



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

FRANCISCO ALDO MARCENO MAIA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MISTURAS CERÂMICAS
UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA**

FORTALEZA

2018

FRANCISCO ALDO MARCENO MAIA

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MISTURAS CERÂMICAS
UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Alexandra de Sousa Rios.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M186a Maia, Francisco Aldo Marceno.
Análise das propriedades físicas das misturas cerâmicas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha /
Francisco Aldo Marceno Maia. – 2018.
67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios.

1. Cerâmica vermelha. 2. Argilas. 3. Misturas cerâmicas. I. Título.

CDD 620.1

FRANCISCO ALDO MARCENO MAIA

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MISTURAS CERÂMICAS
UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria Alexandra de Sousa Rios (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Sílvio Veras Albuquerque
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Francisco e Silvia,
e a minha amada namorada, Desyrée.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, que tem me concedido todas as coisas.

Aos meus pais, Francisco e Silvia, por todo apoio e contribuição ao longo da minha jornada.

À Desyrée Fernandes, meu grande amor que me incentivou para a conclusão deste trabalho, pelos conselhos e apoio constante e por ter compreendido a minha ausência e a importância do meu esforço.

À Prof^a. Dr^a. Maria Alexandra Sousa Rios, por incentivar a minha iniciação científica, pela disponibilidade e excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira e Prof. Dr. José Sílvio Veras Albuquerque pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Agradeço aos demais colegas e professores, que auxiliaram na realização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo identificar as propriedades físicas das misturas com traços 1:1 e 3:2, de argila forte e argila fraca, utilizadas na fabricação de tijolos de uma jazida de cerâmica vermelha localizada no Município Itaitinga - Ceará. A necessidade de melhoria na qualidade do produto levou a uma investigação das características destes traços, estabelecendo os pilares para o desenvolvimento deste trabalho. A massa cerâmica foi conformada em 30 corpos de prova, com molde de dimensões 117,4 x 25 x 14,6 mm, prensado uniaxialmente a duas toneladas, sendo submetido à sinterização com taxa de aquecimento de 10 °/min com patamares de queima de 800 °C, 850 °C e 900 °C, por um período 1 hora, sendo 5 corpos de prova para cada sinterização. As propriedades determinadas foram: retração linear de secagem, retração linear de queima, perda de massa, absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente. Os resultados demonstraram que, de acordo com a análise estatística (ANOVA), o melhor traço foi o 1:1 a 850 °C.

Palavras-chave: Cerâmica Vermelha, Argila, Mistura das matérias primas, Sinterização.

ABSTRACT

The present work had the objective of identifying the physical properties of the mixtures with 1: 1 and 3: 2 traces of strong clay and weak clay, used in the manufacture of bricks from a red clay deposit located in Itaitinga - Ceará Municipality. The need for improvement in product quality led to an investigation of the characteristics of these traits, establishing the pillars for the development of this work. The ceramic mass was formed in 30 test specimens, with a mold of 117.4 x 25 x 14.6 mm, uniaxially pressed to two tons, being submitted to sintering with a heating rate of 10 ° / min with firing levels of 800 ° C, 850 ° C and 900 ° C, for a period of 1 hour, with 5 specimens for each sintering. The properties determined were: linear retraction of drying, linear retraction of burning, loss of mass, water absorption, apparent porosity and apparent specific mass. The results showed that, according to the statistical analysis (ANOVA), the best trace was 1:1 at 850 ° C.

Keywords: Red ceramics, Clay, Mixture of raw materials, Sintering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Principais regiões produtoras de cerâmica vermelha no estado do Ceará....	18
Figura 2	– Estrutura dos principais argilominerais.....	22
Figura 3	– Fluxograma da cadeia produtiva da cerâmica vermelha.....	25
Figura 4	– Sistema de dosagem por pesagem.....	30
Figura 5	– Sistema de dosagem por volume.....	30
Figura 6	– Misturador horizontal.....	31
Figura 7	– Curva de Bigot.....	37
Figura 8	– Forno hoffmann.....	40
Figura 9	– Resumo do procedimento experimental.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Retração linear de queima para o traço 1:1.....	54
Gráfico 2	– Retração linear de queima para o traço 3:2.....	54
Gráfico 3	– Perda de massa ao fogo para o traço 1:1.....	56
Gráfico 4	– Perda de massa ao fogo para o traço 3:2.....	56
Gráfico 5	– Absorção de água para o traço 1:1.....	58
Gráfico 6	– Absorção de água para o traço 3:2.....	59
Gráfico 7	– Porosidade aparente para o traço 1:1.....	60
Gráfico 8	– Porosidade aparente para o traço 3:2.....	61
Gráfico 9	– Massa específica aparente para o traço 1:1.....	62
Gráfico 10	– Massa específica aparente para o traço 3:2.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção brasileira de cerâmica vermelha em 2008.....	16
Tabela 2 – Panorama da produção brasileira de cerâmica vermelha ao longo dos anos de 2006 a 2010 (em bilhões de unidades).....	17
Tabela 3 – Número de empresas de cerâmica vermelha e produção nacional por estado.....	17
Tabela 4 – Matérias-primas utilizadas e características do processo de fabricação da cerâmica vermelha.....	19
Tabela 5 – Critérios de classificação das argilas.....	20
Tabela 6 – Critérios de classificação mineralógica das argilas.....	22
Tabela 7 – Processos básicos de secagem utilizados na indústria cerâmica.....	35
Tabela 8 – Principais vantagens e desvantagens da secagem natural e artificial.....	36
Tabela 9 – Principais reações químicas provocadas pelo aumento da temperatura.....	38
Tabela 10 – Principais variações nas propriedades físico-química e mecânica da peça cerâmica.....	38
Tabela 11 – Principais eventos ao longo do aquecimento no processo de queima.....	43
Tabela 12 – Análise dos fenômenos da curva de queima, de acordo com a variação de temperatura.....	43
Tabela 13 – Percentual de resíduo bruto para as argila forte e fraca.....	52
Tabela 14 – Percentual de resíduo bruto para as misturas argila forte e fraca.....	52
Tabela 15 – Retração linear de secagem para os traços 1:1 e 3:2.....	53
Tabela 16 – Retração linear de queima para os traços 1:1 e 3:2.....	54
Tabela 17 – Perda de massa ao fogo para os traços 1:1 e 3:2.....	55
Tabela 18 – Absorção de água para os traços 1:1 e 3:2.....	58
Tabela 19 – Porosidade aparente para os traços 1:1 e 3:2.....	60
Tabela 20 – Massa específica aparente para os traços 1:1 e 3:2.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ATD	Análise térmica diferencial
ATG	Análise termogravimétrica
BNB	Banco do Nordeste
EELA	Eficiência Energética em Ladrilleras
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
ITEP	Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco
MEA	Massa específica aparente
MME	Ministério de Minas e Energia
PA	Porosidade aparente
PF	Perda de massa ao fogo
PIB	Produto Interno Bruto
RB	Percentual de resíduo bruto
RLq	Retração linear de queima
RLs	Retração linear de secagem
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	15
2.1	Objetivos específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Indústria da cerâmica vermelha	16
3.2	Matéria-prima	19
3.2.1	<i>Fração argilosa</i>	21
3.2.2	<i>Fração não argilosa</i>	23
3.3	Processo produtivo	24
3.3.1	<i>Extração da matéria-prima</i>	25
3.3.2	<i>Estocagem da matéria-prima</i>	27
3.3.3	<i>Preparação da massa</i>	27
3.3.3.1	<i>Moagem da matéria-prima</i>	27
3.3.3.1.1	Moinho de martelo.....	28
3.3.3.1.2	Moinho de galga.....	28
3.3.3.1.3	Peneira.....	28
3.3.3.2	<i>Dosagem e alimentação</i>	29
3.3.3.2.1	Dosagem por pesagem.....	29
3.3.3.2.2	Dosagem por volume.....	30
3.3.3.3	Desintegração.....	30
3.3.3.4	<i>Mistura</i>	31
3.3.3.5	<i>Laminação</i>	31
3.3.3.6	<i>Descanso da massa argilosa</i>	32
3.3.4	Moldagem das peças	32
3.3.4.1	<i>Moldagem com pasta plástica consistente</i>	33
3.3.4.2	<i>Moldagem a seco</i>	33
3.3.4.3	<i>Corte das peças</i>	34
3.3.5	Secagem das peças	34
3.3.6	Queima	37
3.3.6.1	<i>Fornos</i>	39
3.3.6.1.1	Forno contínuo.....	39

3.3.6.1.1.1	Forno Hoffmann.....	39
3.3.6.1.1.2	Forno Túnel.....	41
3.3.6.1.2	Forno intermitente.....	41
3.3.6.1.2.1	Forno caieira.....	42
3.3.6.1.2.2	Forno chama reversível (tipo abóboda).....	42
3.3.6.2	<i>Transformações ao longo do processo de queima.....</i>	43
3.3.7	<i>Estocagem e expedição dos produtos finais.....</i>	45
4	MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1	Ensaio preliminares.....	46
4.1.1	<i>Seleção do traço.....</i>	46
4.2	Caracterização da matéria-prima – ensaios tecnológicos.....	47
4.2.1	<i>Retração linear de secagem.....</i>	49
4.2.2	<i>Retração linear de queima.....</i>	49
4.2.3	<i>Perda de massa ao fogo.....</i>	49
4.2.4	<i>Absorção de água.....</i>	50
4.2.5	<i>Porosidade aparente.....</i>	50
4.2.6	<i>Massa específica aparente.....</i>	51
5	RESULTADOS E DISCURSSÃO.....	52
5.1	Seleção dos traços.....	52
5.2	Ensaio tecnológicos.....	53
5.2.1	<i>Retração linear de secagem.....</i>	53
5.2.2	<i>Retração linear de queima.....</i>	53
5.2.3	<i>Perda de massa ao fogo.....</i>	55
5.2.4	<i>Absorção de água.....</i>	57
5.2.5	<i>Porosidade aparente.....</i>	59
5.2.6	<i>Massa específica aparente.....</i>	62
6	CONCLUSÃO.....	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

O estudo das matérias primas cerâmicas empregadas pela indústria da cerâmica vermelha é muito importante para podermos identificar as proporções adequadas das misturas ou traços, entre argila forte e fraca, que serão utilizados para o desenvolvimento do produto cerâmico com características desejadas. Os traços afetam diretamente nas propriedades físicas e, conseqüentemente, nas características do produto final.

Diante disso as propriedades físicas como a retração linear, absorção de água, porosidade e massa específica dependem diretamente da mistura de argila escolhida. Um arranjo inadequado pode ocasionar em problemas no desenvolvimento dos produtos e no processo, como no desperdício de matéria prima e geração de retrabalho, assim a falta de controle dessas propriedades podem gerar prejuízos para a indústria ceramista. Por outro lado, uma boa dosagem da matéria prima garante eficiência na produção, qualidade no produto final e economia de matéria-prima.

Nessa perspectiva, percebe-se a necessidade de se avaliar as formulações de massa cerâmica e analisar as propriedades físicas derivadas delas, a fim de descobrir as melhores proporções de argila que conseguirão garantir uma melhor qualidade do produto e produtividade do processo.

2 OBJETIVO

O objetivo geral da presente pesquisa foi de avaliar as propriedades físicas das misturas cerâmicas, para verificar se os traços 1:1 e 3:2 de argilas fortes e fracas são adequados para processo industrial de produtos cerâmicos.

O uso de um traço ideal pode proporcionar ao produto cerâmico as melhores propriedades, que irão assegurar a qualidade do produto e do processo, reduzindo possíveis problemas, oriundos de uma mistura inadequada, que possam a vir causar danos materiais, econômicos e ambientais para a indústria ceramista.

2.1 Objetivos Específicos

- Estudar o comportamento, frente aos ensaios físicos dos corpos de prova sinterizados em diferentes temperaturas.
- Determinar, dentre os corpos de prova selecionados, os que apresentaram melhor resultado nos ensaios físicos de forma a garantir qualidade do produto produzido.
- Selecionar e avaliar estatisticamente os resultados dos ensaios dos corpos de prova que satisfizeram os valores limites recomendados para fabricação dos materiais cerâmicos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 INDÚSTRIA DA CERÂMICA VERMELHA

O setor da cerâmica vermelha abrange a área de revestimento, como os ladrilhos, azulejos e entre outros materiais utilizados no setor de acabamento, e a área de materiais de construção, como as telhas, tijolos etc. (SEBRAE, 2015). A diversidade de produtos cerâmicos fica muito evidente quando observamos a variedade de materiais que são utilizados na construção civil como blocos, telhas, tijolos, tubos para saneamento e também pelos inúmeros produtos domésticos como painéis de barro e filtros utilizados no dia-a-dia.

Para atender a toda esta demanda de produtos no Brasil, em 2008 a indústria da cerâmica vermelha era formada por 6.903 empresas, conforme Tabela 1. Apresentando um faturamento anual de R\$ 18 bilhões, com uma geração de cerca de 290 mil empregos diretos e de 900 mil empregos indiretos, seus produtos, blocos cerâmicos e telhas, representavam cerca de 90% das alvenarias e coberturas construídas no Brasil e possuía um PIB (Produto Interno Bruto) correspondente a 4,8% da indústria da construção civil (ANICER, 2018), evidenciando a importância do setor na economia nacional.

Tabela 1 – Produção brasileira de cerâmica vermelha em 2008.

Produtos	Nº Empresas Aproximado	% Aproximado por Área	Prod./Ano (Nº de Peças)	Consumo-Ton/Mês (Matéria Prima: Argila)
Blocos/Tijolos	4346	63%	4.000.000.000	7.800.000
Telhas	2547	36%	1.300.000.000	2.500.000
Tubos	10	0,10%	325,5 Km*	–
Total	6903	99%	5.300.000.000	10.300.000

Fonte: ANICER (2008 *apud* IBGE, 2018)

Nota: (*)Produção apontada pela Associação Latino-Americana de Fabricantes de Tubos Cerâmicos (Acertubos), considerando o número de 10 empresas, responsáveis pela fabricação de 3.906 km/ano.

O Ministério de Minas e Energia (MME), em 2011 avaliou que a produção estimada de cerâmica, de 2010, foi de 84,8 bilhões de peças/ano, com um consumo médio estimado de 170 Mt de argila, pois em média são utilizados 2,0 kg/peça. Sendo que dessa produção estima-se que 70% correspondiam a blocos e tijolos, 30% a telhas. A produção brasileira de cerâmica vermelha de 2006 a 2010 apresentou um crescimento de 16,5% na produção de blocos e tijolos, de 56,8% na produção de telhas e no total teve um ganho de 26,6%, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Panorama da produção brasileira de cerâmica vermelha ao longo dos anos de 2006 a 2010 (em bilhões de unidades).

Produtos/Ano	2006	2007	2008	2009	2010
Blocos/Tijolos	51,00	53,00	57,00	57,00	59,40
Telhas	16,20	17,40	19,00	19,00	25,40
Total	67,20	70,40	76,00	76,00	84,80

Fonte: Revista Brasil Mineral (2010 apud MME, 2011).

Para o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) em 2012 as principais regiões de de produção de cerâmica vermelha foram São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná, que juntas corresponderam a mais de 50% da produção nacional, conforme a Tabela 3. O Ceará vem na 8ª posição com 207 mil milheiros por mês, sendo o segundo maior produtor da região nordeste ficando atrás apenas da Bahia com 210 mil milheiros por mês produzidos.

Tabela 3 – Número de empresas de cerâmica vermelha e produção nacional por estado.

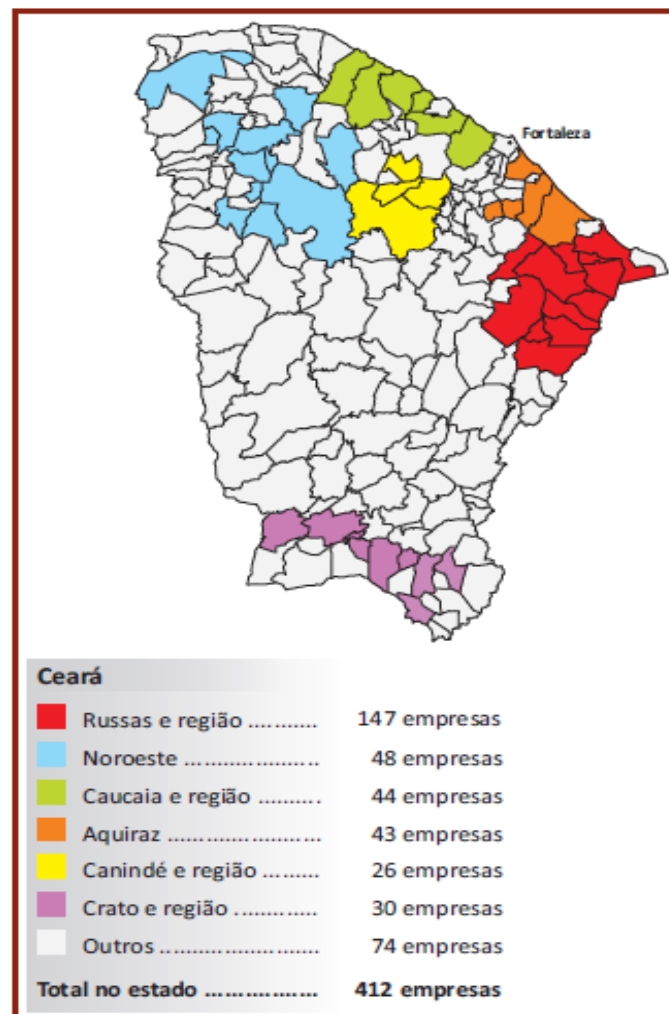
Estados	Nº de empresas	Produção Nacional (10 ³ milheiros/mês)
São Paulo	750	731
Minas Gerais	740	426
Rio Grande do Sul	795	356
Paraná	620	288
Rio de Janeiro	207	220
Santa Catarina	625	213
Bahia	520	210
Ceará	412	207
Goiás	350	170
Rio Grande do Norte	186	111
Piauí	123	77
Pernambuco	90	68
Maranhão	91	53
Espírito Santo	110	50
Pará	500	46
Amazonas	100	43
Paráíba	66	41
Tocantins	100	40
Sergipe	156	38
Mato Grosso do Sul	120	24
Alagoas	70	23

Mato Grosso	150	21
Rondônia	80	20
Acre	21	9
Amapá	40	5
Distrito Federal	16	5
Roraima	30	2
Total	7068	3497

Fonte: Adaptado da INT, 2017.

Segundo o INT, o Ceará conta com cerca de 412 empresas, conforme Figura 1, sendo 23% microempresas, 75% empresas de pequeno porte e 2% empresas de médio porte, com 75% da produção volta para tijolos e 25% para telhas. As principais regiões são Russas com 70.000 milheiros/mês, seguido de Canindé com 37.360 milheiros/mês e Caucaia com 33.052 milheiros/mês.

Figura 1 – Principais regiões produtoras de cerâmica vermelha no estado do Ceará.



Fonte: INT (2017).

3.2 MATÉRIA-PRIMA

De acordo com MOTTA e ZANARDO (2001), a matéria-prima empregada no processo ceramista pode ser classificada em plástica e não plástica, sendo a primeira composta por argila comum, argila plástica e caulim, e a segunda composta, principalmente, por feldspato, filito, talco, etc. Na Tabela 4 estão relacionados os produtos da cerâmica vermelha com os tipos de matérias-primas, bem como algumas características do processo de conformação e temperatura de queima.

A matéria-prima mais utilizada pela indústria da cerâmica vermelha é a argila comum, porém a massa extraída da natureza, além da argila comum, contém alguns resíduos de matéria orgânica, impurezas e minérios de ferro, estes contribuem para a sua sinterização nas temperaturas de queima (entre 800 e 1.100 °C) (BNB, 2010).

Tabela 4 – Matérias-primas utilizadas e características do processo de fabricação da cerâmica vermelha.

Classificação		Produto	Matéria-prima							Processo de conformação				Temperatura de Queima (°C)							
Tipo de cerâmica	Grupo/Setor		Plástica	Não-plástica						Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	>1.200		
		Argila comum	Argila plástica	Caulim	Feldspato	Filto	Talco	Calcário	Quartzo											Outros	
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	Cerâmica vermelha	Blocos, Lajes	P									P									
		Telhas	P				O					P	P								
		Agregado leve	P								O	P									

Fonte: ZANDONADI (1988). Adaptado pelo autor.

*P: Processo de composição principal (>20%); O: Processo de composição ocasional.

A argila é constituída por uma fração argilosa, formada pelos argilominerais que conferem propriedades plásticas, ou seja, gera uma maior capacidade de deformação, e por uma fração não argilosa, formada pelos minerais acessórios, que proporcionam características não plásticas à argila reduzindo a sua capacidade de deformação (DEER, 1992).

Segundo SOUSA, SILVA e GOMES (2004) os argilominerais são os principais constituintes da argila e quando estão em presença de água apresentam uma série de propriedades como plasticidade, resistência mecânica a úmido, tixotropia, esta é a mudança de viscosidade, e viscosidade de suspensão aquosa, que amplificam suas aplicações tecnológicas.

A argila pode ser diferenciada em argila gorda (maior teor de argilominerais, elevada plasticidade e uma granulometria fina) e argila magra (maior teor de impurezas, menor teor de argilominerais, rica em quartzo e menor plasticidade), esta é utilizada na preparação de massa para reduzir a plasticidade da argila (BNB, 2010). A preparação de massa é o processo, no qual realizamos a mistura de argila magra com argila gorda, dentro de proporções adequadas, a fim de obtermos uma distribuição granulométrica mais adequada ao processo, ou seja, obtermos uma massa com as características de plasticidade, granulometria e mineralogia adequada ao produto final.

De acordo com MOTTA e ZANARDO (2001), as argilas apresentam diversos critérios de classificação (Tabela 5), e os 02 principais são em relação à cor da queima (critério principal) e em relação à mineralogia (critério secundário).

Tabela 5 – Critérios de classificação das argilas.

Critérios de classificação	Exemplo de terminologia usuais
Aplicação	Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas plásticas para cerâmica branca; caulim; argila refratária; bentonitas; argilas descorantes.
Composição mineralógica	Argilas caulínicas; caulim; esmectita e argilas esmectíticas; illita e argilas illíticas; gibbsita e argilas gibbsíticas; argilas calcíticas; de composição mista.
Litologia	Folhelho; argilito; siltito; ritmito; varvito; argila turfosa; argila calcárea.
Cor de queima	Argila de queima vermelha; argila de queima branca, de queima clara etc.
Composição química	Argilas alcalinas; argilas ferruginosas; argilas carbonáticas, argilas aluminosas
Temperatura de sinterização e refratariedade	Argilas fundentes e argilas refratárias
Origem geológica (alteração-transporte)	Argilas sedimentares; argilas de alteração ou alteritas; argilas residuais ou primárias; argilas transportadas ou secundárias; argila coluvial.
Origem geológica (ambiente deposicional)	Argilas marinhas; de várzea; de planície costeira, lacustre, deltáica; de estuário; glacial.
Cronológico(idade)	Argilas quaternárias, argilas terciárias, argilas fanerozóicas, gondwânicas.
Contexto Geomorfológico - geológico	Argila de baixo ou baixio, argila de várzea, argila de planície, argila de alto, argila de bacia sedimentar, argila formacional, argila de barranco, de morro.
Plasticidade	Argila plástica; argila semi-plástica; argila gorda; argila magra
Granulometria	Argila, argila siltica; argila arenosa
Denominações locais	Taguá (taguá mole, taguá duro); tabatinga; torba
Terminologia internacionais	Ball clay; underclay; fuller clay, flint clay etc.

Fonte: MOTTA e ZANARDO (2001).

Segundo PRACIDELLI e MELCHIADES (1997) as argilas plásticas (industrialmente conhecidas como “argila gorda”) apresentam maiores teores de argilominerais e menores teores de minerais acessórios, com isso temos uma elevada plasticidade, granulometria fina (grãos abaixo de 2 μm), elevada reatividade química e sinterabilidade, entretanto, as argilas não plásticas (industrialmente conhecidas como “argila magra”) apresentam maiores teores de

minerais acessórios e menores teores de argilominerais, por isso temos uma menor plasticidade, granulometria mais grossa e arredondada, menor superfície específica e elevada estabilidade térmica. Devido a estas divergências de propriedades entre as argilas plásticas e não plásticas, há a necessidade de realizar uma mistura entre elas para que seja alcançada uma distribuição granulométrica apropriada que atenda às necessidades do produto final.

3.2.1 FRAÇÃO ARGILOSA

O corpo cerâmico é formado geralmente em maior parte por argilominerais, que após o processo de queima transformam-se em um material cristalino. Esta fração argilosa do corpo cerâmico é responsável por conferir-lhe moldabilidade, aumento de plasticidade e atua como agente de suspensão em meio aquoso, sendo o responsável pela retração após secagem e pelo aumento da resistência mecânica do corpo cerâmico após o processo de queima (ANDRADE, 2009). Os argilominerais são filossilicatos hidratados com estrutura lamelar hexagonal. Quando são aquecidos perdem água absorvida e constitucional, e quando submetido a altas temperaturas, formam materiais refratários (DUTRA, 2007).

A fração argilosa possui estrutura cristalina constituída por camadas tetraédricas e octaédricas, constituídas por átomos ou íons de hidroxila e de oxigênio com a presença de pequenos cátions ao redor, principalmente Si^{4+} e Al^{3+} . O tipo de argilomineral e as substituições que podem ocorrer em sua estrutura são definidos com base na ordem das camadas e no espaçamento entre elas (SANTOS, 1989).

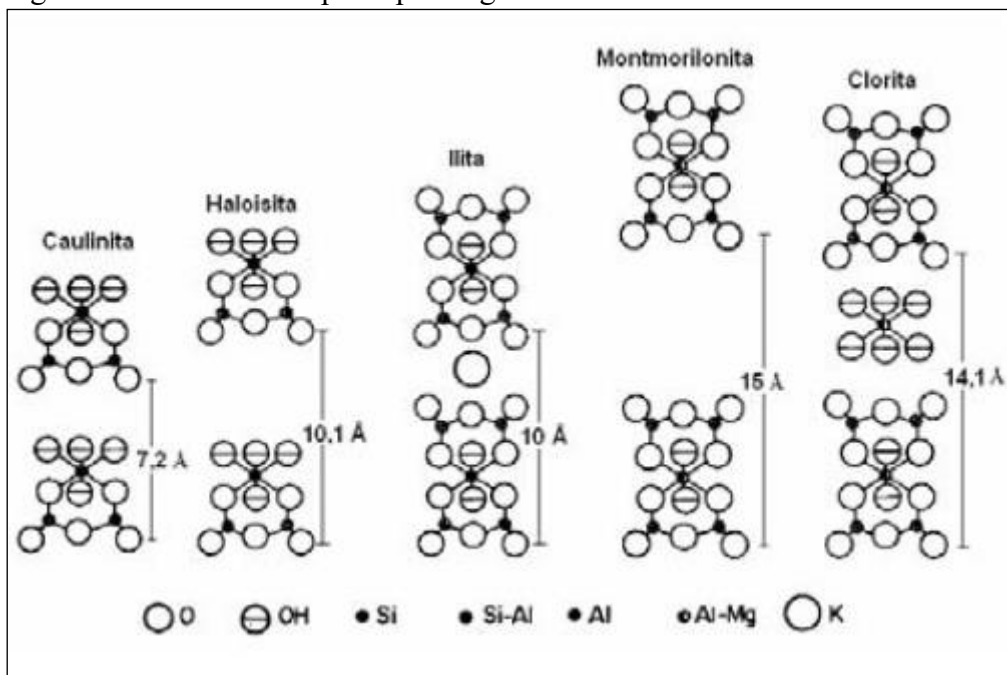
Os principais grupos de argilominerais são o grupo da caulinita, da esmectita, da illita e da clorita, conforme Tabela 6 (critérios de classificação mineralógica) e figura 2 (estrutura).

Tabela 6 – Critérios de classificação mineralógica das argilas.

Grupo	Características
Caulinita	Argilomineral de maior quantidade: caulinita;
	Argilomineral de menor quantidade: nacrita, diquita e haloisita;
	Estrutura: bilaminar (02 camadas), composta por camada tetraédrica de SiO ₄ , com possibilidades de substituição de Si ⁴⁺ por Al ³⁺ e por uma camada octaédrica tipo 1:1 de Al ₂ (OH) ₆ , com possibilidade de substituição de Al ³⁺ por Fe ²⁺ e/ou Mg ²⁺ . (figura 2).
	Plasticidade reduzida, maior tendência de formar mulita e aumentar a velocidade de secagem das peças.
	Não recomendado para cerâmicas vermelhas, pois apresenta comportamento refratário no processo de queima e dificulta o alcance do nível de porosidade adequado.
Esmectita	Argilomineral de maior quantidade: montmorilonita
	Estrutura: trilaminar (03 camadas), composta por 02 camadas tetraédricas e 01 camada octaédrica tipo 1:2; (figura 2)
	Capacidade de absorção de água, maior plasticidade e menor tendência de formar mulita.
ilita	Conhecidos como minerais micáceos ou mica hidratada
	Estrutura parecida com a da montmorilonita, a diferença é que na ilita há um substituição maior de Al ³⁺ por Si ⁴⁺ . Consequências desta substituição, as camadas são rigidamente ligadas, não se expandem e apresentam uma distância interplanar basal de 10 Å. (figura 2).
Clorita	Estrutura: tetralaminar (04 camadas), composta por 02 camadas tetraédricas e 04 camadas octaédricas (figura 2).

Fonte: SANTOS (1989) e DUTRA (2007).

Figura 2 – Estrutura dos principais argilominerais.



Fonte: DUTRA, 2007.

Os argilominerais podem ser classificados em ordem crescente de plasticidade (caulinita < ilita e clorita < montmorilonita), ordem crescente de velocidade de secagem (montmorilonita < ilita < caulinita), ordem crescente de granulometria (ilita < caulinita) e ordem crescente de refratariedade (ilita < caulinita) (DUTRA, 2007).

3.2.2 FRAÇÃO NÃO ARGILOSA

A composição da fração não argilosa é formada pelos minerais acessórios, que são compostos pelas sílicas, carbonatos, feldspatos, compostos de ferro e titânio, sais solúveis e matéria orgânica, Barba et al. (1997 apud ANDRADE, F. L. F., 2009).

A sílica apresenta estrutura básica SiO_2 , sendo encontrada em 03 formas principais, quartzo, tridimita e cristobalita, todas elas apresentam estruturas cristalinas distintas e são classificadas em dois tipos, α (se modifica em temperaturas baixas) e β (modifica-se em temperaturas elevadas). O quartzo- α é estável até a temperatura 573°C , o quartzo- β é estável de 573 a 870°C , a tridimita- α não é estável nesta forma, a tridimita- β é estável de 870 a 1470°C , a cristobalita- α não é estável nesta forma, o quartzo- β é estável de 1470 a 1713°C . O quartzo é sílica encontrada na argila e sua presença reduz a plasticidade, reduz a retração após a queima e após a secagem, reduz o tempo de secagem, porém eleva a refratariedade, reduzindo a resistência mecânica (DEER, 1992).

Segundo ANDRADE (2009) os feldspatos compreendem os alumino-silicatos ou alcalinos terrosos. Para indústria cerâmica são utilizados feldspatos que apresentam temperatura de fusão relativamente baixa, como a albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), a amortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e ortoclase (KAlSi_3O_8), pois reduzem a temperatura de queima e a porosidade do produto. São geralmente encontrados na natureza ligados com o quartzo ou com outras impurezas.

De acordo com Zandonadi et al. (1991 apud BETINI, F. L. F., 1988), os carbonatos aparecem na argila como calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e magnesita (MgCO_3), apresentam-se na argila com uma granulometria fina e homogênea, quando a temperatura de queima atinge os 950°C iniciam as reações entre argilominerais e o quartzo, ocasionando na formação de silicatos de cálcio. É responsável por fazer a regulação da porosidade da peça cerâmica, por aumentar o intervalo de queima, atenuar a expansão por umidade do material e reduzir a retração linear do material (DUTRA, 2007).

Os óxidos de ferro encontrados na argila natural são considerados impureza, os principais tipos são: hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$) e lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$), além de formas combinadas como a magnetita ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) e a ilmetita ($\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$), a presença de ferro na argila ocasiona na redução da estabilidade térmica (devido ao abaixamento da temperatura de desidroxilação) (LEITE *et al.*, 2000). O ferro confere uma coloração vermelhada ou amarelada à argila, isto se deve à oxidação deste composto.

A matéria-orgânica aumenta a plasticidade e a resistência mecânica das peças a cru, ou seja antes da sinterização (MOTTA *et al.*, 2001).

3.3 PROCESSOS PRODUTIVOS

De acordo com SANTOS (2003), o processo produtivo empregado no Brasil é o tradicional com empresas classificadas no ramo da indústria de transformação, mas devidos às etapas de exploração e extração de matéria-prima, elas podem ser definidas também como indústrias primárias.

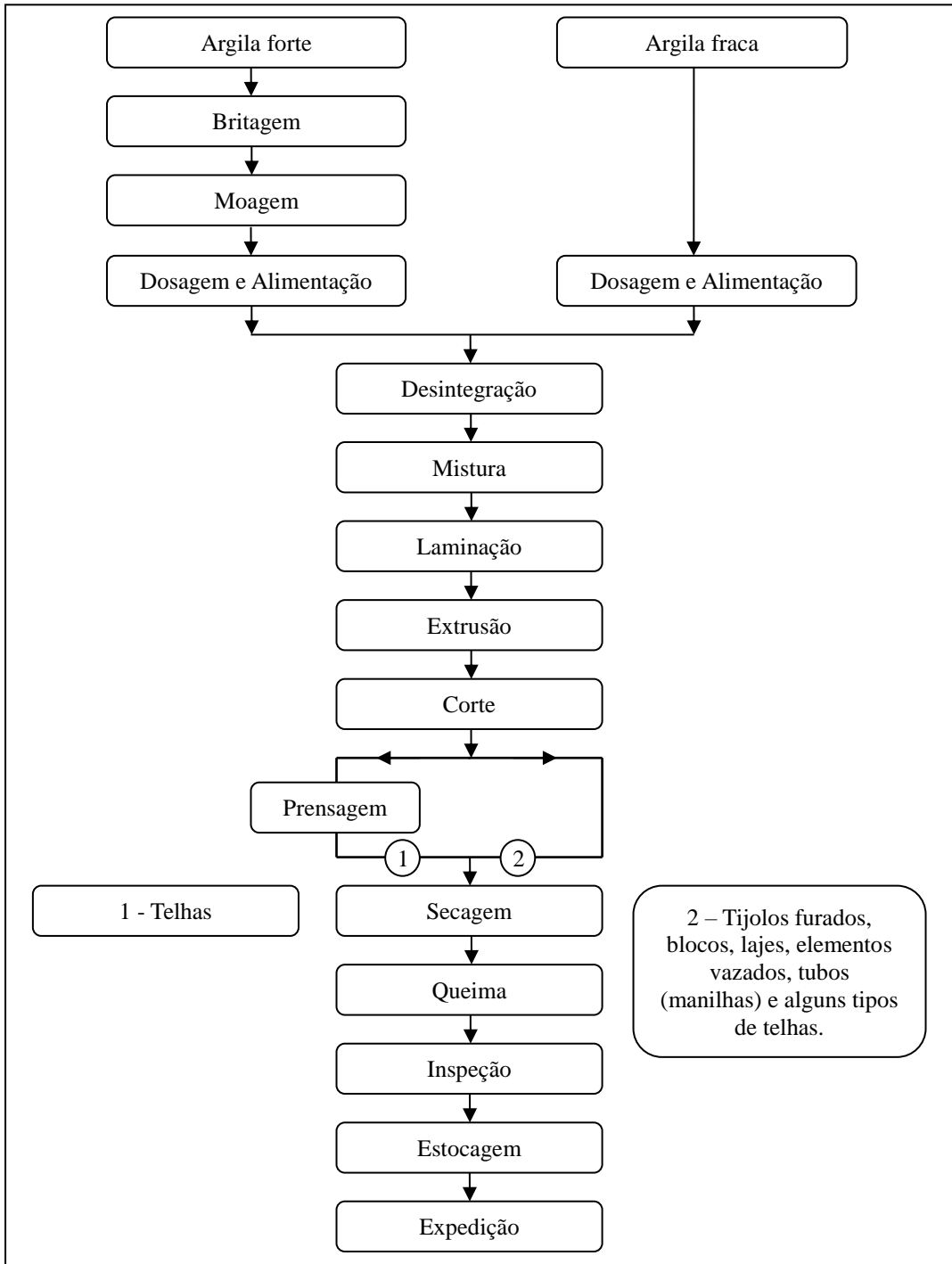
Desta forma, o processo produtivo da cerâmica vermelha se divide em duas fases, a primeira que envolve a exploração e a extração da matéria-prima, no caso a argila, e a segunda fase, de transformação, que abrange os processos envolvidos até a obtenção do produto final (SEBRAE, 2008).

Segundo Monteiro (2007, p. 20) o processo produtivo da cerâmica vermelha é caracterizado primeiro pela pesquisa da jazida, que corresponde ao estudo da área a ser explorada para determinar se a viabilidade na exploração da jazida, segundo pela extração da matéria-prima, terceira pelo sazonalamento, que corresponde à estocagem da matéria-prima a céu aberto, quarto pela preparação da massa, nesta fase envolve a moagem, a britagem, a peneiração, a alimentação, a destorroação, a mistura e a laminação, quinto pela conformação das peças, sexto pela secagem, sétimo pela queima, oitavo pela classificação dos produtos e nono pela expedição dos produtos.

A cadeia produtiva da cerâmica vermelha pode ser estruturada conforme as etapas de fabricação da Figura 3. Na preparação da massa a matéria-prima é coletada e armazenada em depósitos para serem homogeneizadas. Em seguida, passam no caixão alimentador, onde serão separadas as quantidades para a produção. A próxima etapa é o desintegrador, onde terão seus grãos reduzidos. Em seguida, as argilas são levadas para o misturador, que homogeneiza a mistura e a massa é levada para o laminador, onde serão separadas em lâminas, passam pela extrusora ou maromba, que modela a massa conforme o molde escolhido, vão para o cortador, onde as peças serão seccionadas na dimensão esperada, passam pela secagem, queima, para adquirirem as características desejadas e por fim para a estocagem e expedição, na qual serão separadas as peças sem defeitos das que apresentaram defeito (SEBRAE, 2008).

“Independente das fases serem ou não desempenhadas pela mesma empresa, elas estão intimamente interligadas e interferem no desempenho de toda a cadeia produtiva” (SEBRAE, 2008).

Figura 3 – Fluxograma da cadeia produtiva da cerâmica vermelha.



Fonte: ABC (2002). Adaptado pelo SEBRAE (2008).

3.3.1 EXTRAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Um dos processos mais importantes da cadeia produtiva da cerâmica vermelha, pois está relacionado diretamente com a qualidade do produto final (ABDI, 2016).

Para a realização da extração o empreendedor deverá realizar um estudo de determinados fatores, a fim de viabilizar a produção ceramista, como a verificação da qualidade das terras que contém a argila, que geralmente são de má qualidade, a análise de como eliminar estes materiais indesejados, quanto de toneladas diárias de matéria-prima deverão ser extraídas e como esta matéria-prima deverá ser tratada a posteriori (PETRUCCI, 1976).

Para MONTEIRO (2007) a extração da matéria-prima classifica-se em dois tipos, a de extração a céu aberto e extração subterrânea. A primeira consiste na remoção de toda camada de solo arável até alcançar as camadas de argila e a segunda é obtida através da construção de túneis subterrâneos que acompanham as camadas de argila.

Na extração a céu aberto é retirado todo o material que está a uma camada acima da argila, para em seguida a matéria-prima ser extraída. Neste processo é realizado o decapeamento da jazida, pois a camada acima contém o material prejudicial ao processo e ao produto, exemplos destes materiais são os pedregulhos, restos vegetais, etc. esse tipo de extração é realizada, principalmente, nos taguás (argila rosa) e nas argilas de várzeas (PRACIDELLI, 1975).

De acordo com MONTEIRO (2007), a extração do taguás é realizada de forma visual, na qual a argila é selecionada conforme o seu aspecto físico, em forte, médio e fraco. A primeira apresenta uma maior plasticidade e uma textura mais fina, por ser mais pura. A segunda tem em sua composição uma maior quantidade de areia (sílica fina), resultando em uma menor plasticidade e uma textura mais grossa. A terceira é mais arenosa, ou seja, tem uma textura bem mais grossa que a média, e conseqüentemente, apresenta uma plasticidade menor, esta fica localizada entre a crosta e o solo arável. Os principais equipamentos utilizados são as retroescavadeiras e até dinamites, no caso de materiais muito duros e compactos.

A extração de argilas de várzeas é considerada um processo mais complexo, pois exige além do decapeamento, à drenagem e remoção das águas, assim o uso de máquinas automáticas fica restrito. Com isso, são utilizados serviços manuais, com pás e enxadas, para a extração do material argiloso, que são transportados até um local firme, através de carrocinhas, e após um tempo quando a matéria-prima está parcialmente seca, há o transporte até a olaria, por meio de caminhões ou basculantes, onde serão estocadas (PRACIDELLI, 1975).

3.3.2 ESTOCAGEM DA MATÉRIA-PRIMA

De acordo com MONTEIRO (2007), a estocagem é realizada em um período de 6 meses a céu aberto, com propósito de aumentar a plasticidade das argilas, realizar a lavagem dos sais solúveis, decomposição da matéria orgânica e alívio das tensões, oriundas das quebras de ligações químicas.

A estocagem pode ser realizada em áreas que estejam próximas as jazidas ou na própria olaria. Estes depósitos ficam expostos às intempéries (sol, chuva e ventos), por um período de mais de 6 meses, pois este período corresponde ao tempo mínimo para que haja a decomposição de determinados compostos que prejudicam a qualidade do produto final, como as piritas, carbonatos, sulfatos e a matéria orgânica. Destes depósitos são removidas fatias que são homogeneizadas em laminadores ou misturador filtro, e em seguida secas em máquinas secadoras, para depois serem levadas para serem estocadas em galpões, onde são identificadas para posteriormente passarem por um moagem final (PRACIDELLI, 1975).

3.3.3 PREPARAÇÃO DA MASSA

Para MONTEIRO (2007) a preparação da massa é caracterizada por cinco etapas: a moagem, a dosagem, a desintegração, a mistura e a laminação. Um dos fatores mais importantes nessa fase é a dosagem das argilas, forte e fraca, e de seus aditivos, que influenciam diretamente nas características do produto final.

3.3.3.1 Moagem da matéria-prima

Para MONTEIRO (2007) a moagem tem como objetivo a redução da granulometria dos grãos. Consequentemente, temos uma maior superfície de contato entre os grãos, isto favorece a homogeneização dos grãos, melhorando o empacotamento e a qualidade do produto final. As máquinas mais utilizadas são o britador de mandíbula, o moinho de galga, o moinho de martelo e a peneira.

De acordo com PRACIDELLI (1975), este processo realiza a divisão do material por meio de moinhos, reduzindo a granulometria até um nível relativamente fino. Nesta etapa os equipamentos mais utilizados são o moinho de rolos cilíndrico e o moinho de martelo.

A seleção de máquinas deverá atender determinados atributos, no que diz respeito, ao grau de redução do material, o consumo de energia, o rendimento e ao desgaste das peças

(MONTEIRO, 2007). Percebesse que estes equipamentos estarão expostos a materiais bastante grosseiros, com isso acabam por apresentar um desgaste prematuro de seus componentes, e devido ao esforço excessivo demandam um consumo maior de energia.

3.3.3.1.1 Moinho de martelo

Uma das máquinas mais utilizadas é o moinho de martelo, na qual os martelos são classificados em articulados e fixos, composto ou de aço manganês ou cromo. A moagem é realizada por golpes ou impactos, contra as paredes. O material que será moído deverá apresentar diâmetros na ordem de 7,6 até 15,2 cm, com uma umidade média de 5%, no caso de materiais plásticos. Na parte inferior do moinho há um tipo de grelha feita de aço 1020 ou 1045, ambos temperados, para a passagem do material e a granulometria é controlada pela abertura da grelha (PRACIDELLI, 1975).

Segundo MONTEIRO (2007) a granulação após a desintegração do moinho de martelo é da ordem de 0,5 cm a 0,01 cm de diâmetro, com um formato pontiagudo. A potência necessária para a realização da tarefa vai de 2,0 a 40,0 HP.

3.3.3.1.2 Moinho de galga

O moinho de galga é formado por duas mós (mesas) verticais, de forma cilíndrica e tendo como principais compostos o aço-manganês ou o granito. O processo de moagem é realizado por esmagamento e fricção, o material que será moído deverá apresentar diâmetros na ordem de 0,5 cm a 3,0 cm, com uma umidade média de 8%, podem ser utilizados tanto materiais de alta e de baixa resistência, como de elevada ou reduzida elasticidade (PRACIDELLI, 1975).

MONTEIRO (2007) explana que o material que sai do moinho de galga, é da ordem de diâmetros abaixo de 0,01 cm, com formato arredondado, as máquinas trabalham com potências nas faixas de 2 até 25 HP.

3.3.3.1.3 Peneira

Para MONTEIRO (2007) a peneira é o elemento responsável pelo processo de separação de grãos em duas ou mais frações, na qual obtemos um granulometria final mais

uniforme, com uma melhor distribuição granulométrica, conseqüentemente, após o processo de queima obtemos um produto mais denso e empacotado.

De acordo com PETRUCCI (1976), a peneiração é bastante útil, pois além de separar o material por granulometria, também elimina as impurezas constituídas de partículas com granulometria elevada e com elevada dureza, conseqüentemente, temos uma melhoria na qualidade do produto final.

As peneiras podem ser classificadas em dois grupos, o primeiro é de acordo com o movimento relativo do material, na qual apenas o produto se move, como no caso das grelhas, e o segundo é com sistema de peneiras móveis, na qual a peneira e o produto movem-se, como exemplos temos as peneiras vibratórias, peneiras oscilantes e as rotativas (PRACIDELLI, 1975).

3.3.3.2 Dosagem e alimentação

Após o processo de moagem os materiais são armazenados em boxes ou silos, para serem pesados e medidos, este processo de dosagem pode ser a seco ou a úmido e pode ser feito por volume ou pesagem (PRACIDELLI, 1975).

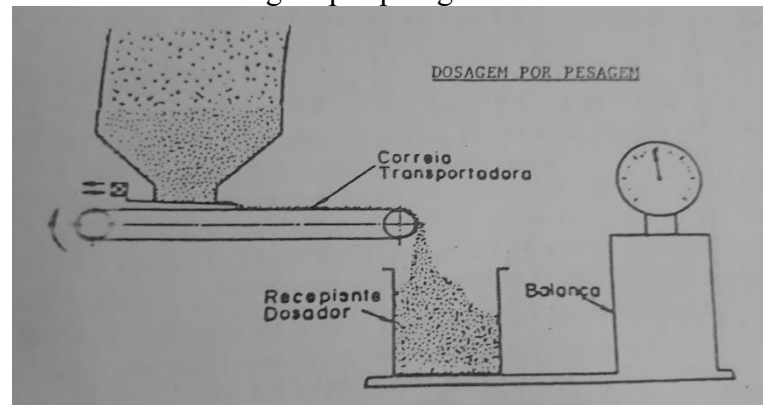
De acordo com MONTEIRO (2007) o equipamento responsável pela dosagem e alimentação é o caixão alimentador, entre suas principais funções estão a alimentação constante e uniforme de argila para os equipamentos subseqüentes, e o controle do abastecimento e ajuste de vazão mássica.

Para SUDENE & ITEP (1988) as matérias-primas são dosadas nas razões de 2:1, 3:1 ou 4:1 no caixão alimentador, estas proporções dependerão das características desejadas para os produtos finais.

3.3.3.2.1 Dosagem por pesagem

Segundo PRACIDELLI (1975) a dosagem por pesagem (Figura 4) apresenta uma elevada precisão, porém tem que ser realizada com materiais estritamente secos, nas fábricas mais modernas é um processo realizado de maneira completamente automática.

Figura 4 – Sistema de dosagem por pesagem.

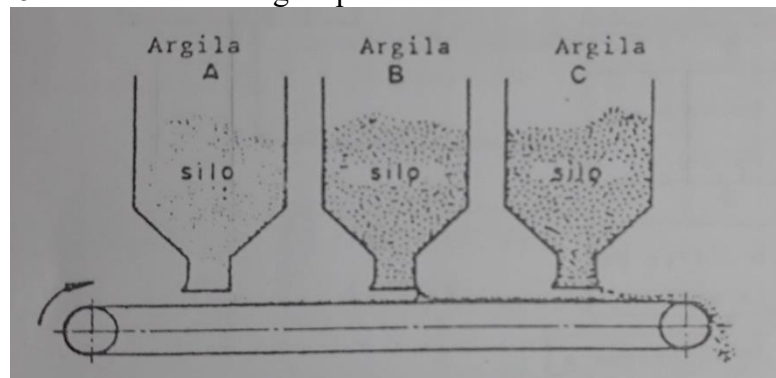


Fonte: PRACIDELLI (1975).

3.3.3.2 Dosagem por volume

A dosagem por volume (Figura 5) é um processo bem mais simples que consiste apenas no enchimento do silo, recipiente que será depositada a argila, e após o volume escolhido o mesmo é esvaziado, este processo pode ser realizado de forma contínua ou descontínua, nesse processo para que tenhamos uma boa precisão os recipientes devem estar cheios sempre da mesma forma, com o mesmo nível e com granulações e umidade parecidas (PRACIDELLI, 1975).

Figura 5 – Sistema de dosagem por volume.



Fonte: PRACIDELLI (1975).

3.3.3.3 Desintegração

Para MONTEIRO (2007) o processo de desintegração é responsável por fazer a diminuição da granulometria da argila que vem do dosador e também, por fazer o controle do percentual de umidade da matéria-prima.

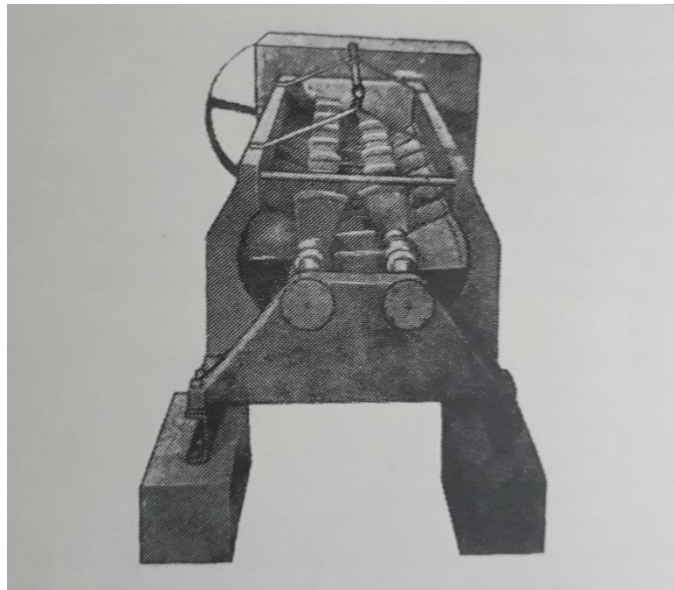
Segundo SUDENE & ITEP (1988) a argila vem do caixão alimentador e é levada ao desintegrador através de correia transportadora, de modo que ao chegar ao desintegrador seus torrões maiores serão triturados, de forma que facilitem a operação dos laminadores.

3.3.3.4 Mistura

O processo tem como objetivo realizar a homogeneização da mistura de massa argilosa (MONTEIRO, 2007).

Para PETRUCCI (1976) as máquinas utilizadas para realizarem este processo, são amassadoras-misturadoras, o tipo mais comum é o misturador horizontal (Figura 6), com dupla fila de pás helicoidais que são colocadas horizontalmente no caixão. O processo consiste em transportar a massa gradativamente do centro até sua saída para onde segue ao laminador.

Figura 6 – Misturadora horizontal.



Fonte: PETRUCCI (1976).

3.3.3.5 Laminação

Segundo MONTEIRO (2007) o processo de laminação tem como funções o fracionamento dos grãos da massa cerâmica e a mistura da mesma, à medida que a massa vai sendo fracionada, ela é misturada com o restante de argila, há também o direcionamento das partículas de argila, com isso temos uma redução nas perdas e uma melhora no acabamento do produto final.

De acordo com PRACIDELLI (1975), o laminador é um equipamento que é composto por dois cilindros, que giram com velocidades distintas, no máximo 6 m/s, com rotações que diferem na ordem de 30 e 40 rpm, o diâmetro ideal do cilindro, para amassar as partículas mais duras da argila, é de 800 mm ou mais, com uma distância entre os cilindros de no máximo 0,7 mm. Os laminadores realizam a eliminação das pedras que são repelidas no decorrer da passagem da argila pelos cilindros (SUDENE & ITEP, 1988).

3.3.3.6 Descanso da massa argilosa

Para MONTEIRO (2007) após a laminação é muito importante que a massa argilosa passe por um processo de descanso, em um intervalo de no mínimo 02 dias, para que se obtenha a uniformização da umidade do material. O local onde a matéria será armazenada deverá ser fechado e livre de ventos, para que não ocorra a desidratação das camadas superiores do material.

3.3.4 MOLDAGEM DAS PEÇAS

Para BAUER (1979) a moldagem é a operação de transformação da pasta cerâmica numa determinada forma desejada, ela é dividida em quatro processos básicos, que são a moldagem a seco (4 a 10% de água), a moldagem com pasta plástica consistente (20 a 35% de água), a moldagem com pasta plástica mole (25 a 40% de água) e a moldagem com pasta fluida (30 a 50% de água). Na indústria cerâmica os processos mais utilizados são o da moldagem com pasta plástica consistente e moldagem a seco, esta última produz tijolos e telhas de qualidade superior, porém exige um aporte maior de capital.

A conformação é a fase onde a mistura de argila é transformada nas peças desejadas, nesta etapa os principais métodos utilizados são a tornearia, a colagem, a extrusão e a prensagem (PRACIDELLI, 1975). Esses dois últimos métodos são os utilizados pela indústria da cerâmica vermelha.

Segundo Limaverde (1983, p. 55), “Esse processo se dá pela extrusão ou prensagem, sendo que o primeiro processo é o mais difundido”.

3.3.4.1 Moldagem com pasta plástica consistente

Este processo de moldagem com pasta plástica na literatura atual é referenciado como processo de extrusão.

Para BAUER (1979), este processo requer uma umidade da massa em torno de 20 a 35% e o equipamento utilizado é a extrusora. Nesta máquina é realizada a conformação da peça por meio de uma pressão aplicada à pasta cerâmica, fazendo com que ela passe através de um bocal, formando em sua saída um filme uniforme e contínuo com o formato da peça desejado.

A extrusão é o processo no qual a argila é comprimida e forçada a passar através de uma boquilha, o molde que dá o formato ao produto final. A extrusora, também conhecida como maromba, é a máquina responsável pela realização da extrusão, e é composta por um dispositivo propulsor, um bocal e um cortador (PRACIDELLI, 1975).

Segundo MONTEIRO (2007), a maromba é responsável pela compactação das massas de argila dando forma ao produto tensionado, nela as massas pastosas são colocadas em uma estrutura alimentadora e são arrastadas pelo dispositivo propulsor que tensiona a massa, fazendo-a passar através da boquilha conformando à peça. Os dispositivos responsáveis por comprimirem a massa podem ser de pistão, de cilindro ou propulsor de hélice.

De acordo com Limaverde (1983, p. 55)

A maromba a vácuo produz a extrusão da massa cerâmica, após a extração de todo o ar possível existente na massa cerâmica; com isso se obtêm produtos de melhor qualidade, devido à melhor compactação e plasticidade conferida à argila. Numa maromba a vácuo a argila é alimentada numa câmara devidamente umidificada; em seguida, é trabalhada e então forçada, através de uma placa perfurada, por parafuso sem-fim. Quando os pequenos filetes de massa emergem da placa perfurada são novamente fragmentados por uma lâmina. Caem, então, numa câmara, na qual é mantido um vácuo de 26 polegadas de mercúrio. Nessa câmara, a massa de argila é trabalhada e consolidada em uma estrutura homogênea, sem ar, sendo, em seguida, extrusada por um parafuso através do bocal onde é colocado o molde.

3.3.4.2 Moldagem a seco

Neste processo, a massa deve apresentar uma umidade em torno de 5 a 6% e a máquina utilizada é a prensa automática ou a maromba, esta última realiza seu procedimento através de um mecanismo de parafuso sem-fim (PETRUCCI, 1976).

Já BAUER (1979), este processo requer uma umidade em torno de 4 a 10% de água e o equipamento utilizado é a prensa. A ordem de tensão nestas máquinas é da ordem de 50 a 7000 kgf/cm², as vantagens deste processo são a eliminação das bolhas e a redução na

utilização da água. Em alguns casos o material a ser prensado primeiro passa por uma extrusora, sendo pulverizado em seguida para posteriormente ir para a prensa.

As prensas realizam o processo de conformação da peça por meio da compressão da pasta cerâmica no molde, elas são bastante utilizadas em tijolos de pisos, como as lajotas e em telhas.

3.3.4.3 Corte das peças

Após o processo de extrusão quando as peças saem da maromba elas precisam ser cortadas no tamanho desejado, então para isso são empregados cortadores. Estes são classificados em automáticos e manuais (PRACIDELLI, 1975).

O cortador manual utiliza fios esticados em um quadro móvel espaçado, o corte é realizado de forma transversal a peça, que regressa ao cortador através dos roletes (MONTEIRO, 2007).

Já os cortadores automáticos são utilizados de três formas diferentes, no caso temos o corte vertical rápido, na qual o fio descende na vertical para efetuar o corte e depois retorna a sua posição primitiva pelo mesmo corte efetuado, temos também o corte horizontal rápido, onde o fio percorre a peça na horizontal e regressa a sua posição inicial pelo mesmo caminho percorrido, e por fim temos o corte oblíquo (PRACIDELLI, 1975).

3.3.5 SECAGEM DAS PEÇAS

Para MONTEIRO (2007) a secagem é responsável pela retirada de umidade da peça, nesse processo o calor é absorvido pelo material por meio da convecção, radiação e condução e à medida que a energia térmica vai sendo absorvida a peça vai perdendo umidade através da evaporação, as peças são consideradas secas quando apresentam teores de umidade abaixo de 3%.

Segundo PRACIDELLI (1975) uma peça cerâmica pode ser considerada seca quando apresenta uma umidade residual de 1 a 2%. Neste teor de umidade as peças já podem ser manuseadas, pois já apresentam rigidez, isto ocorre por causa da coesão entre as partículas.

O mecanismo da secagem é delineado por dois fenômenos que ocorrem concomitantemente e com mesma velocidade até a suspensão ou o final da secagem, no caso o primeiro é a evaporação do material que ocorre em sua superfície, e o outro é a difusão que

ocorre em seu interior, neste processo a água interna se desloca das zonas internas de maior concentração para as zonas externas de menor concentração (PETRUCCI, 1976).

De acordo com LIMAVERDE (1983), a secagem pode ser realizada ao ar livre ou através de secadores artificiais, no primeiro caso são empregados secadores naturais como os galpões ao ar livre, neste caso as peças são secas pela ação dos ventos, no segundo caso são utilizadas estufas equipadas com ventiladores, estes deslocam o ar quente para o seu interior onde as peças estão paletizadas, devido a esta passagem de ar na câmara térmica há a aceleração da evaporação nas peças. Uma das vantagens dos secadores artificiais é a redução do tempo de secagem, devido a esta aceleração.

BAUER (1979) esclarece que existem 4 processos básicos de secagem (Tabela 7), que são a secagem natural, a secagem por ar quente-úmido, secadores de túnel e secagem por radiação infravermelha.

Tabela 7 – Processos básicos de secagem utilizados na indústria cerâmica

Secagem natural	É o mais comum, mais lento, e exige grande área. O material fica em telheiros longos ou depósitos parcialmente fechados de madeira próximos ao forno de queima, para o aproveitamento do calor, a peça também fica protegida do sol e é exposta a uma ventilação controlada.
Secagem por ar quente-úmido	O material fica em secadores, quando o material está úmido, ele é exposto ao ar quente com elevada umidade, quando ele apresenta uma umidade baixa, ele é apenas exposto ao ar quente para que perca o restante da água por capilaridade, dessa forma é reduzida a chance de deformações inadequadas.
Secadores de túnel	As peças são postas em um carrinho de mina e são deslocadas lentamente ao longo de um túnel no sentido da menor (40°) para a maior temperatura (150°).
Secagem por radiação infravermelha	Apresenta peças com uma baixa deformação e ótima precisão, e oferece um alto rendimento, porém é a menos utilizada, devido ao seu alto custo e por apenas ser útil para peças delgadas.

Fonte: Bauer (1979). Elaborado pelo autor.

Para FEAM (2013) existem dois tipos de secagem, a natural e artificial, e ele apresenta as principais as principais vantagens e desvantagens, conforme descrito na Tabela 8.

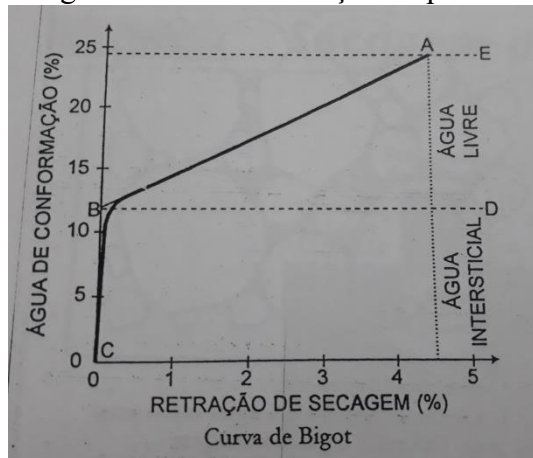
Tabela 8 – Principais vantagens e desvantagens da secagem natural e artificial.

Secagem natural	Vantagens	Menor custo com geração de calor; Favorece o processo em locais com condições climáticas favoráveis.
	Desvantagens	Apresenta um tempo maior de secagem; Baixa produtividade; Depende do fator climático.
Secagem artificial	Vantagens	Apresenta um tempo menor de secagem; Alta produtividade; Melhor qualidade da secagem
	Desvantagens	Maior custo com a geração de calor; Requer uma maior capacitação técnica dos operadores.

Fonte: FEAM (2013). Elaborado pelo autor.

Alguns cuidados devem ser observados durante o processo de secagem como no caso das retrações, que geram tensões no interior da cerâmica, que podem provocar o surgimento de imperfeições no produto, para a análise deste evento pode ser utilizada a curva de Bigot (Figura 7) que representa a percentagem da retração de secagem nas abscissas pela percentagem de água de conformação, e dependendo desta percentagem de água sabemos se à presença de água livre (12 a 15%) e água intersticial (0 a 11,9%), conforme a Figura 7 abaixo o segmento AB é a fase na qual a cerâmica elimina sua água livre, nesta etapa a cerâmica inicia em média com 25% de umidade e é a fase mais crítica, pois é nela que ocorrem as retrações, que podem causar empenamentos e trincas na peça, no segmento BC ocorre a perda de água intersticial, esta fase inicia com uma umidade em média de 10,9% (umidade crítica), a partir deste ponto crítico a cerâmica perderá apenas água intersticial, não ocorrendo mais o fenômeno da retração (MONTEIRO, 2007).

Figura 7 – Curva de Bigot – Análise da retração no processo de secagem.



Fonte: Monteiro (2007).

3.3.6 QUEIMA

O objetivo da queima é estimular a geração de reações (Tabela 9) e transformações nas propriedades químicas e físicas (Tabela 10) no material cerâmico, por meio do calor, conferindo-lhe um corpo cerâmico com propriedades e características desejadas (PRACIDELLI, 1975).

Durante a queima a densidade da peça e a resistência mecânica são aumentadas e a porosidade é reduzida, a intensidade destas propriedades depende da reação de vitrificação, que corresponde a tornar vítrea a superfície de uma peça de argila, esta reação depende da temperatura, do tempo de cozimento e da composição do corpo, assim quanto maior a temperatura de queima, maior será o grau de vitrificação, maior a densidade e resistência mecânica e mais baixa porosidade, porém como os tijolos cerâmicos são cozidos em torno de 900 °C, o seu grau de vitrificação é muito baixo, por isso eles são relativamente porosos (CALLISTER, 2012).

Segundo PETRUCCI (1976) a vitrificação é uma reação que causa a contração e fechamento dos poros da argila devido à queima, não ocorre em tijolos comuns, porém a temperatura é elevada até o início desta reação.

Tabela 9 – Principais reações químicas provocadas pelo aumento da temperatura.

Desidratação	Perda de umidade.
Calcinação	Reações que provocam perda de massa na forma de gases, transformando a estrutura cristalina e a composição química da peça.
Oxidação	Ligação de elementos químicos presentes na peça com o oxigênio da atmosfera do forno.
Sinterização	Ligação atômica dos elementos do material seco, promove o incremento de diversas propriedades à cerâmica, como resistência mecânica, redução da porosidade, etc.

Fonte: Monteiro (2007). Adaptado pelo autor (2018).

Tabela 10 – Principais variações nas propriedades físico-química e mecânicas da peça cerâmica.

Físico-químicas	Mudanças na estrutura química e cristalina, na porosidade, na cor, no tamanho (dilatação ou contração), aumento de resistência a umidade, etc.
Mecânicas	Aumento da resistência à compressão, à tração, à abrasão, etc.

Fonte: Monteiro (2007). Adaptado pelo autor (2018).

Para PETRUCCI (1976) a realização de uma queima eficiente depende da chamada marcha de aquecimento e resfriamento, que corresponde ao tempo total do processo de queima, no caso da marcha lenta a temperatura se eleva e reduz mais devagar, é um método mais conservador, pois reduz as chances de problemas, porém demanda muito combustível, já na marcha rápida a temperatura se eleva e reduz de forma acelerada, a vantagem deste processo está na economia de combustível, porém a uma maior chance do produto apresentar defeitos e com isso ter sua qualidade afetada.

Para conseguirmos ter uma maior eficiência na queima é necessária à realização de uma programação de queima, isto é obtido através da análise da curva de queima que representa um diagrama na qual temos a temperatura que o forno deverá alcançar em função do tempo, esta curva se ajusta aos acidentes térmicos do material cerâmico durante todo o processo de queima, desde o aquecimento ao resfriamento, a curva é plotada com base nos ensaios térmicos, como a análise térmica diferencial (ATD) e a análise termogravimétrica (ATG), e da dilatometria (MONTEIRO, 2007).

De acordo com BAUER (1979), os maiores desafios encontrados para se obter uma queima eficiente depende da velocidade de aquecimento e de resfriamento, atmosfera

ambiente, tipo de forno, combustível utilizado, dá uniformização do calor no forno, pois as peças podem ficar com queimas diferentes, e não só da temperatura alcançada crítica.

Segundo MONTEIRO (2007) a queima é a etapa mais cara de todo o processo cerâmico, isto ocorre devido ao elevado custo com o combustível para manter o nível energético nos fornos de forma adequada para a queima. Em geral, os combustíveis mais utilizados são o óleo, o gás ou a lenha, sendo esta última a mais difundida devido a sua fácil acessibilidade.

3.3.6.1 Fornos

De acordo com Bauer (1979, p. 395)

O cozimento é feito em fornos contínuos e em fornos intermitentes. Nos primeiros a produção é contínua; nos segundos, deve ser cozido um lote de cada vez. Os fornos intermitentes podem ser de calor ascendente ou descendente; os fornos contínuos podem ter ou a carga ou a zona de fogo móvel.

3.3.6.1.1 Fornos contínuos

Para PETRUCCI (1976), os fornos contínuos consistem de uma sucessão de câmaras, de forma que quando uma das câmaras está em funcionamento seus gases quentes são forçados a passar pelas outras câmaras, pois elas são conectadas entre si e a chaminé para a exaustão geralmente fica na última câmara, assim há o pré-aquecimento delas, assim sendo temos uma redução no consumo da lenha e, portanto, uma economia de combustível. E apenas a câmara que está sendo carregada que não participa deste processo.

Os fornos contínuos realizam o processo de queima de modo contínuo sem paradas para descargas ou carregamentos e com o fogo mantido acesso direto, desde o aquecimento até o resfriamento, como exemplo destes fornos tem o forno Hoffman e o forno túnel.

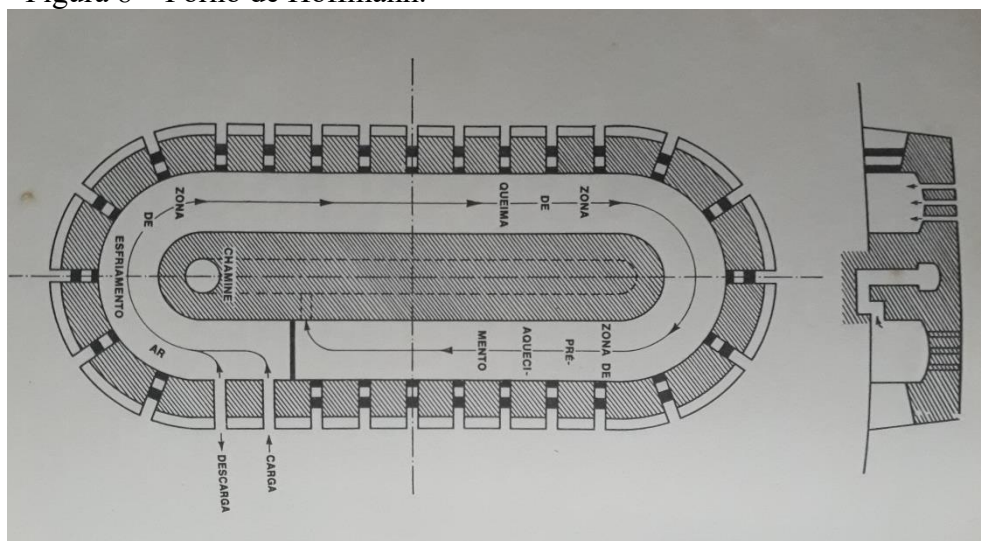
3.3.6.1.1.1 Forno Hoffmann

Segundo BAUER (1979) foi inventado em 1858, é formado pela junção de diversos fornos intermitentes, seu funcionamento baseia-se no uso de ar quente das câmaras de fogo para realizarem a queima e o pré-aquecimento das câmaras seguintes, devido a este pré-aquecimento este forno chega a ser 50% mais econômico que os fornos intermitentes.

Para Limaverde (1983) o forno de Hoffmann (Figura 8) é o melhor forno existente, ele é composto por várias câmaras em sequência e contíguas, contém um sistema de registro que realiza o controle do calor, e é composto de câmaras de fogo e de pré-aquecimento, esta através da dissipação de calor das câmaras de fogo realizam o resfriamento dos produtos, devido a esta recuperação de calor há formação de peças com qualidades superiores.

O forno de Hoffmann tem o formato retangular e internamente é formado por duas longas galerias contínuas, sem paredes transversais com uma série de portas laterais que são utilizadas para permitir o carregamento e descarregamento do forno (MONTEIRO, 2007).

Figura 8 – Forno de Hoffmann.



Fonte: Petrucci (1976).

De acordo com BAUER (1979), contém em média cerca de 14 a 24 câmaras, cada câmara tem cerca de 3 m de largura por 2 de altura e possui uma câmara de fumo, esta dirige os gases para a chaminé, e um agulheiro, este fica na parte superior e através dele é possível colocar o combustível e controlar o fogo, a parte superior do forno é coberto por uma estrutura com telha e em alguns casos esta parte superior é utilizada para secagem, neste forno é realizado um ciclo por dia, com duas cargas diárias, cada uma recebe cerca de 10 a 20 milheiros de tijolos e o combustível usual é a lenha, porém utiliza-se em menor frequência o carvão em pó.

3.3.6.1.1.2 Forno Túnel

Segundo PRACIDELLI (1975, p. 61), “É o clássico e mais simples tipo de forno. É constituído de uma longa galeria retilínea, com altura relativamente pequena comparando-se com o comprimento, que em alguns casos medem 140 m.”

De acordo com BAUER (1979), foi inventado em 1877, e consiste de um longo túnel com a câmara de queima em seu centro, o material a ser queimado é introduzido através de vagonetas móveis em uma extremidade, o lote entra e vai pré-aquecendo, passa pela zona de queima e em seguida vai resfriando até sair do túnel, a movimentação dos carrinhos se dá por correntes ou por um êmbolo de velocidade mínima.

MONTEIRO (2007) esclarece que este forno opera de forma contínua sem interrupção, não há necessidade de aquecer os materiais que constituem o forno, no caso as alvenarias, pois como ele opera sem interrupção a carga térmica nunca resfria, com isso não precisa ser reaquescida. O forno é constituído por três zonas, aquecimento, queima e resfriamento. O primeiro que o material tem contato é com o aquecimento, em seguida ele vai para a queima, esta zona aproveita o ar quente oriundo do aquecimento e utiliza-o como ar de combustão, em seguida o material passa para o resfriamento, esta zona aproveita os gases da combustão provenientes da zona de queima e utiliza-o para retardar a redução de temperatura.

Ainda de acordo com BAUER (1979), o ar que entra se movimenta contra o sentido do material, por isso há o resfriamento do material na saída e à medida que o ar vai avançando no sentido contrário, vai absorvendo calor, e quando chega ele está com energia térmica suficiente para auxiliar o pré-aquecimento do material que está entrando. A seção do forno é pequena para atenuar as perdas de calor e nas câmaras de fogo, em alguns casos são construídas muflas, para que a peça não entre em contato direto com as chamas, estas são produzidas a partir do óleo, porém há fornos alimentados a lenha, carvão, gás, eletricidade, etc. A desvantagem deste forno é o elevado investimento para sua instalação, e também, que só pode ser utilizado um tipo de material, pois ele é projetado com velocidade e poder de queima para um material específico, caso haja a necessidade de troca do material, o forno deverá ser projetado novamente.

3.3.6.1.2 Forno intermitente

São fornos na qual a queima da peça é realizada de forma descontínua, seguindo as seguintes etapas, carregamento, aquecimento, queima, resfriamento e descarregamento, e são

realizadas em forno tipo caieira ou em forno tipo chama reversível ou em forno plataforma (MONTEIRO, 2007).

Segundo PRACIDELLI (1975) o ciclo de queima do forno intermitente apresenta uma fase de carga e de descarga, devido a isso ele apresenta um baixo rendimento produtivo e um custo elevado, esses podem ser classificados em forno circular com chama ascendente e em forno circular com chama invertida. O chama ascendente apresenta um forno em formato redondo, devido a esta configuração tem uma melhor distribuição de calor, sua tiragem é realizada na abóboda por meio da chaminé. O chama invertida, a chaminé pode ficar ao lado do forno, separada e em cima da abóboda com um formato de garrafão, a sua chama sobe pelos condutores rente as paredes, tocam a abóboda e são direcionadas ao centro e em seguida passam pelos canais e chaminé, este tipo de forno é bastante utilizado em materiais que não podem estar em contato direto com o fogo.

3.3.6.1.2.1 Forno caieira

O forno caieira é o mais básico dos fornos, apresentam baixo rendimento térmico, pois o seu consumo de lenha é acima de dois metros cúbicos de lenha por milheiro de peças queimadas, com isso na parte inferior temos peças superqueimadas e na superior peças menos queimadas, sua queima não é bem distribuída e não permite o uso de sistema para recuperação de calor (LIMAVERDE, 1983).

De acordo com BAUER (1979, p. 396)

Forno intermitente comum. É o tipo mais encontrado nas pequenas olarias [...]. Geralmente de forma retangular ou quadrada (às vezes circulares), com lados de 5, 10 m ou até mais e altura de 3 a 6 m. Na base ficam as fornalhas formadas por uma ou mais abóbodas em arco, afastadas de 15 cm uma das outras. Sob a fornalha fica o cinzeiro. Sobre ela o material é empilhado, deixando-se espaços para a passagem do calor e do fumo. O conjunto pode ser coberto com barro e palha, deixando-se também agulheiros para controlar a tiragem ou, como é mais comum, coberto com abóbodas de tijolos reforçadas com cintas de ferro. [...] No preparo de tijolos esses fornos cozem, de cada vez, de 25 a 100 milheiros, levando de 7 a 8 dias para queimar e de 4 a 6 dias para arrefecer, dependendo das condições atmosféricas.

3.3.6.1.2.2 Forno chama reversível

Apresenta câmara com abóboda fechada e com tijolos furados no piso do próprio forno, estes tijolos furados são conhecidos como crivos, e são utilizados para a saída dos gases da queima, estes vão em direção aos dutos de tiragem para alcançarem a chaminé, este forno pode apresentar seção horizontal retangular ou quadrada e são chamados fornos de

abóbodas e também há os fornos que apresentam seção circular, e estes são chamados de cúpula (MONTEIRO, 2007).

De acordo com LIMAVERDE (1983), os fornos de seção retangular ou quadrada podem ter uma ou mais câmaras de combustão ao longo das paredes laterais de maior dimensão, e fornos de seção circular com seis fornalhas e equidistantes entre si.

Segundo BAUER (1979) o forno chama reversível apresenta um maior rendimento em relação ao consumo de combustível, porém só aproveita 20% da energia para a queima, os 80% são perdidos através dos aquecimentos das paredes, por irradiação ou arrastados pelos gases de combustão.

3.3.6.2 TRANSFORMAÇÕES AO LONGO DO PROCESSO DE QUEIMA

As principais transformações ao longo do processo de queima que a matéria-prima sofre no início do aquecimento até a temperatura pico de queima estão demonstrados na Tabela 11 Navarro et al. (1998 apud DUTRA, R. P. S., 2007). As características dos fenômenos da curva de queima (Tabela 12).

Tabela 11 – Principais eventos ao longo do aquecimento no processo de queima.

Temperatura (°C)	Transformação
Até 150	Eliminação de água livre
150-250	Eliminação de água adsorvida
350-650	Eliminação de água estrutural
400-600	Decomposição de compostos orgânicos
573	Transformação do quartzo α em quartzo β
700-900	Início da fusão dos álcalis e óxidos de ferro
1000	Início da fusão dos CaO e FeO, com formação de silicatos
Até 1200	Formação da fase vítrea com redução dos tamanhos dos poros

Fonte: DUTRA (2007).

Tabela 12 – Análise dos fenômenos da curva de queima, de acordo com a variação de temperatura.

Temperatura (°C)	Características
Pouco acima de 100 °C	Eliminação da água higroscópica, isto é, da umidade que permanece no corpo, devido a água presa nos poros da peça, se a secagem não for absolutamente perfeita ou que o corpo tenha reabsorvido do ambiente externo no decorrer da saída do secador, para a entrada no forno, é caracterizada pela perda de massa, sem retração.
Em 200 °C	Eliminação da água coloidal, que permanece na partícula argilosa, mesmo com uma boa secagem. Eliminação da água adsorvida dos minerais montmorilonita. É caracterizada pela grande perda de massa. Pode ocorrer a liberação das

	oxidrilas dos hidróxidos, exemplo o hidróxido de alumínio.
Entre 350 e 650 °C	Combustão da matéria orgânica, que em maior ou menor quantidade, pode estar contida nas argilas e dissociação dos sulfetos e dos sulfatos. Ocorrer reação exotérmica, devido à combustão do material orgânico.
Entre 450 e 650 °C	Decomposição da substância argilosa, com liberação da água de constituição, sob forma de vapor (água que está ligada quimicamente com a sílica e alumina); Os carbonatos presentes na sílica começam a se separar, o primeiro é o carbonato de magnésio. Em torno dos 570 °C ocorre a transformação do quartzo- α em quartzo- β , acompanhada de uma significativa expansão.
A partir de 700 °C	A reação química da sílica e alumina com os elementos fusíveis, reação que dá lugar a formação de sílico-aluminatos complexos, que proporcionam ao corpo cerâmico as características de dureza, estabilidade, resistência aos vários agentes físicos e químicos, como também a coloração pretendida. Ocorrem reações químicas da sílica e da alumina com os elementos fundentes, com isso temos a formação dos sílico-aluminatos, que aumentam a dureza, a resistência física e química e melhoram a estabilidade da cerâmica.
Entre 800 e 950 °C	Decomposição dos carbonatos como, por exemplo: calcita e dolomita, com liberação de CO ₂ , no caso ocorrem à dissociação do carbonato de cálcio. Estas reações liberam CO ₂ e absorvem calor. Por volta dos 800 °C temos a máxima dilatação. Nas ilitas ocorre a retração após o pico de dilatação. Em alguns casos as ilitas estão ligadas aos carbonatos, estes se dissociam em temperaturas mais elevadas, com isso há o aparecimento de uma expansão, resultando em uma inflexão, por volta dos 920 °C. Após a formação do CaO e MgO, eles tendem a se combinar com o ferro, formando os silicatos duplos de ferro e cálcio, mas isto só ocorre quando a quantidade de CaO é de 2 a 4 vezes maior que a do ferro.
Acima de 1000 °C	A temperatura varia de acordo com a composição da massa, isto garante uma considerável dureza, compactação e impermeabilização (sinterização). Com a continuação do aquecimento, chegamos à completa fusão. A temperatura máxima que a cerâmica estrutural pode chegar é em torno de 1000 °C, após esta temperatura o material passa a se retrair e perder calor para o ambiente na qual está forno.
Temperatura máx. à temperatura ambiente	A peça é resfriada rapidamente até 600 °C e em seguida resfriada lentamente até 500 °C, isto deve ser feito, pois neste intervalo de temperatura acontecem transformações alotrópicas do quartzo- β em quartzo- α , devido a isto temos um aumento no conteúdo de sílica, assim a peça pode apresentar uma baixa resistência a variação térmica, por isso ela é mantida por algumas horas nos 500 °C, após passado este período a temperatura decresce rapidamente até uma temperatura próxima da ambiente, as características da fase da queima são mantidas e temos apenas transformações da estrutura cristalina de alguns componentes como a sílica que não se combinou.

Fonte: DUTRA (2007) e PRACIDELLI (1975). Adaptado pelo autor (2018).

Combinando todas as informações de transformações durante o processo conseguimos montar uma relação de temperatura por tempo, que formam a curva de queima. De acordo com DUTRA (2007), o objetivo da curva de queima é quantificar os intervalos de temperaturas e controlar a aceleração ou o retardo do aquecimento ou resfriamento em função das reações físico-químicas que ocorrem durante a queima, e identificar a temperatura máxima de queima, esta curva realiza a associação da temperatura com as propriedades do material.

3.3.7 ESTOCAGEM E EXPEDIÇÃO DOS PRODUTOS FINAIS

Após os produtos serem retirados do forno, eles são levados para um galpão onde serão estocados e, posteriormente, inspecionados, etapa que tem como objetivo eliminar as peças defeituosas (SEBRAE, 2008).

Os produtos serão classificados de acordo com os padrões das normas regulamentadoras brasileira seguindo determinados critérios para cor de queima, dimensões e para certas imperfeições, como laminados, empenados ou trincados, manchas, etc (PRACIDELLI, 1975).

Segundo MONTEIRO (2007) os principais critérios analisados são a cor, as dimensões, o som, as deformações físicas, as fraturas e estouros e os inchaços. A cor mais indicada é a vermelha e esta depende da relação de óxidos de ferro (Fe_2O_3) e alumina (Al_2O_3), do tempo de duração na temperatura de cruzeiro de queima e da quantidade de oxigênio dentro do forno, em todos os casos quanto maior forem estes fenômenos mais vermelho o produto. O som emitido por uma peça que passou por uma ótima queimada deve ser estridente e não abafado, este último ocorre quando a peça teve uma queima inadequada. As dimensões devem seguir os padrões estabelecidos pelas normas regulamentadoras. As deformações físicas podem ocorrer se as peças forem queimadas acima da temperatura de cruzeiro ou mesmo em casos no patamar de temperatura ideal passar por um tempo muito extenso. A fratura e estouro são provocados pelo e acúmulo de tensões internas que chega a ultrapassar a tensão de ruptura do material, isso é devido ao acúmulo e eliminação dos gases durante a queima, e pode decorrer de defeitos da extrusão, em especial na boquilha ou por vácuo insuficiente, de secagem brusca, da queima de peças com umidade elevada, da paletização inadequada, que ocorre quando temos muitas peças sobre as outras, na qual as peças na parte inferior sofrem uma tensão muito elevada e podem quebrar. Os inchaços ocorrem quando a peça é composta por argila muito fina e passa por um aquecimento muito rápido durante a queima, e a decomposição de óxidos de ferro e da matéria orgânica que sofrem uma reação liberando gás carbônico (CO_2) são responsáveis por este fenômeno.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ENSAIOS PRELIMINARES

As matérias-primas utilizadas neste trabalho são de uma jazida de Itaitinga-CE, destinadas para fabricação de tijolos vermelhos. Foram coletados 10 kg de argila forte e 10 kg de argila fraca.

4.1.1 Seleção do traço

Inicialmente, foram mensurados os teores de fração não argilosa das amostras das argilas forte e fraca. As análises foram realizadas em triplicata, para dar maior confiabilidade aos resultados. Em seguida, utilizou-se a média aritmética ponderada para calcular o percentual de resíduo bruto das misturas.

Foram pesados 500 g de argila forte e argila fraca, cada alíquota foi colocada em um recipiente de metal e levado para uma estufa, onde foram aquecidas a 100 °C por um período de 24 h, para a retirada da umidade. Em seguida foram pesados 100 g de cada argila e realizado o ensaio de resíduo retido em peneira n° 325 (44 µm). O resíduo retido foi secado em estufa a 100 °C por 24 h.

O percentual do resíduo retido foi determinado pela Equação 1 (COSTA, 2013).

$$RB(\%) = (Pr/Pa) * 100 \quad (1)$$

Na qual: RB = Percentual de resíduo bruto (%);

Pr = peso do resíduo retido na peneira após secagem (g);

Pa = peso da amostra inicial (g).

Após encontrar os resíduos retidos calculada a média através da Equação 2, para dar maior confiabilidade nos resultados.

$$RBm(\%) = \left(\frac{RB_1 + RB_2 + RB_3}{3} \right) \quad (2)$$

Na qual: RBm = Percentual de resíduo bruto médio (%);

RB_1 = Percentual de resíduo bruto (%), amostra 1;

RB_2 = Percentual de resíduo bruto (%), amostra 2;

RB_3 = Percentual de resíduo bruto (%), amostra 3;

Escolheu-se o traço da argila, por meio do resultado do cálculo do resíduo bruto da mistura (Equação 3).

$$RB_{mist}(\%) = \left(\frac{X * RB_{mg} + Y * RB_{mm}}{X + Y} \right) \quad (3)$$

Na qual: RB_{mist} = Percentual de resíduo bruto da mistura (%);

X = traço da argila forte;

Y = traço da argila fraca;

RB_{mg} = Percentual de resíduo bruto médio (%), argila forte;

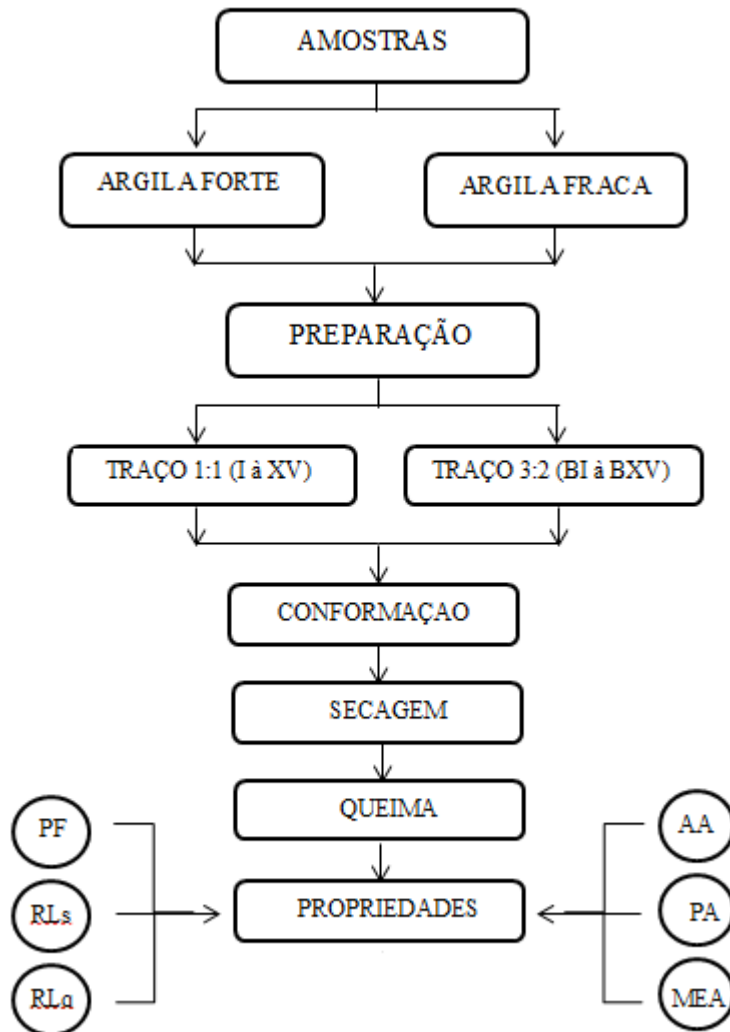
RB_{mm} = Percentual de resíduo bruto médio (%), argila fraca;

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA – ensaios tecnológicos

Foram moldados 30 corpos de provas, sendo 15 corpos de prova nomeados em algarismos romanos (I à XV) para um traço e 15 corpos de provas nomeados com a letra B e algarismos romanos (BI à BXV) para o outro traço.

No diagrama abaixo estão representados o resumo do procedimento experimental (Figura 9).

Figura 9 – Resumo do procedimento experimental



Fonte: Autor.

Na qual: PF = Perda de massa ao fogo (%);

RLs = Retração linear de secagem (%);

RLq = Retração linear de queima (%);

AA = Absorção de água (%);

PA = Porosidade aparente (%);

MEA = Massa específica aparente (g/cm^3);

Foi feita a conformação dos corpos de prova utilizando um molde metálico, 117,4 x 25 x 14,6 mm, e uma prensa hidráulica, marca Potente Brasil. As amostras foram prensadas a 2 ton, equivalente a 11,6 kgf/cm^2 , por um período de 20 s. Logo após, suas dimensões foram mensuradas com um paquímetro digital (150 mm) com precisão de 0,1 mm e seu peso

mensurado por uma balança digital (2 kg) com precisão de 0,01 g. Em seguida foram colocados em uma estufa de marca Medclave, por 24 h à temperatura de 100 °C. A queima foi realizada em um forno elétrico (Linn Elektro Therm), nas temperaturas de 800, 850 e 900 °C, por um período de 1 hora, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min e em seguida resfriadas em temperatura ambiente. Foram utilizadas cinco amostras para cada temperatura.

4.2.1 Retração linear de secagem

A retração linear de secagem (RLs) é definida por meio da variação dimensional linear (comprimento) dos corpos de prova após a secagem (Equação 4). Foram realizadas as medições dos corpos de prova antes e após a secagem.

$$RLs(\%) = \left(\frac{L_o - L_f}{L_f} \right) * 100 \quad (4)$$

Na qual: L_o = comprimento do corpo de prova antes da secagem, em milímetro;

L_f = comprimento do corpo de prova após a secagem, em milímetro.

4.2.2 Retração linear de queima

A retração linear de queima (RLq) é definida por meio da variação dimensional linear (comprimento) dos corpos de prova após a queima (Equação 5).

$$RLq(\%) = \left(\frac{L_f - L_{fq}}{L_{fq}} \right) * 100 \quad (3.5)$$

Na qual: L_f = comprimento do corpo de prova seco, após a secagem, em milímetro;

L_{fq} = comprimento do corpo de prova após a queima, em milímetro.

4.2.3 Perda de massa ao fogo

De acordo com DUTRA (2007), a perda de massa ao fogo (PF) é a variação de massa que o corpo de prova sofre ao longo do processo de queima (Equação 6).

$$PF(\%) = \left(\frac{M_s - M_q}{M_q} \right) * 100 \quad (6)$$

Na qual: Ms = massa do corpo de prova seco, após a secagem, em gramas;

Mq = massa do corpo de prova após a queima, em gramas.

4.2.4 Absorção de água

A absorção de água corresponde à porcentagem de água absorvida pelo corpo de prova queimado, ou seja, é a massa do corpo de prova saturado. Os corpos de prova são pesados e submersos em água por 24 h, após este período são retirados do recipiente, removidos o excesso da água superficial e pesados, após a retirada do material do recipiente o material deverá ser pesado em até 15 minutos, pois após este período o corpo de prova começa a perder água para o ambiente. De acordo com a ABNT NBR 15270-3 (2017), a absorção de água para o tijolo cerâmico deve estar em torno de 8 % a 25 %, e é determinada de acordo com a Equação 7:

$$AA(\%) = \left(\frac{M_u - M_q}{M_q} \right) * 100 \quad (7)$$

Na qual: Mu = massa do corpo de prova úmido, em gramas;

Mq = massa do corpo de prova após a queima, em gramas.

4.2.5 Porosidade aparente

Segundo MENEZES e VARELA (2016) a porosidade aparente é o percentual de poros abertos após a sinterização dos corpos de prova em relação ao seu volume total (Equação 8). O corpo de prova após a queima é pesado, submerso em água por 24 h, período necessário para que o corpo atinja a saturação, em seguida é pesado submerso, por meio de uma balança hidrostática, após este processo os corpos de prova são retirados do recipiente, o excesso de água em sua superfície é absorvido com auxílio de um pano, e em seguida são pesados, após a sua saída do recipiente com água deverão ser pesados em até 15 minutos.

$$PA(\%) = \left(\frac{M_u - M_q}{M_u - M_i} \right) * 100 \quad (8)$$

Na qual: M_u = massa do corpo de prova úmido, em gramas;

M_q = massa do corpo de prova após a queima, em gramas.

M_i = massa do corpo de prova imerso em água, em gramas.

4.2.6 Massa específica aparente

A massa específica aparente é a relação entre a massa do corpo de prova seco e seu volume, considerando os poros que são permeáveis à água, ou seja, é a relação da massa com as partículas e os poros (Equação 9).

$$MEA(g/cm^3) = \left(\frac{M_q}{M_u - M_i} \right) * 100 \quad (9)$$

Na qual: M_u = massa do corpo de prova úmido, em gramas;

M_q = massa do corpo de prova após a queima, em gramas.

M_i = massa do corpo de prova imerso em água, em gramas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados foram tabelados e analisados de acordo com parâmetros obtidos na norma da ABNT NBR 15270. Todos os dados foram analisados estatisticamente, através da ANOVA que está contida no programa Origin, e avaliados pelo teste Tukey ao nível de confiança de 95 %.

5.1 Seleção dos Traços

A Tabela 13 apresenta os resultados dos percentuais de resíduo bruto para as amostra de argila forte e fraca.

Tabela 13 – Percentual de resíduo bruto para as argila forte e fraca.

Amostra	RB (%)	
	Argila	
	Forte	Fraca
1	11,49	56,84
2	13,78	49,36
3	14,05	49,19
\bar{X}	13,11	51,80
σ	1,08	3,36

Fonte: Autor.

Foi calculado para os traços 1:1, 2:1, 3:1, 3:2, 5:2, 7:2 e 7:3 o percentual de resíduo bruto e foram escolhidos de forma experimental dois traços que apresentaram os maiores percentuais de resíduo bruto para ser feito os ensaios tecnológicos (Tabela 14).

Tabela 14 – Percentual de resíduo bruto para as misturas de argila forte e fraca.

Traço (Fo:Fr)	Rbmist (%)
50 % (1:1)	32,46
60 % (3:2)	28,59
66,7 % (2:1)	26,01
70 % (7:3)	24,72
71,4 % (5:2)	24,16
75 % (3:1)	22,78
77,8 % (7:2)	21,71

Fonte: Autor.

5.2 Ensaio tecnológicos

5.2.1 Retração linear de secagem

A Tabela 15 contém os resultados da retração linear de secagem.

Tabela 15 – Retração linear de secagem para os traços 1:1 e 3:2.

Temperatura (°C) 100 °C								
Corpo de prova	1:1	3:2	Corpo de prova	1:1	3:2	Corpo de prova	1:1	3:2
	RLs (%)			RLs (%)			RLs (%)	
1 / BIV	0,77	1,39	6 / BI	1,30	1,05	9 / BIX	1,58	0,26
2 / BV	1,23	2,19	7 / BII	2,21	1,31	10 / BXII	1,21	1,78
3 / BVII	1,57	2,19	8 / BIII	2,12	1,31	12 / BXIII	1,57	0,35
4 / BX	0,95	1,78	11 / BVI	1,74	1,21	13 / BXIV	1,42	0,17
5 / BXI	1,30	1,69	15 / BVIII	2,04	1,30	14 / BXV	1,67	0,26
\bar{X}	1,16	1,85	\bar{X}	1,88	1,24	\bar{X}	1,49	0,56
σ	0,24	0,27	σ	0,29	0,09	σ	0,14	0,49

Fonte: Autor.

Os resultados indicam que o traço que apresenta menor teor de argila forte, sofre um maior efeito de contração durante o processo de secagem. De acordo com Monteiro (2007), as alterações dimensões podem ocorrer devido à eliminação de água utilizada na conformação do produto, assim quanto maior a quantidade de água, maior será a retração.

Uma baixa retração linear de secagem é mais desejável, pois tem uma menor influência sobre o tamanho do produto final, conferindo-lhe uma melhor estabilidade dimensional (MACENA, 2013).

5.2.2 Retração linear de queima

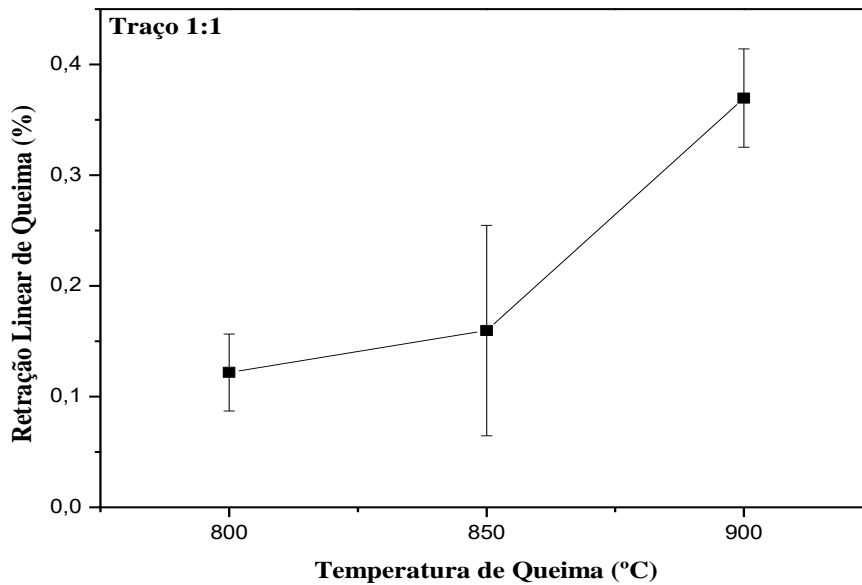
A Tabela 16 apresenta os resultados da retração linear de queima e os Gráficos 1 e 2 relacionam as retrações lineares com as três sinterizações.

Tabela 16 – Retração linear de queima para os traços 1:1 e 3:2.

Temperatura (°C) 800			Temperatura (°C) 850			Temperatura (°C) 900		
Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço	
	1:1	3:2		1:1	3:2		1:1	3:2
RLq (%)			RLq - c			RLq (%)		
1 / BIV	0,000	0,087	6 / BI	0,087	0,351	9 / BIX	0,352	0,346
2 / BV	0,088	0,087	7 / BII	0,534	0,351	10 / BXII	0,348	0,790
3 / BVII	0,261	0,087	8 / BIII	0,088	0,087	12 / BXIII	0,350	0,430
4 / BX	0,087	0,089	11 / BVI	0,000	0,086	13 / BXIV	0,534	0,257
5 / BXI	0,087	0,089	15 / BVIII	0,089	0,087	14 / BXV	0,264	0,347
\bar{X}	0,104	0,088	\bar{X}	0,160	0,192	\bar{X}	0,370	0,434
σ	0,063	0,001	σ	0,150	0,127	σ	0,066	0,142

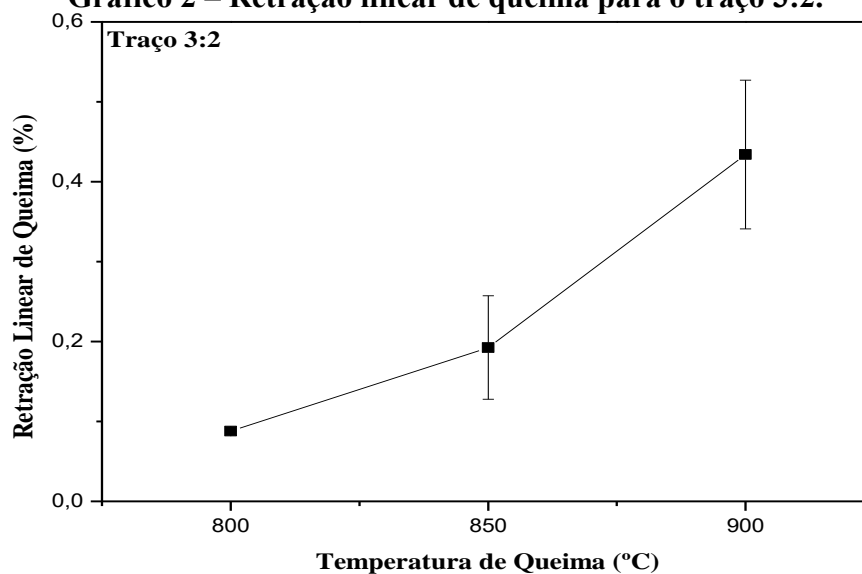
Fonte: Autor.

Gráfico 1 – Retração linear de queima para o traço 1:1.



Fonte: Autor.

Gráfico 2 – Retração linear de queima para o traço 3:2.



Fonte: Autor.

Os resultados mostram que os traços 1:1 e 3:2 não apresentaram diferença significativa nas sinterizações 800-850 °C, porém ocorre diferença significativa entre 800-900 °C e 850-900 °C.

Comparando os dois traços, em suas respectivas temperaturas de queima, verificamos que não ocorreram diferenças significativas, ou seja, os dois apresentaram, estatisticamente, as mesmas retrações lineares de queima.

A alteração das dimensões após a queima é provocada pela eliminação de água de constituição, matéria orgânica e CO₂ da decomposição dos carbonatos, e o patamar de sinterização afeta diretamente na variação da retração. Uma baixa retração linear de queima é mais desejável, pois tem um menor impacto sobre as dimensões do produto final, conferindo-lhe uma melhor estabilidade dimensional (Monteiro, 2007; MACENA, 2013).

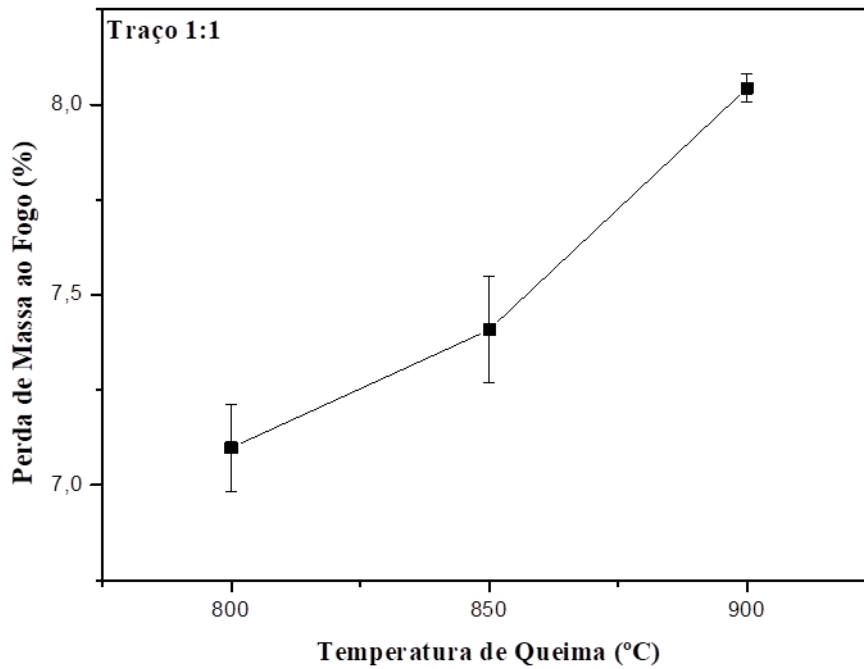
5.2.3 Perda de massa ao fogo

A Tabela 17 contém os resultados da perda de massa ao fogo para os traços 1:1 e 3:2 e os Gráficos 3 e 4 relacionam as perdas de massa com as três sinterizações.

Tabela 17 – Perda de massa ao fogo para os traços 1:1 e 3:2.

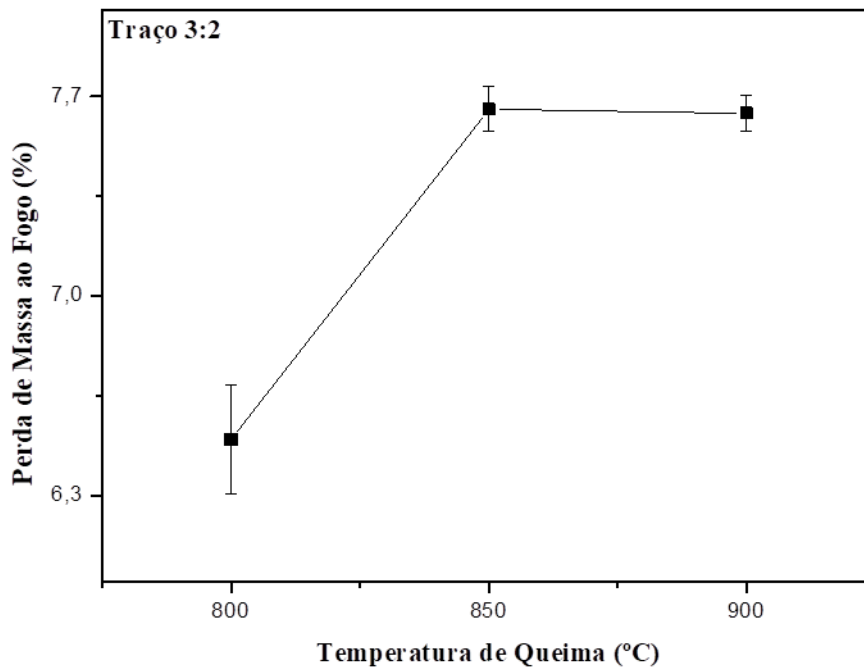
Temperatura (°C) 800			Temperatura (°C) 850			Temperatura (°C) 900		
Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço	
	1:1	3:2		1:1	3:2		1:1	3:2
	PF (%)			PF (%)			PF (%)	
1 / BIV	7,415	6,894	6 / BI	7,663	7,660	9 / BIX	8,132	7,706
2 / BV	6,785	6,523	7 / BII	7,253	7,600	10 / BXII	7,946	7,604
3 / BVII	6,906	6,907	8 / BIII	7,162	7,522	12 / BXIII	8,033	7,852
4 / BX	7,149	6,231	11 / BVI	7,826	7,953	13 / BXIV	8,118	7,541
5 / BXI	7,234	5,930	15 / BVIII	7,141	7,533	14 / BXV	7,989	7,498
\bar{X}	7,098	6,497	\bar{X}	7,409	7,654	\bar{X}	8,044	7,640
σ	0,202	0,334	σ	0,268	0,122	σ	0,065	0,111

Fonte: Autor.

Gráfico 3 – Perda de massa ao fogo para o traço 1:1.

Fonte: Autor.

Os resultados demonstram que para o traço 1:1 não houve diferença significativa nas sinterizações 800-850 °C, porém ocorre diferença significativa entre 800-900 °C e 850-900 °C.

Gráfico 4 – Perda de massa ao fogo para o traço 3:2.

Fonte: Autor.

Para o traço 3:2 não ocorreram diferenças significativas nas sinterizações 850-900 °C, porém ocorre diferença significativa entre 800-850 °C e 800-900 °C.

.Comparando os gráficos 3 e 4, percebemos que na sinterização a 800 °C houve uma diferença significativa na perda de massa entre os traços 1:1 e 3:2, porém nas sinterizações 850 °C e 900 °C não ocorreram diferenças significativas entre os dois traços.

Estes dados estão de acordo com Dutra (2007), na qual observou que o aumento da temperatura provoca o aumento da perda de massa, sendo que as massas cerâmicas com maior teor de argila forte apresentam estabilização na perda de massa em temperaturas mais baixas, enquanto as massas cerâmicas com menor teor de argila forte apresentam estabilização na perda de massa em temperaturas mais elevadas.

A diminuição de massa das misturas argilosas é provocada pela eliminação de matéria-orgânica, águas, hidróxidos de alumínio, CO₂ da decomposição dos carbonatos e da água de constituição das argilas durante a queima (MONTEIRO, 2007).

De acordo com BATISTA et al. (2008), na faixa de temperatura entre 100 a 200 °C o corpo de prova perde massa através da perda de água, em seu experimento a perda de massa foi de cerca de 0,8 %, na faixa de 200 a 600 °C a perda de massa se dá, provavelmente, devido à perda de matéria orgânica e hidroxilas, em seu experimento nesta fase a perda de massa foi na ordem de 6,4 %, e de 600 a 1000 °C a perda de massa ocorre devido à perda de matéria orgânica na forma de grafite e pequenos carbonetos, neste intervalo a perda de massa foi cerca de 1,8 %, totalizando cerca de 9% de perda de massa de 100 a 1000 °C.

Os resultados de perda de massa ao fogo desta pesquisa apresentaram valores um pouco menores do que os de Batista, isto ocorreu provavelmente, por causa da temperatura de sinterização que ocorreu em temperaturas abaixo dos 1000 °C.

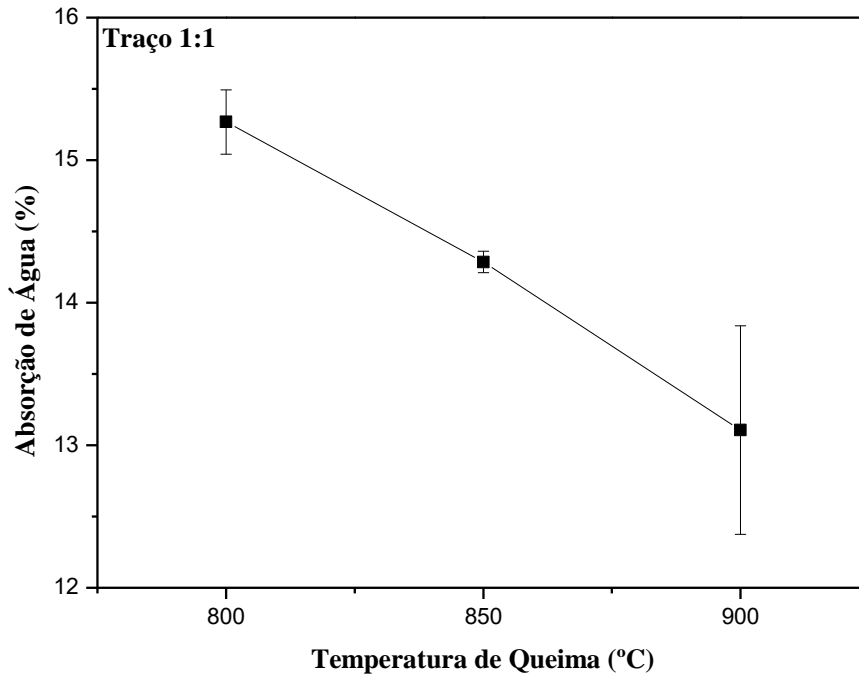
5.2.4 Absorção de água

A Tabela 18 contém os resultados da absorção de água para os traços 1:1 e 3:2 e os Gráficos 5 e 6 relacionam a absorção de água com as três sinterizações.

Tabela 18 – Absorção de água para os traços 1:1 e 3:2.

Temperatura (°C) 800			Temperatura (°C) 850			Temperatura (°C) 900		
Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço	
	1:1	3:2		1:1	3:2		1:1	3:2
	AA (%)			AA (%)			AA (%)	
1 / BIV	15,499	19,875	6 / BI	14,245	15,002	9 / BIX	14,983	13,964
2 / BV	15,523	19,303	7 / BII	14,251	13,781	10 / BXII	11,089	14,288
3 / BVII	14,745	19,263	8 / BIII	14,568	15,673	12 / BXIII	12,422	14,397
4 / BX	15,845	18,622	11 / BVI	14,245	15,877	13 / BXIV	14,593	13,977
5 / BXI	14,728	18,840	15 / BVIII	14,116	15,671	14 / BXV	12,448	14,082
\bar{X}	15,268	19,181	\bar{X}	14,285	15,201	\bar{X}	13,107	14,142
σ	0,425	0,360	σ	0,113	0,648	σ	1,345	0,161

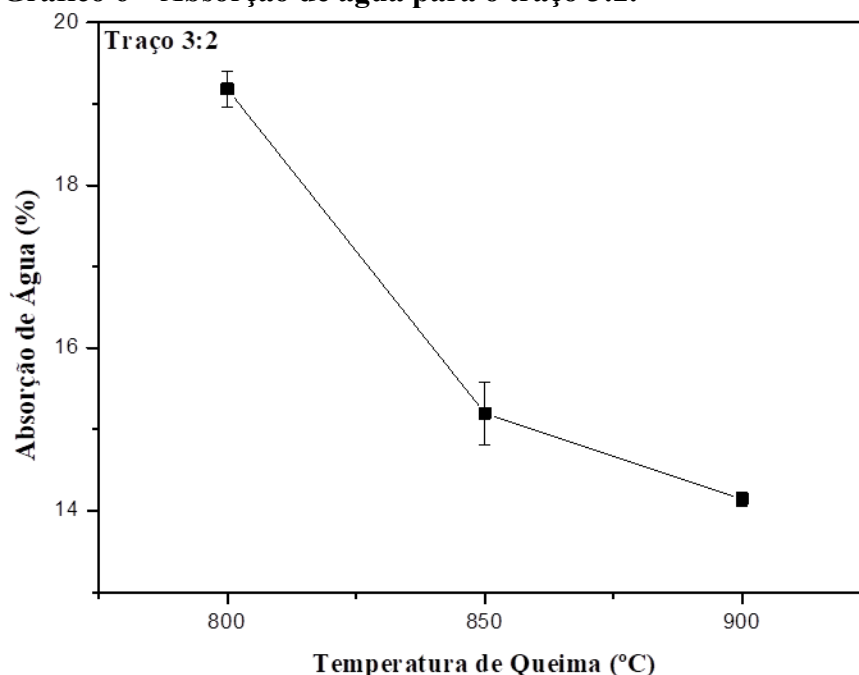
Fonte: Autor.

Gráfico 5 – Absorção de água para o traço 1:1.

Fonte: Autor.

Os resultados demonstram que para o traço 1:1 não houve diferença significativa de absorção de água, nas sinterizações 800-850 °C e 850-900 °C, porém ocorre diferença significativa entre 800-900 °C.

Gráfico 6 – Absorção de água para o traço 3:2.



Fonte: Autor.

Os resultados demonstram que para o traço 3:2 houve diferença significativa de absorção de água, nas sinterizações 800-850 °C, 800-900 °C e 850-900 °C.

De acordo com os resultados obtidos, comparando os traços 1:1 e 3:2, percebemos que os traços 1:1 sinterizados a 850 °C e 900 °C e o traço 3:2 sinterizado a 900 °C não apresentaram diferenças significativas, além disso, foram os que apresentaram as menores absorções, logo são os mais adequados para a produção. Segundo MASSON et al. (2016), quanto maior o teor de água absorvida, maior a probabilidade de patologias ocorrerem nos produtos finais, pois com o aumento da umidade temos a expansão da peça e quando seco a retração, esta oscilação pode ocasionar em fissuras e trincas no produto final.

O índice de absorção de água para tijolos cerâmicos deve estar entre 8 % e 25 %, com isso todas as amostras em estudo estão de acordo com a exigência da norma ABNT NBR 15270-1 (2017).

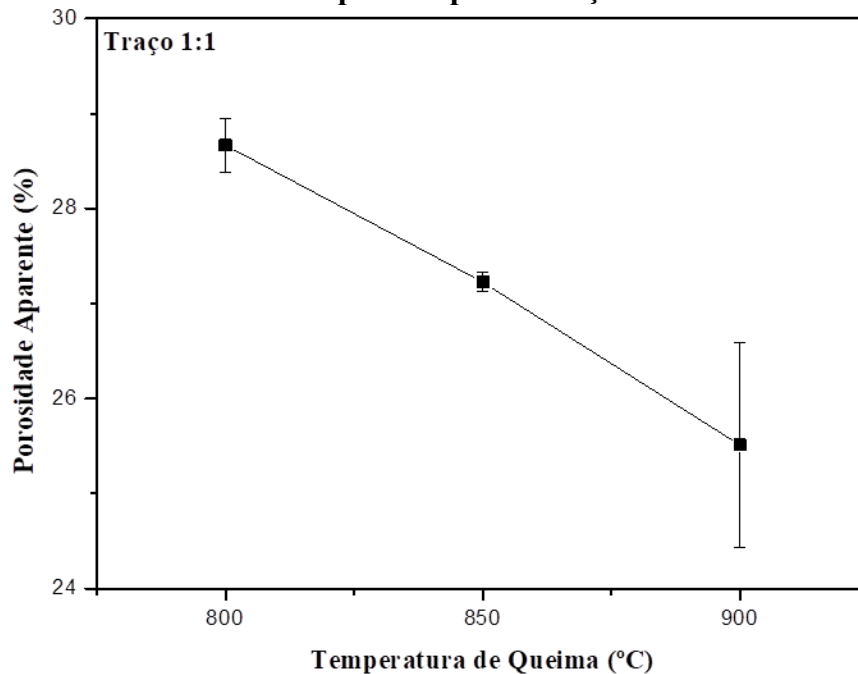
5.2.5 Porosidade Aparente

A Tabela 19 contém os resultados da porosidade aparente para as dosagens 1:1 e 3:2 e os Gráficos 7 e 8 relacionam a porosidade aparente com as três sinterizações.

Tabela 19 – Porosidade aparente para os traços 1:1 e 3:2.

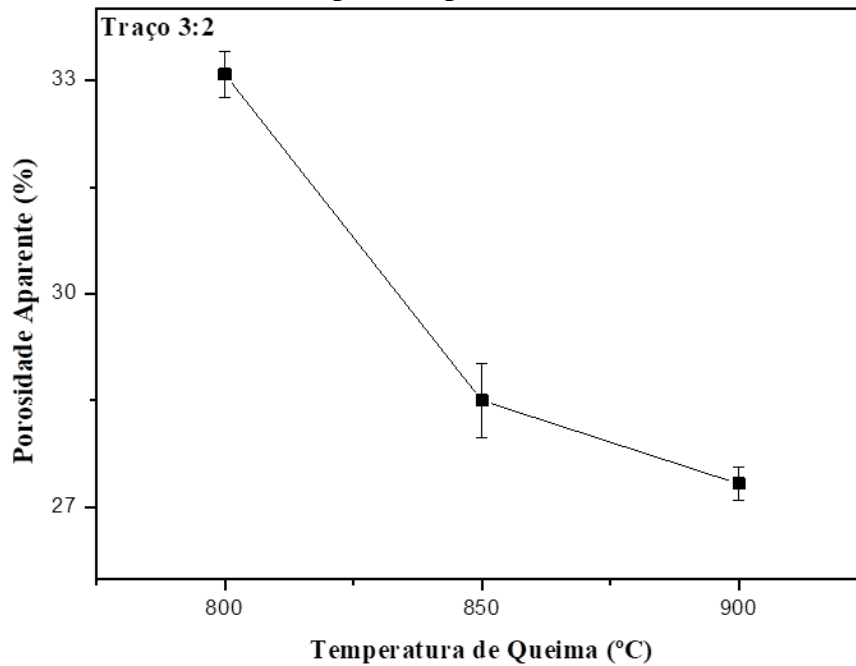
Temperatura (°C) 800			Temperatura (°C) 850			Temperatura (°C) 900		
Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço	
	1:1	3:2		1:1	3:2		1:1	3:2
	PA (%)			PA (%)			PA (%)	
1 / BIV	28,935	34,264	6 / BI	27,160	28,245	9 / BIX	28,219	26,895
2 / BV	28,986	33,080	7 / BII	27,156	26,589	10 / BXII	22,426	27,252
3 / BVII	28,073	33,019	8 / BIII	27,621	29,191	12 / BXIII	24,554	27,429
4 / BX	29,386	32,407	11 / BVI	27,202	29,349	13 / BXIV	27,717	26,929
5 / BXI	27,949	32,655	15 / BVIII	26,995	29,131	14 / BXV	24,613	28,152
\bar{X}	28,666	33,085	\bar{X}	27,227	28,501	\bar{X}	25,506	27,331
σ	0,524	0,472	σ	0,158	0,867	σ	1,970	0,367

Fonte: Autor.

Gráfico 7 – Porosidade aparente para o traço 1:1.

Fonte: Autor.

Os resultados demonstram que para o traço 1:1 não houve diferença significativa de porosidade aparente, nas sinterizações 850-900 °C e 800-850 °C, porém ocorre diferença significativa entre 800-900 °C.

Gráfico 8 – Porosidade aparente para o traço 3:2.

Fonte: Autor.

Os resultados demonstram que para o traço 3:2 houve diferença significativa de porosidade aparente, nas sinterizações 800-850 °C, 800-900 °C e 850-900 °C.

Comparando os dois traços, percebemos que apenas os traços 1:1 sinterizados a 850 e 900 °C e o traço 3:2 sinterizado a 900 °C não apresentaram diferenças significativas, além disso, foram os que apresentaram a menor porosidade aparente.

De acordo com os resultados obtidos, observamos que há uma relação direta da porosidade aparente a absorção de água, isto se comprova com os gráficos 7 e 8, onde as curvas representativas dos traços 1:1 e 3:2 apresentaram tendência semelhante das curvas dos gráficos 5 e 6 de absorção de água. De maneira geral, o aumento de argila forte provocou o aumento na porosidade da peça.

A porosidade nas cerâmicas afeta o desempenho mecânico, porém ela facilita o processo de secagem e também evita que os gases formados durante a queima causem defeitos mais graves. Entretanto quando um corpo de prova está próximo de uma queima ideal, ele apresenta uma quantidade mínima de poros (ANDRADE, 2009; MONTEIRO, 2007).

5.2.6 Massa específica Aparente

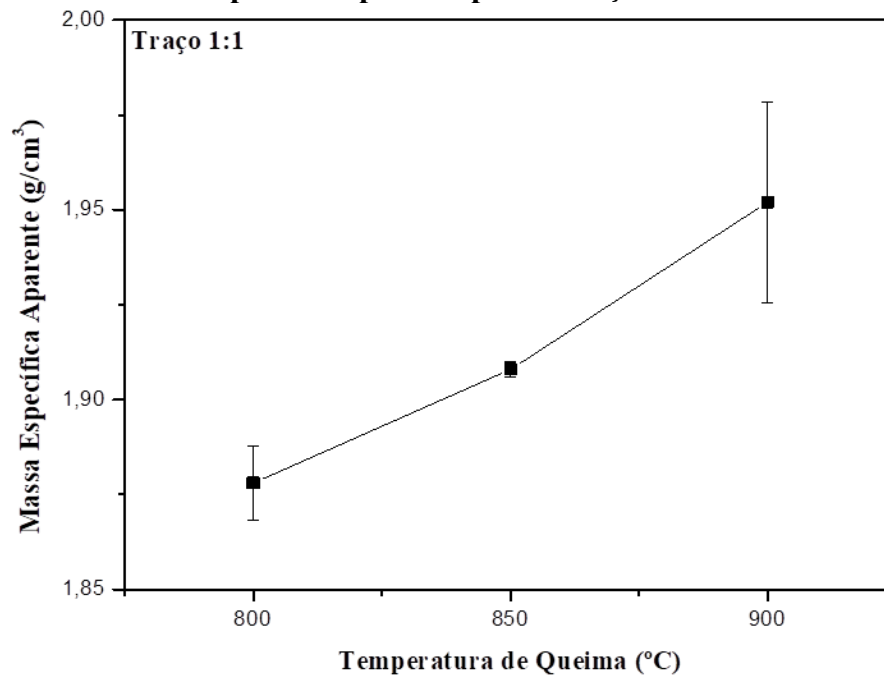
A Tabela 20 contém os resultados da massa específica aparente para as dosagens 1:1 e 3:2 e os Gráficos 9 e 10 relacionam a massa específica aparente com as três sinterizações.

Tabela 20 – Massa específica aparente para os traços 1:1 e 3:2.

Temperatura (°C) 800			Temperatura (°C) 850			Temperatura (°C) 900		
Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço		Corpo de prova	Traço	
	1:1	3:2		1:1	3:2		1:1	3:2
	MEA (g/cm ³)			MEA (g/cm ³)			MEA (g/cm ³)	
1 / BIV	1,87	1,72	6 / BI	1,91	1,88	9 / BIX	1,88	1,93
2 / BV	1,87	1,93	7 / BII	1,91	1,93	10 / BXII	2,02	1,91
3 / BVII	1,90	1,71	8 / BIII	1,90	1,86	12 / BXIII	1,98	1,91
4 / BX	1,85	1,74	11 / BVI	1,91	1,85	13 / BXIV	1,90	1,93
5 / BXI	1,90	1,73	15 / BVIII	1,91	1,86	14 / BXV	1,98	2,00
\bar{X}	1,88	1,77	\bar{X}	1,91	1,88	\bar{X}	1,95	1,93
σ	0,02	0,06	σ	0,00	0,02	σ	0,05	0,03

Fonte: Autor.

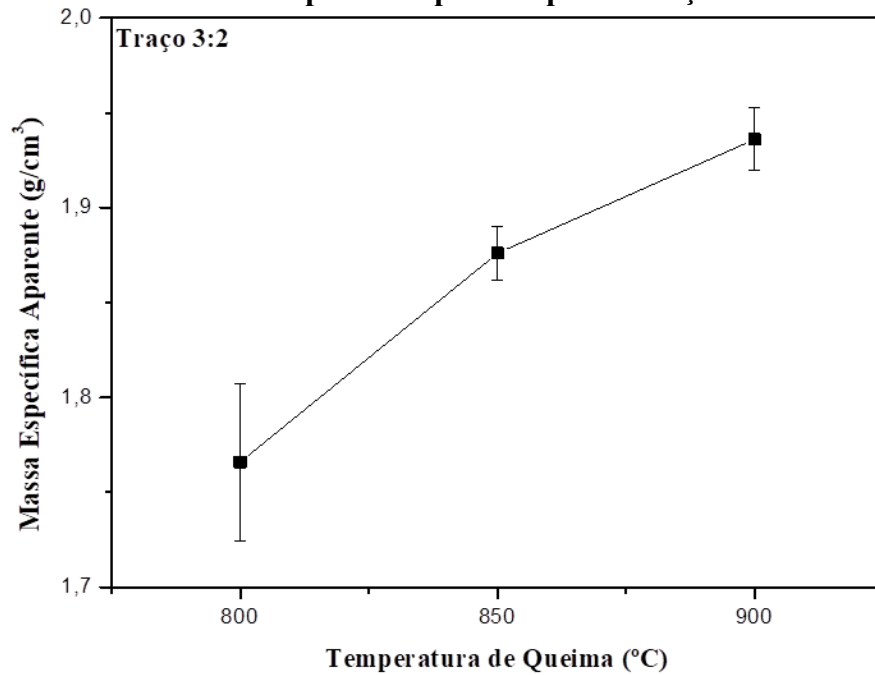
Gráfico 9 – Massa específica aparente para o traço 1:1.



Fonte: Autor.

Os resultados demonstram que para o traço 1:1 não houve diferença significativa de massa específica aparente nas sinterizações 800-850 °C e 850-900 °C, porém ocorre diferença significativa entre 800-900 °C.

Gráfico 10 – Massa específica aparente para o traço 3:2.



Fonte: Autor.

Os resultados demonstram que para o traço 3:2 houve diferença significativa de massa específica aparente nas sinterizações 800-850 °C, 800-900 °C e 850-900 °C.

Comparando os dois traços, percebemos que os traços 1:1 sinterizados a 850 °C e 900 °C e o traço 3:2 sinterizado a 900 °C não apresentaram diferenças significativas, além disso, foram os que apresentaram o maior valor de massa específica aparente. Esses resultados estão de acordo com os dados de absorção de água e de porosidade aparente, pois observamos que com o aumento de massa específica obtivemos uma diminuição da porosidade e de absorção de água.

A propriedade de massa específica está relacionada aos resultados de porosidade e de absorção de água, pois quanto maior a quantidade de poros, maiores serão as quantidades de lacunas, assim o corpo apresentará um menor teor de massa por volume, e conseqüentemente, mais água poderá ser absorvida (ANDRADE, 2009).

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados, pode-se concluir que o aumento da temperatura de sinterização causa um aumento na retração linear de queima para ambos os traços. Desta forma uma menor temperatura de sinterização é mais desejável, pois haverá uma menor probabilidade de formarem trincas, além de conferir uma melhor estabilidade dimensional e economia de combustível na queima.

A presença de argila forte torna os materiais cerâmicos mais suscetíveis à temperatura, sendo sinterizados a temperaturas mais baixas, isto é confirmado, pois após esta sinterização a perda de massa tende a se estabilizar.

Baseado nos resultados encontrados para a absorção de água todas as amostras ficaram dentro das tolerâncias (8% a 25%) estabelecidas pela norma NBR 15270: Tijolos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação.

As amostras que continham maior quantidade de argila forte, em temperaturas mais baixas de queima (800 e 850 °C), e a amostra com maior teor de argila fraca, em temperatura baixa (800°C), apresentaram uma maior absorção de água, uma maior quantidade de poros e menor massa específica. Apesar de todas as amostras estarem de acordo com a NBR 15270, os traços que deverão ser escolhido serão os que apresentarem os menores teores de absorção de água e retração linear de queima, pois dessa forma haverá uma menor probabilidade de patologias, e uma menor variação dimensional.

De acordo com a análise estatística (ANOVA), o traço mais desejável é o 1:1 sinterizado a 850 °C, pois apresentou uma menor retração linear de queima, baixa porosidade aparente, baixa absorção de água e maior massa específica aparente, com isso o produto final apresentará uma menor variação dimensional e sofrerá um menor efeito de expansão e contração com a umidade ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha**. Brasília, 2016.

ANDRADE, F. L. F. **Estudo da formação de massas cerâmicas provenientes da região de Seridó-RN para fabricação de telhas**. 2009, 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFRN/PPgEM, Natal-RN.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABC. www.abceram.org.br/. Consulta realizada em 04/09/2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. www.anicer.com.br. Consultado em 03/09/2018.

_____. NBR 15270: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1979.

BATISTA, V. R.; NASCIMENTO, J. J. S.; LIMA, A. G. B. **Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais**. *Revista eletrônica de Materiais e Processos*, v.3.1, p. 46-61, 2008.

BETINI, D. G. **Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em São Miguel do Guamá**. 2007, 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará – UFPA/PPgEC, Belém-PA.

_____. **Informe setorial cerâmica vermelha**. Outubro, 2010. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/documents/88765/ano4_n21_informe_setorial_ceramica_vermelha.pdf/66eb35dc-dd49-420d-a921-26e9efc320d9> Acesso em: 08 nov. 2018.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G.; tradução Sergio Murilo Stamile Soares; revisão técnica José Roberto Moraes d’Almeida. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Na Introduction to the Rock-Forming Mineral**. 2 ed. USA: Paperback, 1992, 695p.

DUTRA, R.P. S. **Efeito da velocidade de aquecimento nas propriedades de produtos da cerâmica estrutural**. 2007, 138p. Tese (Doutorado em engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN/PPgCEM, Natal-RN.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente; FIEMG, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha, Belo Horizonte**, 2013. Disponível em www.sindicermg.com.br/estudante/GuiaAmbientaCera-micaVermelha.pdf. Acessado em: 30 de outubro de 2018.

LEITE, S. Q. M.; COLODETE, C. H. A.; DIEGUEZ, L. C. **Extração de ferro de esmectita brasileira com emprego do método ditionito-citrato-bicarbonato**. Química Nova, v23, p. 297, 2000.

LIMAVERDE, João. **A indústria de cerâmica vermelha no nordeste**. 4. ed. Fortaleza: BNB.ETENE, 1983.

MACENA, G. R., **Matriz para confecção de corpo de prova de material cerâmico para ensaio de flexão**. 2013, 44p. Monografia (Graduação em Tecnólogo em manutenção industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PgTMI, Pato Branco-PR

MASSON, A. C.; RENZI, G.; SANTOS, S.; FLORIANI, R., **Absorção de água em tijolos**. Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 1, p. 7-24, Santa Catarina, 2016.

MENEZES, J. N.; VARELA, D.L.V.; VARELA, M.L., **Avaliação da porosidade aparente e absorção de água da massa cerâmica para porcelanato em função da incorporação de resíduo de caulim**. Natal, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico 2011: Setor de transformação de não metálicos**. Distrito Federal: 2011, p.129.

MONTEIRO, C. M. O. L., **Curso de queima de produtos da cerâmica vermelha e controle de qualidade do processo produtivo**. Teresina: FIEC, 2007.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JR. M. **As matérias-primas cerâmicas. Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos**. Cerâmica Industrial, v6, p.28-29, 2001.

PETRUCCI, E. G. R., **Materiais de construção**. 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1976.

PRACIDELLI, Sebastião. **Curso tecnologia de cerâmica estrutural/vermelha**. São Caetano do Sul, 1975.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. **Importância da composição granulométrica de massas para cerâmica vermelha**. Cerâmica Industrial, v-2, p. 1-4, 1997.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA – INT. **Cerâmica vermelha: Projeto EELA no Brasil**. Rio de Janeiro: 2017, 135p.

SANTOS, Cláudia de Souza. **A indústria cerâmica em Barra Bonita (SP) e suas relações com a usina hidrelétrica de Bariri: panorama e perspectiva**. Campinas: UNICAMP, 2003.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1989.

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL. **Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não metálicos**. - 1995 - Brasília: SGM, 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Boletim de inteligência: Cerâmica vermelha.** 2015.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Cerâmica vermelha para construção: telhas, tijolos e tubos,** relatório completo. 2008.

SOUSA, W. B. M.; SILVA, E. C.; GOMES, U. U. **Caracterização de argilas e de produtos de cerâmica vermelha oriundos do município de São Gonçalo do Amarante-RN.** Natal, 2004.

SUDENE & ITEP. **CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO SETOR INDUSTRIAL; Cerâmica Estrutural.** Recife, 1988.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará.** Fortaleza, 2013.

ZANDONADI, A.R. 1988. **Fundamentos da tecnologia cerâmica:** programa de Treinamento para terceiros países, São Paulo: IPT/JICA. 112p. (Apostila de curso de treinamento em tecnologia cerâmica).