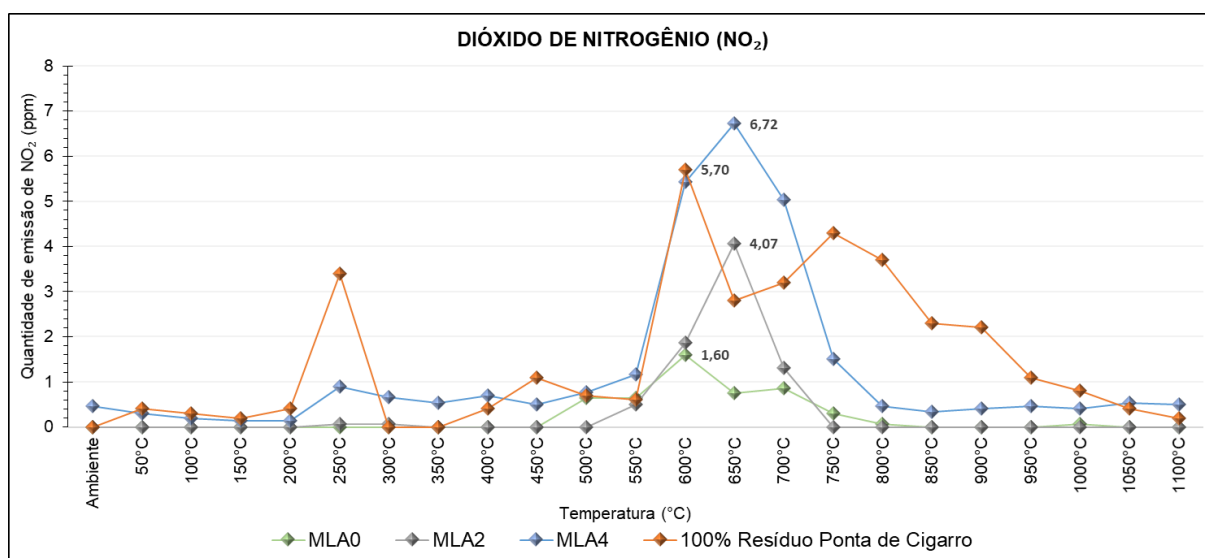
<b>MONÓXIDO DE NITROGÊNIO - NO (ppm)</b>				
<b>Temperatura</b>	<b>MLA0</b>	<b>MLA2</b>	<b>MLA4</b>	<b>RESÍDUO</b>
200°C	82,67	71,00	32,67	4,00
250°C	4,00	2,33	12,33	215,00
300°C	0,67	2,67	9,00	99,00
350°C	2,00	7,33	7,67	70,00
400°C	6,00	17,67	32,00	65,00
450°C	20,50	34,00	37,67	40,00
500°C	16,33	43,00	40,33	98,00
550°C	32,50	49,33	47,33	141,00
600°C	33,67	64,00	54,33	57,00
650°C	67,50	106,00	124,67	37,00
700°C	60,50	69,00	91,67	32,00
750°C	19,50	25,33	66,33	24,00
800°C	7,33	17,00	19,33	28,00

850°C	7,00	11,67	14,33	23,00
900°C	5,50	10,00	14,00	20,00
950°C	5,00	11,00	16,00	24,00
1000°C	5,33	12,00	18,00	28,00
1050°C	7,00	14,33	14,00	32,00
1100°C	9,67	20,33	23,67	39,00

Outra oxidação, de menor intensidade, é a de compostos nitrogenados, representado pelo monóxido de nitrogênio (NO). Observa-se que a emissão se inicia aproximadamente a 200°C e nenhuma formulação se manteve estável, porém apresentaram o mesmo perfil. Os picos de emissão máxima foram em torno de 200°C e 650°C e o perfil da curva foi semelhante para todas as formulações.

O resíduo puro, com picos de intensidades maiores se manteve em emissão significativa entre as temperaturas de 200°C a 600°C, e picos muito menores entre 600°C e 750°C. O maior valor encontrado foi de 215,00 ppm, discrepância de 42% a menos da segunda maior quantidade emitida, neste caso, a massa argilosa MLA4 que emitiu 124,67 ppm. Dentre as formulações envolvendo argila incorporada com resíduo ponta de cigarro, não ocorreu muita diferença entre os valores de NO emitidos.

A Figura 76 mostra o gráfico que traça perfil da curva gerada na emissão do gás NO<sub>2</sub> com seus picos discriminados desde a temperatura ambiente e a Tabela 37 com os resultados de cada ponto da curva a partir de 200°C.



**Figura 76:** Perfil da curva de emissão de NO<sub>2</sub> proveniente das massas argilosas MLA0, MLA2, MLA4 e resíduo ponta de cigarro puro.

**Tabela 37:** Resultado em ppm da emissão de NO<sub>2</sub> proveniente da queima das massas argilosas e resíduo proposto.

<b>DIÓXIDO DE NITROGÊNIO - NO<sub>2</sub> (ppm)</b>				
<b>Temperatura</b>	<b>MLA0</b>	<b>MLA2</b>	<b>MLA4</b>	<b>RESÍDUO</b>
200°C	0,00	0,00	0,13	0,40
250°C	0,00	0,07	0,90	3,40
300°C	0,00	0,07	0,67	0,00
350°C	0,00	0,00	0,53	0,00
400°C	0,00	0,00	0,70	0,40
450°C	0,00	0,00	0,50	1,10
500°C	0,63	0,00	0,77	0,70
550°C	0,65	0,50	1,17	0,60
600°C	1,60	1,87	5,43	5,70
650°C	0,75	4,07	6,72	2,80
700°C	0,85	1,30	5,03	3,20
750°C	0,30	0,00	1,50	4,30
800°C	0,07	0,00	0,47	3,70
850°C	0,00	0,00	0,33	2,30
900°C	0,00	0,00	0,40	2,20
950°C	0,00	0,00	0,47	1,10
1000°C	0,07	0,00	0,40	0,80
1050°C	0,00	0,00	0,53	0,40
1100°C	0,00	0,00	0,50	0,20

Na emissão de NO<sub>2</sub>, nenhuma das formulações se mantiveram estáveis a partir de 200°C e ao longo de 1100°C, porém todas apresentaram o mesmo perfil (com exceção do resíduo puro).

Quando o resíduo puro foi queimado, este apresentou um comportamento diferente das demais formulações, apresentando um pico em 250°C de 3,4 ppm e a partir de 550°C até o final da queima, teve sua fase mais ativa com picos significativos, inclusive seu auge culminou em 600°C com 5,70 ppm.

Na emissão do dióxido de nitrogênio, ao contrário das emissões anteriormente apresentadas, a maior quantidade de emissão não foi o resíduo e sim a massa argilosa MLA4 atingindo uma concentração de 6,72 ppm.

As massas argilosas MLA0, MLA2 e MLA4 estiveram ativas principalmente na faixa de temperatura entre 550°C e 750°C e a composição MLA0 esteve muito menor em toda a queima.



A análise química realizada da massa argilosa MLA0 revelou a presença de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) e óxido de manganês (MnO) que são utilizados como fertilizantes e esses por sua vez, podem emitir nitrogênio.

A análise química realizada na massa argilosa MLA5 com 5% do resíduo ponta de cigarro, não revelou nenhum componente que pudesse emitir gás nitrogênio. No entanto, constata-se na literatura que dentre os compostos que compõe o cigarro e são emissores de  $NO_2$  foram encontrados a amônia, nicotina e possíveis fertilizantes (apesar de cada fabricante utilizar uma constituição diferente e são muitos os componentes e derivados envolvidos).

A nicotina, que constitui o princípio ativo do cigarro, também é gerada ao meio ambiente em superfícies dissolvidas e em forma gasosa quando reemitida para o ar ambiente podendo formar poluentes secundários ao sofrer reações com espécies oxigenadas e nitrogenadas da atmosfera (MATT *et al.*, 2011).

A nicotina sofre reação de nitrosação pelo ácido nitroso (HONO) para produzir as nitrosaminas específicas do tabaco, tais quais: 4-(metilnitrosamina)-1-(3-piridil)-1-butanona (NNK), N'-nitrosornicotina (NNN), N-nitrosopirrolidina e 4-(metilnitrosamino)-4-(3-piridil)-butanal (NNA) (SLEIMAN *et al.*, 2010).

O ácido nitroso (HONO) está exposto no ar de ambientes fechados em quantidade relativamente alta, resultado da emissão direta de aparelhos de combustão interna sem fonte de ventilação, da fumaça de cigarro e da conversão de  $NO_2$  e NO (FIGUEIRÓ; ZIULKOSKI; DANTAS, 2016).

Cavalcante (2000) afirma que as principais fontes de óxidos de nitrogênio são: aquecedores a querosene, gás de fogão e a fumaça do cigarro em ambientes fechados. Também, menciona que amônia ( $NH_3$ ), derivado do cigarro, é o mais simples e estável dos compostos de nitrogênio e hidrogênio.

Os óxidos de nitrogênio ( $NO + NO_2$ ) e a amônia ( $NH_3$ ) são os compostos nitrogenados mais emitidos tanto por fontes naturais como queima de combustíveis fósseis, biomassa e emissões microbiológicas. Nas grandes cidades, o dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) é reconhecido como um dos principais poluentes atmosféricos e as reações envolvendo a contribuição de  $NO_2$  são muitas e cada e cada vez mais complexa de ser discernido (UGUCIONE *et al.*, 2002; OLIVIER *et al.*, 1998).

A presença de NO deve estar ligado ao fato da existência de compostos nitrogenados. Entretanto, não se pode confirmar com relação à quantidade de algumas espécies nitrogenadas que compõem o ciclo do nitrogênio, principalmente

devido à intervenção humana. Isto ocorreu mais intensamente a partir do início do século XX, quando o desenvolvimento da produção de fertilizantes sintéticos permitiu a fixação de nitrogênio atmosférico (OLIVIER *et al.*, 1998).

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

### 5.1. Conclusão

Neste trabalho de mestrado foi estudado o comportamento de densificação de uma massa argilosa industrial usada na produção telha cerâmica incorporada com resíduo ponta de cigarro. Os resultados experimentais e a respectiva discussão deles permitem as seguintes conclusões:

- A incorporação do resíduo ponta de cigarro na massa argilosa foi viável do ponto de vista produtivo, onde o beneficiamento para o ajuste granulométrico do resíduo foi bem sucedido;
- A adição do resíduo ponta de cigarro na massa argilosa industrial teve pouca influência no comportamento de densificação da massa argilosa;
- A caracterização física e mecânica dos corpos cerâmicos identificaram que o fator predominante para obter as melhores propriedades foi a temperatura de sinterização (quanto maior, melhor) e não a adição do resíduo ponta de cigarro. A temperatura de queima de 1050°C em até 5% do resíduo ponta de cigarro foi a mais apropriada para estar em conformidade com a Norma ABNT NBR 15310 em termos de absorção de água e a tensão de ruptura à flexão sugerido por Santos (1989);
- A microestrutura sinterizada dos corpos cerâmicos incorporados com resíduo ponta de cigarro apresentou menor microporosidade à medida que aumenta a temperatura de queima devido o mecanismo de consolidação por fase líquida, e também mostrou insignificante com a adição de mais do resíduo ponta de cigarro, pois este resíduo quando queimado, se torna cinzas formado de óxidos fundentes que preenchem os poros do corpo cerâmico;
- A análise de emissão de gases durante o processo de queima coincidiu com os resultados obtidos nas análises térmicas ATD/ATG, que mostraram a liberação de CO e CO<sub>2</sub> devido à perda de água de constituição, decomposição de matéria orgânica e desidroxilação da caulinita. Além disso, também foi analisado os gases NO e NO<sub>2</sub>. A análise química da massa argilosa MLA0 mostrou traços de pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e óxido de manganês (MnO) que são utilizados como fertilizantes e esses por sua vez, podem emitir nitrogênio. A pesquisa bibliográfica revelou que

dentre os compostos que compõe o cigarro e são emissores de NO<sub>2</sub>, foi encontrado amônia, nicotina e possíveis fertilizantes.

Em suma, o resíduo ponta de cigarro é um potencial resíduo sólido para ser incorporado em cerâmica vermelha voltada para a fabricação de telhas. Não maximiza as propriedades, entretanto, às mantém estável, proporciona um melhor empacotamento e principalmente, se apresenta como uma ótima opção para o reaproveitamento deste resíduo sólido potencial poluidor que está presente em grandes quantidades no meio ambiente por meio de descartes inadequados.

## **5.2. Sugestões e perspectivas para trabalhos futuros**

Com os resultados positivos obtidos, compensa investir na continuidade e valorização do resíduo ponta de cigarro para concluir todo estudo científico e obter uma inserção integral na literatura. Doravante, seguem os tópicos sugeridos:

- Análise por Difração de Raios X dos minerais presentes na massa argilosa industrial para telha, assim como, as fases da peça cerâmica queimada, com objetivo de determinar as fases cristalinas remanescentes e conhecer as novas fases que serão formadas após o processo de queima;
- Análise Dilatométrica com o intuito de melhorar o entendimento do comportamento de sinterização das massas argilosas contendo resíduo de ponta de cigarro, bem como identificar e avaliar o seu comportamento de expansão e retração durante a queima;
- A partir da composição ótima que atenda as especificações exigidas pelas normas técnicas brasileiras, realizar a fabricação de telhas incorporadas com resíduo ponta de cigarro em escala piloto;
- Especular uma maior quantidade de resíduo incorporado, pois foi concluído que é possível aumentar esse volume. Ou seja, aumentar a quantidade de resíduo até o ponto de alcançar a saturação;
- Aumentar a quantidade de corpos-de-prova para uma análise estatística mais apurada por meio da Estatística de Weibull;
- Realizar uma microscopia eletrônica de varredura da região da fratura dos corpos de prova queimados em maiores ampliações (500x à 1000x);

- Realizar uma análise químico-ambiental com ênfase sobre o seu potencial poluidor (ensaio de lixiviação e solubilização);
- Realizar um estudo de análise de custo global de telha cerâmica incorporada com resíduo ponta de cigarro;
- Investigar outros gases que possam ser liberados durante a etapa de queima do material, tais como: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>);
- Realizar o ensaio das Propriedades Térmicas Obtidas por Técnicas Fototérmicas, tais quais: Difusividade Térmica ( $\alpha$ ), Condutividade Térmica ( $\kappa$ ), Efusividade Térmica ( $e$ ) e Capacidade Térmica Volumétrica ( $pC$ ).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC - Associação Brasileira de Cerâmica. Informações Técnicas – Definição e Classificação. 2018. Disponível em: <<http://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>> Acesso em: 26/09/2018.

ABC - Associação Brasileira de Cerâmica. Matérias primas naturais. 2018. Disponível em: <<https://abceram.org.br/materias-primas-naturais/>> Acessado em: 04/10/2018.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Determinação da Análise Granulométrica de solos. NBR 7181/1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). Resíduos sólidos: classificação. NBR 10004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Determinação da Massa Específica. NBR 6508.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. NBR 7180.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. NBR 6457.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Solo – Determinação do Limite de Liquidez. NBR 6459.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. NBR 15310.

ADAM, Thomas et al., Influence of filter ventilation on the chemical composition of cigarette mainstream smoke. *Analytica Chimica Acta*, [s.l.], v. 657, n. 1, p.36-44, jan. 2010. Elsevier BV.

AESLINA, A. K.; MOHAJERANI, A., Leachability of heavy metals from fired clay bricks incorporated with cigarette butts. 2012. *Ieee Symposium On Business, Engineering And Industrial Applications*, [s.l.], p.782-787, set. 2012. IEEE.

ALBUQUERQUE, F. R. *et al.*, Planejamento Experimental Aplicado à Otimização de Massas Cerâmicas contendo Matérias Primas Naturais. *Cerâmica*, vol. 53, p. 300-2008, 2007.

ALIZAI, Hamza *et al.*, Heavy metal contamination in the coastal sediments of the Lower New York Bay. *Northeastern Geology And Environmental Sciences*, New York, v. 25, p.226-231, 2003.

ALVES, Venise Bouvier. A influência da densidade do filtro de cigarros nos teores da fumaça. 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Departamento de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. 2018. Dados Oficiais. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/anicer/setor/dados-oficiais/>> Acessado em: 03/10/2018.

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. 2008. Dados do Setor. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>> Acessado em: 03/10/2018.

ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. 2008. A Cerâmica vermelha do Brasil. Disponível em: <[https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2014/08/Release\\_Setor.pdf](https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2014/08/Release_Setor.pdf)> Acessado em: 03/10/2018.

ARSENOVIC, Milica; RADOJEVIC, Zagorka; STANKOVIC, Slavka. Removal of toxic metals from industrial sludge by fixing in brick structure. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 37, p.7-14, dez. 2012. Elsevier BV.

ASTM C373-72 - American Society for Testing and Materials. Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity Of Fired Whiteware Products, USA, 1977.

AZEVEDO, M. C. Desenvolvimento de telhas extrudadas em Campos dos Goytacazes-RJ. 2018. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

BARATA, M. S.; ANGÉLICA, R. S., Caracterização dos resíduos caulíníticos das indústrias de mineração de caulim da Amazônia como matéria prima para produção de pozolanas de alta reatividade, *Cerâmica* 58, 36-42, 2012.

BARBOSA JÚNIOR, J. S., Reciclagem de papel. 2006. 35 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Ambientais, Fundação de Ensino Superior de Olinda Funeso, Olinda, 2006.

BASTOS, R. S. *et al.*, 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.

BBC News Brasil. 2019. Foto mostra pássaro alimentando filhote com bituca de cigarro. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-48847312>>. Acessado em: 03/11/2019.

BROWNE, C. L., *The Design of Cigarettes*. 3rd ed. Charlotte: Hoechst Celanese Corporation, 1990.

BORIES, Cecile *et al.*, Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. *Journal Of Environmental Management*, [s.l.], v. 143, p.186-196, out. 2014. Elsevier BV.

BRASIL. 2010. 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](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)> Acessado em: 12/10/2018.

BYRD, J. C., Environmental tobacco smoke: Medical and Legal Issues. *Medical Clinics Of North America*, [s.l.], v. 76, n. 2, p.377-398, mar. 1992. Elsevier BV.

CABRAL JUNIOR, M. *et al.*, Argilas para cerâmica vermelha. In: Rochas & minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. Parte II. Cap. 28. p.583-606.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G., Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. p.817.

CARLOS, A. F. A., A (Re) Produção do espaço urbano. 1 ed. 1. Reimp. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

CAVALCANTE, Josias Sampaio. Cigarro o veneno completo: uma análise química dos venenos do cigarro. Fortaleza: Editora Inesp, 2000. 172 p.

CARVALHO JUNIOR, J. A.; LACAVAL, P. T., Emissões em processos de combustão. São Paulo: Unesp, 2003. 135 p.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987. p 234.

CERQUEIRA, D. A. *et al.*, Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por <sup>1</sup>H-RMN. Polímeros, [s.l.], v. 20, n. 2, p.85-91, 14 maio 2010. FapUNIFESP (SciELO).

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2015. Rochas. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Rochas-1107.html>>. Acessado em: 02/03/2020.

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.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J.C., Glyphosate e adubação foliar com manganês na cultura da soja transgênica. Planta Daninha, [s.l.], v. 27, n. 4, p.721-727, 2009. FapUNIFESP (SciELO).

CUSTÓDIO, A. *et al.*, Estudo da compactação de massas para cerâmica vermelha. Rev. Técnico Científica (IFSC), v. 3, n. 1, 2012.

DOBARADARAN, S. *et al.*, Cigarette butts abundance and association of mercury and lead along the Persian Gulf beach: an initial investigation. Environmental Science and Pollution Research. February 2018, Volume 25, Issue 6, p. 5465–5473.

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. (1997a). Recycling of Industrial and Urban Wastes in Brick Production: A Review (Part 1), Tile & Brick Int., 13: 218-225.

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. (1997b). Recycling of Industrial and Urban Wastes in Brick Production: A Review, Tile & Brick Int., 13: 302-308.

DW Brasil. Fumar também mata o planeta. 2019. Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/fumar-mata-tamb%C3%A9m-o-planeta/a-47698814>>. Acessado em: 03/11/2019.

ÉPOCA NEGÓCIOS. 2018. Os cigarros (e não o plástico) são os verdadeiros vilões dos oceanos. Disponível em:



<<https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2018/08/os-cigarros-e-nao-o-plastico-sao-os-verdadeiros-viloes-dos-oceanos-revela-estudo.html>>. Acessado em: 03/11/2019.

FERNANDES, P. F. *et al.*, 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.

FIESC - Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina. 2018. Evolução do número de emprego e estabelecimentos. Disponível em: <<https://www.observatoriofiesc.com.br/bens-de-capital>>. Acessado em: 02/03/2020.

FIESC - Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina. 2019. Comércio Exterior. Disponível em: <<https://www.observatoriofiesc.com.br/bens-de-capital>>. Acessado em: 02/03/2020.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. 2019. Iniciativas sustentáveis: bituca verde – empresa recicla mais de 700 quilos de bitucas de cigarro por ano. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/iniciativas-sustentaveis-bituca-verde/>>. Acessado em: 03/11/2019.

FIGUEIRÓ, L. R.; ZIULKOSKI, A. L.; DANTAS, D. C. M., Thirdhand smoke: when the danger is more than you can see or smell. Cadernos de Saúde Pública, [s.l.], v. 32, n. 11, p.1-13, nov. 2016. FapUNIFESP (SciELO).

FRADE, V. M. F., Estudo do aumento de escala do processo enzimático de hidrólise da celulose obtida a partir de resíduos lignocelulósicos do bagaço da cana (*Saccharum officinarum* L.). 2011. 40 f. Projeto de iniciação científica, Laboratório de Química, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2011.

GALÁN, Emilio; APARICIO, Patricia. Materias primas para la industria cerámica. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2011. p.48.

GAZETA DO POVO. 2010. Bitucas causam dano ambiental. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/bitucas-causam-dano-ambiental-cf6okxundbcwt12z7in1wh7bi/>>. Acessado em: 03/11/2019.

GEISS, O.; KOTZIAS, D. Tobacco, cigarettes and cigarette smoke – an overview. European Commission, Institute for Health and Consumer Protection. Luxembourg, 20207. p. 79.

GLOBO. 2016. Usina de reciclagem transforma bituca de cigarros em papel em Votorantim. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sorocabajundiai/noticia/2016/06/usina-de-reciclagem-transforma-bituca-de-cigarros-em-papel-em-votorantim.html>>. Acesso em: 10/11/2018.

GLOBO. 2018. 3.834 bitucas, 921 canudos, 473 copos... Atriz e surfista iniciam projeto de coleta nas praias do RJ. Disponível em: <<https://globoesporte.globo.com/radicaais/surfe/noticia/3834-bitucas-921-canudos-473-copos-atriz-e-surfista-iniciam-projeto-de-coleta-nas-praias-do-rj.ghtml>> Acessado em: 20/10/2018.

GLOBO. 2018. Voluntários retiram mais de 7 mil bitucas de cigarro de praia de SP. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2018/09/23/voluntarios-retiram-mais-de-7-mil-bitucas-de-cigarro-de-praia-de-sp.ghtml>> Acessado em: 20/10/2018.

GLOBO. 2018. Bitucas de cigarro, tampas de garrafa, canudinhos: os 10 itens mais encontrados nas praias do Brasil pela ONU. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2018/09/14/bitucas-de-cigarro-tampas-de-garrafa-canudinhos-os-10-itens-mais-encontrados-nas-praias-do-brasil-pela-onu.ghtml>> Acessado em: 24/10/2018.

GODISH, Thad. Air quality. 2. ed. Chelsea: Lewis publishers, 2004. 506p.

GRAU NETO, Werner; BASSO, Maristela. O protocolo de Quioto e o mecanismo de desenvolvimento limpo MDL: uma análise crítica do instituto. 2006. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GRIPPI, Sidney. Lixo: reciclagem e sua história. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 166 p.

HENDRY, A. W.; KHALAF, F. M.. Masonry Wall Construction. London And New York: Spon Press (Taylor & Francis Group), 2001. 128 p.

HOFFMANN, Dietrich; HOFFMANN, Ilse. The changing cigarette, 1950-1995. Journal Of Toxicology And Environmental Health, [s.l.], v. 50, n. 4, p.307-364, mar. 1997. Informa UK Limited.

HOSPITAL SÃO CAMILO. 2018. Hospital São Camilo lembra a importância da reciclagem das bitucas de cigarro. Disponível em: <[www.hospitalsaocamilosp.org.br/imprensa/hospital-são-camilo-lembra-a-importância-da-reciclagem-das-bitucas-de-cigarro](http://www.hospitalsaocamilosp.org.br/imprensa/hospital-são-camilo-lembra-a-importância-da-reciclagem-das-bitucas-de-cigarro)> Acessado em: 20/10/2018.

INCA - Instituto Nacional do Câncer. 2018. Programa Nacional de Controle do Tabagismo. Disponível em: <[www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/acoes\\_programas/site/home/nobrasil/programa-nacional-controle-tabagismo/tabagismo](http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/acoes_programas/site/home/nobrasil/programa-nacional-controle-tabagismo/tabagismo)> Acessado em: 24/10/2018.

INGUANZO, M. et al. On the pyrolysis of sewage sludge: the influence of pyrolysis conditions on solid, liquid and gas fractions. Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis, [s.l.], v. 63, n. 1, p.209-222, mar. 2002. Elsevier BV.

INMETRO. 2018. Telha Cerâmica Tipo Romana. 2018. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/telha.asp>>. Acessado em: 26/01/18.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A., Physico-Mechanical Properties And Leachate Analysis Of Clay Fired Bricks Incorporated With Cigarette Butts. International Conference on Environment (ICENV), Environmental Management and Technologies Towards Sustainable Development, 2008, p. 100-109.

KADIR, A. A. *et al.*, Density, strength, thermal conductivity and leachate characteristics of light weight fired clay bricks incorporating cigarette butts. World Academy of Science, Engineering and Technology, 53, vol:3, n°:5, p.242-247, 2009.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A., Possible utilization of cigarette butts in light-weight fired clay bricks. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 45, p.118-122, 2010.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A., Recycling cigarette butts in lightweight fired clay bricks. *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Construction Materials*, [s.l.], v. 164, n. 5, p.219-229, out. 2011. Thomas Telford Ltd.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A., Bricks: An Excellent Building Material for Recycling Wastes – A Review. *Environmental Management and Engineering: Unconventional Oil*, [s.l.], p.108-115, 2011. ACTAPRESS.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A., Properties Improvement of Fired Clay Bricks Incorporating with Cigarette Butts. *Advanced Materials Research*, [s.l.], v. 535-537, p.1723-1730, jun. 2012. Trans Tech Publications.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A., Physical and Mechanical Properties of Fired Clay Bricks Incorporated with Cigarette Butts: Comparison between Slow and Fast Heating Rates. *Applied Mechanics And Materials*, [s.l.], v. 421, p.201-204, set. 2013. Trans Tech Publications.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A., Effect of heating rate on gas emissions and properties of fired clay bricks and fired clay bricks incorporated with cigarette butts. *Applied Clay Science*, [s.l.], v. 104, p.269-276, fev. 2014. Elsevier BV.

KADIR, A. A.; SARANI, N. A.; LEMAN, A. M., Testing on Building Material Using Waste Material in Fired Clay Brick. *Materials Science Forum*, [s.l.], v. 803, p.330-336, ago. 2014. Trans Tech Publications.

KLEIN, Cornelis; DUTROW, Barbara. *Manual dos Minerais*. 23. ed. Rio Grande do Sul: Bookman, 2012. p.715.

KARIM, N. F. N. A. *et al.*, Thermal Insulation Properties of Organic and Inorganic Material in Clay Brick - A Review. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, [s.l.], v. 268, p.012082, 2 jul. 2019.

MAROTTA, T. W.; HERUBIN, C. A., *Basic Construction Materials*. 5. Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1997. 608 p.

MACHADO, Cibele. *Problemas ambientais e o descarte correto de pontas de cigarro na Praia Martin de Sá – Caraguatatuba/SP*. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Camilo Castelo Branco, São Paulo, 2016.

MACHADO, L. M.; RODRIGUES, L. M., Análise do extrato aquo-solúveis de filtro de cigarro como inibidores de corrosão. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Química, XXI. Anais*. Fortaleza, 2016. p. 1 - 7.

MAMLOUK, Michael S., ZABUEWSKI, John P., *Materials for Civil and Construction Engineers*. 3. Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006. p. 576.

MARCHI, J. ; MACHADO, E. C.; TREVISAN, M., Descarte e destinação adequados aos resíduos pós-consumo de cigarros: Inovação a alternativas possíveis. In: XVI

Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 16. Santa Maria: ENGEMA, 2014. p. 15.

MARSIGLI, M.; DONDI, M., (1997). Plasticità delle argille italiane per laterizi e previsione del loro comportamento in foggatura, L'Industria dei Laterizi, v. 46, p. 214-222.

MELLO, P. R. B.; PINTO, G. R.; BOTELHO, C., Influência do tabagismo na fertilidade, gestação e lactação. *Jornal de Pediatria*, [s.l.], v. 77, n. 4, p.257-264, ago. 2001. FapUNIFESP (SciELO).

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. *et al.*, 2009. Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. *Journal of Waste Management*. 29, 1227–1233.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2019. Protocolo de Quioto. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>>. Acessado: 28/12/2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2019. Efeito Estufa e Aquecimento global. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acessado: 28/12/2019.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R., Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. *Contexto Internacional*, [s.l.], v. 30, n. 1, p.9-47, abr. 2008. FapUNIFESP (SciELO).

MOHAJERANI, A.; KADIR, A. A.; LAROBINA, L., A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. *Waste Management*, [s.l.], v. 52, p.228-244, jun. 2016. Elsevier BV.

MONTEIRO, Sergio Neves; VIEIRA, Carlos Maurício Fontes. On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 68, p.599-610, out. 2014. Elsevier BV.

MORGAN, D.J.. Thermal analysis — including evolved gas analysis — of clay raw materials. *Applied Clay Science*, [s.l.], v. 8, n. 2-3, p.81-89, ago. 1993.

MORIWAKI, Hiroshi; KITAJIMA, Shiori; KATAHIRA, Kenshi. Waste on the roadside, 'poi-sute' waste: Its distribution and elution potential of pollutants into environment. *Waste Management*, [s.l.], v. 29, n. 3, p.1192-1197, mar. 2009. Elsevier BV.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JUNIOR, M., As Matérias-Primas Cerâmicas: Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. São Paulo: Cerâmica Industrial, 2001.

MURRAY, H. H. *Developments in Clay Science: Applied Clay Mineralogy*. Amsterdam: Elsevier Science, 2006, v. 2, p. 141-145.

NATIONAL GEOGRAPHIC. 2017. Bitucas, tampinhas e canudos são os lixos mais encontrados em praias do Brasil. Disponível em: <[https://www.nationalgeographicbrasil.com/planeta-ou-plastico/2018/09/bitucas-tampinhas-e-canudos-sao-os-lixos-mares-limpos-onu?fbclid=IwAR3-EAxksqbszagla0m2l6rrSqmQzHa9Uk5XSW1rxU\\_OCa72CMaATSMu\\_m4](https://www.nationalgeographicbrasil.com/planeta-ou-plastico/2018/09/bitucas-tampinhas-e-canudos-sao-os-lixos-mares-limpos-onu?fbclid=IwAR3-EAxksqbszagla0m2l6rrSqmQzHa9Uk5XSW1rxU_OCa72CMaATSMu_m4)>. Acessado em: 09/11/2018.

NATIONAL GEOGRAPHIC. 2019. Cigarette butts are toxic plastic pollution? Should they be banned?. Disponível em <<https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/08/cigarettes-story-of-plastic/>>. Acessado em: 02/03/2020.

NBC NEWS. 2018. Plastic straw ban? Cigarette butts are the single greatest source of ocean trash. Disponível em: <<https://www.nbcnews.com/news/us-news/plastic-straw-ban-cigarette-butts-are-single-greatest-source-ocean-n903661>> Acessado em: 20/10/2018.

NECKEL JUNIOR, Lorenço. Processamento de telhas cerâmicas por compactação de pós e queima em forno a rolo. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

NORMAN, A. Tobacco - Production, Chemistry and Technology. Davies, D.L.; Nielsen, M.T. (Edts). Blackwell Publishing. Oxford, p. 353-387, 1999.

NOVOTNY, T. E.; SLAUGHTER, E., Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption. Current Environmental Health Reports, [s.l.], v. 1, n. 3, p.208-216, 6 maio 2014. Springer Nature.

NOVOTNY, T. *et al.*, Cigarettes Butts and the Case for an Environmental Policy on Hazardous Cigarette Waste. International Journal Of Environmental Research And Public Health, [s.l.], v. 6, n. 5, p.1691-1705, 20 maio 2009. MDPI AG.

O GLOBO. 2019. Além da Amazônia, incêndios se espalham por diversos cantos do mundo, como Sibéria, Indonésia e o continente africano. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/alem-da-amazonia-incendios-se-espalham-por-diversos-cantos-do-mundo-como-siberia-indonesia-o-continente-africano-23916812>>. Acessado em: 04/11/2019.

OCEAN CONSERVANCY. 2019. The beach and beyond - 2019 Report. Disponível em: <<https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2019/09/Final-2019-ICC-Report.pdf>>. Acessado em: 04/11/2019.

OIGMAN-PSZCZOL, Simone Siag; CREED, Joel Christopher. Quantification and Classification of Marine Litter on Beaches along Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. Journal Of Coastal Research, [s.l.], v. 232, p.421-428, mar. 2007. Coastal Education and Research Foundation.

OLIVIER, J.G.J. *et al.* Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O in 1990. Environmental Pollution, [s.l.], v. 102, n. 1, p.135-148, 1998. Elsevier BV.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A., Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. 590 p.

ONU BR – Organização das Nações Unidas no Brasil. 2018. OMS: 1 em cada 5 pessoas no mundo fuma. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/oms-1-em-cada-5-pessoas-no-mundo-fuma/>> Acessado em: 24/10/2018.

PADILHA, A. F., Materiais de Engenharia: Microestrutura e Propriedades. Curitiba: Hemus, 2000. p.343.

PEÇANHA JUNIOR, L. A. F., Reformulação de massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes. 2006. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro – Campos dos Goytacazes.

PERAÇA, M. G.; MACHADO, L. M. M.; RODRIGUES, L. M., Inibidor de corrosão obtido por lixiviação de cigarro após seu consumo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, XII. Anais. São Carlos: UFScar, 2017. p. 1 - 6.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F., Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. Cerâmica, [s.l.], v. 56, n. 339, p.237-243, jul. 2010. FAPUNIFESP (SCIELO).

PHONPHUAK, N.; CHINDAPRASIRT, P., Types of waste, properties, and durability of pore-forming waste-based fired masonry bricks. Eco-efficient Masonry Bricks And Blocks, [s.l.], p.103-127, 2015. Elsevier.

PRACIDELLI, S., MELCHIADES, F.G. 1997. A importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. Cerâmica Industrial, v.2, n.1-2, jan./abr., p.31-35.

PULS, J.; WILSON, S. A.; HÖLTER, D., Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review. Journal Of Polymers And The Environment, [s.l.], v. 19, n. 1, p.152-165, 20 nov. 2010. Springer Nature.

PUREZA, J. C. C., Utilização de resíduos industriais de baixa granulometria em massas cerâmicas de argila vermelha: aspectos tecnológicos e ambientais. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RAUT, S.P.; RALEGAONKAR, R.V.; MANDAVGANE, S.A., Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 25, n. 10, p.4037-4042, out. 2011. Elsevier BV.

RIOS, D. A. M.; OLIVEIRA, F. D. S., Resíduo de cigarro: uma proposta de manejo ambiental. IN: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 1., 2018, Brasília. Gramado-rs: Conresol, 2018. p. 1 - 5.

RIBEIRO, I. A.; AKIKONAGASHIMA, L., Papel e resíduos sólidos: redução urgente, compromisso de aluno consciente. Paraná: Governo do Estado de Paraná, 2013. 18 p.

RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. (2003). Aspectos fundamentais sobre a extrusão de massas cerâmicas vermelhas. *Cerâmica Industrial*, v. 8, n. 1. p. 37-42.

REIS, J. P., Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Engenharia Mecânica, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville, 2007.

ROUTE BRASIL. 2018. Cigarro ganha do plástico e é o maior responsável por poluição dos oceanos. 2018. Disponível em: <<https://routebrasil.org/2018/10/29/cigarro-ganha-do-plastico-e-e-o-maior-responsavel-por-poluicao-dos-oceanos/?fbclid=IwAR1pA8hRnNBH8tVD6q7Y6X8NITNz0sw5wdjAcIHLdTX2fWNVWTDuL1hQza0>>. Acessado em: 14/11/18.

SANTOS, P.S. (1989). *Ciência e tecnologia das argilas*, 2ª Ed., São Paulo, Edgard Blucher, v.1, 405p.

SANTOS, J. G. *et al.*, A importância das cooperativas de reciclagem na gestão dos resíduos sólidos urbanos: um estudo em uma cooperativa de Campina Grande – PB. In: XIV Seminários Em Administração, 14. Campina Grande: SEMEAD, 2011, p. 17.

SARANI, N. A.; KADIR, A. A., Thermal Conductivity of Fired Clay Bricks Incorporated with Cigarette Butts. *Advanced Materials Research*, [s.l.], v. 690-693, p.919-924, maio 2013. Trans Tech Publications.

SARANI, N. A.; KADIR, A. A., Experimental and Theoretical Analysis on Thermal Conductivity of Fired Clay Bricks Incorporated with Cigarette Butts. *Applied Mechanics And Materials*, [s.l.], v. 465-466, p.872-876, dez. 2013. Trans Tech Publications.

SENNA, A. M.; MENEZES, J.; BOTARO, V. R., Estudo da densidade de ligações cruzadas em géis superabsorventes obtidos do acetato de celulose. *Polímeros*, v. 23, n. 1, p. 59-64, 2011.

SESC RIO - Serviço Social do Comércio. 2015. Acabe com o vício do cigarro. Disponível em: <[www.sescrj.org.br/noticia/28/08/15/acabe-com-o-vicio-do-cigarro](http://www.sescrj.org.br/noticia/28/08/15/acabe-com-o-vicio-do-cigarro)> Acessado em: 24/10/2018.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. 2015. Cerâmica Vermelha: Panorama de mercado no Brasil. Disponível em:<[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/\\$File/5846.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/$File/5846.pdf)> Acessado em: 03/10/2018.

SENAC - Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial. 2016. Rede transforma filtros de cigarro, a popular bituca, em papel. Disponível em: <[www.setor3.com.br/rede-transforma-filtros-de-cigarro-a-popular-bituca-em-papel/](http://www.setor3.com.br/rede-transforma-filtros-de-cigarro-a-popular-bituca-em-papel/)> Acessado em: 24/10/2018.

SILVA, G. P. B. *et al.*, O uso de resíduos sólidos como forma alternativa para aplicação na indústria cerâmica com foco na redução dos impactos ambientais. In:

XXXV Encontro Nacional De Engenharia De Producao, 35. Fortaleza: ABEPRO, 2015. p.13.

SINDITABACO - Sindicato da Indústria do Fumo da Região Sul do Brasil. Dimensões do Setor. 2019. Disponível em: <<http://sinditabaco.com.br/sobre-o-setor/dimensoes-do-setor/>>. Acessado em: 17/10/2019.

SINTEMA-MT - Sindicato dos Servidores Público da Carreira dos Profissionais do Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso. 2019. Pontas de cigarro são biodegradáveis?. Disponível em: <[http://www.sintemamt.org.br/noticias/exibir.asp?id=864&noticia=Pontas\\_de\\_cigarro\\_sao\\_biodegradaveis](http://www.sintemamt.org.br/noticias/exibir.asp?id=864&noticia=Pontas_de_cigarro_sao_biodegradaveis)>. Acessado em 04/11/2019.

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.

SLAUGHTER, E. *et al.*, Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. *Tobacco Control*, [s.l.], v. 20, n. 1, p.i25-i29, 18 abr. 2011. BMJ.

SLEIMAN, M. *et al.*, Formation of carcinogens indoors by surface-mediated reactions of nicotine with nitrous acid, leading to potential thirdhand smoke hazards. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, [s.l.], v. 107, n. 15, p.6576-6581, 8 fev. 2010. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

SOUZA, V. P., Análise dos gases emitidos na produção de cerâmicas com adição de resíduos industriais. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.

SOUSA, R. S. *et al.*, Composição química de capim-tanzânia adubado com nitrogênio e fósforo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, [s.l.], v. 39, n. 6, p.1200-1205, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO).

SOUSA, D. C. G.; MATOS, L. L.; ARAUJO, M. K. S., A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia De Produção. Anais. João Pessoa: ABEPRO. 2016. p. 16.

SOUZA CRUZ. Importância global. Disponível em: <[http://www.souzacruz.com.br/group/sites/SOU\\_AG6LVH.nsf/vwPagesWebLive/DO9YDBC9?opendocument](http://www.souzacruz.com.br/group/sites/SOU_AG6LVH.nsf/vwPagesWebLive/DO9YDBC9?opendocument)> Acessado em: 20/10/2018.

SOUZA, V. P. *et al.*, Avaliação de gases poluentes oriundos da queima de argila com adição de escória de aciaria. *Cerâmica*, [s.l.], v. 54, n. 332, p.472-475, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO).

SPERB, H. H., Estudo de viabilidade técnica de adição de resíduo da Indústria Fumageira na confecção de blocos cerâmicos estruturais. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.



SUAREZ-RODRIGUEZ, M.; LOPEZ-RULL, I.; GARCIA, C. M., Incorporation of cigarette butts into nests reduces nest ectoparasite load in urban birds: new ingredients for an old recipe?. *Biology Letters*, [s.l.], v. 9, n. 1, p.20120931-20120931, 5 dez. 2012. The Royal Society.

TAVARES, S. F.; GRIMME, F. W., Análise de Processos Produtivos em Cerâmica Vermelha – Estudo de caso comparativo entre Brasil e Alemanha. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., Fox do Iguaçu: Entac, 2002. p. 722 - 732.

TOLEDO, R. *et al.*, Gas release during clay firing and evolution of ceramic properties. *Applied Clay Science*, [s.l.], v. 27, n. 3-4, p.151-157, dez. 2004. Elsevier BV.

TONON, F. A. L. *et al.*, A utilização de bitucas de cigarro recicladas em projetos de hidrossemeadura. Campinas: UNICAMP, 2012. 6 p.

TORKASHVAND, J. *et al.*, Littered cigarette butt as a well-known hazardous waste: A comprehensive systematic review. *Journal Of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 383, p.121242, fev. 2020. Elsevier BV.

TUBINO, L. C. B.; BORBA, P., Etapas do Processo Cerâmico e sua Influência no Produto Final – Massa, Extrusão, Secagem e Queima. Rio Grande do Sul: Senai-RS, 2006. 19 p.

UGUCIONE, C. *et al.*, Processos diurnos e noturnos de remoção de NO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> atmosféricos na região de Araraquara-SP. *Eclética Química*, [s.l.], v. 27, n. , p.103-112, 2002. FapUNIFESP (SciELO).

UNIMED. 2018. Medicina Preventiva - Saúde – Tabagismo. Disponível em: <<https://www.unimedfranca.com.br/medicina-preventiva---saude---tabagismo>> Acessado em: 24/11/2018.

VALLERO, D. A., *Fundamentals of Air Pollution*.4. Ed.: [s.l.], Elsevier, 2008. 942 p.

VAN VLACK, L. H., *Princípios de Ciências dos Materiais*. 13. ed. São Paulo: Abdr, 2000. 427 p.

VEJA. 2017. O tabagismo no mundo e no Brasil. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/blog/letra-de-medico/o-tabagismo-no-mundo-e-no-brasil/>> Acessado em: 24/10/2014.

WANG, L. *et al.*, Super-capacitive Performance of Waste Cigarette Butts Derived N-doped Carbon Electrode. *Rengong Jingti Xuebao/journal Of Synthetic Crystals*, China, v. 48, p.550-554, 01 mar. 2019.

WENDER, A.A.; BALDO, B.B. O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico - Parte II. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v.3, n.1-2, p.34-36, 1998.

WIECK, R.; DUAİLÍBI, J., Extrusão em Cerâmica Vermelha: Princípios Básicos, Problemas e Soluções. *Cerâmica Industrial*, [s.l.], v. 18, n. 3, p.16-23, 2013. Editora Cubo Multimídia.

YAKUB, I.; DU, J.; SOBOYEJO, W. O., Mechanical properties, modeling and design of porous clay ceramics. *Materials and Science & Engineering A*, v. 558, p. 21 - 29, 2012.

ZHANG, Lianyang. Production of bricks from waste materials – A review. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 47, p.643-655, out. 2013. Elsevier BV.