



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE CRATEÚS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BRENDA CORDEIRO OLIVEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE ARGILAS UTILIZADAS PARA  
PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS POR UMA EMPRESA NA REGIÃO DE  
CRATEÚS**

**CRATEÚS**

**2022**

BRENDA CORDEIRO OLIVEIRA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE ARGILAS UTILIZADAS PARA  
PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS POR UMA EMPRESA NA REGIÃO DE  
CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil.

Orientadora: Prof. Ma. Tiany Guedes Cota.

CRATEÚS

2022

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)

---

O45c Oliveira, Brenda Cordeiro.  
Caracterização física e mecânica de argilas utilizadas para produção de blocos cerâmicos por uma empresa na região de Crateús / Brenda Cordeiro Oliveira. – 2022.  
43 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2022.  
Orientação: Profa. Ma. Tiany Guedes Cota .

1. Argila. 2. Caracterização tecnológica. 3. Blocos Cerâmicos. I. Título.

CDD 620

---

BRENDA CORDEIRO OLIVEIRA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE ARGILAS UTILIZADAS PARA  
PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS POR UMA EMPRESA NA REGIÃO DE  
CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil.

Aprovada em: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Ma. Tiany Guedes Cota (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Ma. Heloína Nogueira da Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Ma. Tatiane Lima Batista  
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Erivan e Lucivania.

As minhas irmãs, Bruna e Lorene.

E a todos os meus amigos que viveram comigo  
essa etapa.

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe e meu pai, Lucivania e Erivan, por todo o apoio investido na minha educação, tanto financeiramente quanto emocionalmente.

Agradeço a minha irmã, Bruna, por me ouvir e também dividir as alegrias e angústias nessa fase da nossa vida, superamos juntas. E a minha irmã, Lorene, por todo o apoio oferecido.

Agradeço a minha orientadora Prof. Ma. Tiany Guedes Cota por aceitar conduzir este trabalho. Obrigada pela excelente orientação.

Sou grata a todo o corpo docente da Universidade Federal do Ceará que sempre transmitiram seus conhecimentos com muita dedicação e profissionalismo, em especial, a prof. Heloína Nogueira da Costa que me acompanhou e me ajudou na execução de todos os ensaios.

Agradeço a Empresa Ceramista Mondubim, pela parceria na realização deste trabalho.

Também agradeço aos meus colegas do curso de Engenharia Civil, pelas trocas de ideias e ajuda mútua. E a todos os meus amigos que direta ou indiretamente participaram da minha formação.

E por fim, as professoras participantes da banca examinadora Prof. Ma. Heloína Nogueira da Costa e a Prof. Ma. Tatiane Lima Batista, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

“Há uma luz no túnel dos desesperados, há um  
cais de porto pra quem precisa chegar.”

- Paralamas do Sucesso

## RESUMO

O Ceará está entre os estados com maior número de empresas ceramistas do país, especialmente no segmento de cerâmica vermelha que é o objeto de estudo deste trabalho. Contudo, devido a simplicidade do processo de produção, muitas vezes ocorre a desvalorização do estudo técnico, o que incita o setor a cometer erros, como a falta de técnica no controle de produção e ausência de ensaios normativos acerca de suas propriedades tecnológicas. O objetivo do trabalho foi realizar a caracterização tecnológica das argilas, de três depósitos, utilizadas para a fabricação de blocos em uma empresa em Crateús, a fim de possibilitar o aperfeiçoamento do processo produtivo e difundir a importância de se conhecer o domínio normativo acerca do produto comercializado. Para isso, foram formuladas nove misturas de massas cerâmicas e realizados ensaios de absorção de água, porosidade aparente, retração linear, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão. Os resultados para caracterização física e mecânica mostraram bons resultados, sendo das nove formulações: quatro satisfatórias, três regulares e apenas duas insatisfatórias. O estudo pode fornecer importantes informações que contribuem para um controle melhor de produção e possibilitar um melhor aproveitamento econômico da matéria-prima, além de incentivar o aprimoramento das técnicas de produção já existentes.

**Palavras-chave:** Argila. Caracterização tecnológica. Blocos Cerâmicos.



## ABSTRACT

Ceará is among the states with the largest number of ceramic companies in the country, especially in the red ceramic segment, which is the object of study of this work. However, due to the simplicity of the production process, the technical study is often undervalued, which encourages the sector to make mistakes, such as the lack of technique in production control and the absence of normative tests about their technological properties. The objective of this work was to perform the technological characterization of clays, from three deposits, used for the manufacturing of blocks in a company in Crateús, in order to enable the improvement of the production process and to spread the importance of knowing the normative domain about the commercialized product. For this, nine mixtures of ceramic masses were formulated and tests of water absorption, apparent porosity, linear shrinkage, apparent specific mass and tensile strength by flexion were performed. The results for physical and mechanical characterization, showed good solutions, being of the nine formulations: four satisfactory, three regular and only two unsatisfactory. The study can provide important information that contributes to a better control of production and enable a better economic use of the raw material, besides encouraging the improvement of existing production techniques.

**Keywords:** Clay. Technological characterization. Ceramic blocks.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Classificação dos materiais cerâmicos com base em sua aplicação.....	19
Figura 2	– Preparação dos materiais cerâmicos .....	21
Figura 3	– Bloco cerâmico comum .....	23
Figura 4	– Esquema de metodologia .....	24
Figura 5	– Mapa de localização do depósito .....	25
Figura 6	– Molde prismático .....	27
Figura 7	– Prensa manual .....	28
Figura 8	– Estufa .....	28
Figura 9	– Ruptura a flexão do corpo de prova .....	31
Figura 10	– Corpos após a prensagem .....	32
Figura 11	– Corpos após a secagem .....	32
Figura 12	– Corpos após a queima .....	33
Figura 13	– Corpos de prova após a ruptura .....	38

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção mensal da Cerâmica Mondubim .....	25
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices físicos das amostras .....	26
Tabela 2 – Frações granulométricas das amostras .....	26
Tabela 3 – Associações minerais nas amostras .....	26
Tabela 4 – Formulações de conformação dos corpos de prova .....	27
Tabela 5 – Absorção de água .....	34
Tabela 6 – Porosidade aparente .....	35
Tabela 7 – Retração linear após a secagem e após a queima .....	36
Tabela 8 – Massa específica aparente .....	37
Tabela 9 – Tensão de ruptura a flexão .....	38
Tabela 10 – Comparação dos resultados.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
ANIFER	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de Prova
<i>Et al.</i>	E outros
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
MEA	Massa Específica Aparente
PA	Porosidade Aparente
RL	Retração Linear
TRF	Tensão de Ruptura a flexão

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	16
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	16
1.2	Estrutura da Pesquisa .....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
2.1	Materiais cerâmicos .....	18
2.2	Matéria-prima argila .....	19
2.3	Processo produtivo da cerâmica.....	20
2.4	Blocos cerâmicos.....	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
3.1	Confecção dos corpos de prova .....	24
3.1.1	<i>Matéria-prima</i> .....	24
3.1.2	<i>Preparação das amostras e prensagem</i> .....	26
3.1.3	<i>Secagem</i> .....	28
3.1.4	<i>Queima</i> .....	29
3.2	Propriedades tecnológicas.....	29
3.2.1	<i>Absorção de água</i> .....	29
3.2.2	<i>Porosidade aparente</i> .....	30
3.2.3	<i>Retração linear</i> .....	30
3.2.4	<i>Massa específica aparente</i> .....	31
3.2.5	<i>Tensão de ruptura à flexão</i> .....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	32
4.1	Confecção dos corpos de prova .....	32
4.2	Propriedades tecnológicas.....	34
4.2.1	<i>Absorção de água</i> .....	34
4.2.2	<i>Porosidade aparente</i> .....	35
4.2.3	<i>Retração linear</i> .....	36
4.2.4	<i>Massa específica aparente</i> .....	37
4.2.5	<i>Tensão de ruptura a flexão</i> .....	37

4.2.6	<i>Comparação dos resultados</i> .....	39
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	41
5.1	<b>Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	41
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

As cerâmicas são materiais inorgânicos e não metálicos, sendo uma das classes de materiais mais antigos e ambientalmente duráveis para a engenharia. A matéria-prima mais utilizada na produção da cerâmica é a argila, devido ao fato de ser um insumo barato e encontrado naturalmente em abundância. A argila é um material plástico, que quando misturado com a água nas proporções corretas, torna-se possível moldá-la. A peça moldada é seca, para remover a umidade, e, posteriormente, queimada em temperaturas elevadas para lhe conferir resistência mecânica (CALLISTER; RETHWISCH, 2012). Segundo Shackelford (2008), a cerâmica é um material frágil, ou seja, não suporta grandes deformações antes de se romper, mas apresenta boa resistência mecânica e é um bom isolante térmico. Essas propriedades permitem que a cerâmica seja utilizada na construção civil, tanto na alvenaria de vedação quanto nos revestimentos.

A classificação cerâmica adotada é dada em função de diversos fatores, como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. Como exemplo de classificação com base em sua aplicação, temos: vidros, produtos à base de argila, refratários, abrasivos, cimentos e cerâmicas avançadas (CALLISTER; RETHWISCH, 2012). O objeto de estudo deste trabalho é a cerâmica vermelha, um produto à base de argila, que segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (2021) é definida como “materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil”.

A indústria ceramista no Brasil demonstra grande importância para a economia do país, possuindo um faturamento anual de 18 bilhões e representando 4,8% da indústria da construção civil. O país possui, aproximadamente, 6.903 fábricas de cerâmica, gerando em torno de 293 mil empregos diretos e 900 mil indiretos. Cerca de 90% das alvenarias e cobertas do país são baseadas na cerâmica vermelha (ANIFER, 2021).

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (2021), em um levantamento feito em 2019, o Brasil está entre os principais produtores mundiais de cerâmica, sendo superado apenas pela China (com 5.182 milhões de m<sup>2</sup>) e pela Índia (com 1.266 milhões de m<sup>2</sup>). Com produção de 909 milhões de m<sup>2</sup>, ultrapassa as produções do Vietnã (560 milhões de m<sup>2</sup>) e Espanha (510 milhões de m<sup>2</sup>).

No tocante ao estado, em pesquisa realizada pelo Diário do Nordeste (2014), o Ceará ocupa a quinta posição no ranking nacional em número de empresas do setor industrial cerâmico, segundo pesquisa realizada no ano de 2014. Em termos de números, o estado possui 412 cerâmicas, que estão presentes em 51% dos municípios e que geram cerca de 12 mil



empregos diretos e 40 mil indiretos. O principal produto comercializado é o bloco cerâmico, atualmente responsável por 77,3% de tudo que é vendido no estado, seguido pelas telhas, que concentram 32,5% das vendas (DIÁRIO DO NORDESTE, 2014).

Torna-se importante destacar que o setor oleiro-cerâmico é composto em sua maioria por empresas de pequeno porte, do tipo familiares e com larga presença da economia informal. De acordo com Bauer (2014), no setor de cerâmica no Brasil ainda se observam traços de uma indústria conservadora em relação as cerâmicas vermelhas, e que necessita de uma grande evolução para acompanhar o ritmo de desenvolvimento da construção civil.

Além disso, encontram-se poucas barreiras à entrada de novos produtores no mercado, dado o baixo custo do investimento inicial e da tecnologia bastante acessível. Desta forma, há um grande número de empresas que disputam no mercado, mas, devido a facilidade do investimento no setor, ocorre a desvalorização do estudo técnico, o que pode decorrer em materiais com baixa qualidade e que normalmente não atendem às especificações normativas.

Os blocos cerâmicos produzidos na região de Crateús são fabricados em pequenas olarias. Devido a simplicidade do processo de fabricação, muitas vezes ocorre a desvalorização do estudo técnico, o que pode resultar em materiais em desconformidade com as normas, além da falta de técnica no controle de produção.

Segundo Savazzi-Reis e Silva (2017), a falta de um controle sistemático das etapas de fabricação pode ocasionar problemas nas peças produzidas, como, grande volume de quebras, baixa resistência mecânica e alta absorção de água, o que dificulta a padronização do produto final e aumenta o uso de argamassa de assentamento e revestimento dos blocos o que gera desperdício dos materiais e aumento do custo da obra, além de que o mau desempenho da alvenaria pode ocasionar problemas patológicos provenientes de imperfeições do bloco utilizado.

Com o intuito de contribuir com o desenvolvimento do setor na região, considerando a falta de pesquisas para estes tipos de materiais, este trabalho objetiva analisar o desempenho de massas cerâmicas utilizadas para confecção de blocos cerâmicos fabricados por uma empresa na região de Crateús, comparando-os com as Normas Brasileiras (ABNT), livros e pesquisas realizadas acerca do tema.

O conhecimento das características de suas matérias-primas contribui diretamente para a melhora das propriedades do produto final. Dessa forma, com base nos resultados obtidos, pretende-se fornecer subsídios para avaliação da qualidade do produto comercializado e, conseqüentemente, a fabricação de um produto com uma maior qualidade, contribuindo

assim para o ramo ceramista local, além de difundir a importância de um controle tecnológico em relação às cerâmicas vermelhas.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas das massas cerâmicas produzidas a partir das argilas usadas na fabricação de cerâmica vermelha por uma empresa na região de Crateús no estado do Ceará.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

Os objetivos específicos foram:

- a) Realizar a caracterização física e mecânica dos corpos de prova
- b) Encontrar as melhores formulações que apresentem as melhores propriedades para a produção de blocos cerâmicos
- c) Fornecer subsídios para o aperfeiçoamento do processo utilizado nas indústrias ceramistas da região;
- d) Difundir a importância do domínio normativo para a cerâmica vermelha.

## **1.2 Estrutura da Pesquisa**

O primeiro capítulo introduz o tema deste trabalho, apresentando uma contextualização e a problemática da pesquisa, bem como os objetivos pretendidos e delimitação do tema, trazendo informações de como ele pode contribuir na área acadêmica e também social.

O capítulo dois trata-se do referencial teórico e aborda a revisão da literatura com o intuito de aprofundar nos conhecimentos fundamentais para fazer o que fora proposto no primeiro capítulo.

Os materiais e métodos são apresentados no terceiro capítulo, que tem como objetivo apresentar a metodologia aplicada no estudo. Traz os procedimentos para levantamento dos dados e a coleta de amostras, bem como a identificação de cada uma e os procedimentos laboratoriais de determinação das características das massas cerâmicas.

No capítulo quatro serão apresentados os resultados, que mostram evidências do estudo que serão usadas para analisar o problema, e as discussões, que tem como objetivo exibir de uma forma mais clara, os resultados adquiridos, mostrando-os de forma mais simples e direta, destacando as comparações e respostas a serem recolhidas das análises.

No capítulo cinco, será abordado de maneira resumida as considerações finais a respeito dos resultados desse trabalho e também em que domínio o trabalho contribui para o meio científico-acadêmico e social.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, incluindo a história dos materiais cerâmicos, definição da matéria-prima argila, apresentação do processo produtivo da cerâmica e descrição do bloco cerâmico.

### 2.1 Materiais cerâmicos

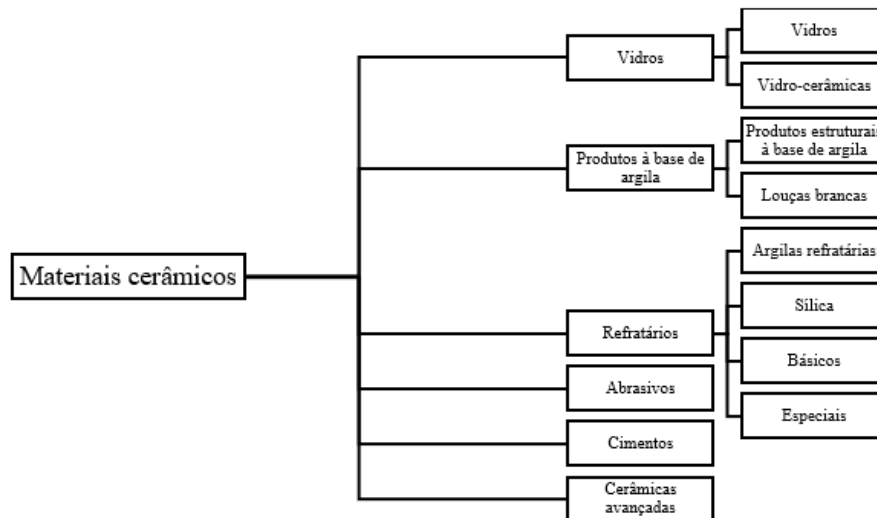
A indústria cerâmica é uma das mais antigas do mundo, devido a facilidade de fabricação e a abundância da sua matéria-prima – a argila. No período neolítico, o homem utilizava a argila para vedar as cestas de vime. Mais tarde ele percebeu que poderia descartar o vime e passou a fazer potes somente com a argila. Adiante, ele percebeu que o calor tornava o material mais rígido e, então, surgiu a cerâmica propriamente dita, que foi utilizada para os mais diversos fins (BAUER, 2014).

Posteriormente, com o uso de argilas diversas surgiram os vidrados e vitrificados. No ano 4000 a.C., os assírios já obtinham a cerâmica vidrada. Uma nova etapa da cerâmica começou quando os semitas inventaram o torno de oleiro, que permitiu melhor qualidade, rapidez e acabamento das peças cerâmicas (BAUER, 2014).

O termo cerâmica é oriundo da palavra grega *keramikos*, que significa “matéria queimada” ou “argila queimada”, o que indica que as propriedades desejáveis dos materiais cerâmicos são normalmente atingidas através de um processo de tratamento térmico a altas temperaturas, chamado de cozimento (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

A classificação dos materiais cerâmicos pode ser dada em função de diversos fatores, como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. A Figura 1 apresenta uma classificação dos materiais cerâmicos baseado em sua aplicação industrial.

Figura 1 – Classificação dos materiais cerâmicos com base em sua aplicação



Fonte: CALLISTER e RETHWISCH (2012)

Segundo Callister e Rethwisch (2012), a maioria dos produtos à base de argilas enquadra-se em duas classificações abrangentes: os produtos estruturais e as louças brancas. Este trabalho tem foco nos materiais cerâmicos à base de argila, especificamente, os produtos estruturais à base de argilas. Estes produtos incluem os tijolos de construção, os azulejos e as tubulações de esgoto - aplicações nas quais a integridade estrutural é importante. Além da argila, muitos desses produtos contêm também aditivos não plásticos, os quais influenciam as mudanças que ocorrem na secagem e no cozimento, assim como nas características das peças acabadas.

## 2.2 Matéria-prima argila

A matéria-prima mais amplamente utilizada na fabricação de cerâmicas é a argila, insumo barato, encontrado naturalmente em abundância e que é normalmente utilizado na forma como é extraído, sem qualquer beneficiamento (CALLISTER; RETHWISCH, 2012). Segundo a ABNT NBR 6502, as argilas são as parcelas de solo que possuem partículas com dimensões menores que 0,002 mm.

De acordo com Santos (1989, p.1), “A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade; quimicamente, as argilas são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio”.

As argilas são constituídas basicamente por partículas cristalinas muito pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como “argilominerais” (SANTOS, 1989).

Conforme Bauer (2014), esses argilominerais são compostos por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, e, normalmente, também possuem alguma porcentagem de álcalis e de alcalino-terrosos. Além desses elementos básicos, ainda podem estar presentes: sílica, alumina, mica, ferro, cálcio, magnésio, matéria orgânica, entre outros.

Cabral Junior *et al.* (2001) apresentam algumas funções tecnológicas essenciais para o emprego da argila na produção de cerâmicas vermelhas, que são:

1. Plasticidade que permita a moldagem adequada das peças;
2. Resistência mecânica a massa crua que confira coesão e solidez às peças moldadas, assim as peças podem ser manuseadas sem que haja deformação;
3. Fusibilidade para favorecer a sinterização, conferindo resistência mecânica e diminuição da porosidade;
4. Drenagem que facilite a retirada de água e a passagem de gases durante o processo de secagem e queima, evitando trincas;
5. Coloração avermelhada por meio da presença de corantes naturais.

De acordo com Bauer (2014), as argilas podem ocorrer:

- a. Na superfície das rochas, como resultado da decomposição das mesmas. Podem ser residuais, quando o depósito é no mesmo local da decomposição da rocha, ou sedimentar quando o depósito fica distante do local da decomposição;
- b. Nos veios e trincas das rochas;
- c. Nas camadas sedimentares, onde foram depositadas por ventos e chuvas.

Segundo Garcez (2011), as argilas são classificadas em duas categorias: argilas primárias e argilas secundárias ou sedimentares.

As argilas primárias são formadas no mesmo local da rocha mãe e que não sofreram muitas modificações pelos agentes atmosféricos. Elas possuem partículas mais grossas e coloração mais clara, são pouco plásticas, porém são mais puras e possuem alto nível de fusão.

As argilas secundárias ou sedimentares são as que têm sido transportadas para mais longe da rocha mãe pela água, pelo vento entre outros. Essas são mais finas e plásticas que as primárias, porém, podem conter impurezas ao se misturarem com outras matérias orgânicas.

### **2.3 Processo produtivo da cerâmica**

De acordo com Bauer (2014), a preparação dos materiais cerâmicos obedece à algumas fases, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Preparação dos materiais cerâmicos



Fonte: Adaptado de Bauer (2014)

Conforme ABCERAM (2021), os processos de fabricação dos diversos produtos cerâmicos seguem uma sequência semelhante, que de um modo geral começa na preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento.

Na preparação da matéria-prima a maior parte utilizada na fabricação das cerâmicas é utilizada em sua forma natural, como retiradas dos depósitos. Após a extração, a argila deve ser beneficiada, ou seja, deve ser desagregada ou moída. Nesta fase, a matéria-prima pode ser classificada, de acordo com a granulometria, e, algumas vezes devem ser purificadas.

Na preparação da massa, geralmente, os materiais cerâmicos são fabricados a partir da mistura de duas ou mais argilas com características diferentes, além da utilização de aditivos e da água. À vista disso, uma das etapas fundamentais do processo é a dosagem dessas matérias-primas e dos aditivos, que devem seguir com rigor as formulações de massas que foram previamente estabelecidas.

Para a formação das peças cerâmicas são conhecidos diversos processos, sendo selecionado o processo a ser utilizado dependendo dos fatores econômicos, da geometria e das características do produto. Os métodos mais conhecidos são: colagem, prensagem, extrusão e torneamento.

A colagem ou fundição consiste em derramar uma suspensão em um molde de gesso, que permanecerá no molde até que a água contida seja absorvida pelo gesso, enquanto as partículas sólidas se acomodam na superfície do molde dando forma a parede na peça. A configuração externa do produto terá a forma interna do molde de gesso.

No método de prensagem, a argila é colocada em um molde de borracha ou outro material polimérico, em seguida o molde é fechado e inserido em uma câmara que contém um fluido, que, quando comprimido, exercerá uma forte pressão no molde. Neste método é preferível que sejam utilizadas massas mais granuladas e com baixo teor de umidade.

Na extrusão a argila é colocada numa extrusora, popularmente conhecida como maromba, onde a massa é compactada e forçada por um pistão, através de bocal com formato estabelecido. Então é formada uma coluna extrudada, com seção transversal que contenha formato e dimensões pretendidas. Em seguida essa coluna é cortada, obtendo-se assim as peças finais. Este é o método utilizado para a fabricação de blocos maciços e vazados. O torneamento

é a etapa posterior a extrusão, onde é realizada em tornos mecânicos ou manuais e a peça adquire o seu formato final.

O tratamento térmico consiste na fase em que os materiais cerâmicos obterão as suas propriedades finais, como a resistência mecânica. O tratamento compreende as etapas de secagem e queima.

Após a etapa de moldagem, as peças ainda conterão água proveniente da preparação da massa. Para evitar defeito nas peças, é fundamental retirar essa água. Nesta etapa são utilizados secadores intermitentes ou contínuos, que irão eliminar a água de forma lenta e gradual, em temperaturas variáveis de 50 °C a 150 °C. Este procedimento também pode ser feito naturalmente, onde os blocos são depositados em um pátio e secam a partir da ação climática.

Posteriormente a secagem, as peças são submetidas a queima, um tratamento térmico em temperaturas elevadas, que variam entre 800 °C a 1700 °C, em fornos contínuos ou intermitentes. O ciclo de queima, dependendo do produto, pode levar alguns minutos ou até vários dias. Durante este período, a massa passa por uma série de transformações, tais como: perda de massa, desenvolvimento de fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem dos grãos.

A maioria dos produtos cerâmicos é retirada dos fornos, inspecionadas e remetidas para o consumo. Porém, alguns produtos requerem um processamento adicional para obter as características finais que não foram obtidas durante o processo de fabricação. Esse processamento pós-queima pode incluir polimento, corte, furação, entre outros.

## **2.4 Blocos cerâmicos**

Os blocos cerâmicos são muito utilizados nas edificações para construção de alvenarias, apresentando dimensões bastante variáveis. Se dividem em dois tipos: furados ou maciços. Conforme a ABNT NBR 15270-1:2017, o bloco cerâmico maciço é o “componente da alvenaria que possui todas as faces plenas de material”. Esse tipo é muito utilizado em paredes de vedação, na ligação alvenaria-estrutura em paredes de blocos furados ou em pequenas estruturas. Já o bloco cerâmico furado, popularmente conhecido como bloco cerâmico ou “tijolo baiano”, têm furos cilíndricos ou prismáticos, perpendiculares às faces que os contêm (PINHEIRO; CRIVELARO, 2016).

Outra classificação, proposta por INMETRO (2021), divide os blocos cerâmicos utilizados na construção civil como sendo de vedação ou estruturais. Os blocos de vedação são aqueles destinados à execução de paredes que suportarão o peso próprio e pequenas cargas de



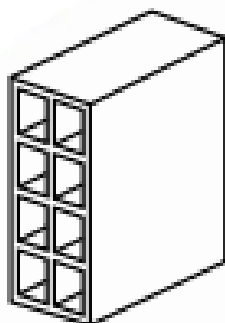
ocupação e geralmente são utilizados com os furos na posição horizontal. Os blocos estruturais, além de exercerem a função da vedação, também são destinados à execução de paredes que constituirão a estrutura resistente da edificação, podendo substituir pilares e vigas de concreto.

Segundo Lopes (2017) é esperado que os blocos cerâmicos apresentem algumas características, como: resistência à compressão, capacidade de aderência à argamassas, durabilidade em relação aos agentes agressivos (variação de temperatura, umidade e produtos químicos), dimensões uniformes e resistência ao fogo.

Os requisitos para o bloco cerâmico comum (Figura 3), conforme a ABNT NBR 15270-2:2017, são:

1. Resistência a compressão mínima ( $f_b$ ) igual a 1,5 MPa;
2. A absorção d'água deve estar na faixa de 8% a 25%;
3. Espessura mínima das paredes externas do bloco de 7mm e internas não há especificação;
4. Soma mínima das paredes em um mesmo corte transversal, incluindo paredes internas e externas, de 20mm.

Figura 3 - Bloco cerâmico comum



Fonte: ABNT NBR 15270 – 2

Segundo Bauer (2014), o objetivo é a comercialização de produtos que atendessem às exigências mínimas nas normas, para benefício dos fabricantes e dos compradores. Trata-se de compelir que os fabricantes produzam dentro de um padrão mínimo de desempenho e características. Porém, o desconhecimento acerca das normas regulamentadoras, não somente pelos fabricantes, como também pelos consumidores, faz com que a oferta e utilização de produtos apresentem adequabilidade e qualidade inferior da necessária em diversos serviços da construção civil, resultando em desperdício, retrabalho, aparecimento de fenômenos patológicos, entre outros.

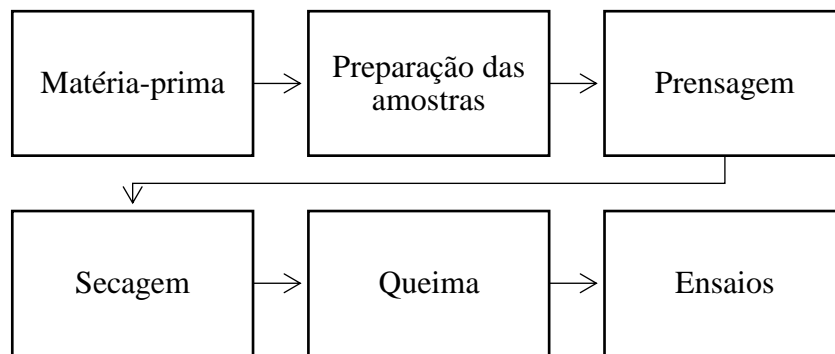
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo traz os procedimentos para levantamento dos dados e a coleta de amostras, bem como a identificação de cada uma e os procedimentos laboratoriais de determinação das características das massas cerâmicas.

#### 3.1 Confeção dos corpos de prova

A Figura 4 mostra um fluxograma, indicando a sequência de atividades realizadas para a confecção dos corpos de prova.

Figura 4 – Esquema de metodologia

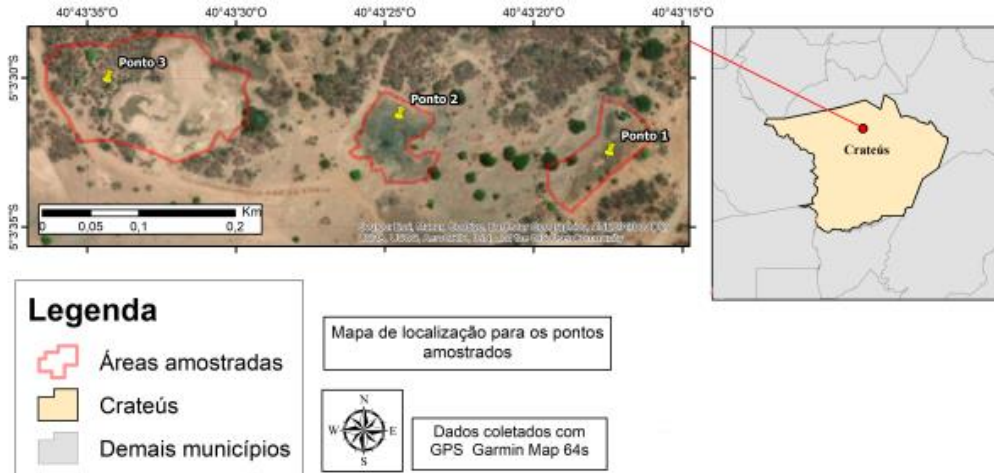


Fonte: Autor

##### 3.1.1 Matéria-prima

A Figura 5 apresenta o mapa de localização da Cerâmica Mondubim, que é uma olaria destinada a produção de blocos cerâmicos, sendo localizada no distrito de Curral Velho, a uma distância de aproximadamente 15km da zona urbana de Crateús. As amostras das argilas utilizadas foram coletadas de três pontos do depósito e os pontos de coleta das amostras também são apresentados na Figura 5.

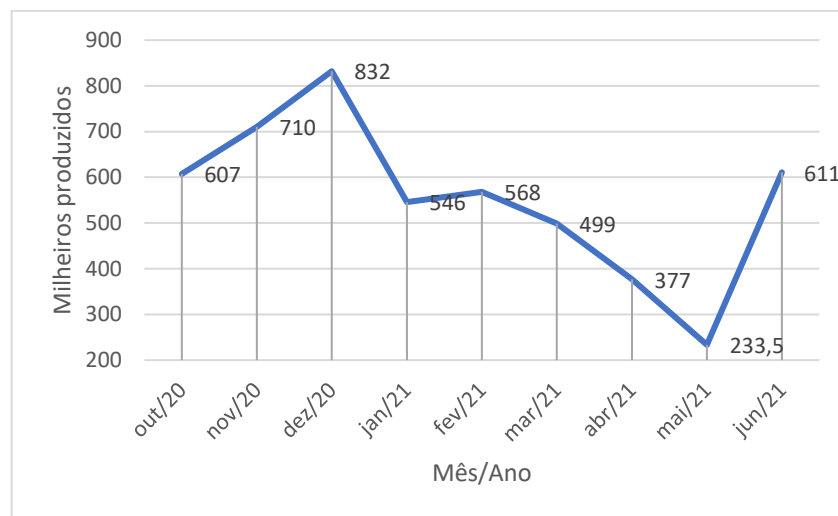
Figura 5 – Mapa de localização do depósito



Fonte: Adaptado de Teixeira (2021)

O Gráfico 1 apresenta a produção mensal da Cerâmica Mondubim. Nele é mostrado a produção do mês de outubro de 2020 ao mês de junho de 2021.

Gráfico 1 – Produção mensal da Cerâmica Mondubim  
(milheiros produzidos)



Fonte: disponibilizado pela empresa

No eixo das abcissas é apresentado os meses e no eixo das coordenadas é apresentado a quantidade de blocos produzidos naquele respectivo mês. Pelo que é percebido no gráfico, a produção é maior nos últimos meses do ano.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 estão apresentados os parâmetros de caracterização da argila, previamente determinados por Teixeira (2021).

Tabela 1 – Índices físicos das amostras

<b>Amostra</b>	<b>U(%)</b>	<b>ME (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>	<b>IP (%)</b>
<b>A1</b>	6,59	2,554	33	17,79	15,21
<b>A2</b>	1,84	2,632	-	-	-
<b>A3</b>	5,04	2,525	25	14,07	10,93

Nota: U=Umidade; ME=Massa Específica; LL=Limite de Liquidez; LP=Limite de Plasticidade; IP=Índice de Plasticidade

Fonte: Teixeira (2021)

Tabela 2 – Frações granulométricas das amostras

<b>Fração</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>
<b>Pedregulho</b>	0%	0%	0%
<b>Areia grossa</b>	2%	0%	0%
<b>Areia média</b>	9%	1%	2%
<b>Areia fina</b>	49%	18%	46%
<b>Silte</b>	18%	23%	17%
<b>Argila</b>	22%	58%	35%

Fonte: Teixeira (2021)

Tabela 3 – Associações minerais nas amostras

<b>Amostra</b>	<b>Associação mineralógica</b>
A1	Quartzo, Albita, Caulinita e Ortoclásio
A2	Quartzo, Albita, Ilita, Ortoclásio e Caulinita
A3	Quartzo, Albita, Ilita, Ortoclásio e Caulinita

Fonte: Teixeira (2021)

### **3.1.2 Preparação das amostras e prensagem**

A preparação das amostras e prensagem foram realizadas no Laboratório de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos, localizado no Campus do Pici da UFC em Fortaleza.

Foram confeccionados 18 corpos de prova, sendo 2 para cada formulação. Essas formulações foram elaboradas a partir da simulação das massas cerâmicas confeccionadas para a fabricação de blocos cerâmicos. A Tabela 4 apresenta as denominações de cada corpo de prova com sua respectiva formulação e os percentuais de cada matéria-prima utilizada na preparação da massa.

Tabela 4 – Formulações de conformação dos corpos de prova

CP	Formulação	(% em peso)		
		A1	A2	A3
CP1 e CP2	1	100	-	-
CP3 e CP4	2	70	30	-
CP5 e CP6	3	70	-	30
CP7 e CP8	4	50	50	-
CP9 e CP10	5	50	-	50
CP11 e C12	6	30	70	-
CP13 e CP14	7	30	-	70
CP15 e CP16	8	-	100	-
CP17 e CP18	9	-	-	100

Fonte: Autor

Foi utilizada balança analítica para a pesagem de cada amostra para a mistura de cada uma das formulações e para o ajuste da umidade do material para valores em torno de 10%. A mistura foi homogeneizada e disposta em um molde prismático (Figura 6) de dimensões 115 x 25 x 25 mm.

Figura 6 – Molde prismático



Fonte: Autor

Os moldes foram submetidos à compactação por compressão uniaxial em prensa manual (Figura 7), com força de compactação de 2 tonelada-força, por ação única do pistão superior.

Figura 7 – Prensa manual



Fonte: Autor

### 3.1.3 Secagem

A secagem também foi realizada no Laboratório de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos, localizado no Campus do Pici da UFC em Fortaleza. Os corpos de provas foram secos em estufa (Figura 8) a uma temperatura de 110° C por um período de 24 horas.

Figura 8 – Estufa



Fonte: Autor

### 3.1.4 Queima

A queima foi realizada no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, localizado no Campus do Pici da UFC em Fortaleza. Os corpos de prova foram queimados em um forno mufla elétrico adotando um ciclo de queima lento até a temperatura de 850 °C, por um período de 2 horas, a uma taxa de aquecimento de 5 °C/min. O resfriamento ocorreu naturalmente com o forno desligado e fechado até a temperatura ambiente.

## 3.2 Propriedades tecnológicas

Os ensaios para a determinação das propriedades tecnológicas foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), localizado no Campus do Pici da UFC em Fortaleza. As propriedades tecnológicas determinadas foram: absorção de água, porosidade aparente, retração linear, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão.

Para os ensaios de absorção de água, porosidade aparente, retração linear e massa específica aparente foram utilizados os corpos de prova CP2, CP4, CP6, CP8, CP10, CP12, CP14, CP16 e CP18, e para o ensaio de tensão de ruptura a flexão foram utilizados os corpos de prova CP1, CP3, CP5, CP7, CP9, CP11, CP13, CP15 e CP17. Destaca-se que por questões relacionadas a restrição de tempo e utilização do laboratório devido a pandemia, não foi possível a reprodução dos ensaios.

### 3.2.1 Absorção de água

De acordo com a ASTM C373-18 (2018), a absorção de água, expressa como um percentual, é a relação da massa de água absorvida pelo corpo de prova pela massa do corpo de prova seco.

A determinação do índice de absorção de água pode ser obtida com auxílio da equação 1:

$$\%AA = \frac{(M_u - M_S)}{M_S} \times 100 \quad (1)$$

Em que: %AA é a absorção de água,  $M_u$  é a massa úmida e  $M_S$  é a massa seca.

Após a queima, foi retirado o pó e partículas soltas e então os corpos de prova foram pesados em balança analítica com resolução de 0,01g, obtendo dessa forma a massa seca ( $M_S$ ) em gramas, depois os corpos foram submersos em água por 24h. Após saturados, os corpos de

prova forão removidos e secos levemente com um pano de microfibras para remover as gotas de água visível da superfície, a fim de eliminar o excesso de água. Efetuou-se imediatamente novas pesagens, nesse processo foi obtido a massa úmida ( $M_u$ ).

### 3.2.2 Porosidade aparente

De acordo com a ASTM C373-18 (2018), a porosidade aparente, expressa como um percentual, é a relação do volume dos poros abertos da amostra com seu volume exterior ou volume aparente.

A porosidade aparente pode ser obtida com auxílio da equação 2:

$$\%P_a = \frac{(M_u - M_s)}{(M_u - M_i)} \times 100 \quad (2)$$

Em que:  $\%P_a$  é a porosidade aparente,  $M_u$  é a massa úmida,  $M_s$  é a massa seca e  $M_i$  é a massa imersa.

As massas secas e úmidas seguiram os mesmos passos já citados e a massa imersa ( $M_i$ ) consistiu na pesagem dos corpos utilizando o método da balança hidrostática, onde a amostra era colocada em um cesto de arame acoplado à parte inferior da balança, mergulhado em um tanque de água.

### 3.2.3 Retração linear

A retração linear foi determinada pelo método de Santos (1989), que estabelece que ela deve ser calculada a partir das equações 3 e 4:

$$\%RL_s = \frac{L_m - L_s}{L_s} \quad (3)$$

$$\%RL_q = \frac{L_s - L_q}{L_s} \quad (4)$$

Em que:  $\%RL_s$  e  $\%RL_q$  são, respectivamente, retração linear de secagem e de queima,  $L_m$  é o comprimento inicial (após a moldagem),  $L_s$  é o comprimento final logo após a secagem e  $L_q$  é o comprimento final logo após a queima, dados em milímetros.

Os corpos de prova foram medidos com paquímetro com resolução de 0,05mm após a moldagem, após a secagem e também após a queima para que possam ser obtidos os valores de retração de secagem e queima.



### 3.2.4 *Massa específica aparente*

De acordo com a ASTM C373-18 (2018), a massa específica aparente é o quociente da massa do corpo de prova seco dividido pelo volume exterior ou volume aparente, incluindo poros.

A massa específica pode ser obtida com auxílio da equação 5:

$$MEA = \frac{M_S}{V_a} \quad (5)$$

Em que: MEA é a massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>), M<sub>S</sub> é a massa seca (g) e V<sub>a</sub> é o volume aparente (cm<sup>3</sup>), sendo esses valores coletados após a queima.

### 3.2.5 *Tensão de ruptura à flexão*

Este ensaio é baseado na ASCM C674-13 (2018), que indica que a tensão de ruptura à flexão, que pode ser calculada através da equação 6:

$$TRF = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (6)$$

Em que: TRF é a tensão de ruptura à flexão (Mpa), P é a carga no instante da ruptura, L é a distância entre os apoios, b é a largura das amostras e d é a espessura das amostras.

O corpo de prova foi colocado sobre dois apoios, distantes 68,7mm, de forma a ficar simplesmente apoiado nas extremidades e, através de um terceiro ponto, a prensa (Figura 9) aplicou uma força contrária, com velocidade definida e controlada no centro deste corpo. Quando ocorreu a ruptura do corpo de prova, o aparelho forneceu o valor da força aplicada.

Figura 9 – Ruptura a flexão do corpo de prova



Fonte: Autor

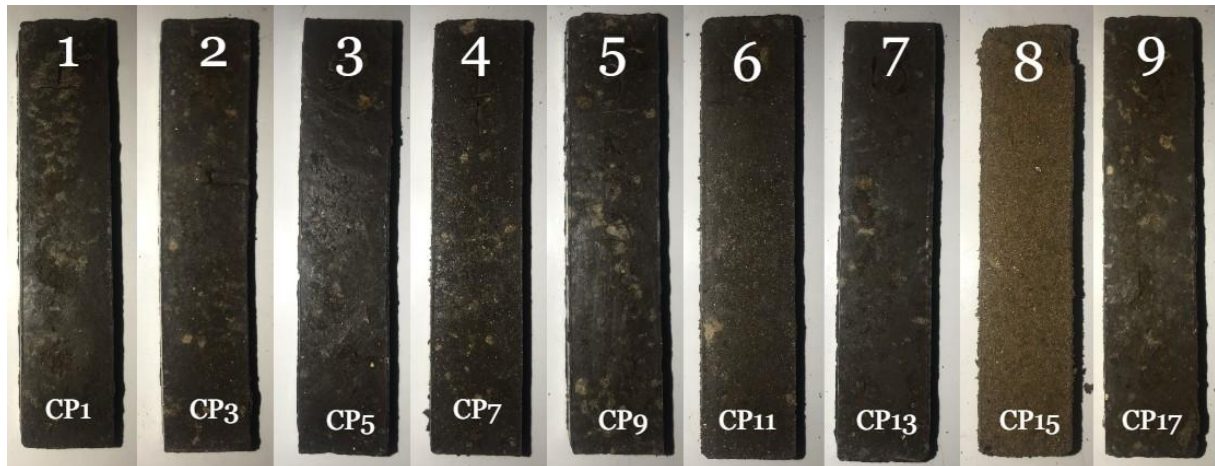
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir apresentam-se os resultados da caracterização das 9 formulações de massas cerâmicas. Primeiramente confeccionando os corpos de prova e posteriormente realizando os ensaios.

### 4.1 Confeção dos corpos de prova

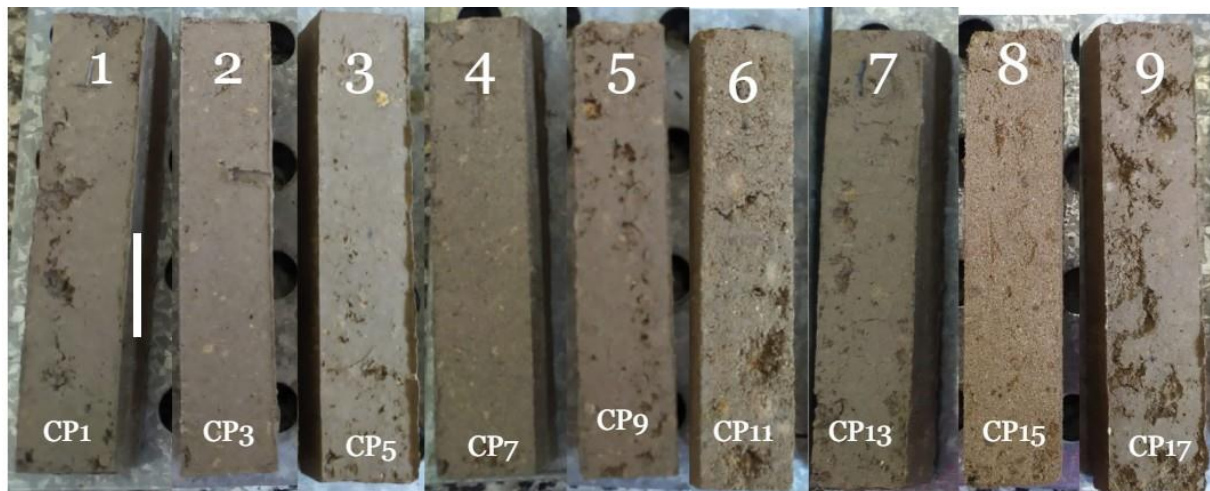
Na confecção dos corpos de prova cerâmicos foram realizadas as etapas de prensagem, secagem e queima. Nas Figuras 10, 11 e 12 é apresentado o resultado obtido após a término de cada uma dessas etapas.

Figura 10 – Corpos após a prensagem



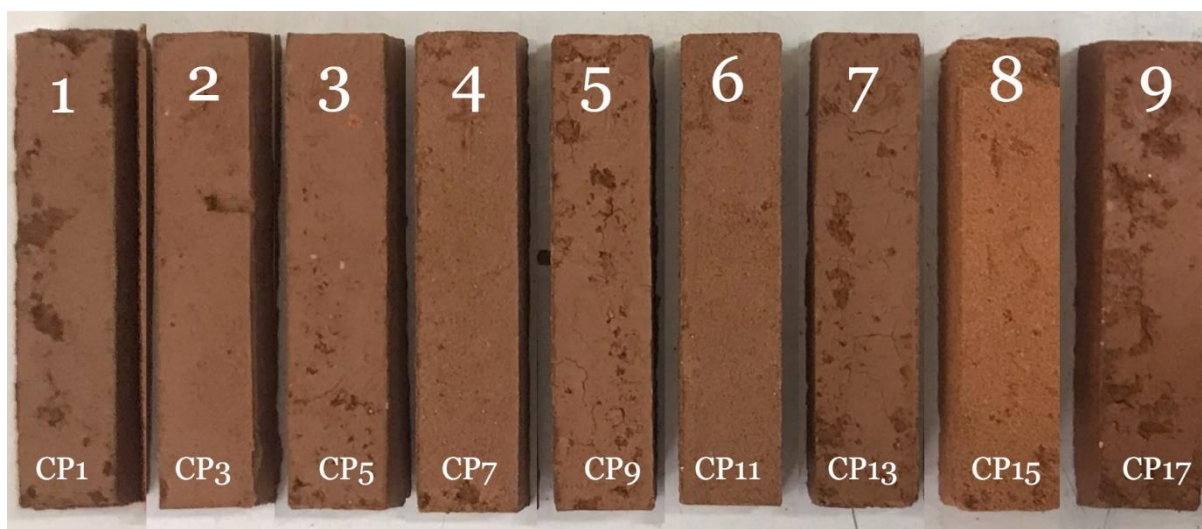
Fonte: Autor

Figura 11 – Corpos após a secagem



Fonte: Autor

Figura 12 – Corpos após a queima



Fonte: Autor

Na Figura 10 pode-se perceber que a coloração das amostras é bem semelhante, com exceção da amostra da formulação 8 (100% composto pela argila 2) que apresentava coloração mais avermelhada e também apresentava uma mistura mais “esfarelenta”. Essa mesma formulação também foi a única que apresentou defeitos na etapa de moldagem, despedaçando no canto ao ser removida do molde. A amostra apresentava coesão suficiente somente para formar torrões que são facilmente desagregáveis pela pressão dos dedos. Esse fato vai de acordo com o encontrado por Teixeira (2021), onde foi determinado que a argila 2 não apresenta plasticidade suficiente para confecção de blocos cerâmicos, de acordo com a classificação elaborada por Macedo *et al.* (2008).

Na fase de secagem (Figura 11) foi observada a mudança de coloração, todos os corpos se mantiveram estáveis e não foram observadas trincas significativas.

Na fase de queima (Figura 12) foi observada que todos os corpos de prova mudaram a coloração, apresentando uma coloração avermelhada, característica que é comumente adquirida após a queima. A NBR 7170:1983 considera que os corpos de prova não podem apresentar defeitos sistemáticos como trincas, superfícies irregulares, deformações e coloração heterogênea. Após o tratamento térmico foi observado o aparecimento de trincas e fissuras nas formulações 3, 5, 7 e 9. Neste caso, pode-se observar que essas formulações eram compostas por alguma quantidade da argila 3, que segundo Teixeira (2021), apresentava traços de material orgânico. De acordo com Schuller *et al.* (2008), um dos motivos propostos para a ocorrência de trincas nos materiais cerâmicos é a diferença dos coeficientes de expansão térmica entre a

matriz e as fases cristalinas. Se com a variação de temperatura as partículas contraem mais que a matriz, isso pode resultar em pequenas trincas ao redor das partículas.

## 4.2 Propriedades tecnológicas

### 4.2.1 Absorção de água

Os índices de absorção de água (AA) são mostrados na Tabela 5. Os menores valores de AA (9,90% e 9,98%) ocorreram, respectivamente, nas formulações 5 e 1. Já os maiores valores de AA (15,28% e 12,17%) foram observados, respectivamente, nas formulações 8 e 9.

Tabela 5 - Absorção de água

<b>Formulação</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>AA (%)</b>
Formulação 1	CP2	9,98
Formulação 2	CP4	10,47
Formulação 3	CP6	10,65
Formulação 4	CP8	10,27
Formulação 5	CP10	9,90
Formulação 6	CP12	10,75
Formulação 7	CP14	11,52
Formulação 8	CP16	15,28
Formulação 9	CP18	12,17

Fonte: Autor

As formulações 8 e 9 foram confeccionados com 100% da argila 2 e 3, respectivamente. De acordo com Teixeira (2021), a argila 2 apresenta 18% de areia fina, 23% de silte e 58% de fração argila, enquanto a argila 3 apresenta 46% de areia fina, 17% de silte e 35% de fração argila.

Para Caputo (1988), solos mais finos possuem maior superfície específica, o que constitui uma das razões da diferença entre as propriedades físicas de solos argilosos e arenosos. Solos com granulometria mais grossa apresentam grandes espaços entre os seus grãos (poros). Quando saturados, esses espaços são preenchidos pela água e por essa razão, as amostras que apresentavam granulometria mais grosseira são também as que absorveram mais água quando

submersos e as amostras com granulometria mais fina absorveram menos água no processo de submersão.

A norma NBR 15270-2:2005, estabelece os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos para blocos cerâmicos estruturais e de vedação a serem utilizados em obras de alvenaria. Esta, estabelece os limites de 8% a 22% para a absorção de água de blocos cerâmicos. Sendo assim, todas as formulações se adequam ao critério exigido pela norma anteriormente citada.

#### 4.2.2 Porosidade aparente

A Tabela 6 apresenta as porosidades aparente para os diferentes corpos de prova. Os menores valores de PA (19,67% e 20,53%) ocorreram, respectivamente, nas formulações 1 e 5. Já os maiores valores de PA (24,77% e 23,76%) foram observados, respectivamente, nas formulações 8 e 9, corroborando com os resultados encontrados para a absorção de água.

Tabela 6 – Porosidade Aparente

<b>Formulação</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>PA (%)</b>
Formulação 1	CP2	19,67
Formulação 2	CP4	20,90
Formulação 3	CP6	21,59
Formulação 4	CP8	20,58
Formulação 5	CP10	20,53
Formulação 6	CP12	22,47
Formulação 7	CP14	20,66
Formulação 8	CP16	24,77
Formulação 9	CP18	23,76

Fonte: Autor

Para Caputo (1988), a porosidade é a relação entre o volume de vazios de uma amostra e o seu volume total. O grau de compactação de uma amostra indica se suas partículas estão arranjadas e próximas umas das outras, como consequência, um grau de compactação maior reduz o volume de vazios e a porosidade da mesma. O grau de compactação também interfere na permeabilidade da amostra, o que explica o fato de que as formulações com maiores porosidade aparente também apresentarem maior absorção de água.

Santos (1989), estabeleceu uma comparação com as faixas de variação entre os valores máximos e mínimos medidos para as características de cerâmicas industriais brasileiras.

Ele determinou os limites de 5% a 35% para a porosidade aparente quando o uso da argila for destinado a cerâmica vermelha. Desta forma, todas as formulações analisadas se adequaram ao critério exigido citado anteriormente.

#### 4.2.3 Retração linear

A Tabela 7 apresenta os valores de retração linear de secagem e de queima para cada formulação adotada.

Tabela 7 – Retração linear após a secagem e após a queima

<b>Formulação</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>RLs (%)</b>	<b>RLq (%)</b>
Formulação 1	CP2	3,42	1,77
Formulação 2	CP4	3,42	0,88
Formulação 3	CP6	4,31	0,90
Formulação 4	CP8	1,72	0,88
Formulação 5	CP10	3,45	0,89
Formulação 6	CP12	0,86	0,87
Formulação 7	CP14	2,59	0,88
Formulação 8	CP16	0,86	0
Formulação 9	CP18	1,71	0,87

Fonte: Autor

Conforme Melchiades *et al.* (2001), quando a massa de argila apresenta baixo teor de umidade a retração linear de secagem é reduzida, ou seja, a alteração das dimensões após secagem é consequência da eliminação da água usada na conformação do produto. Já a retração linear de queima depende de fatores como: densidade aparente, composição da massa e das condições de queima. Na etapa de queima inicia-se um processo de formação de fases líquidas no interior do produto, à medida em que temperatura aumenta o volume de fases líquidas também aumenta. Essas fases líquidas escoam e preenchem os espaços vazios entre as partículas sólidas que ainda não se fundiram causando uma aproximação entre as mesmas. Essa aproximação é que resulta a redução do volume de poros da peça e, conseqüentemente, na retração da peça.

De acordo com Dondi (2006), a faixa de variação aceitável para a retração de secagem para a fabricação de blocos cerâmicos é 3% a 10%, sendo entre 5% a 8% a variação ótima. Para a retração linear após a queima, afirma que a variação ótima é menor do que 1,5%

e a variação aceitável está entre 1,5% e 3%. Desta forma, as formulações 2, 3, 4 e 5 estão dentro do padrão recomendável de retração de secagem para a fabricação de blocos. Em relação a retração de queima, como todos são inferiores a 3%, todos estão no limite recomendável.

#### 4.2.4 *Massa específica aparente*

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para a massa específica aparente de acordo com cada formulação adotada. O menor valor de MEA ( $1,71\text{g/cm}^3$ ) ocorreu na formulação 8, enquanto o maior valor de MEA ( $2,16\text{g/cm}^3$ ) foi observado na formulação 2.

Tabela 8 – Massa específica aparente

<b>Formulação</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>MEA (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>
Formulação 1	CP2	2,03
Formulação 2	CP4	2,16
Formulação 3	CP6	1,98
Formulação 4	CP8	1,83
Formulação 5	CP10	1,95
Formulação 6	CP12	1,94
Formulação 7	CP14	2,13
Formulação 8	CP16	1,71
Formulação 9	CP18	1,87

Fonte: Autor

Conforme é mostrado em Santos (1989), os limites mínimos e máximos quanto a MEA são de  $1,7\text{g/cm}^3$  e  $2,1\text{g/cm}^3$ , respectivamente, para a utilização da argila na fabricação de cerâmica vermelha. O limite máximo foi ultrapassado pelas formulações 7 e 2 ( $2,13\text{g/cm}^3$  e  $2,16\text{g/cm}^3$ ). A massa específica é a relação da massa do corpo de prova após a queima e seu volume aparente. Essas formulações apresentavam porosidade inferior, o que resulta em menos espaços preenchidos por ar, desta forma diminuindo o seu volume, resultando em uma maior massa específica aparente.

#### 4.2.5 *Tensão de ruptura a flexão*

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para tensão de ruptura a flexão de acordo com cada formulação adotada.

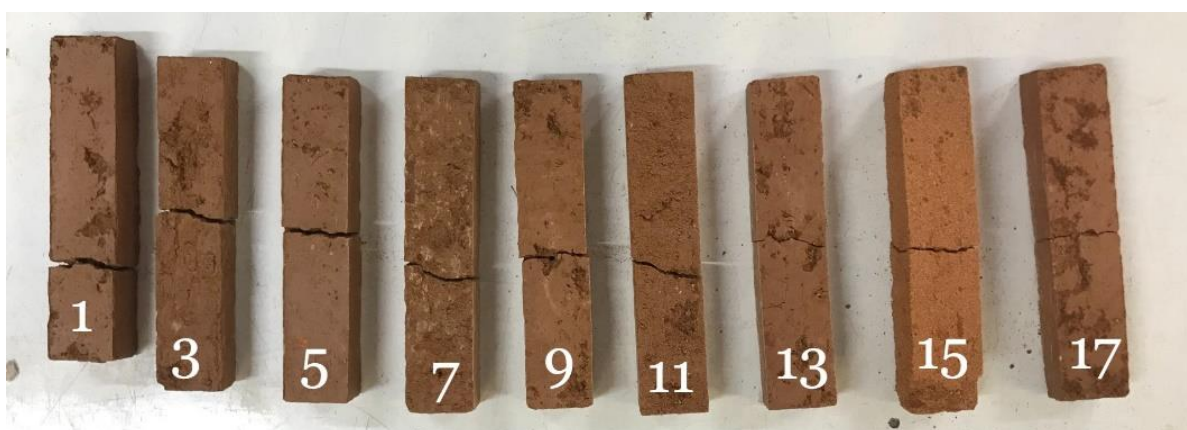
Tabela 9 – Tensão de ruptura a flexão

Formulação	Corpo de prova	TRF (MPa)
Formulação 1	CP1	10,57
Formulação 2	CP3	8,11
Formulação 3	CP5	10,82
Formulação 4	CP7	4,06
Formulação 5	CP9	5,07
Formulação 6	CP11	3,49
Formulação 7	CP13	5,65
Formulação 8	CP15	1,02
Formulação 9	CP17	4,40

Fonte: Autor

O menor valor obtido corresponde a formulação 8 (1,02Mpa) enquanto o maior valor corresponde a formulação 1 (10,57Mpa). Isso se dá porque os solos mais finos são também mais coesivos, pois seus grãos se aderem firmemente uns aos outros. Enquanto os solos com granulometria mais grosseira são menos coesivos, com partículas que não se aderem umas às outras, fato devido a existência de espaços vazios entre as partículas relativamente grandes e intercomunicados entre si.

Figura 3 – Corpos de prova após a ruptura



Fonte: Autor

O valor limite mínimo para tensão de ruptura a flexão indicado para o uso de cerâmica vermelha no Brasil para fabricação de blocos é de 2Mpa, de acordo com Pérez *et al.* (2010). Conforme os resultados expostos, apenas a formulação 8, não se adequou ao limite supracitado. Essa formulação também é a que apresenta maior valor de absorção de água, ou



seja, apresenta uma maior compacidade interferindo diretamente na resistência mecânica da cerâmica.

Segundo Morais e Sposto (2006), a qualidade dos blocos cerâmicos está ligada principalmente às propriedades tecnológicas e mineralógicas da argila empregada como granulometria, plasticidade e composição mineralógica, sendo que a granulometria das argilas tem íntima relação com a resistência mecânica do bloco.

#### 4.2.6 Comparação dos resultados

Os resultados obtidos das características cerâmicas nos corpos de prova são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Comparação dos resultados

	<b>AA</b> (%)	<b>PA</b> (%)	<b>RLs</b> (%)	<b>RLq</b> (%)	<b>MEA</b> (g/cm <sup>3</sup> )	<b>TRF</b> (Mpa)
Formulação 1	9,98	19,67	3,42	1,77	2,03	10,57
Formulação 2	10,47	20,90	3,42	0,88	<u>2,16</u>	8,11
Formulação 3	10,65	21,59	4,31	0,90	1,98	10,82
Formulação 4	10,27	20,58	<u>1,72</u>	0,88	1,83	4,06
Formulação 5	9,90	20,53	3,45	0,89	1,95	5,07
Formulação 6	10,75	22,47	<u>0,86</u>	0,87	1,94	3,49
Formulação 7	11,52	20,66	<u>2,59</u>	0,88	<u>2,13</u>	5,65
Formulação 8	15,28	24,77	<u>0,86</u>	0	1,71	<u>1,02</u>
Formulação 9	12,17	23,76	<u>1,71</u>	0,87	1,87	4,40
<b>Referência</b>	<b>8 - 22</b>	<b>5 - 35</b>	<b>3 - 10</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>1,7 - 2,1</b>	<b>&gt; 2</b>

Nota: AA=absorção de água; PA=porosidade aparente; RLs=retração linear de secagem; RLQ=retração linear de queima; MEA=massa específica aparente e TRQ=tensão de ruptura.

Fonte: Autor.

A caracterização tecnológica da argila indica que os resultados obtidos para absorção de água e porosidade aparente mostram que todas as formulações apresentaram valores adequados para matérias-primas utilizadas na produção de blocos cerâmicos.

A retração linear de secagem apresenta valores satisfatórios para as formulações 1, 2, 3, e 5, e todas as formulações apresentavam bons resultados para a retração linear de queima, sendo a grande maioria inferior a 1% o que permite inferir que este parâmetro exerce pouca influência sobre as dimensões finais de um corpo de prova.

Com relação a massa específica aparente, as formulações 2 e 7 apresentavam valores superiores aos limites satisfatórios para confecção de blocos cerâmicos, mas excessivamente próximos do limite. Desta forma todas as formulações foram razoáveis para esse parâmetro.

Os resultados obtidos para tensão de ruptura a flexão, foram satisfatórios para todas as formulações, com exceção da formulação 8 que apresentava valor inferior aos adequado para massas cerâmicas utilizadas na fabricação de blocos cerâmicos.

Os resultados obtidos através dos ensaios tecnológicos para cerâmica mostraram que as formulações 1, 2, 3 e 5 obtiveram os melhores resultados para a confecção de blocos cerâmicos uma vez que os resultados dos parâmetros analisados se demonstraram satisfatórios. E o pior resultado foi obtido pela formulação 8, que supriu apenas 3 das 5 condições analisadas.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo geral desse trabalho foi analisar o desempenho físico e mecânico de massas cerâmicas utilizadas para a confecção de blocos cerâmicos fabricados por uma empresa na cidade de Crateús. Nessa perspectiva, foram realizados todos os ensaios estimados: absorção de água, porosidade aparente, retração linear, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão.

Por conseguinte, pode-se concluir que, a caracterização tecnológica das misturas argilosas formadas, permite verificar se estas são adequadas ou não para produção de blocos cerâmicos. Das nove formulações: quatro apresentavam resultados satisfatórios atingindo todos os requisitos, três apresentaram resultados regulares não atingindo somente uma das qualidades avaliadas e duas apresentavam resultado insatisfatório apresentando desempenho inferior as demais.

O estudo forneceu importantes informações que podem possibilitar um melhor aproveitamento econômico da matéria-prima, além de possibilitar o aprimoramento das técnicas de produção já existentes. Os resultados evidenciam a importância e necessidade que tem a adequada caracterização de matérias-primas usadas para aplicação em cerâmica vermelha e seu reflexo na qualidade dos produtos finais, bem como conhecer as normas que qualificam o produto.

É importante salientar que a presente pesquisa sofreu limitações devido ao período pandêmico, em virtude do tempo insuficiente para a realização de todos os ensaios. Desta forma, não foi possível produzir as duplicatas dos CPs para realização dos ensaios que, de forma a fornecer resultados mais precisos e seus erros relativos.

### 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Avaliar o processo de produção das cerâmicas vermelhas, além da matéria-prima;
- Avaliar o desempenho do produto final, bloco cerâmico;
- Abranger o estudo para novas empresas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASCM C674-13**: Standard Test Methods for Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials. Pensilvânia: ASTM, 2018. 4 p.

\_\_\_\_\_. **ASTM C373-18**: Standard Test Methods For Determination Of Water Absorption And Associated Properties By Vacuum Method For Pressed Ceramic Tiles And Glass Tiles And Boil Method For Extruded Ceramic Tiles And Non-Tile Fired Ceramic Whiteware Products. Pensilvânia: ASTM, 2018. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM). **Informações técnicas - definição e classificação**. 2021. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 02 jul. 2021.

\_\_\_\_\_. **Informações técnicas – Processos de fabricação**. 2021. Disponível em: <https://abceram.org.br/processo-defabricacao/>. Acesso em: 09 ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270 -1**: Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 26 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 29 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6502**: Rochas e solos - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA (ANIFER). **Dados do Setor**. 2021. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>. Acesso em: 09 ago. 2021

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO (ANFACER). **História da Cerâmica**. 2021. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/historia-da-ceramica>. Acesso em: 27 jul. 2021.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 538 p.

CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J. F. M.; ALMEIDA, A. S.; TANNO, L. C. **Argila para Cerâmica Vermelha**. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações. 2. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Cap. 33, p. 747 – 770.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: uma Introdução, 5ª ed., Rio de Janeiro, RJ, LTC, 2002.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N.; RODRIGUES, J. M. A. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**: Fundamentos. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2015. 249 p.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Ceará é o 5º do País em empresas ceramistas**. 2014. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/ceara-e-o-5-do-pais-em-empresas-ceramistas-1.1134275>. Acesso em: 02 ago. 2021.

DONDI, M. **Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos : Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados**. Cerâmica Industrial, v. 11, n. 3, p. 36–40, 2006.

GARCEZ, Luciane Ruschel Nascimento. **Cerâmica**. Indaial: Uniasselvi, 2011. 192 p.

LOPES, Livia de Faria. **Materiais de construção civil I**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2017. 192 p.

MELCHIADES, F. G. et al. **Controle Dimensional e do Formato de Revestimentos Cerâmicos. Parte I: Dimensões**. Cerâmica Industrial, v. 6, n. 5, p. 27–33, 2001.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA (Brasil). INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Portaria nº 270 de 23 de junho de 2021. [Aprova a Regulamentação Técnica para Componentes Cerâmicos para Alvenaria - Consolidado]. **Diário Oficial da União: Edição: 118 | Seção: 1 | Página: 80**, Brasília-DF, ano 2021, p. 1-80, 25 jun. 2021.

PÉREZ, C. A. S. et al. **Caracterização de massas cerâmicas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha em São Domingos do Sul - RS**. Cerâmica Industrial, v. 15, n. 1, p. 38–43, 2010.

PINHEIRO, Antonio Carlos de Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Materiais de Construção - Série Eixos**. 6. ed. -: Editora Érica, 2016.

SANTOS, P. de S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 1989.

SAVAZZINI-REIS, A.; SILVA, M. S. Análise do desempenho de blocos cerâmicos produzidos na região de Colatina-ES. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 3, p. 39–46, 2017.

SCHULLER, D.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R. Influência de defeitos e diferentes processos de fabricação nas propriedades mecânicas finais de cerâmicas. **Cerâmica**, v. 54, n. 332, p. 435–442, 2008.

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

SANTOS, Pêrsio de Souza. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 1989. 2 p. 1 v.

TEIXEIRA, Paulo Gildânio Ferreira. **CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ARGILAS UTILIZADAS POR DUAS EMPRESAS NA PRODUÇÃO DE PEÇAS CERÂMICAS NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS – CE**. 2021. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2021.