



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHAREL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MAURO JOSÉ DA SILVA FILHO

**ESTUDO DA VITRIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DA ARGILA USADA PARA A
FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS NO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO
DO OESTE/RN**

PAU DOS FERROS

2017

MAURO JOSÉ DA SILVA FILHO

**ESTUDO DA VITRIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DA ARGILA USADA PARA A
FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS NO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO
DO OESTE/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, para a obtenção
do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Rogério de Jesus Santos

Co-orientador: Prof. Dr. José Flávio Timoteo Júnior

Pau dos Ferros
2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586e	Silva Filho, Mauro José da. ESTUDO DA VITRIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DAS ARGILA USADA PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS NO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO DO OESTE/RN / Mauro José da Silva Filho. - 2017. 56 f. : il. Orientador: Rogério de Jesus dos Santos. Coorientador: José Flávio Timoteo Júnior. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2017. 1. Argila. 2. Vitrificação cerâmica. 3. Ensaaios de caracterização. 4. Produção cerâmica. I. Santos, Rogério de Jesus dos, orient. II. Timoteo Júnior, José Flávio, co-orient. III. Título.
-------	--

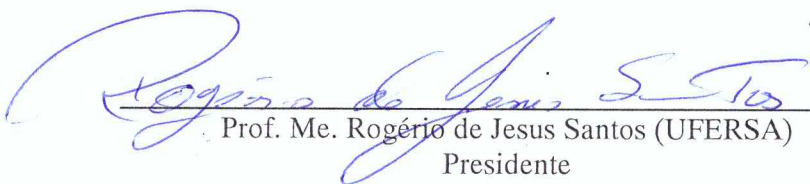
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade

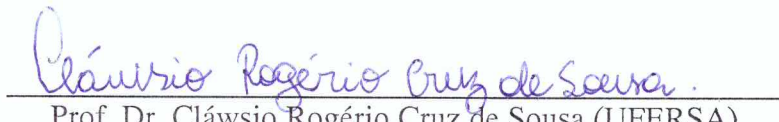
**ESTUDO DA VITRIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DA ARGILA USADA PARA A
FABRICAÇÃO DE BLOÇOS CERÂMICOS NO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO
DO OESTE/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, para a
obtenção do Título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Defendida em 20 / 05 / 17

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Rogério de Jesus Santos (UFERSA)
Presidente


Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa (UFERSA)
Primeiro Membro


Profª. Dra. Trícia Caroline da Silva (UFERSA)
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar presente em minha vida, me dando força e iluminando a minha mente não somente para a conclusão deste trabalho, mas também em todas as minhas decisões tomadas.

Aos meus pais, Mauro José da Silva e Elissandra Araujo de Sousa, simplesmente os melhores pais, pois me deram incentivo, apoio, amor, carinho e investiram nos meus estudos e sonhos.

A minha única irmã, Erica Samara da Silva, pelo apoio, incentivo e toda a ajuda nos momentos difíceis dentro e fora da vida acadêmica.

A minha Madrinha e Tia, Lúcia Rejane e Maria de Fátima, por sempre acreditarem em mim, me apoiarem e dedicarem um tempo quando preciso.

Aos meus Avôs e Avós, Manoel Casimiro, José Pedro, Francisca Araujo e Francisca Ivanilda, por sempre me dedicarem palavras de carinho e incentivo.

Ao meu Orientador Prof. Me. Rogério de Jesus Santos e meu co-orientador Dr. José Flávio Timoteo Júnior pela imensa ajuda, prontidão, disponibilidade e incentivo na elaboração deste trabalho.

Aos amigos, João Vitor Gouveia Ricarte e Victor Lima Geraldo, que são companheiros de jornada a muito tempo e que sempre estiveram de prontidão para o que precisasse. A Moara Batista Saturnino e Letícia Moreira de Carvalho, grandes amigas, que sabes me aconselhar, incentivar e conviver nos momentos bons e ruins que surgem no nosso caminho. E, a todos os outros amigos e colegas que contribuirão em pequenas ou grandes ações.

Enfim, agradeço a todos de coração.

*“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original”.*
Albert Einstein

RESUMO

A maioria das construções atualmente utilizam cerâmica vermelha. A argila é a matéria prima fundamental para a confecção dessa cerâmica e sua variabilidade proporciona a produção de diversos artefatos para variados fins. É ideal o aperfeiçoamento de mecanismos de produção já existentes ou a criação de novas melhores técnicas de produção, afetando diretamente na qualidade do produto final, buscando aumentar sua resistência mecânica, durabilidade e compactação do material cerâmico. Diante dessa questão, o presente trabalho buscou realizar a caracterização da argila e por meio de um estudo verificar na fase de queima o processo de vitrificação cerâmica, que aumenta sua resistência, durabilidade e a compactação do material, averiguando quais os compostos que vitrificam e a que temperatura esse processo ocorre. A pesquisa foi realizada na Cerâmica Freitas e Chaves, na região do Oeste Potiguar, na cidade de São Francisco do Oeste/RN. Verificou-se que a argila apresenta alta plasticidade, demonstrando que a argila é ideal para a indústria ceramista e que não existe necessidade da correção de minerais de acordo com seu Índice de Plasticidade. A análise da Fluorescência de Raio X proporcionou a observação dos teores dos elementos químicos existentes na amostra estudada e constatou-se que os principais elementos da argila são o ferro (Fe), o silício (Si), o alumínio (Al) e o potássio (K), além de um elevado percentual de contaminantes. Com isso, o estudo sobre a vitrificação possibilitou aferir que a análise dos dados sobre a argila para a produção das cerâmicas vermelhas é ideal por apresentar uma boa taxa de vitrificação.

Palavras-Chave: Argila, vitrificação cerâmica, ensaios de caracterização, produção cerâmica.

ABSTRACT

Nowadays, most constructions use red ceramics. Clay is the fundamental raw material for making this ceramics and its variability provides the production of several artifacts for various purposes. It is ideal to improve existing production mechanisms or to create new production techniques, directly affecting the quality of the final product, seeking to increase its mechanical strength, durability and compaction of the ceramic material. Based on that, the aim of this essay is to characterize the clay and, by means of a study, verify in the firing phase the ceramic vitrification process, which increases its strength, durability and material compaction, ascertaining which compounds vitrify and at which temperature this process occurs. The research was carried out at Cerâmica Freitas e Chaves, in the Oeste Potiguar region, in the city of São Francisco do Oeste / RN. It was verified that the clay presents high plasticity, demonstrating that the clay is ideal for the ceramics industry and that there is no need for the correction of minerals according to its Plasticity Index. The X - Ray Fluorescence analysis allowed the observation of the chemical elements contents in the studied sample, with the main elements of clay being iron (Fe), silicon (Si), aluminum (Al) and potassium (K), in addition to a high percentage of contaminants. Thus, the study on vitrification enabled to verify that the analysis of the data on clay for the production of red ceramics is ideal because it presents a good rate of vitrification.

Keywords: clay, vitrification of ceramics, characterization tests, ceramics production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Bentonita	19
Figura 02: Caulin	19
Figura 03: Argila Refratária.....	20
Figura 04: Depósito de argilas em bola (Ball Clay)	20
Figura 05: Terra Fuller (atalpugita)	21
Figura 06: Depósito de argila comum para cerâmica vermelha	21
Figura 07: Fluxograma do processo produtivo, entrada e saída de insumos	24
Figura 08: Extração da argila	25
Figura 09: Armazenamento da argila	25
Figura 10: Extrusora e cortador	27
Figura 11: Secador	26
Figura 12: Secador natural	28
Figura 13: Processo de cozimento cerâmico	29
Figura 14: Distribuição da produção de cerâmica vermelha por região	32
Figura 15: Peneiras	33
Figura 16: Resultado após peneiramento	36
Figura 17: Agitador mecânico de peneiras	37
Figura 18: Ensaio de Plasticidade	38
Figura 19: Aparelho de Casagrande com argila	39
Figura 20: Caracterização da graduação do solo	42
Figura 21: Curvas de graduação do solo	44
Figura 22: Formato do grão da argila	47
Figura 23: Diâmetros das partículas da argila	48
Figura 24: Massa de argila antes do cozimento	50
Figura 25: Massa de argila depois do cozimento	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Massa passante X Diâmetro das aberturas das peneiras	42
Gráfico 02: Massa retida X Diâmetro das aberturas das peneiras	43
Gráfico 03: Obtenção do Limite de Liquidez.....	46
Gráfico 04: Composição da amostra de argila	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Tipos de ligações dos materiais cerâmicos	29
Tabela 02: Distribuição Cerâmica	32
Tabela 03: Resultados das análises granulométricas dos grãos de argila	41
Tabela 04: Dados do ensaio do Limite de Plasticidade	45
Tabela 05: Dados do ensaio do Limite de Liquidez	46
Tabela 06: Classificação segundo o valo de IP	47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCRAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional de Indústrias Cerâmica
FRX	Fluorescência de Raio X
IBGE	Índice Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índice de Plasticidade
Kg	Quilograma
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MEV	Microestrutura Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PIB	Produto Interno Bruto
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. PROBLEMATIZAÇÃO	15
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. Objetivo Geral	16
3.2. Objetivo Específico	16
4. JUSTIFICATIVA	17
5. REFERENCIAL TEÓRICO	18
5.1. Matéria Prima - Argila	18
5.1.1. Tipos de Argilas	19
5.1.1.1. Bentonita	19
5.1.1.2. Caulim	19
5.1.1.3. Argilas refratárias	20
5.1.1.4. Argilas em bola	20
5.1.1.5. Argilas fibrosas	21
5.1.1.6. Terra FULLER	21
5.1.1.7. Argila comum	21
5.1.2. Argilominerais	22
5.2. Cerâmica Estrutural	22
5.2.1. Processo de Produção Cerâmica	23
5.2.1.1. Extração da argila	24
5.2.1.2. Desintegração	25
5.2.1.3. Mistura	26
5.2.1.4. Laminação	26
5.2.1.5. Extrusão e corte ou moldagem	26
5.2.1.6. Secagem	27
5.2.1.7. Queima	28
5.2.1.8. Inspeção	29
5.2.1.9. Estocagem e expedição	29
5.2.3. Microestrutura	29
5.3. Vitrificação Cerâmica	30
5.4. Segmentação de Mercado	31
5.5. Ensaio de Caracterização da Argila	33

5.4.1. Granulometria	33
5.4.2. Limite de Liquidez e Plasticidade	34
5.4.3. Microestrutura Eletrônica de Varredura	34
5.4.4. Fluorescência de Raio X	35
6. METODOLOGIA	36
6.1. Granulometria	36
6.2. Limite de Plasticidade	37
6.3. Limite de Liquidez	38
6.4. Microestrutura Eletrônica de Varredura	39
6.5. Fluorescência de Raio X	39
6.6. Queima	40
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
7.1. Ensaio de Granulometria	41
7.2. Ensaio do Limite de Plasticidade (LP)	44
7.3. Ensaio do Limite de Liquidez (LL)	45
7.4. Índice de Plasticidade	47
7.5. Ensaio de Microestrutura Eletrônica de Varredura	47
7.6. Ensaio de Fluorescência de Raio X	48
7.7. Processo de Cozimento e Realização da Vitrificação	49
8. CONCLUSÃO	52
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

O método de construção mais utilizado atualmente é com cerâmica estrutural ou comumente chamada de cerâmica vermelha (blocos, lajes, telhas, vasos ornamentais, argila expandida), caracterizada geralmente por sua cor. A matéria prima fundamental para esse processo é a argila e sua variabilidade proporciona a produção de diversos artefatos para variados fins.

As indústrias ceramistas, olarias, estão localizadas na maioria das vezes próximas aos rios ou onde existe uma maior concentração da matéria prima, sendo que outro fator que contribua para sua localidade é a proximidade das zonas urbanas, sendo alvo para maior número de construções de moradias, comércio, lazer e qualquer outro que venha ser de necessidade humana.

A ANICER – Associação Nacional de Indústrias Cerâmica mostra que existem cerca de 6903 empresas e olarias no Brasil, gerando empregos de forma direta e indireta, contribuindo no Produto Interno Bruto – PIB com seu faturamento anual e representando cerca de 4,8% de toda a Indústria da Construção Civil. Geralmente são formadas por grupos familiares que constituem micro ou pequenas empresas no setor gerando empregos e desenvolvimento para sua localização.

O Brasil tem um grande potencial de produção, visto que, possui um grande acervo de jazidas e minerais condicionantes para o uso cerâmico e, devido a sua distribuição populacional o maior número de consumidores e o desenvolvimento econômico os maiores pólos indústrias estão localizados nas regiões Sudeste e Sul. No entanto, a região Nordeste vem apresentando notável crescimento no setor devido a existência de matéria prima e o mercado consumidor em desenvolvimento. (NUNES e RESENDE, 2013)

O estado do Rio Grande do Norte possui uma quantidade de 200 indústrias cerâmicas vermelhas produzindo telhas, tijolos e lajotas. Essas cerâmicas encontram-se distribuídas principalmente pelos pólos do vale do Assú, da Grande Natal e do Seridó. (SILVA, 2007).

A demanda por materiais cerâmicos vem crescendo nos próximos anos, sendo assim, é ideal o aperfeiçoamento de mecanismos já existentes e a criação de novas técnicas de produção, afetando diretamente na qualidade do produto final. Para isso, o estudo dos minerais encontrados na argila, bem como testes de qualidade, adições de minerais que possam vir faltar na composição argilosa, podem ajudar no desenvolvimento do processo de produção resultando em um melhor produto, apresentando uma melhor resistência, dureza ou compactação e consequentemente tendo um maior tempo de vida útil.

No processo de produção da cerâmica é necessário que a argila passe por diversas etapas, no entanto, é no momento da queima ou cozimento da massa argilosa que ela adquire maior resistência, adquirindo uma melhor qualidade. Existem casos em que a temperatura a que é exposta pode não ser suficiente para uma boa aquisição desta propriedade e deve ser por isso que uma melhor técnica de controle pode aferir mais qualidade ao produto. Nessa etapa do processo de produção a massa argilosa queimada entra em sua fase vítrea (sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3) presentes na argila se fundem) quando exposta a uma temperatura ideal, onde suas estruturas atômicas se recombinaem e cristalizam-se, formando novos minerais ou uma película de vidro aumentando consideravelmente sua resistência, dureza e compactação. (CALLISTER, 2012)

Abordando um contexto de impactos ambientais o ciclo de produção cerâmica causa grande dano ambiental devido a produção de resíduos, a liberação de gases, desmatamento, extrativismo de minerais, entre outros. Todavia, é no processo de cozimento ou queima que o maior dano é causado, pois exige mais recursos materiais.

Como é almejada a vitrificação das peças, então, uma maior temperatura para o cozimento é necessária e conseqüentemente uma maior quantidade de combustíveis, gerando uma maior emissão de gases, um maior desmatamento e uma maior quantidade de resíduos. Diante do exposto, este trabalho objetivou caracterizar a argila verificando se esta é ideal para a produção cerâmica; e o processo de cozimento da massa argilosa, depois de moldada de acordo com a peça desejada (tijolos, blocos, telhas, etc.).

2. PROBLEMATIZAÇÃO

Um controle de qualidade do processo de produção cerâmico é necessário afim de agregar melhores características ao produto final. Devido ao crescente e exigente mercado consumidor uma saída para este problema é o método de vitrificação cerâmica o qual é possibilitado através de um estudo da argila, onde será realizada uma análise dos seus compostos que proporcionarão esta vitrificação e verificando também a temperatura para que cheguem a este estado.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Caracterizar a argila e realizar um estudo da fase de queima o processo de vitrificação do material cerâmico em uma indústria de cerâmica vermelha em São Francisco do Oeste – RN.

3.2. Objetivos Específicos

- Averiguar quais os compostos vitrificam;
- Verificar a temperatura de vitrificação.

4. JUSTIFICATIVA

O grande potencial para a construção é algo que está presente na história humana, é preciso escolher então, maneiras cada vez melhores de aumentar a resistência e a durabilidade da construção. Portanto, é devido ao grande aumento do crescimento na quantidade de obras de construção causando um aumento na utilização da cerâmica vermelha.

O processo de fabricação da cerâmica passa por diversas etapas, mas é na fase de queima que a cerâmica adquire sua resistência e dureza. Contudo, existe maneiras de aumentar essa resistência, dureza e também a compactação ao conjunto, logo, é o mecanismo de vitrificação cerâmica que pode solucionar esse problema através de um estudo prévio sobre a argila.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1. Matéria Prima - Argila

A argila é um importante material visto que suas atribuições para produção de diversos materiais são inúmeras devido a sua plasticidade. Trata-se de um material presente em abundância na natureza principalmente em margens de rios e manguezais.

O principal produto para a produção na indústria ceramista é a argila, considerada por Meira (2001, p. 01) “como sendo um produto natural, terroso, constituídos por componentes de grão muito fino, entre os quais se destacam, por serem fundamentais, os minerais argilosos”.

Para Bauer (1974, p. 527):

Argilas são materiais terrosos naturais que, quando misturados com água, adquirem a propriedade de apresentarem alta plasticidade. [...] constituídas essencialmente de partículas extremamente pequenas, formadas por um número restrito de substâncias. Essas substâncias são chamadas de argilominerais.

A argila é formada a partir da desagregação de rochas que contém feldspato, um grupo de silicatos que formam cerca de 60% da crosta terrestre. Essa desagregação ocorre por ações químicas e físicas do ambiente sobre as rochas, onde parte da rocha é transformada e fragmenta em partículas muito pequenas denominadas de argilominerais. Em conformidade com Estudos de Mercado Sebrae/ESPM (2008) as matérias-primas são obtidas de alguns depósitos, tais como:

- Argilas residuais: são as que permanecem na zona de intemperismo, geralmente causado por água;
- Argilas sedimentares: que se deslocam da zona de intemperismo por meio de agentes transportadores como o vento para a zona de acúmulo;
- Argilas diagenéticas: alteradas química e mineralogicamente, ocorrendo após uma camada de solo se sobrepor sobre ela.

Para a cerâmica estrutural, especificamente a cerâmica vermelha, de acordo com Araujo, Rodrigues e Freitas (2000, p. 111), o seu componente principal é a argila, a qual contém grande quantidade de óxido de ferro (Fe_2O_3) que é o responsável pela coloração avermelhada.

5.1.1. Tipos de Argilas

5.1.1.1. Bentonita

Definida pela NBR 06502 - Norma Brasileira Regulamentadora de Rochas e Solos (1995) como uma argila que possui um elevado teor de montmorilonita, um mineral de fórmula química $(\text{Mg,Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Si}_5\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ e que é caracterizada geralmente por sua alta expansibilidade quando posta em umidade. (Figura 01).

Figura 01: Bentonita



Fonte: Sun Products (2015).

5.1.1.2. Caulim

Para a NBR 6502/1995, Caulim é uma argila que em sua composição é constituída basicamente do mineral caulinita, possuindo fórmula química $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ e uma coloração branca ou quase branca. (Figura 02)

Figura 02: Caulim



Fonte: <http://www.ventruz.com.br/Caulim.html>

5.1.1.3. Argilas refratárias

Conhecidas por Meira (2001) por possuírem refrataridade superior a 1500°C, sendo argilas sedimentares com uma coloração castanho claro. Originam-se entre camadas de carvão ou sob elas. (Figura 03)

Figura 03: Argila refratária



Fonte: <http://www.refratil.com.br/produto/argamassas-refratarias>

5.1.1.4. Argilas em bola

Para Meira (2001) são argilas com uma granulometria muito fina, diâmetro inferior a 1µm, o que define sua propriedade de alta plasticidade. Compostas por caulinita, clorita ((Mg,Al,Fe)₁₂(Si, Al)₈O₂₀(OH)₁₆), montmorilonita, interestratificados ilita-montmorilonita e matéria orgânica. (Figura 04)

Figura 04: Depósito de argilas em bola (Ball Clay)



Fonte: Shree Umiya Corporation (2010).

5.1.1.5. Argilas fibrosas

Essas argilas possuem minerais fibrosos e são caracterizadas por desenvolver alta viscosidade nas suspensões ou dispersões que participam. (MEIRA, 2001)

5.1.1.6. Terra FULLER

Bredariol et al. (2011) informa que “Terra Fuller é o nome comercial da Atapulgita ($R_5Si_8O_{20}(OH_2)(OH_2)_4 \cdot 4H_2O$), um argilomineral motmorilonítico de estrutura 2:1, composto basicamente por silicato, de alumínio ou magnésio, hidratado”. (Figura 05)

Figura 05: Terra Fuller (atalpugita)



Fonte: Alibada.com

5.1.1.7. Argila comum

De acordo com Meira (2001) é o tipo de argila mais encontrada atualmente, ocorre geralmente em depósitos de sedimentos e muito utilizada na fabricação dos mais variados objetos cerâmicos, geralmente de cor vermelha. (Figura 06)

Figura 06: Depósito de argila comum para cerâmicas vermelhas



Fonte: Mineração e Geologia Aplicada – MGA (2009).

5.1.2. Argilominerais

Argilomineral é um nome técnico utilizado para definir minerais constituídos por silicatos hidratados de ferro e alumínio, podendo conter elementos alcalinos como o sódio e o potássio e alcalinos terrosos como o cálcio e o magnésio. Formados a partir da alteração dos minerais primários das rochas ígneas e metamórficas, ou são constituintes de rochas sedimentares. Possuem a propriedade de absorver às superfícies de suas partículas quantidades variáveis de água e íons. Os principais grupos de argilominerais são: caulinita, micas hidratadas e esmectitas. (NBR 06502,1995)

Conforme Bauer (1994), os argilominerais “são silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Junto com esses elementos básicos vem a sílica, alumina, mica, ferro, cálcio, magnésio, matéria orgânica, etc.”. Esses silicatos podem vir ainda associados a elementos álcalis ou alcalinos terrosos.

Os solos possuem em sua composição mineralógica os argilominerais, designados como minerais secundários, e ocorre quando as modificações das rochas causadas pelo intemperismo. Com isso, adquirem a capacidade de trocar íons, ou seja, têm íons fixados na superfície, entre as camadas e dentro dos canais do retículo cristalino. (LUNA E SCHUCHARDT, 1999)

5.2. Cerâmica Estrutural

A indústria cerâmica é uma das mais antigas do mundo, em vista da facilidade de fabricação e abundância de matéria prima – o barro”. (BAUER, 1994).

Relatos bíblicos mostram que o uso de tijolos de adobe, pedras artificiais, na construção da Torre de Babel, ou seja, anterior a era cristã onde também eram produzidos artefatos domésticos por cozimento da argila. Devido a Torre encontrar-se localizada entre os rios Tigres e Eufrates, na antiga Mesopotâmia, existia uma grande escassez de pedra e uma grande abundância na presença de materiais argilosos. (ARAUJO; RODRIGUES e FREITAS, 2000)

Estudos arqueológicos mostrados em Estudos de Mercado Sebrae/ESPM (2008) realizado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) revela que a ocorrência de utensílios cerâmicos é datada desde 25000 a.C., período Pré-neolítico, e de materiais de construção desde 6000 a 5000 a.C., como tijolos, blocos e telhas.

As peças cerâmicas mais elaboradas vem de 4000 a.C. e entorno de 3000 a.C. existem registros de construções de muros e revestimentos externos com os primeiros tijolos queimados. Já no Brasil a presença de artefatos cerâmicos vem de muito antes do seu período em que foi colonizado, cerca de 2000 anos. (Estudos de Mercado Sebrae/ESPM, 2008)

A cerâmica é um dos materiais mais antigos criados pelo homem, que em grego recebe o nome “Keramikos” significando “matéria queimada”, obtida através de um cozimento a altas temperaturas. (CALLISTER, 2012)

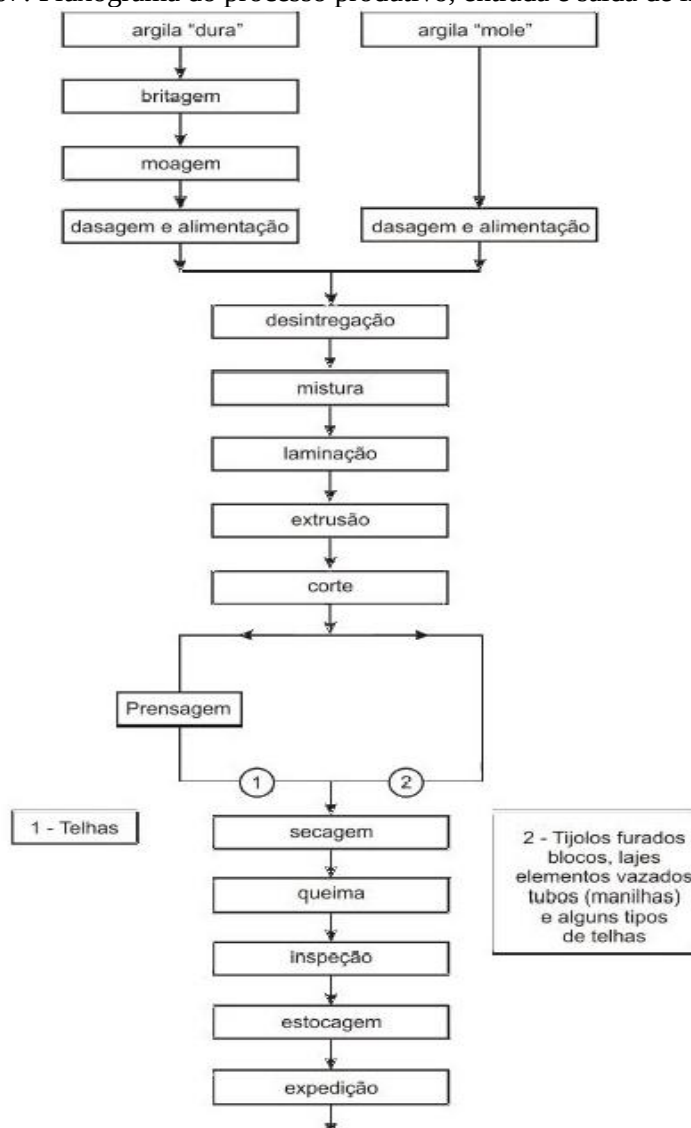
Bauer (2005) considera cerâmica como “[...] à pedra artificial obtida pela moldagem, secagem e cozedura de argilas ou de misturas contendo argilas”. Um dos tipos de cerâmicas mais abrangentes é a vermelha, pois é o que mais se é usado em escala industrial como tijolos, telhas, blocos, lajes e muitos outros que podem ser encontrados no cotidiano da construção civil.

É importante destacar a existência de muitos conceitos para definir materiais cerâmico, de modo que Cascudo, Carasek e Hasparyk (2007, pg. 321) os definem como “materiais formados por compostos de elementos metálicos (Al, Na, K, Mg, Ca, Si, etc.) e um dos cinco seguintes elementos não metálicos: O, S, N, C e P”.

5.2.1. Processo de Produção Cerâmica

De acordo com a ABC - Associação Brasileira de Cerâmica o processo de produção da cerâmica vermelha segue uma linha ou um fluxograma, visando compreender as etapas de preparação da matéria prima e da massa, formação peças, tratamento térmico e acabamento. A seguir, a Figura 07 mostra o fluxograma do processo de produção:

Figura 07: Fluxograma do processo produtivo, entrada e saída de insumos.



Fonte: Guia, 2013

Todo o processo de produção é composto pelas etapas demonstradas na figura, e explicitando cada etapa:

5.2.1.1. Extração da argila

A extração da argila da argila é realizada a céu aberto manualmente ou por auxílio de máquinas, tais como tratores, escavadeiras, entre outros equipamentos (NUNES e RESENDE, 2013). A argila pode ser encontrada em sua bacia de forma “dura” que precisará passar pelos processos de britagem e moagem para ficar trabalhável, ou pode ser uma argila “mole”. (Figura 08)

Figura 08: Extração da argila



Fonte: <http://www.ceramicasalema.com.br/>

5.2.1.2. Desintegração

Descrito por Nunes e Resende (2013), o processo de desintegração também é entendido como uma etapa em que a matéria prima é recebida e parte dela é destinada, uma pequena quantidade preferencialmente da primeira e da última carga, para se realizar estudo devido a modificações que podem ocorrer na argila no processo de extração. Nessa etapa é de fundamental importância deixar a argila passar por um período de descanso para que melhores os resultados do produto final. (Figura 09)

Figura 09: Armazenamento da argila



Fonte: Telhas Polla (2016).

5.2.1.3. Mistura

O tratamento da matéria prima realizando misturas de resíduos, argilas e água produz uma massa adequadamente preparada para a elaboração de produtos cerâmicos, que resulta em economia de energia elétrica superior a 35% e com cerca de 25% de aumento na produção, redução no índice de deformações, além de menor desgaste dos equipamentos. (NUNES, 2012 p. 8 apud TAPIA et al., 2000)

Para a realização do tratamento para a argila é necessário seguir alguns procedimentos segundo Nunes e Resende (2013):

- Homogeneização da mistura, argila/argila ou argila/água;
- Redução dos grãos;
- Descanso da massa cerâmica por um período de 24 a 48 horas.

5.2.1.4. Laminação

Esta etapa é realizada por um equipamento denominado de laminador. O laminador é responsável por controlar o fluxo de argila, fazendo uma regulagem periódica, afim de evitar eventuais perdas de material. Assim, a qualidade da laminação determina sua qualidade para um bom acabamento no produto final, proporcionando uma redução em sua granulometria o que acarretando um consumo menor de energia na etapa de queima. (NUNES e RESENDE, 2013)

5.2.1.5. Extrusão e corte ou moldagem

São diversos os processos para modelar uma peça cerâmica e variados motivos como, fatores econômicos, mecanismos de prensagem e corte, características particulares da matéria prima, dimensões granulométricas, entre outros.

Nunes e Resende (2013) explicitam o processo de extrusão “em forçar, por pressão, a massa a passar através de um bocal apropriado ao tipo de peça a ser produzida”. A máquina que a realiza é a extrusora ou maromba (Figura 10), que em sua saída obtém-se uma coluna de massa pronta para ser cortada manualmente ou automaticamente, essa coluna é formada por um conjunto de bocais e o cortador é responsável também para dar a forma desejada e o acabamento do produto cerâmico.

De acordo com Vásquez (2005) entende-se por extrusão “a etapa o processo cerâmico onde a matéria prima, ou melhor a massa ou mistura assume uma forma ou um formato bem definido”. Uma das partes mais onerosas do mecanismo de produção encontra-se nessa etapa, mais de 15% dos custos de fabricação.

Figura 10: Extrusora e cortador



Fonte: <http://www.ceramicasalema.com.br/>

5.2.1.6. Secagem

Oliveira (2011) diz que “a secagem consiste na eliminação da água utilizada a fabricação das peças”, sendo eliminada lenta e uniformemente. Esta é a etapa que antecede a queima, sendo de fundamental importância, dado que o material seca e fica somente a água adsorvida, uma quantidade de água que a somente a secagem não elimina, ou seja, é uma água interna na partícula de argila. Além disso, peças com umidade excessiva aumentam o ciclo de queima consequentemente o consumo de combustível.

Para a secagem existem dois tipos em que pode ser empregada: a secagem natural e a artificial. A secagem natural é a mais empregada nas indústrias cerâmicas dado o seu menor custo na geração de calor favorecida em regiões mais quentes. A secagem artificial é utilizada em câmaras de alvenaria comum gerando uma maior produtividade em um menor período de tempo, reduzindo perda e melhorando sua qualidade. (NUNES; RESENDE, 2013)

Figura 11: Secador



Fonte: ANICER (2015).

Figura 12: Secagem natural



Fonte: FIERN (2014).

5.2.1.7. Queima

Na queima o material cerâmico obtém sua resistência mecânica, resistência a água, dureza e vitrificação. Esse mecanismo realizado por efeito térmico de acordo com Nunes e Resende (2013) faz com que ocorra “transformações físico-químicas das peças como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem (sinterização) dos grãos”.

Ao realizar a secagem das peças, estas foram ser calcinadas em fornos de altas temperaturas, que através de transformações físico-químicas, altera as propriedades mecânicas, cor e dimensões da peça. A temperatura de queima é da ordem de 750°C a 900°C para tijolos, e de 900°C a 950°C para telhas. A etapa de queima é realizada em fornos, cuja concepção térmica e os combustíveis empregados possuem grande variedade. (BACCELLI JÚNIOR, 2010).

Ao ser cozidas as peças várias reações químicas ocorrem mudando a estrutura atômica e através de reações químicas e um fator determinante para essas reações é o de temperatura do forno e tempo que influem diretamente no resultado final, tendo que os constituintes da massa também reagem com os gases gerados e que estão em contato. (VÁSQUEZ, 2005)

Figura 13: Processo de cozimento cerâmico



Fonte: Cerâmica Salema

5.2.1.8. Inspeção

A inspeção é realizada afim de detectar peças defeituosas, com trincas, deformidades ou que não atendas as dimensões estabelecidas em norma técnica de acordo com o processo produtivo.

5.2.1.9. Estocagem e expedição

A estocagem é realizada sob áreas cobertas ou abertas, o fator condicionante é o clima da região. Logo, após esta estocagem tem o envio do produto final ao mercado consumidor.

5.2.2. Microestrutura

As estruturas cerâmicas tem em sua composição a presença de no mínimo dois elementos, sendo que suas ligações químicas variam desde ligações iônicas até covalentes, podendo apresentar os dois tipos de ligações em um único composto. (CALLISTER, 2012)

Tabela 01: Tipos de ligações nos materiais cerâmicos (adaptado de ANDERSON et al., 1990).

Tipos de Ligação	Material
Covalente	Si
	SiC
	Si ₃ N ₄
Iônica	NaCl
	MgO
	Mica - (K,H ₃ O)Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂
Covalente-Iônica	Al ₂ O ₃
	Quartzo – SiO ₂
	Vidro soda-cal – Na ₂ O.CaO.6SiO ₂

Fonte: ISAIA (p.321, 2007).

Existem diversos compostos cerâmicos como o óxido de magnésio (MgO), a alumina (Al_2O_3), a sílica (Si_2O) e a caulinita ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})$), para a sílica ela pode existir com diversos arranjos estruturais, desde a sílica vítrea passando por diversas etapas cristalinas como o quartzo, a cristobalita e a tridimita. (CASCUDO, CARASEK e HASPARYK, 2007)

5.3. Vitrificação Cerâmica

A vitrificação cerâmica é a capacidade de tornar vítrea a superfície de um determinado produto de argila mediante ao cozimento a uma temperatura específica.

A queima da massa de argila passa por vários estágios a diferentes temperaturas. O calor fornecido durante a queima elimina todo tipo de água presente nas argilas, a água de absorção e a água zeolítica, eliminadas respectivamente a temperaturas entre 100°C e 110°C e entre 300°C e 400°C. Dependendo do tipo de argila a água de constituição, que é aquela que faz parte da composição química do material, é eliminada a temperaturas entre 400°C e 700°C, destruindo a estrutura cristalina do material. Entre 900°C e 1000°C, a estrutura cristalina transforma-se em massa amorfa, ou seja, não possui mais uma ordenação espacial em sua estrutura atômica, a partir daí a sílica e a alumina se recombina e cristalizam, formando novos minerais. A formação de vidro no interior da cerâmica, pela fusão da sílica livre (1200 °C) com posterior solidificação, também contribui para a estabilidade estrutural das cerâmicas, principalmente as de alta vitrificação. (ARAUJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000)

Muitas argilas se enquadram na classificação de silicatos, materiais compostos principalmente por silício e oxigênio. O silicato mais simples é o dióxido de silício ou sílica (SiO_2) que estruturalmente forma uma rede tridimensional de tetraedros com átomos de oxigênio nas pontas, e, com o cozimento a uma determinada temperatura esses tetraedros se reorganizam de maneira regular e ordenada formando uma rede cristalina. (CALLISTER, 2012)

Os teores de alguns minerais indicam as propriedades dos tipos de argilas. O silício pode ser encontrado em diferentes teores e unidos a elementos que possam mudar as características das argilas, no tipo de Argila Comum, por possuir alta plasticidade, é constituída pelo grupo illita ($((\text{OH}_4)\text{K}_y(\text{Al}_4\text{Fe}_4\text{Mg}_4\text{Mg}_6)\text{Si}_{8-y}\text{Al}_y)\text{O}_{20}$), o Caulim é constituída basicamente de caulinita com 39,5% de óxido de alumínio, 46,5% de óxido de silício (SiO_2) e 14,0% de água, as Argilas Refratárias são formadas essencialmente pelo grupo caulinita com quantidades variáveis de quartzo e micas, as argilas em bola são constituídas de caulinitas associadas a quartzo e hidromica e as Bentonitas são ricas em montmorilonitas.

Dessa forma, os processos de aquecer essas argilas a elevadas temperaturas modificam sua estrutura atômica fazendo-os se associarem de forma diferente e os silicatos (compostos

com silício) acabam se fundindo e adquirindo característica de um líquido (película vítrea), acarretando uma maior resistência ao material formado. (CALLISTER, 2012)

Bauer (2005) relata que a sílica de constituição forma uma pequena quantidade de vidro que aglutina junto dos outros elementos dando dureza, resistência e compactação ao conjunto, aparecendo assim a cerâmica propriamente dita.

Semelhante ao processo de vitrificação em cerâmicas vermelhas tem-se esse mecanismo em vidrocerâmicas, um material cerâmico obtido por técnicas vidreiras e constituído de microcristais dispersos em uma fase vítrea. Transformados de um estado não cristalino em um estado cristalino conduzido por um tratamento térmico a elevadas temperaturas, esse processo é denominado de cristalização e o produto é um material policristalino com grãos muito finos denominados de vidrocerâmicas.(CALLISTER, 2012)

5.4. Segmentação de Mercado

A distribuição nacional da produção de cerâmica vermelha é representada em sua maioria por empresas de pequeno e médio portes. Atendendo ao mercado da construção, essas empresas são distribuídas por todo o país e estão localizadas nas regiões mais próximas a cidades devido a uma maior disponibilidade de mão de obra e onde há maior disponibilidade de matéria prima. O Brasil é um grande empregador quando se trata do mercado ceramista, pois na última década ocorreu um crescimento no setor da construção civil considerável. De acordo com Bustamente e Bressiani (2000, p. 01):

Distribui-se por todo o país, muito pulverizada, em micro e pequenas empresas, quase sempre de organização simples e familiar. Levantamentos mostram que existem 11.000 unidades produtivas, em uma média de 25 a 30 empregados, somando entre 250.000 a 300.000 empregos.

Entretanto, esses dados aumentaram devido ao crescimento acelerado da construção civil nos últimos anos, a ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica mostra com dados de 2008 que existe cerca de 6.903 empresas de produção, o que representa 4,8% do setor da construção civil gerando um faturamento anual de 18 bilhões de reais com aproximadamente 293 mil empregos diretos e 900 mil empregos indiretos. Evidentemente esses dados podem ser ainda maiores devido ao grande número de empreendimentos não cadastrados por serem de pequeno porte ou de subsistência familiar.

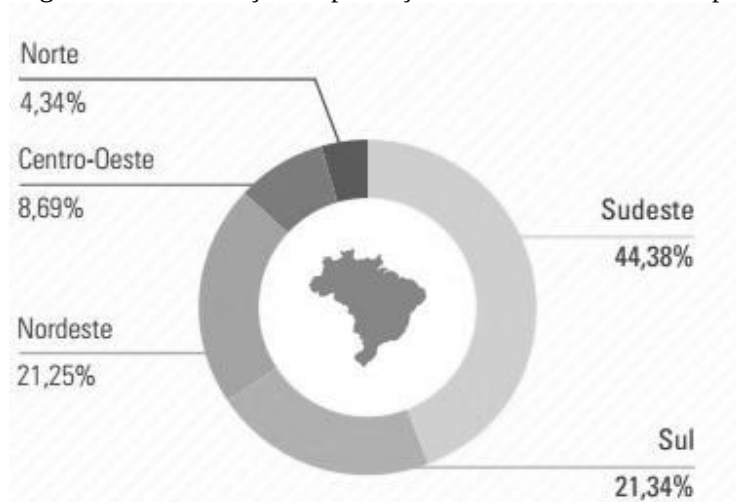
Tabela 02: Distribuição Cerâmica.

	Nº empresas aproximado	% aproximado por área	Prod./Mês (Nº de peças)	Consumo (Ton/mês)
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*	-

Fonte: ANICER (2008).

A Associação Brasileira de Cerâmica (2016) informa que o setor cerâmico se desenvolveu mais pelas regiões Sudeste e Sul devido a várias razões, sendo nestas, portanto, que existe uma grande concentração de indústrias de diversos segmentos cerâmicos. Fatores foram condicionantes para tal desenvolvimento como, maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura, melhor distribuição de renda, associado ainda as facilidades de matérias-primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas. A Figura 14 a seguir mostra a distribuição nacional da produção industrial, com isso é possível salientar que, outras regiões do país apresentam um certo grau de desenvolvimento, principalmente no Nordeste, onde tem aumentado a demanda de materiais cerâmicos, principalmente nos segmentos ligados a construção civil, o que tem levado a implantação de novas fábricas cerâmicas nessa região.

Figura 14: Distribuição da produção de cerâmica vermelha por região



Fonte: ANICER (2015).

Abordando nesse contexto o Estado do Rio Grande do Norte possui três grandes pólos para o setor ceramista, localizados no Baixo Assú, Seridó/Trairi, Grande Natal e do Alto Oeste, com produção voltada para insumos como tijolos, lajotas, telhas, blocos, etc., tornando-se uma boa fonte de empregabilidade e contribuindo para o desenvolvimento local. (BACCELLI JÚNIOR, 2010)

O Índice Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013) o estado do Rio Grande do Norte está dividido em 167 municípios. As indústrias estão localizadas em 42 municípios divididas nos quatro pólos da seguinte forma: 38 na região Grande Natal, 99 na região Seridó, 33 na região Baixo Assú e 16 na região Alto Oeste.

5.5. Ensaios de Caracterização da Argila

5.5.1. Granulometria

Os solos em suas características granulométricas apresentam variadas formas e tamanhos. Existe dois métodos para a realização dessas análises, o processo de peneiramento e o de sedimentação, o primeiro caracteriza solos grossos, solos retidos no método de peneiramento na peneira de malha 200 (com abertura de 0,075mm), já o segundo método caracteriza solos finos, passantes na peneira de malha 200, pois peneiras com malhas inferiores não seriam adequadas ao peneiramento o que pode causar quebra de partículas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT possui uma classificação quanto as dimensões das peneiras utilizadas para este tipo de ensaio disponibilizadas na Figura 15.

Figura 15: Peneiras

Serie Normal / <i>Série Normal</i>	Serie Intermedia / <i>Série Intermediária</i>
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: NBR NM 248/2001.

A análise das dimensões das partículas da argila traz resultados importantes permitindo deduzir sua natureza ou proveniência (disponibilidade de partículas das rochas que a deu origem), sobre o transporte (caso não seja uma argila residual e em que fatores o agente transportador interagiu com sua composição química) e ambientes deposicionais. (DIAS, 2004)

A granulometria das partículas é representada graficamente por uma curva e pode classificada ainda em bem graduada ou mal graduada, baseado em que, para solos mal graduados existe a ausência ou predominância de partículas de solos com determinados

diâmetros formando uma curva descontínua ou uniforme, já para a bem graduada existe grãos de todas as faixas de aberturas de diâmetros das peneiras caracterizando uma curva contínua.

5.5.2. Limite de Liquidez e Plasticidade

Os ensaios para Limites de Liquidez (LL) e de Plasticidade (LP) também são conhecidos como limites de consistência ou de Atterberg, são procedimentos estabelecidos por normas NBR 6459 e NBR 7180, respectivamente.

Segundo Souza, Segantini e Pereira (2008) esses limites de consistência são os fatores que expressam as melhores condições de trabalhabilidade dos solos, sendo que quanto maior seja os valores desses limites poderão conduzir a maiores dificuldades na secagem e no destorroamento e também no processo de mistura dos componentes.

A umidade de um solo sendo muito elevada faz com que ele se apresente em um estado líquido e, à medida que essa água evapora ela passa de um estado líquido a um semissólido, com isso, a um certo grau de umidade desse solo pode-se afirmar que chegou ao seu limite de liquidez, dessa forma perde-se a capacidade de fluir e adquire a capacidade de moldar. (CAPUTO, 1996, p.53)

Em conformidade a isso, para Caputo (1996, p. 52) a plasticidade é uma propriedade relevante das argilas, uma vez que consiste na maior ou menor capacidade de serem moldadas, sob certas condições de umidade e sem variação de volume. Então, deduz-se que o limite de plasticidade é tido como o teor de umidade que o solo deixa de ser plástico e passa a ser quebradiço, significando o estado de transição entre os estados plástico e sólido. (GONÇALVES; MARINHO; FUTAI, 2014)

5.5.3. Microscopia Eletrônica de Varredura

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um aparelho utilizado para análise microestrutural de materiais sólidos. Este instrumento obtém imagens dos grãos do solo que propicia a uma boa interpretação e identificação das formas das partículas. Segundo Dedavid, Gomes e Machado (2007, pg. 9), o mecanismo de funcionamento desse tipo de microscópio utiliza “um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca”.

Maliska (2005) descreve como é o procedimento do lançamento do feixe de elétrons produzido com energia em uma quantidade suficiente para que possa ser captado por detectores. Diante disso, para o feixe eletrônico são então utilizadas várias lentes eletromagnéticas para

desmagnetização, cuja finalidade é produzir um feixe de elétrons focado com um pequeno diâmetro numa determinada região da amostra.

5.5.4. Fluorescência de Raio X

O método de análise por Fluorescência de Raios X (FRX) possui fins qualitativos ou quantitativos, uma característica peculiar é que este tipo de procedimento se baseia na medida de intensidade de raios X característicos emitidos pelos elementos químicos componentes da amostra, quando devidamente excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas, além do processo mais utilizado que é através de tubos de raios-X. (MELO JÚNIOR, 2007)

Esse método analítico é usado para determinação da composição química de todos os tipos de materiais, estando eles em seus estados sólidos, líquidos, em pó ou outras formas em que se encontre.

Nascimento Filho (1999) relata que esta técnica vem sendo utilizada principalmente para determinação da concentração de vários elementos que constituem amostras sólidas, sem que haja destruição dessas amostras e sem nenhum pré-tratamento químico. E para o caso de amostras líquidas pode-se recorrer a uma pré-concentração de substâncias por meio de trocas iônicas, precipitação, quelação, etc.

6. METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa foi realizada com a argila da indústria Cerâmica Freitas e Chaves, na região do Oeste Potiguar, na cidade de São Francisco do Oeste/RN. Inicialmente, foi preciso realizar uma análise da argila com base em alguns ensaios como o de Granulometria, Limite de Liquidez e Plasticidade, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Fluorescência de Raio X (FRX). Na etapa da queima foi realizado um estudo do mecanismo de vitrificação da produção afim de aumentar a resistência mecânica e a compactação do material, além disso, realizou-se um cozimento de uma pequena porção de massa argilosa para a análise de sua coloração.

6.1. Granulometria

Para o ensaio de Granulometria utilizou os dados da pesquisa de Costa (2016), dado que o tipo de argila do estudo foi a mesma. A realização do procedimento aconteceu no Laboratório de Engenharia Civil na UFERSA – campus Pau dos Ferros, consistindo inicialmente na secagem em estufa da argila. Após isso, utilizou as peneiras de 600 μm , 425 μm , 300 μm , 200 μm , 150 μm , fundo das peneiras (recipiente sem aberturas) e o equipamento Agitador de Peneiras da marca Lucadema, representado na Figura 17 em uma frequência de 60 Hz, para proceder com o peneiramento. Para o ensaio pegou-se 500 gramas da argila seca colocando-a sobre a peneira de 600 μm , dado que esta é a peneira que fica na parte superior, e ligou-se o aparelho. A partir daí, observou-se a quantidade de material que fica retido ou que é passante em cada peneira para a formação da curva granulométrica e permitindo a realização de alguns cálculos para sua caracterização.

Figura 16: Resultado após peneiramento



Fonte: Costa (2016).

Figura 17: Agitador mecânico de peneiras



Fonte: Costa (2016).

6.2. Limite de Plasticidade

O ensaio de Limite de Plasticidade foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da UFERSA - campus Pau dos Ferros, analisando as etapas em que o solo sai do seu estado de liquidez passando para o seu estado plástico até o semissólido.

A preparação da amostra para o ensaio foi descrita pela NBR 6457-1986, pegou-se uma quantidade de 200 gramas de material passante na peneira de 475 µm. Após isso, a NBR 7180-1984 caracteriza a determinação do Limite de Plasticidade, onde, em um recipiente é colocado metade da amostra peneirada e começa a adicionar água destilada em pequenas porções, amassando e revolvendo, com o auxílio de uma espátula, de forma a obter uma pasta homogênea e de consistência plástica. Tomou-se uma quantidade de cerca de 10 gramas da pasta e forma uma bola elipsoidal nas mãos, em seguida, a bola de argila e rolou sobre uma superfície de vidro esmerilhado com a palma da mão, até um cilindro ser obtido parecido com o de comparação, com comprimento de 10 cm e diâmetro de 3 mm, formando no mínimo três amostras.

Em seguida, as amostras foram colocadas em cápsulas e levadas a estufa afim de se determinar o teor de umidade de acordo com a NBR 6457-1986 passando por um período de 24 horas em estufa a uma temperatura aproximadamente de 110°, pesando-se novamente cada amostra após esse tempo como mostra a Figura 18. Uma vez que foram coletados os dados dos pesos das cápsulas, do peso total úmido e do peso total seco para que se obtivesse o peso da água, pode-se calcular o teor de umidade de acordo com a equação (1):

$$h (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} * 100 \quad (1)$$

Onde:

- m_u é a massa da argila úmida em gramas;

- m_s é a massa da argila seca em gramas;
- $h(\%)$ é a umidade em porcentagem da argila.

Figura 18: Ensaio de Plasticidade



Fonte: Autoria própria (2017).

6.3. Limite de Liquidez

O ensaio de Limite de Liquidez realizou-se no laboratório da UFERSA campus Mossoró, esse experimento visou analisar o teor em umidade adquirido pela a argila passando de um estado sólido para um estado líquido de forma gradual. Os materiais utilizados foram a argila, uma piceta, uma seringa, espátula, recipiente plástico, recipientes de alumínio, e o aparelho de Casagrande, dado que o procedimento de preparação da amostra e o ensaio de Limite de Liquidez foram descritos pela NBR 6457 e NBR 6459, respectivamente.

O procedimento se deu pegando-se uma quantidade de 200 gramas de amostra, como descrito em norma, e separou metade no recipiente plástico para começar a umedecer em pequenos incrementos com água destilado por meio da piceta, homogeneizando e revolvendo sempre a mistura até chegar a uma boa consistência, formando uma pasta para realização do ensaio. A pasta foi posta no aparelho de Casagrande, já calibrado, moldando-se de forma que na parte central ficasse uma ranhura da ordem de 10 mm de espessura, primeiro foi verificado quantos golpes seriam necessários para fechar essa ranhura e se a quantidade de golpes fosse muito superior o teor de umidade seria acertado colocando água através de uma seringa em quantidades de 1,5 ml.

Feito os testes de consistência, o ensaio se baseia na coleta de cinco dados, dois a uma faixa maior a 25 golpes, dois a uma faixa inferior e um bem próximo a esse valor. Então, o procedimento foi realizado cinco vezes, coletando amostras e a cada uma foi incrementado a quantidade de 1,5 ml de água deixando cada vez mais a pasta mais líquida, dado que as amostras foram levadas a estufa e realizando as pesagens de antes de depois para a representação gráfica da curva.

Figura 19: Aparelho de Casagrande com argila



Fonte: Edição própria (2017).

6.4. Microestrutura Eletrônica de Varredura

O ensaio Microestrutura Eletrônica de Varredura realizou-se no laboratório de microscopia eletrônica na UFRSA campus Mossoró, este analisa as correlações da microestrutura, defeitos e propriedades dado que o microscópio utilizado foi um modelo DMS 962 Zeiss, operado a 25KV, com utilização de elétrons secundários.

O procedimento foi realizado por Costa (2016), sabendo que a argila estudada foi a mesma. O preparo de amostras começou por uma determinada quantidade de argila posta para secar em estufa, a uma temperatura de aproximadamente 1600°C. Após essa etapa, a amostra foi colocada em dessecador para resfriar de modo a não absorver umidade, sendo posteriormente triturada em almofariz de porcelana até a granulometria correspondente à peneira de diâmetro de abertura de 0,057 mm e peneirada diretamente sobre o porta-amostra recoberto com fita de carbono, de modo que a deposição das partículas fosse aleatória.

6.5. Fluorescência de Raio X

O ensaio de Fluorescência de Raio X realizou-se na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) que é capaz de identificar algumas propriedades da estrutura molecular, que são os componentes da amostra de solo enviada. O equipamento utilizado foi o espectrômetro EDX-720 que identifica os elementos presentes através da análise dos comprimentos de onda dos raios-X produzidos.

A amostra foi preparada da seguinte forma: a princípio a argila passou por um período de 24 horas em estufa a uma temperatura de 110°C, logo após foi destorroada e passada na peneira de 0,075 mm pegando-se uma quantidade de 200 gramas, com o objetivo de uniformizar o tamanho das partículas para que o aparelho pudesse detectar sua estrutura molecular.

6.6. Queima

A pesquisa destinou a um estudo bibliográfico para dar os resultados sobre como a argila da Cerâmica Freitas e Chaves se comportará na fase de queima, verificando as temperaturas em que uma amostra possa se vitrificar acima de 950°C e averiguando quais compostos de vitrificação com base nos teores dos seus elementos obtidos no ensaio de Fluorescência de Raio X e de acordo com o tamanho dos grãos obtidos pelo ensaio de Microestrutura Eletrônica de Varredura propiciando uma maior resistência mecânica e uma maior durabilidade da peça produzida.

Contudo, também foi realizada a queima na mufla da UFERSA – Campus Pau dos Ferros de uma pequena amostra para analisar a coloração que adquire a uma temperatura de 950°C. Esse processo se baseou em 3 etapas de queima: a 120°C, 450°C e 950°C com uma velocidade de aquecimento de 5 °C/min.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Ensaio de Granulometria

As análises dos dados foram de acordo com o ensaio de análise granulométrica realizado por Costa (2016) e que estão dispostos na Tabela 03.

Tabela 03: Resultados das análises granulométricas dos diâmetros dos grãos de argila.

Peneiras (#)	Diâmetro (µm)	M _p (kg)	M _{p+pó} (kg)	M _{retida} (kg)	M _{r_acum.} (kg)	M _{pas.} (kg)	%M _{retida}	%M _{r_acum.}	%M _{pas.}
30	600	0,321	0,343	0,022	0,022	0,478	4,4%	4,4%	95,6%
40	425	0,327	0,349	0,045	0,067	0,433	9,0%	13,4%	86,6%
50	300	0,314	0,367	0,053	0,12	0,38	10,6%	24,0%	76,0%
75	200	0,29	0,364	0,074	0,194	0,306	14,8%	38,8%	61,2%
100	150	0,365	0,455	0,082	0,276	0,224	16,4%	55,2%	44,8%
Fundo	0	0,373	0,464	0,091	0,367	0,133	18,2%	73,4%	26,6%

Fonte: Autor (2017).

A Tabela 03 mostra as peneiras utilizadas e seus respectivos diâmetros, assim como suas massas (M_p). Dada a amostra de solo (M_s) e realizado o ensaio de peneiramento, é possível observar as massas da peneira mais o pó de argila (M_{p+pó}), massa retida e passante e realizar alguns cálculos para saber-se a massa retida acumulada (M_{r_acum}), a porcentagem de massa retida (%M_{retida}) e a porcentagem de massa passante (%M_{passante}).

Para o cálculo da massa retida em cada peneira fez-se o seguinte procedimento:

$$M_{retida} = M_{p+pó} - M_p \quad (2)$$

A massa retida acumulada calculou-se pegando a massa retida em determinada peneira com a massa retida e acumulada na peneira anterior.

$$M_{r_acumulada} = M_{retida} + \sum M_{r_acumulada} \quad (3)$$

Para o cálculo da massa passante utilizou a quantidade total da amostra menos a retida acumulada em cada peneira:

$$M_{passante} = M_s - M_{r_acumulada} \quad (4)$$

As porcentagens de massas retidas e passantes obedeceram a estas equações, respectivamente:

$$\%M_{retida} = \frac{M_{retida}}{M_s} * 100\% \quad (5)$$

$$M_{passante} = \frac{M_{passante}}{M_s} * 100\% \quad (6)$$

A Figura 20 mostra como o solo se comporta quando caracterizado como bem graduado ou mal graduado (graduação uniforme ou aberta).

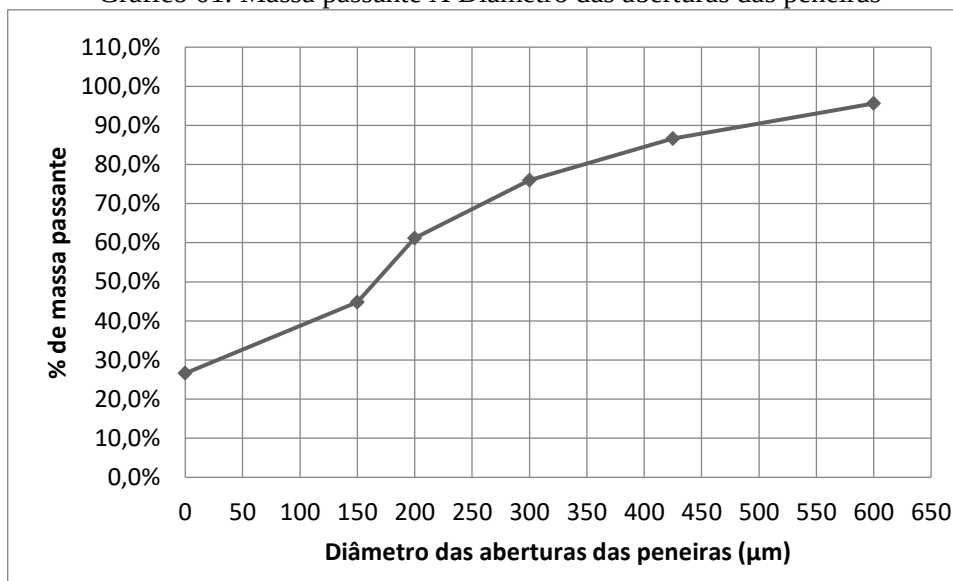
Figura 20: Caracterização da graduação do solo



Fonte: Caputo (1996).

Logo após, os dados possibilitaram plotar o Gráfico 01 e o Gráfico 02 em porcentagem de massas passante e de massas retidas.

Gráfico 01: Massa passante X Diâmetro das aberturas das peneiras

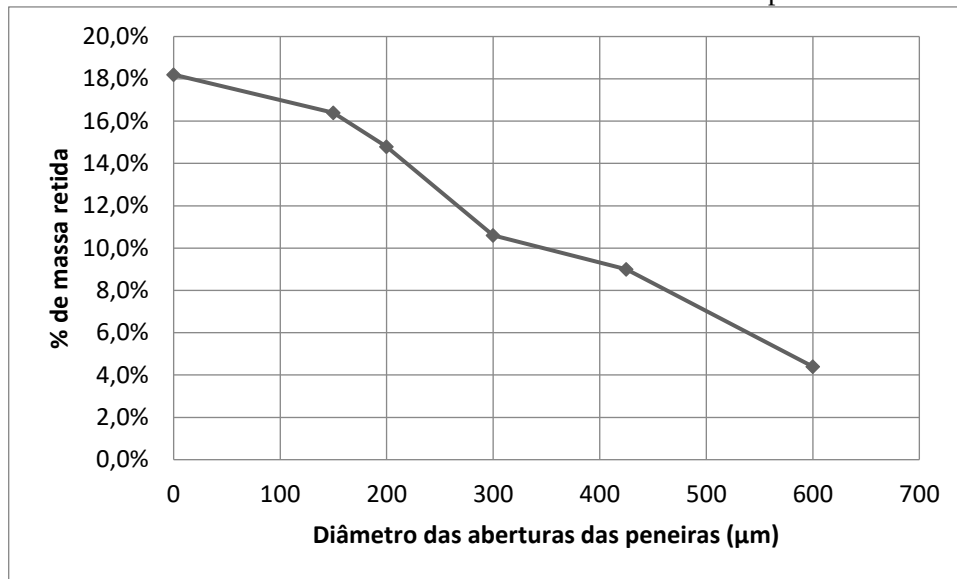


Fonte: Autoria própria (2017).

O Gráfico 01 demonstra a curva granulométrica das partículas, ou seja, mostra como o diâmetro das partículas estão divididos, ou seja, porcentagens de grãos nos vários diâmetros.

O Gráfico 02 mostra o diâmetro das partículas em função da porcentagem de massa retida, caracterizando uma curva invertida em relação a curva do Gráfico 01. Portanto, percebe-se que quanto menor o diâmetro das aberturas das peneiras maior foi a quantidade de massa retida.

Gráfico 02: Massa retida X Diâmetro das aberturas das peneiras



Fonte: Autoria própria (2017)

Portando, caracterizou-se o solo de acordo com a curva do Gráfico 01 em graduado, mal graduado ou de graduação uniforme, conforme a Figura 20. Calculou-se também o coeficiente de uniformidade (CU) indicando a amplitude dos tamanhos dos grãos, ou seja, à medida que o seu valor diminui o solo se caracteriza com grãos mais uniformes e quanto maior mais bem graduado é; e o coeficiente de curvatura (CC) que é como de detecta melhor a curva granulométrica e permite identificar discontinuidades ou concentrações de tamanhos de grãos muito elevadas.

Fazendo o coeficiente de uniformidade, temos:

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (7)$$

$$CU = \frac{200}{2,5} = 80$$

Onde, D_{60} é o valor dos diâmetros correspondentes a 60% no Gráfico 01 e D_{10} é o valor correspondente a 10%, porém a curva mostra que o solo é muito fino e que a porcentagem de passante foi muito superior, cerca de 27%, portanto, utilizou o valor aproximado para o diâmetro efetivo de $D_{10}=2,5 \mu\text{m}$. Dessa maneira, de com a classificação da NBR 6502 o solo estudado possui partículas desuniformes, conforme:

- Uniformes, quando $CU < 5$;
- Medianamente uniformes, quando $5 < CU \leq 15$;
- Desuniformes, quando $CU > 15$.

Continuamente, calcula-se o coeficiente de curva para definir se a curva vai representar um solo bem graduado ou mal graduado.

$$CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (8)$$

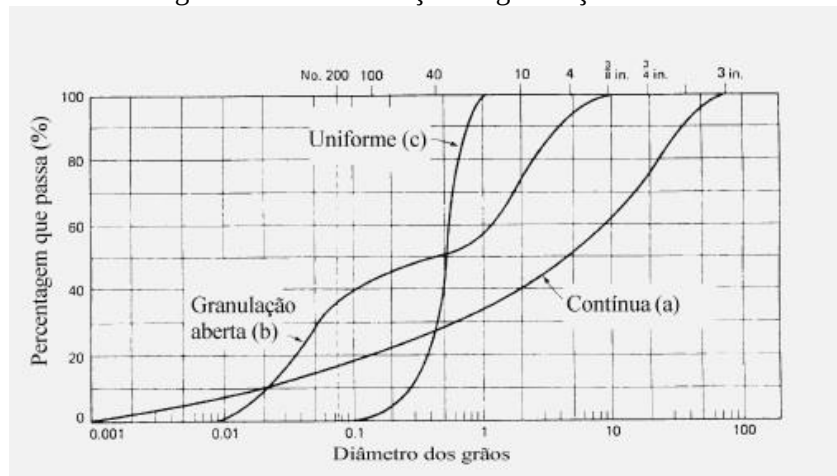
$$CC = \frac{(25)^2}{200 * 2,5} = 1,25$$

Onde, D_{60} é o valor dos diâmetros correspondentes a 60% no Gráfico 01.

Considera-se como um solo bem graduado quando CC está entre 1 e 3, ou seja, $1 \leq CC \leq 3$.

Na Figura 21 existem três curvas que, mostram a distribuição dos grãos e a que mais representa a argila estudada é a curva (a), demonstrando existir uma maior distribuição nos diâmetros dos grãos.

Figura 21: Caracterização da graduação do solo



Fonte: Apostila Mecânica dos Solos I: conceitos introdutórios

O módulo de finura (MF) foi aferido pela equação (9), sendo a soma dos percentuais retidos acumulados em todas as peneiras da série e dividido por 100.

$$MF = \frac{\sum \%M_{retida}}{100} \quad (9)$$

$$MF = \frac{209,2}{100} = 2,092$$

Assim, têm sim um bom valor para um solo argiloso, tendo que quanto maior o valor do módulo de finura mais grosso será o solo, influenciando no mecanismo de hidratação dos grãos.

7.2. Ensaio do Limite de Plasticidade (LP)

O procedimento realizado possibilita o cálculo do Limite de Plasticidade e traz alguns dados como mostrados na Tabela 04:

Tabela 04: Dados do ensaio do Limite de Plasticidade				
Cápsula	1	2	3	4
Peso Bruto Úmido (P_{sac})	17,906 g	18,914g	18,621 g	19,374 g
Peso Bruto Seco (P_{sc})	16,934 g	17,856 g	17,671 g	18,318 g
Tara da Cápsula (P_c)	10,994 g	11,280 g	11,827 g	11,768 g
Peso da Água (P_a)	0,972 g	1,058 g	0,950 g	1,056 g
Peso do Solo Seco (P_s)	5,950 g	6,576 g	5,844 g	6,55 g
Umidade (h)	16,36 %	16,08 %	16,25 %	16,12 %

Fonte: Autoria própria (2017).

O Peso Bruto Úmido mostrado na tabela é o valor das somas dos pesos da argila, da água e da cápsula e o Peso Bruto Seco é a soma somente da argila com a cápsula. Então, em conformidade com NBR 7180 foram coletadas três amostras, considerando satisfatórios os teores de umidade obtidos quando, nenhum deles diferir da respectiva média em mais do que 5%. Descrito o método de trabalho anteriormente, os cálculos para encontrar o peso da água e o peso do solo seco obedeceram às seguintes equações, respectivamente:

$$P_a = P_{sac} - P_{sc} \quad (10)$$

$$P_s = P_{sc} - P_c \quad (11)$$

Já para encontrar o valor da umidade usou a equação (1), sabendo que, para o cálculo o valor do peso úmido e do peso seco estão sem a massa da cápsula, ou seja, para o valor da umidade foi retirado a tara.

Dessa maneira, o Limite de Plasticidade é obtido a partir da realização das médias dos valores de umidade.

$$LP = \frac{\sum_{i=1}^3 h_i}{3} \quad (12)$$

$$LP = \frac{16,36\% + 16,08\% + 16,25\% + 16,12}{4} = 16,20\%$$

Assim, o Limite de Plasticidade por convenção é arredondado para seu inteiro mais próximo, logo:

$$LP = 16\%$$

7.3. Ensaio do Limite de Liquidez (LL)

Os dados colhidos na realização dos testes com a argila referente ao Limite de Liquidez estão dispostos na Tabela 05. O aparelho de Casagrande realizou vários golpes de acordo com a metodologia descrita e, assim foi possível obter o valor do Limite de Liquidez plotando um gráfico que relaciona o número de golpes com a umidade.

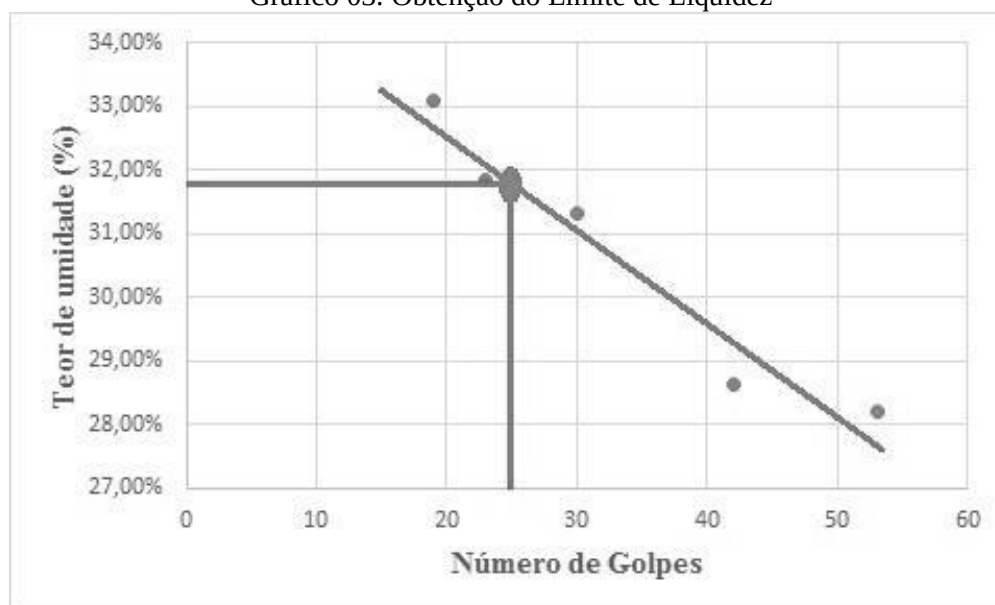
Tabela 05: Dados do ensaio do Limite de Liquidez					
Cápsula	1	2	3	4	5
Nº de Golpes	53	42	30	23	19
Peso Bruto Úmido (P_{sac})	20,5 g	11,5 g	13,19 g	13,84 g	18,65 g
Peso Bruto Seco (P_{sc})	17,34 g	10,1 g	11,59 g	11,92 g	15,52 g
Tara da Cápsula (P_c)	6,13 g	5,21 g	6,48 g	5,89 g	6,06 g
Peso da Água (P_a)	3,16 g	1,4 g	1,6 g	1,92 g	3,13 g
Peso do Solo Seco (P_s)	11,21 g	4,89 g	5,11 g	6,03 g	9,46 g
Umidade (h)	28,19%	28,63%	31,31%	31,84%	33,09%

Fonte: Autoria própria (2017).

Os cálculos para obter-se o Peso da Água, o Peso do Solo Seco e a Umidade utilizaram as equações (10), (11) e (1), respectivamente.

O gráfico 03 mostra como se deu a curva para o Limite de Liquidez a medida que o ensaio ia se procedendo e ocorria o aumento de umidade.

Gráfico 03: Obtenção do Limite de Liquidez



Fonte: Autoria própria (2017).

Baseando-se no Gráfico 03 encontrou-se o valor do Limite de Liquidez, que é o ponto em que o aparelho de Casagrande faz com que a ranhura de feche por meio dos impactos que causa. Para esse valor da argila trabalhada pegou-se o valor do teor de umidade que equivale a um número de golpes igual a 25 na linha média em que passa entre os pontos, com o resultado obtido aproxima-se para o inteiro mais próximo como descrito na NBR 6459. Para um valor mais preciso foi realizada a interpolação dos dados dos números de golpes igual a 30 e a 23.

$$LL = 31,7\%$$

Como o valor a ser trabalhado deve ser arredondado para o seu inteiro mais próximo, então:

$$LL = 32\%$$

7.4. Índice de Plasticidade (IP)

Com os valores dos Limites de Liquidez e Plasticidade obtidos nos ensaios para a argila foi possível encontrar o Índice de Plasticidade. Segundo Caputo (1996), este índice demonstra a zona em que o solo se encontra no estado plástico, sendo máximo o seu valor para argilas, consequentemente, quanto maior for o valor do Índice de Plasticidade mais plástico será o solo. O método para se achar o seu valor é mostrado na equação (13):

$$IP = LL - LP \quad (13)$$

$$IP = 32\% - 16\% = 16\%$$

A seguir, a Tabela 06 apresenta a classificação dos solos de acordo com o valor do índice de plasticidade.

Plasticidade	Intervalo para IP
Fracamente plásticas	$1 < IP < 7$
Medianamente plásticas	$7 < IP < 15$
Altamente plásticas	$IP > 15$

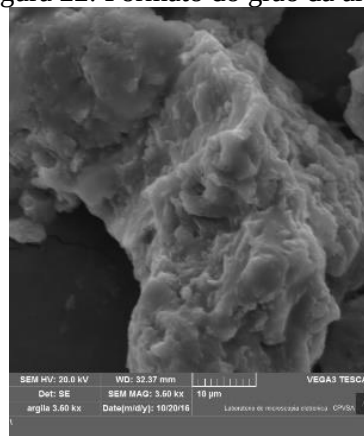
Fonte: Adaptado, Jenkins (CAPUTO, 1996).

A partir daí e de acordo com a equação (13) a argila é considerada como altamente plástica (argila gorda), sendo ideal para uso da produção de cerâmica vermelha.

7.5. Ensaio de Microestrutura Eletrônica de Varredura

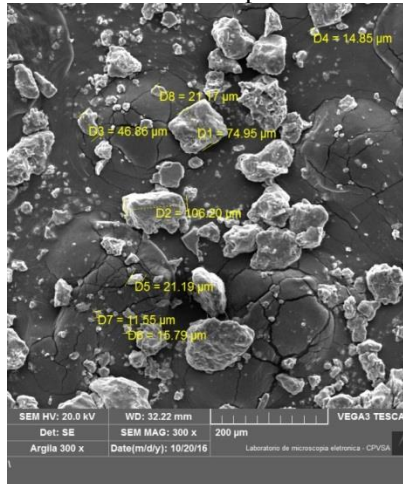
O ensaio de MEV buscou caracterizar a argila de uma forma mais detalhada quanto ao diâmetro das partículas e de suas formas, o microscópio eletrônico é capaz de produzir imagens de altas resoluções da superfície da amostra. A Figura 22 e a Figura 23 mostram o diâmetro dos grãos para a verificação se está de acordo com a granulometria estabelecida na NBR 6502.

Figura 22: Formato do grão da argila



Fonte: Costa (2016).

Figura 23: Diâmetro das partículas da argila



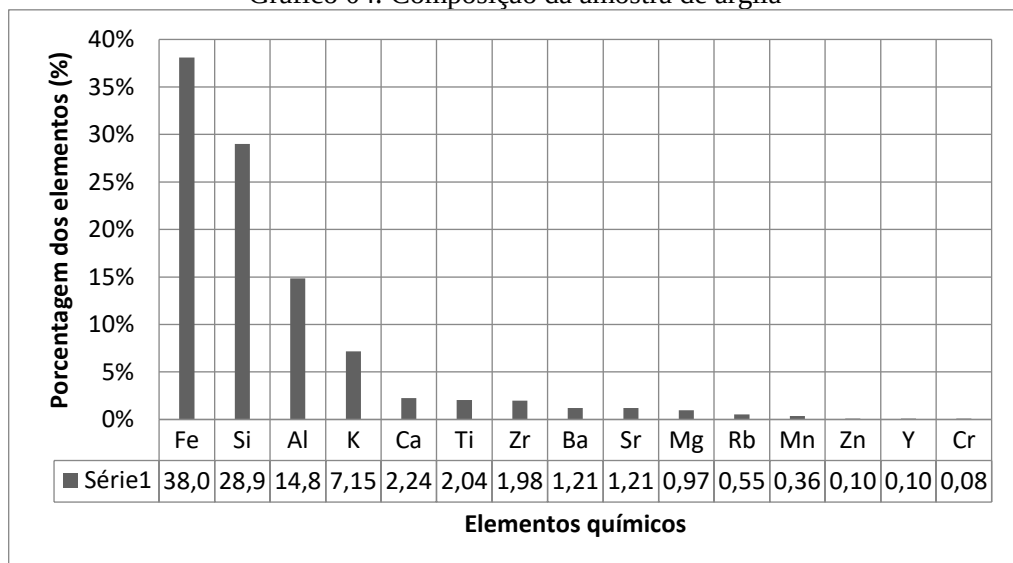
Fonte: Costa (2016).

Com a análise da Figura 22 é possível realizar a comprovação de que se trata de um solo é argiloso, tendo em vista que o formato do grão se trata é de uma partícula lamelar. Já em relação a Figura 23 verifica-se que os diâmetros variam até uma faixa de 106,20 μm , contudo, a maioria dos grãos possuem valores bem pequenos, sendo assim, a composição granulométrica é bem próxima do que é exigido na NBR 6502 (caso queira-se um valor mais próximo ou inferior é realizado o ensaio de peneiramento).

7.6. Ensaio de Fluorescência de Raio X

Esse ensaio utiliza de um método analítico que é usado para determinação da composição química de todos os tipos de materiais, estando eles em seus estados sólidos, líquidos, em pó ou outras formas em que se encontre. Dessa forma a argila foi preparada em forma de pó e o resultado da análise são apresentados no Gráfico 04.

Gráfico 04: Composição da amostra de argila



Fonte: Autoria própria (2017).

Os elementos que se apresentam em uma maior quantidade na amostra são o ferro, silício, alumínio, potássio e cálcio.

O ferro é o elemento mais presente na amostra, quando se une ao oxigênio forma o óxido de ferro, o principal responsável por dar a coloração avermelhada ao material cerâmico, sendo que o óxido de ferro é a hematita (Fe_2O_3).

O silício, o segundo maior elemento em quantidade na amostra, caso junto com o oxigênio forma o dióxido de silício (SiO_2), com a junção com outros elementos surgem os silicatos, por exemplo, silicatos. Este elemento é o componente principal para a vitrificação que estruturalmente forma uma rede tridimensional de tetraedros com átomos de oxigênio nas pontas, e, com o cozimento a uma determinada temperatura esses tetraedros se reorganizam de maneira regular e ordenada formando uma rede cristalina. Ainda assim, este não é o único elemento que vitrifica, outros elementos também podem realizar esta peculiaridade dos materiais cerâmicos e dos vidros.

O alumínio, se junto com o oxigênio, formam o óxido de alumínio (Al_2O_3), a alumina e, também pode estar associado ao silício (silicato de alumínio). Considerado por Pedrotti et al ((2003) apud Reichert e Norton (1994)) verifica-se que o óxido de alumínio se comporta com um ligante das partículas coloidais existente em um solo. Tido que é uma substância presente em materiais cerâmicos proporciona um bom isolamento elétrico, alta dureza, resistência a condutividade térmica moderada e capaz de proporcionar uma boa resistência a compressão.

O potássio é um metal alcalino na tabela periódica e forma com o oxigênio o óxido de potássio (K_2O) podendo ser de fácil reação a água pois produz o hidróxido de potássio que é corrosivo e assim, pode ser considerado como impureza na argila.

Os outros elementos por se apresentarem em menores quantidades não influenciam muito nas características da argila, dado que alguns podem ser considerados como impurezas ou constituintes de outros elementos como é o caso do magnésio que está presente na fórmula molecular do argilo mineral montmorilonita que pode ser um silicato de magnésio.

7.7. Processo de Cozimento e Realização da Vitrificação

Tendo em vista a porcentagem de ferro, silício, alumínio presentes, que interagem entre si e estão dispostos como óxidos, silicatos ou podem estar livres na forma de íons pode-se deduzir que existe uma boa taxa de vitrificação para a produção de blocos cerâmicos.

Para que se possa ocorrer a vitrificação é necessário que esta possua quantidade suficiente de sílica livre e materiais fundentes que possam reagir a mais baixa temperatura para que formar fases líquidas viscosas durante a queima. Os materiais fundentes são geralmente

íons alcalinos e para determinadas temperaturas os óxidos de ferro e alguns compostos cálcicos podem contribuir na formação da película vítrea. (BOCH e NIEPCE, 2010)

Os processos que ocorrem na etapa do cozimento a determinados graus de temperatura para a massa argilosa são:

- 110°C a 260°C: remoção de traços de água;
- 425°C – 650°C: ocorre a quebra de ligações liberando a sílica, a alumina e a água de hidratação, sendo nessa etapa que se perde a plasticidade (não podendo mais ser recuperada) e a matéria orgânica é oxidada;
- 900°C– 1400°C: começa a vitrificação, causando a diminuição da porosidade e aumentando a resistência;

O grau de vitrificação, de acordo com Callister (2012), depende da temperatura de queima e do tempo, bem como da composição química do corpo. À medida que os elementos vão se fundindo e tornando-se nesse líquido a temperatura vai sendo baixada, esta fase fundida escoar ao redor das partículas ainda não fundidas e preenche os poros. Quando as peças com esse líquido vão resfriando constitui-se uma matriz vítrea que resulta em corpo rígido e denso.

Além disso, o processo de cozimento que ocorreu foi para demonstrar a cor que o material adquire depois do cozimento como se segue na Figura 24 e Figura 25.

Figura 24: Massa de argila antes do cozimento



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 25: Massa de argila depois do cozimento



Fonte: Autoria própria (2017).

Assim, com a Figura 25 confere-se que a argila apresenta uma alta coloração avermelhada, ideal para produção de cerâmica vermelha comprovando o alto índice de ferro na amostra da realização do ensaio de FRX.

8. CONCLUSÃO

Foram realizadas análises da argila da Cerâmica Freitas e Chaves com base nos ensaios de Granulometria, Limite de Liquidez e Plasticidade, Microscopia Eletrônica de Varredura e Fluorescência de Raio X, logo em seguida fez-se um estudo sobre a etapa de queima, analisando o mecanismo de vitrificação dos blocos ou tijolos afim de aumentar sua resistência mecânica e compactação do material.

Os grãos, através do ensaio de granulometria apresenta uma grande distribuição em seus diâmetros, tendo em vista que para este ensaio não foi realizado nenhuma quebra de grãos maiores com o auxílio do almofariz e mão de gral, então partículas maiores prejudicam a plasticidade do solo, coesão e consequentemente em seu desempenho, visto que aumenta o grau de impurezas presentes (matéria orgânica, pedras, etc.).

Os Limites de consistência caracterizaram bem a matéria prima estudada. Verificando-se a existência de uma alta plasticidade, a partir da obtenção dos Limites de Liquidez e de Plasticidade e o cálculo posterior do Índice de Plasticidade, com um valor de 16%, demonstrando que a argila é ideal para a indústria ceramista e que não existe necessidade da correção de minerais.

O ensaio de Microestrutura Eletrônica de Varredura caracterizou a matéria prima de uma forma mais detalhada quanto ao diâmetro das partículas e de suas formas, comprovando que se trata de um solo é argiloso, tendo em vista que os formatos das partículas são lamelares.

A análise da Fluorescência de Raio X proporcionou a observação dos teores dos elementos químicos dentro da amostra estudada. Tendo em vista a porcentagem de ferro, silício, alumínio presentes, que interagem entre si estando dispostos como óxidos, silicatos ou podem estar livres na forma de íons.

Com isso, o estudo sobre a vitrificação possibilitou aferir que a análise dos dados sobre a argila para a produção das cerâmicas vermelhas é ideal por apresentar uma boa quantidade de elementos necessários ao surgimento da fase vítrea, tendo em vista que depende da temperatura de queima e do tempo em que as peças ficam expostas.

Esses dados mostram que a argila utilizada no processo de produção da Cerâmica Freitas e Chaves é adequada para a produção dos artefatos cerâmicos. E, mostra que a jazida é muito importante para o desenvolvimento econômico da indústria e inclusive da região.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. Produtos Cerâmicos. **Materiais de construção**. Editora Universidade Rural, Rio de Janeiro, p. 18-22, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABC). **Informações Técnicas - Processo de Produção**. Disponível em: < <http://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/> >. Acesso em: 24 mar. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABC). **Cerâmica no Brasil – considerações gerais**. Disponível em: < <http://abceram.org.br/consideracoes-gerais/> >. Acesso em: 01 abr. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio Janeiro, 1986. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro , 1984. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, Julho 2003. 13 p.
- BACCELLI JÚNIOR, Gilberto. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó - RN**. 2010. 541 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2005.
- BOCH, Philippe; NIEPCE, Jean-Claude (Ed.). **Ceramic Materials: Processes, Properties, and Applications**. John Wiley e Sons, 2010.
- BREDARIOL, C. S.; VITA, C. A.; MATOS, E. A.; MODESTO JUNIOR, O. **Terra Fuller**: resíduo descartável ou reciclável após seu uso na indústria de sebo?. São Paulo: Unisalesiano, 2011. Disponível em <<http://www.unisalesiano.edu.br/simposio2011/publicado/artigo0156.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2017.
- BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. **A indústria cerâmica brasileira**. v. 3, n. 5, São Paulo, 2000.
- CALLISTER, W.D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais**, uma Introdução. Rio de Janeiro: Gen-LTC, 2012.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: Fundamentos. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1996. 244 p.
- CASCUDO, O.; CARASEK, H.; HASPARYK, N. P. Microestrutura dos materiais cerâmicos. **ISAIA, G. Materiais de construção**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2007.

COSTA, L. H. L. **Caracterização físico-químico da argila, utilizada como matéria-prima na indústria de cerâmica vermelha no município de São Francisco do Oeste/RN**. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2016.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2007. 60 p. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

DIAS, J. A. **A ANÁLISE SEDIMENTAR E O CONHECIMENTOS DOS SISTEMAS MARINHOS**. 2004. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimB_AG.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2017.

ESTUDOS, DE MERCADO SEBRAE. ESPM. **SEBRAE, São Paulo, set**, 2008. Disponível em <<http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/09/ESTUDO-CERAMICA-VERMELHA.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

FIERN. **Indústria ceramista emprega mais de 15 mil pessoas no RN**. Disponível em: <<http://www.fiern.org.br/index.php/noticias/noticias-fiern/1749-industria-ceramista-emprega-mais-de-15-mil-pessoas-no-rn>> Acesso em: 01 abr. 2017.

GONÇALVES, H. H. S.; MARINHO, F. A. M.; FUTAI, M. M. **MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES**. 2014. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/pef0522/Apostila.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

ÍNDICE BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rn>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, Ulf. Argilas pilarizadas – uma introdução. **Química Nova**, v.22,n.1, p 104-109, 1999.

MACHADO, S. L.; MACHADO, M. F. C. **Mecânica dos Solos I: conceitos introdutórios**. Bahia. Apostila, 113 p. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgHOAAI/mecanica-dos-solos-i?part=4#>>. Acesso em: 02 mai. 2017.

MALISKA, A. M. **Microscopia eletrônica de varredura**. Florianópolis: Laboratório de Caracterização Microestrutural e Análise de Imagens. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

MEIRA, J. M. L. Argilas: o que são, suas propriedades e classificações. **Comunicações técnicas**, v. 2, 2001. Disponível em <http://www.visaconsultores.com/pdf/VISA_com09.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2017.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncrotron**. Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

NASCIMENTO FILHO, V. F. **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total (TXRF)**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999.

NUNES, M. **Impactos ambientais na indústria da cerâmica vermelha**. SBRT, Dossiê Técnico. Gestão Ambiental, 2012. Disponível em <<http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwNQ==>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

NUNES, A. C. N.; RESENDE, S. S. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha**. Belo Horizonte: Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) e Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM), 2013.

OLIVEIRA, F. E. M. **Acompanhamento da produção industrial em cerâmica da microrregião do Vale do Assu: Estudo de caso**. 2011. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2011.

PEDROTTI, A. et al. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.01-09, fev. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832003000100001>.

SILVA, V. P., **Impactos ambientais da expansão da cerâmica vermelha em Carnaúba dos Dantas-RN, HOUROS**, ano 23, Vol. 3, 2007.

SOUSA, M. I. B; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A.. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p.205-212, 18 set. 2007.

VÁSQUEZ, G. A. G. **Avaliação da conformidade dos blocos cerâmicos produzidos em algumas cerâmicas no Rio Grande do Norte**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.