



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DOPARÁ - UFOPA  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS - IEG  
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – PC&T

KÁSSIA LENE LIMA MARINHO  
LUIZ HENRIQUE LEMOS VIEIRA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA CERÂMICA  
VERMELHA COM PARTE DA SUA COMPOSIÇÃO SUBSTITUÍDA PELA CINZA  
DO CAROÇO DO AÇAÍ**

SANTARÉM  
2017

KÁSSIA LENE LIMA MARINHO  
LUIZ HENRIQUE LEMOS VIEIRA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA CERÂMICA  
VERMELHA COM PARTE DA SUA COMPOSIÇÃO SUBSTITUÍDA PELA CINZA  
DO CAROÇO DO AÇAÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Engenharia e  
Geociências da Universidade Federal do  
Oeste do Pará - UFOPA como requisito  
parcial para obtenção do grau de Bacharel  
em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. MSc. Thiago Augusto  
Moreira.

SANTARÉM  
2017

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIGI/UFOPA**

---

M338e Marinho, Kássia Lene Lima

Estudo das propriedades físicas e mecânicas da cerâmica vermelha com parte da sua composição substituída pela cinza do caroço do açaí./ Kássia Lene Lima Marinho, Luiz Henrique Lemos Vieira. – Santarém, 2017.

58 fls.: il.

Inclui bibliografias.

Orientador Thiago Augusto Moreira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia.

1. Sustentabilidade. 2. Caroço do açaí. 3. Cerâmica vermelha . I. Moreira, Thiago Augusto, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 338.1798115

---

## TERMO DE APROVAÇÃO


Este trabalho de Conclusão de Curso foi analisado pelos membros da Banca Examinadora, abaixo assinados:

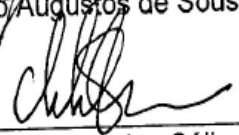
APOVADO EM: 13/12/2017

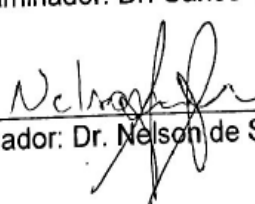
**TÍTULO: ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA CERÂMICA VERMELHA COM PARTE DA SUA COMPOSIÇÃO SUBSTITUÍDA PELA CINZA DO CAROÇO DO AÇAÍ.**

KÁSSIA LENE LIMA MARINHO  
LUIZ HENRIQUE LEMOS VIEIRA

BANCA EXAMINADORA

  
Orientador: Thiago Augustos de Sousa Moreira

  
1º Examinador: Dr. Carlos Célio Cruz

  
2º Examinador: Dr. Nelson de Souza Amorim

SANTARÉM – PARÁ

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradecemos a Deus, que iluminou nossos caminhos e nos deu força e coragem para seguirmos firmes nesta jordaná.

Aos familiares e amigos, grandes incentivadores deste trabalho e que, acima de tudo, sempre acreditaram nos nossos sonhos.

Ao professor Thiago Moreira, nosso orientador, pela compreensão, apoio e competência. Obrigada por acreditar em nós.

Agradecemos também a todos os professores que nos acompanharam durante o Bacharelado em Ciência e Tecnologia.

A todos os nossos colaboradores dentro da UFOPA, ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFOPA pelo espaço cedido ao nosso trabalho, ao Laboratório de Síntese e Caracterização de Novos Materiais da UFOPA pelas análises de difração de raios X, ao Professor Paulo Lobo e ao Técnico Saulo do Laboratório de Edificações do IFPA. Nossos sinceros agradecimentos pela disponibilidade e atenção!

Enfim, a todos que contribuíram e torceram para esse trabalho se concretizar, nossos sinceros agradecimentos!

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você  
estará fazendo o impossível”.

*São Francisco de Assis*

## RESUMO

O conceito de sustentabilidade vincula-se ao desenvolvimento sustentável de forma que satisfaça as necessidades da geração presente sem interferir de maneira negativa nas necessidades futuras. Logo, para um processo ser considerado sustentável, toda a sua estrutura deve ser pensada para este conceito, desde a fase inicial até a destinação adequada dos resíduos, a exemplo do que ocorre na agroindústria do açaí. Enquanto isso, no setor da construção civil, há a necessidade de busca por materiais alternativos. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar e estudar as propriedades da cerâmica vermelha com a incorporação da cinza do caroço do açaí substituindo a massa cerâmica nas proporções de 5, 10 e 15% como parte de sua composição. Comparando-se com a literatura e com a massa cerâmica de referência, onde não houve a incorporação da cinza do caroço de açaí, ou seja 0% de cinza, através da produção de corpos de prova sinterizados à 1050°C, efetuando os ensaios tecnológicos, como, retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, procedimento de perda ao fogo, resistência a flexão e difração de raio X, os resultados indicam valores satisfatórios para a produção de produtos cerâmicos com o acréscimo de 5% de cinza do caroço de açaí em sua composição. Os resultados para a variação de 10% e 15% indicam que o processamento das argilas e da cinza do caroço de açaí devem ser alterados para a efetiva eliminação do material orgânico assim como uma modificação da metodologia, para um melhor estudo do desempenho mecânico da massa cerâmica.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Cerâmica vermelha; Cinza do caroço do açaí.

## ABSTRACT

The concept of sustainability is linked to sustainable development in a way that meets the needs of the present generation without negatively interfering with future needs. Therefore, for a process to be considered sustainable, its entire structure must be thought for this concept, from the initial phase to the proper disposal of waste, as in the açaí agroindustry. Meanwhile, in the construction sector, there is a need to search for alternative materials. Thus, the purpose of this work is to analyze and study the properties of red ceramics with the incorporation of açaí stone ash replacing the ceramic mass in proportions of 5, 10 and 15% as part of its composition. Comparing with the literature and the reference ceramic mass, where there was no incorporation of acai ash, that is 0% of ash, through the production of sintered specimens at 1050 ° C, carrying out the technological tests , such as linear retraction, water absorption, apparent porosity, apparent specific mass, fire loss procedure, flexural strength and X-ray diffraction, the results indicate satisfactory values for the production of ceramic products with the addition of 5% of ash of açaí lump in its composition. The results for 10% and 15% variation indicate that the processing of the clays and ash of the açaí stone must be changed to the effective elimination of the organic material as well as a modification of the methodology for a better study of the mechanical performance of the mass ceramics.

Keywords: Sustainability; Red ceramics; Acai stone ash.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais APLs mínero-cerâmicos brasileiros.....	19
Figura 2 – Fluxograma do processo de fabricação de cerâmica vermelha.....	23
Figura3 – Processo de extração.....	24
Figura4 – Estocagem da argila.....	25
Figur5 – Extrusora.....	25
Figura 6 - Difratoograma do cristal de NaCl com indicação de seus respectivos índices de Milli.....	30
Figura 07 – Forma adaptada para a conformação dos corpos de prova.....	38
Figura 08 – Destorroamento e peneiramento da argila.....	39
Figura 09 – Processo de queima do caroço de açáí.....	40
Figura 10 – Processo de mistura/homogeneização, conformação e desforma dos CPs.....	41
Figura 11 – queima e ensaios realizados.....	42
Figura 12 – Amostra 1, argila plástica.....	49
Figura 13 – Amostra 2, argila menos plástica.....	49
Figura 14 – Amostra 3, corpo de prova queimado a temperatura de 1050°C.	50

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico1 – Retração linear.....	43
Gráfico2 – Absorção de água.....	44
Gráfico3 – Porosidade aparente.....	45
Gráfico4 – Massa específica aparente.....	46
Gráfico 5 – Perda ao fogo.....	47
Gráfico6 – Resistência a flexão.....	48

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.....	18
Quadro 2 – Transformações sofridas pela argila em função da temperatura.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Retração linear.....	43
Tabela 2 – Absorção de água.....	44
Tabela 3 – Porosidade aparente.....	46
Tabela 4 – Massa específica aparente.....	46
Tabela 5 – Perda ao fogo.....	47
Tabela 6 – Resistência a flexão.....	48

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Resíduos sólidos</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 Indústria do açaí</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3 Material cerâmico</b> .....	<b>19</b>
3.3.1 Setor cerâmico no Brasil.....	21
3.3.2 Argila .....	23
3.3.3 Plasticidade .....	24
3.3.4 Processo de fabricação.....	25
3.3.4.1 Extração da matéria prima.....	27
3.3.4.2 Estocagem da argila .....	28
3.3.4.3 Processamento da argila .....	28
3.3.4.4 Conformação.....	29
3.3.4.5 Prensagem.....	30
3.3.4.6 Secagem .....	30
3.3.4.7 Queima .....	30
<b>3.4 Difração de raios X (DRX)</b> .....	<b>32</b>
<b>3.5 Exemplos semelhantes</b> .....	<b>33</b>
3.5.1 Reuso do resíduo de fundição, areia verde na produção de blocos cerâmicos.....	33
3.5.2 Estudo das propriedades físicas, químicas e estrutural da cerâmica vermelha com substituição de parte dos agregados por lodo proveniente da indústria têxtil.....	34
3.5.3 Incorporação da cinza do caroço de açaí em formulação de cerâmica estrutural .....	35
<b>4 MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 Processo de fabricação da cinza do caroço do açaí</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 Processo de preparo das argilas</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3 Processo de moldagem dos corpos de prova</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1 Ensaios tecnológicos</b> .....	<b>40</b>
4.1.1 Retração linear (RL).....	40
4.1.2 Absorção de água (AA).....	41
4.1.3 Porosidade aparente (PA) .....	41
4.1.4 Massa específica aparente (MEA).....	42

4.1.5 Procedimento de perda ao fogo (PF) .....	42
4.1.6 Resistência a flexão (RF).....	42
4.1.7 Difração de raios X (DRX) .....	43
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>5.1 Ensaio tecnológicos .....</b>	<b>44</b>
5.1.1 Retração linear .....	44
5.1.2 Absorção de Água.....	45
5.1.3 Porosidade aparente.....	46
5.1.4 Massa Específica Aparente.....	48
5.1.5 Perda ao Fogo.....	49
5.1.6 Ensaio de Flexão.....	50
5.1.7 Difração de Raios X.....	51
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O grande conceito de sustentabilidade está vinculado ao desenvolvimento sustentável, de tal forma que satisfaça as necessidades da geração presente sem interferir de maneira negativa nas necessidades das gerações futuras. No entanto, com o acelerado desenvolvimento tecnológico, com o avanço das trocas comerciais, e com o surgimento dos grandes centros populacionais, está ocorrendo uma intensificação da produção e exploração dos recursos naturais.

Para que um processo seja considerado como sustentável, toda a sua estrutura tem que ser pensada para este conceito, desde as etapas iniciais até as finais, onde ocorre a destinação dos resíduos. E um exemplo de processo que não ocorre uma adequada destinação dos resíduos finais, é a agroindústria do açaí. Essa indústria possui uma larga escala de produção na região Norte, onde o principal problema está nos resíduos sólidos, o caroço, que é descartado no ambiente em grandes quantidades após o beneficiamento da polpa de açaí.

Em outro setor industrial, o da cerâmica vermelha, há regiões que enfrentam uma crescente escassez das reservas de matéria-prima para a linha de produção de materiais de uso na construção civil, relacionado também com dificuldade da legislação ambiental. Esses fatores influenciam o avanço em estudos para a incorporação de resíduos sólidos na produção de cerâmica vermelha, visando um custo operacional otimizado e um baixo impacto ambiental.

Diante dessa busca por materiais alternativos, tem-se a necessidade de realizar ensaios laboratoriais visando o estudo e análise do seu possível melhoramento de propriedades, juntamente com as quantidades corretas de material para que o produto final alcance a qualidade desejada.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar e estudar as propriedades da cerâmica vermelha com a incorporação de cinza do caroço do açaí como parte de sua composição e verificar a viabilidade do uso do produto.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar por meio de ensaios tecnológicos as propriedades dos corpos de prova;
- Analisar seu desempenho mecânico;
- Verificar a composição mineralógica da argila.



### **3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

#### **3.1 Resíduos sólidos**

De acordo com [1], a definição de Resíduos Sólidos ocorre para resíduos nos estados sólido e semissólido, que são resultados de atividades de origem agrícola, doméstica, hospitalar, comercial, industrial, de serviços e de varrição. São inclusos também lodos, proveniente tanto do sistema de tratamento de água como de processos de controle de poluição, bem como líquidos onde suas características o tornam inviáveis seu lançamento em redes de esgoto. Onde tais resíduos são classificados em:

a) resíduos classe I – Perigosos: resíduos que constam nos Anexos A e B da norma, que respectivamente, são fontes não especificadas e fontes especificadas.

b) resíduos classe II – Não perigosos;

- resíduos classe II A – Não inertes: possuem propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- resíduos classe II B – Inertes: quando seus constituintes não são solubilizados aos padrões de potabilidade de água, conforme anexo G da norma.

Para a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a adequada destinação final ambiental, se dá pela reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e pelo aproveitamento energético ou outras destinações, visando evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

#### **3.2 Indústria do açaí**

A planta do açaí possui uma grande importância socioeconômica decorrente do seu enorme potencial de aproveitamento integral de matéria-prima. Os dois principais produtos originários do açaí são o palmito e o fruto, os quais são usados na alimentação humana, porém, os frutos se destacam como a parte mais importante economicamente, devido às suas várias formas de aproveitamento. Além disso, há também o aproveitamento das sementes (caroços) do açaizeiro que, comumente, são utilizadas em artesanatos e como adubo orgânico [2].

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários: é o primeiro produtor e exportador de café, açúcar e suco de laranja. Além disso, lidera o ranking das vendas externas de álcool, soja, tabaco, carne bovina e frango. Tudo isso se dá à crescente dinâmica da globalização que, aliada à velocidade de propagação das informações, resultou em mudanças substanciais na atividade econômica agroindustrial [3].

É dessa forma que as empresas brasileiras de ambiente industrial de frutas aproveitam a oportunidade para atingirem metas de estratégias de mercado e, conseqüentemente, consumidores diversos, ajustando-se às tendências de consumo mundial dos produtos derivados de frutas, como polpas, sucos, néctares, geleias, doces, dentre outros. Um exemplo disso é a agroindústria do açaí, no Estado do Pará [4].

De acordo com informações do Sindicato das Indústrias de Frutas e Derivados do Estado do Pará (SINDFRUTAS), em 2007, cerca de dois milhões de toneladas de polpa do açaí foram produzidas no estado do Pará, contra 1,5 milhão de toneladas em 2006. Desse total cerca de 25% da polpa destinou-se à exportação. A comercialização no mercado extra regional foi de 60%, sendo o estado do Rio de Janeiro o maior comprador. O principal produtor dessa fruta é o Estado do Pará com 95%, seguido pelo Amapá [5].

Segundo dados do IBGE (2015), no ano de 2013 o Brasil produziu cerca de 202.216 toneladas de açaí, sendo que 186.379 toneladas dessa produção é da Região Norte, respondendo por 94% do que é extraído no País. Logo, o Pará é o estado que mais contribuiu para a região Norte na agroindústria do açaí, sendo responsável por 59% do que é produzido na região.

De acordo com [6],

*“O Pará detém a maior produção nacional, cerca de 105 mil toneladas/ano, equivalente a 84% da produção nacional, que gerou, em 2013, uma receita de aproximadamente R\$ 291.991mil reais para a economia paraense, 71% do que foi arrecadado no Brasil na extração do fruto, sendo as Regiões de Integração do Tocantins, Marajó e Guamá as maiores produtoras, com destaque para os municípios de Limoeiro do Ajuru, Oeiras do Pará, Mocajuba e Igarapé-Miri que juntos respondem por 44% da produção no Estado, o correspondente a 49.100 toneladas. A região do Marajó é o segundo maior produtor com destaque os municípios de Muaná, Ponta de Pedras, São Sebastião da Boa Vista e Afuá que respondem por 24%, o equivalente a 46939 toneladas de açaí.”*

A importância socioeconômica do açaizeiro que resulta no crescimento econômico agroindustrial decorre, portanto, do enorme potencial de aproveitamento integral de matéria-prima e seu principal aproveitamento é a extração fruto do açaí [2].

Figura 1 - Cacho de açaí.



Fonte: [7].

O extrativismo do açaí na região amazônica tem um importante papel socioeconômico para o Estado do Pará, pois responde pela sustentação econômica das populações ribeirinhas, gerando emprego e renda, pois além do mercado regional, atende também a demanda nacional e internacional com a produção da polpa do fruto. Assim, a valorização do fruto do açaizeiro contribuiu, nos últimos anos, para manter crescente a produção no Pará, sendo este o maior produtor da região norte e contribui significativamente para a produção do Brasil [6].

### 3.3 Material cerâmico

Na construção civil os materiais cerâmicos estão entre os mais empregados tradicionalmente. No entanto, o setor cerâmico possui uma série de problemas econômicos, ambientais e de qualidade dos produtos fabricados, assim podemos destacar alguns destes problemas, tais como: desconhecimento de normas técnicas para a produção e qualidade do produto cerâmico; problema na falta de assistência técnica qualificada; diminuição das dimensões dos tijolos e blocos visando uma diminuição de custo ocasionando uma concorrência predatória; extração de argila e

lenha irregular para a produção do matérias e desperdício de matéria-prima e de energia pela forma inadequada no gerenciamento da produção [7].

Os produtos da cerâmica vermelha caracterizam-se pela cor avermelhada de seus produtos, representados por tijolos, blocos, telhas, tubos, lajes para forro, lajotas, vasos ornamentais, agregados leve de argila expandida e outros. Em relação à matéria-prima, é basicamente utilizada argila comum, tendo em vista que a massa é classificada em mono componente, pois é constituída apenas por argila. A massa base (biscoito), tem em sua formulação dois ou mais tipos de argilas para alcançar as propriedades desejadas pelo ceramista para o produto final [8].

As características técnicas, econômicas, e outras características cerâmicas, adjuntas a natureza de seus componentes, as características texturais do biscoito e suas aplicações, são importantes para a classificação do produto cerâmico. De acordo com esta definição, e considerando que o setor cerâmico abrange todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos na maioria das vezes após tratamento térmico em elevadas temperaturas, relaciona-se na figura 2 abaixo os setores cerâmicos, o processo de fabricação, assim como os seus produtos e respectivas matérias-primas.

Figura 2 – Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação

Classificação		Produto	Matéria-prima								Processo de				Temperatura de Queima ( C )										
Tipo de	Grupo**/ Setor		Não -Plástica								Moagem via úmida	Moagem via seca	Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200			
			Argila	Argila	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário	Quartzo													Outros		
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lajes	P									P												
		Telha	P				O						P	P											
		Agregado leve	P									O		P											
	2	Cerâmica Branca	Grês Sanitário		P	S	P	O		S	O	P													
			Porcelana Mesa		P	P				P	P		S	S	O										
			Porcelana Eletr.		P	P				P	P		S	S	O										
			Faiença		P	O	S	S	S	P	S		P				P								
	3	Revestimentos	Pisos Rústicos	P								O		P											
			Pisos via Seca	P										P		P									
			Azulejo		P	P			O	S	S		P			P									
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S		P	O	P										
			Grês Porcelânico		P	S	P		O		S	O	P			P									
	Outros	4	Refratários			O					O	P													
		5	Isolantes			O					O	P													
		6	Especiais								O	P													
7		Cimento	S						P	S	O	P													
8	Vidro							S	P	P															

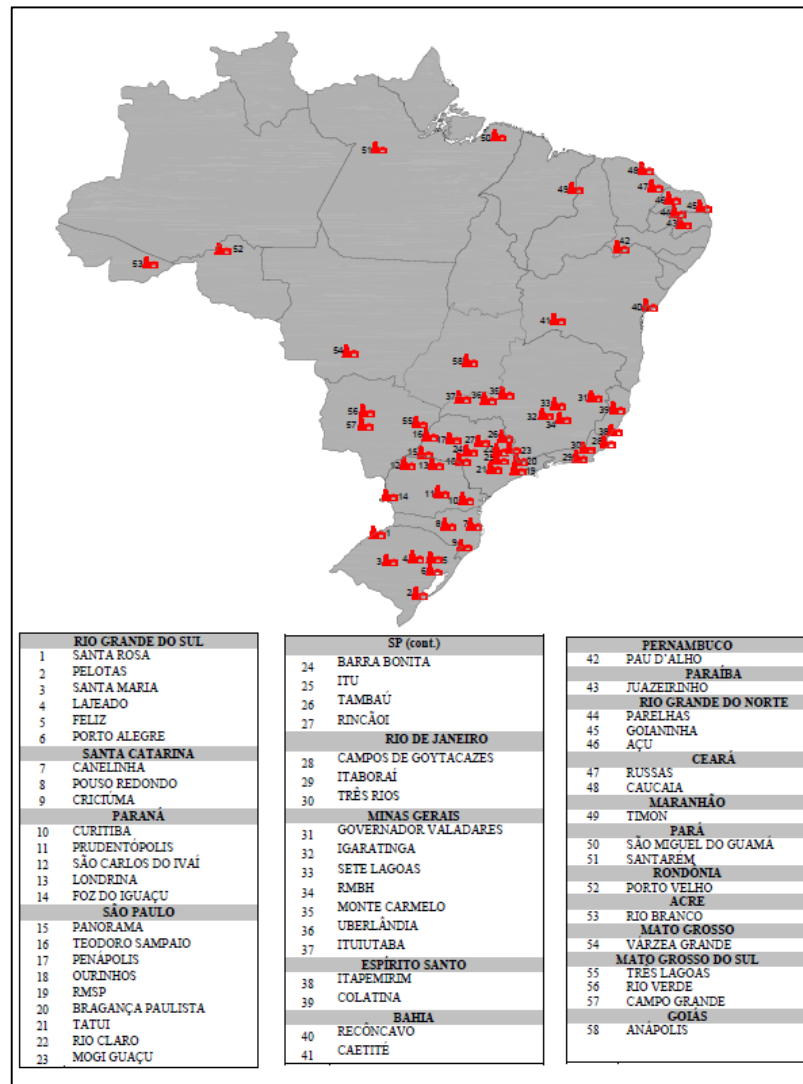
Fonte: [8].

### 3.3.1 Setor cerâmico no Brasil

A localização de jazidas de maneira isoladas ou de forma associada com outras condições favoráveis como a cultura empresarial, proximidade de mercados e base infra-estrutura privilegiada, tem acarretado a polarização do setor em territórios específicos, gerando a organização de aglomerados produtivos. Tais aglomerados de empresas são conceituados como Arranjos Produtivos Locais (APLs) de base mineral, assim, gerando no mesmo território segmentos da cadeia produtiva, fornecendo insumos e serviços, gerando elos entres o setor cerâmico no que tange os agentes

empresariais, associações, ensino e pesquisa [10]. As principais APLs mínero-cerâmico brasileiros estão expostas na figura 3 a seguir.

Figura 3 – Principais APLs mínero-cerâmicos brasileiros



Fonte: [10].

O setor da cerâmica vermelha é um mercado que utiliza técnicas artesanais, constituído de microempresas familiares e de empresas de pequeno porte que utilizam processos tradicionais. Em virtude desse fator, a aquisição de dados sobre a indústria cerâmica no Brasil apresenta diferença entre os valores lançados pelas principais associações cerâmicas do país [11].

Essa divergência entre a ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica) e a ABC (Associação Brasileira de Cerâmica), se dá pelo fato da ANICER apresentar dados em 2008 relatando que existiam aproximadamente 5500 empresas,

compondo-se de cerâmicas e olarias, com 400 mil empregos diretos, e 1,25 milhões indiretos, com um faturamento anual de R\$ 6 bilhões. Dados da ABC indicavam a existência de 11000 empresas de pequeno porte, empregando 300 mil pessoas, gerando um faturamento na ordem de R\$2,8 bilhões. O grande motivo dessa diferença entre os resultados está no alto índice de informalidade existente em toda cadeia produtiva da cerâmica vermelha [9].

No site da ANICER, em uma consulta em 2015, foi identificado cerca 6903 empresas sendo responsáveis por quase 300 mil empregos diretos, 900 mil indiretos, com um faturamento anual de R\$ 18 bilhões e uma representatividade de cerca de 4,8% da construção civil. Segundo dados do ano de 2011 do Ministério de Minas e Energia (MME), avalia-se que a produção de cerâmica vermelha foi de 84,4 bilhões de peças, sendo que 30% dessa produção corresponde a telhas e 70% a tijolos e blocos [9].

Desde 1990 a indústria da construção civil no cenário internacional, apresentou um aumento com uma velocidade considerável na produção de blocos e telhas cerâmicas, e atualmente a produção de blocos tem crescido no norte da África. O nível de exportação é crescente de acordo com qualidade que é exigida em relação aos produtos brasileiros exportados, que vem sendo cobrado de forma acentuada o atendimento aos requisitos das normas dos países consumidores. Tendo em vista esses critérios, justaposto com o aumento de competitividade, se torna cada vez mais importante pensar em um programa de qualidade e produtividade no setor da construção civil [12].

### 3.3.2 Argila

A argila é a matéria-prima fundamental para alimentar o processo de fabricação da cerâmica vermelha, em seus diversos tipos que constituem, em sua maior parte, de argilominerais. Além do mais, possuem em maior ou menor teor, outros minerais e substâncias, tais como quartzo, micas, carbonatos, sulfetos e alguns sais solúveis, matéria orgânica, óxidos, hidróxidos e silicatos diversos [13].

As argilas são um material terroso resultante de alterações de rocha sob a ação do intemperismo que, de acordo com [14], rochas e solos são compostas por partículas de diâmetro inferior a 0,002 mm, que apresentam alta plasticidade quando

úmidas e, quando secas, formam torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos.

A característica de uma argila é muito importante para os processos industriais, pois duas argilas podem ter uma diferença ampla uma da outra, seja pela composição mineralógica qualitativa e quantitativa, sejam pelas demais propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas [15].

No decorrer do processo de formulação da massa que será utilizada para a fabricação das peças cerâmicas, busca-se plasticidade para propiciar trababilidade e fusibilidade na queima objetivando propiciar resistência mecânica nos produtos. A preparação da massa é feita, geralmente, por meio da mistura de uma argila gorda (de alta plasticidade, granulometria fine e composição principal de argilominerais) com uma argila magra (rica em quartzo e menos plástica, podendo ser caracterizada também como um material redutor de plasticidade) [12].

A dosagem pode ser feita por pesagem ou por volume. Na dosagem por pesagem tem-se maior precisão nos resultados, desde que se controle a umidade dos componentes da massa. Na dosagem por volume, com o controle da umidade deve-se controlar também a granulometria dos componentes [16].

De modo geral, as argilas possuem características físicas e mecânicas, tais como: granulometria, plasticidade, resistência à flexão do material seco e após a queima, contração na secagem e na queima. Para um produto de boa qualidade faz-se necessário conhecer essas características da argila, o que torna possível determinar a quantidade de água para o processo [16].

### 3.3.3 Plasticidade

De acordo com [16], plasticidade é a propriedade que um sistema possui de se deformar pela aplicação de uma força e de continuar nessa deformação quando é retirada a força aplicada. Se o conjunto argila + água não fosse plástico, o processo de extrusão por marombas não seria possível. Vários fatores (minerais presentes, cristalinidade do mineral, distribuição granulométrica, umidade, carga elétrica dos cristais, cátions trocáveis) afetam a plasticidade da argila, sendo que a adição de resíduos e aditivos também alteram tal plasticidade.

Visando uma forma mais prática de identificar a influência das partículas argilosas, a engenharia substituiu por uma análise indireta, baseada no



comportamento do solo na presença de água. Assim, houve a generalização do emprego de ensaios e índices propostos pelo engenheiro químico Attemberg, pesquisador do comportamento dos solos sob o aspecto agrônômico [15].

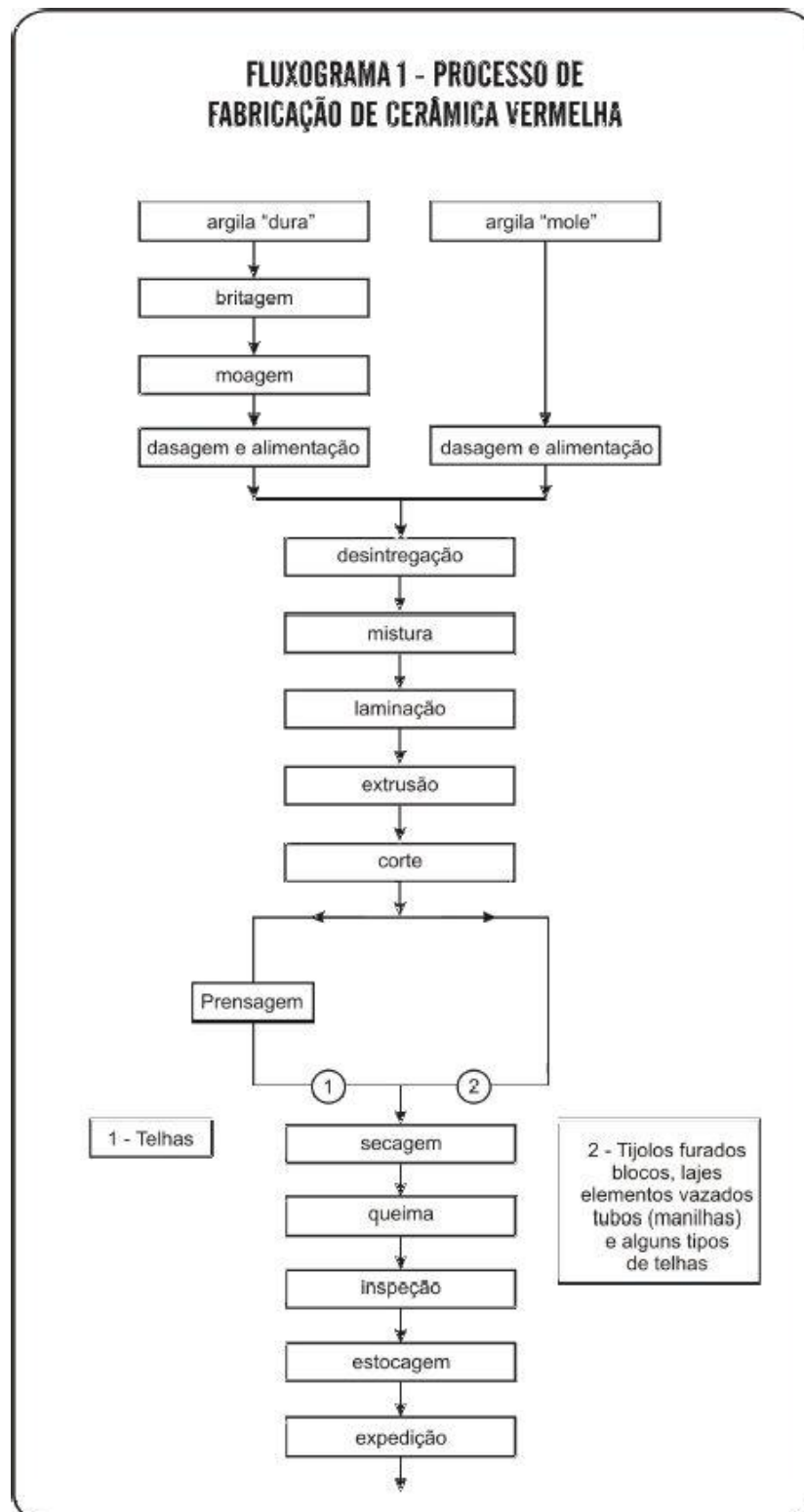
Attemberg determinou limites que se baseiam na verificação de que um solo argiloso ocorre com aspectos bem distintos de acordo com o seu teor de umidade. Quando a umidade é elevada, o solo se comporta como um líquido, se tornando plástico quando perde parte de sua água e quando mais seco, torna-se quebradiço [15].

As mudanças de estado que são relacionadas com os teores de umidade, são definidos como: Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) dos solos. O Índice de Plasticidade (IP), indica a faixa de valores em que o solo se encontra, e é indicado pela diferença dos dois limites. Em ocasiões normais, são apresentados somente os valores do LL e IP, como índices de consistência dos solos. Sendo que o LP é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro, com apalme da mão, tal procedimento é padronizado no Brasil pela NBR 7180 – Determinação do limite de plasticidade, e NBR 6459 – Determinação do limite de liquidez [15].

#### 3.3.4 Processo de fabricação

A figura 4 indica as etapas que geralmente são seguidas, onde parte dos processos de fabricação da cerâmica é mecanizado:

Figura 4 – Fluxograma do processo de fabricação de cerâmica vermelha



Fonte: [16].

O processo é comum para todas as empresas de cerâmica vermelha, ocorrendo pequenas alterações, relacionadas com as características particulares de

cada matéria-prima ou produto final. Porém, vale ressaltar, que nem todas as indústrias devem realizar seus procedimentos da mesma forma ou com operações e equipamentos indicados [16].

#### 3.3.4.1 Extração da matéria prima

Grande parte da argila brasileira está depositada nas várzeas dos rios, constituindo aluviões recentes, neste caso, a extração é a céu aberto. O plano de extração deve prever a remoção e disposição do solo estéril, a formação de bancos de extração que assegurem economia no transporte, drenagem da água, segurança no trabalho e o aproveitamento completo da jazida. Quando esgotar as jazidas, as cavas devem ser recuperadas para o ressurgimento da vegetação [13].

As retroescavadeiras, tracas e escavadeiras, são os equipamentos mais utilizados para extração de argila. O transporte é realizado por caminhões de caçambas basculantes até os pátios das fábricas, onde os estoques para homogeneização e sazonalidade são formados.

Figura 5 – Processo de extração



Fonte: [13].

#### 3.3.4.2 Estocagem da argila

Sazonamento é o nome que se dá a prática de estocar a argila sob céu aberto por um longo período, obtendo-se assim as características adequadas para o seu processamento. Tal prática alivia as tensões dos blocos de argila devido aos processos de intemperismos, melhorando também a plasticidade e homogeneizam a umidade, entre outros fatores [17].

Devido a dosagem, os diferentes tipos de argila são separados em montes, por causa das suas diferentes propriedades. Depois do processo de sazonalamento, é recomendado cobrir com lona ou transportar para um pátio coberto, para evitar o excesso de umidade ou ressecamento.

Figura 6 – Estocagem da argila



Fonte: [13]

#### 3.3.4.3 Processamento da argila

Nesta fase produtiva têm-se três operações: moagem, mistura-homogeneização e regulagem da quantidade de água. A moagem pode ser a seco ou úmido, quando seco, a moagem é feita quando as argilas são extraídas diretamente da jazida, com baixa umidade e poucas adições. Desde modo, há vantagens como o baixo custo de implantação e de operação, menor consumo energético, menor impacto ambiental, menor custo com aditivos, porém provoca uma perda na fluidez,

devido a grânulos irregulares e duros. No processo úmido, permite a homogeneização de uma ampla variedades de matérias-primas, moendo-as finamente e a obtenção de pós muito fluídos que asseguram o enchimento ideal da forma [18].

Entre os tratamentos iniciais à fabricação dos produtos cerâmicos pode citar a depuração, trituração, homogeneização e umidificação.

- Depuração: é a eliminação das impurezas que possam prejudicar o material, como por exemplo, grãos duros, nódulos de cal e sais solúveis. Tais impurezas podem propiciar vários problemas como a secagem anormal do produto, prejudicando a qualidade do produto final;
- Trituração: as argilas devem ser reduzidas a pequenos fragmentos, por isso se faz necessário este processo para uma melhor homogeneização.
- Homogeneização: mistura do traço da argila;
- Umidificação: é a quantidade de água necessária para facilitar a homogeneização da mistura.

#### 3.3.4.4 Conformação

Nesta etapa a argila é moldada na forma desejada, através da extrusão, que consiste em forçar a massa para passar sob pressão, pelo bocal adequado. Sendo que na saída da extrusora, maromba, está localizada a mesa de corte, que é formada por arames presos a uma esquadro de metal. A qualidade da extrusão influencia diretamente as propriedades finais dos produtos a verde ou queimado [17].

Figura 7 – Extrusora



Fonte: [12].

#### 3.3.4.5 Prensagem

Para pisos, revestimentos e placas cerâmicas, o processo de prensagem é mais utilizado. Para o processo os pós geralmente possuem umidade entre 4% e 7%, e são comprimidos por formas, sendo uma móvel e outra fixa, com variação de pressão de 20 MPa à 40MPa, de acordo com o tipo de produto e dos formados de projeto [18].

A pressão provoca um rearranjo e uma parcial deformação dos grãos, permitindo uma elevada compactação do corpo cerâmico, porém para isto acontecer, é necessário uma quantidade de água para pós que ajude na plasticidade do material. Com isso também há um aumento da densidade, de forma a obter uma melhor ligação e menor contração nos processos de queima seguintes.

#### 3.3.4.6 Secagem

Depois da conformação começa o processo de secagem, eliminando a água utilizada na fabricação das peças, pois a água está distribuída quase que homogeneamente entre as partículas de argila da peça cerâmica. Não havendo uma eliminação homogênea de água, poderá provocar trincas ou a quebra da peça [13].

A uma retração linear durante a saída da água, o que reduz as dimensões iniciais da peça. A umidade de uma peça cerâmica extrudada, normalmente oscila entre 20% e 30%, após a secagem, esta umidade residual deve ficar abaixo de 5% [16].

De acordo com [16], existem vários tipos de secagem, natural, forçada, artificial e mista. A secagem natural acontece pela exposição das peças cerâmicas ao ar livre, ou em galpões, onde se aproveita as condições climáticas. A secagem artificial é bastante usada na época chuvosa, onde ocorre de forma lenta e gradual, com exposição ao calor ou em ambientes ventilados, com controle de taxa de aquecimento.

#### 3.3.4.7 Queima

A queima é a operação fundamental na obtenção das características dos produtos cerâmicos. Nesta etapa os produtos cerâmicos são levados ao forno, sendo submetidos ao tratamento térmico, sofrendo transformações físico-químicas,

alterando-se as propriedades mecânicas e dando-lhes características inerentes a todo produto cerâmico [18].

Há algumas etapas de queima, que são divididas em:

- Desidratação (150°C e 600°C): onde há uma complementação da secagem;
- Oxidação (600°C e 950°C): acontece a queima da matéria orgânica e eliminação do carvão;
- Vitrificação (950°C e 1200°C): a sílica se funde, formando pequenas quantidades de vidro que aglutina os demais elementos e fecha os poros.

De modo geral, as principais alterações que ocorrem nos materiais argilosos submetidos a altas temperaturas estão de acordo com a figura 8:

Figura 8 – Transformações sofridas pela argila em função da temperatura

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

Fonte: [18].

O processo de sinterização que ocorre durante a queima do material cerâmico nada mais é do que uma coalescência das partículas de pó para formar uma massa mais densa, onde o material apresenta uma contração de volume e experimenta uma redução de sua porosidade, juntamente com a melhoria de sua integridade mecânica [19].

### 3.4 Difração de raios X (DRX)

O fenômeno da DRX pelos cristais propicia a investigação de pequenas estruturas da matéria. A natureza dos raios X e as condições em que esses difratam permite o estudo de substâncias cristalinas [20].

Em alguns trabalhos que envolvem caracterização, ou então, análise de comportamento fases cristalinas dos materiais, é comum a utilização desta técnica. No mais, ela ainda é flexível no momento da análise dos difratogramas, pois possibilita a utilização de softwares que dispõem de bancos de dados dos difratogramas característicos dos minerais conhecidos, e ainda viabiliza a otimização na disposição dos picos, dentre outras ferramentas que podem ser utilizadas no tratamento dos dados [21].

A superfície da amostra é um fator que garante a geometria parafocal Bragg-Bretano, sendo assim, necessário que a amostra seja acondicionada no porta-amostras de maneira que sua superfície fique perfeitamente nivelada a superfície do mesmo. Quando essas amostras não estão niveladas, elas ocasionam a fuga do ponto focal da óptica do difratômetro, que ocorre deslocamentos nas posições dos picos e alargamento assimétrico dos perfis [20].

A granulometria também é um parâmetro muito importante a ser controlado, já que o objetivo da amostra em pó é garantir que todos os planos cristalinos sejam expostos, ocorrendo todas as reflexões possíveis a partir dos planos. Desta forma, a amostra deve possuir granulometria de cerca de  $5\mu\text{m}$ , sendo que as partículas de tamanho inferior podem levar a formação de fases amorfas [20].

A difração de raios X resulta de um processo em que os raios X são dispersos pelos elétrons dos átomos componentes de um material, sem mudança de comprimento de onda, sendo obedecidas certas condições geométricas.

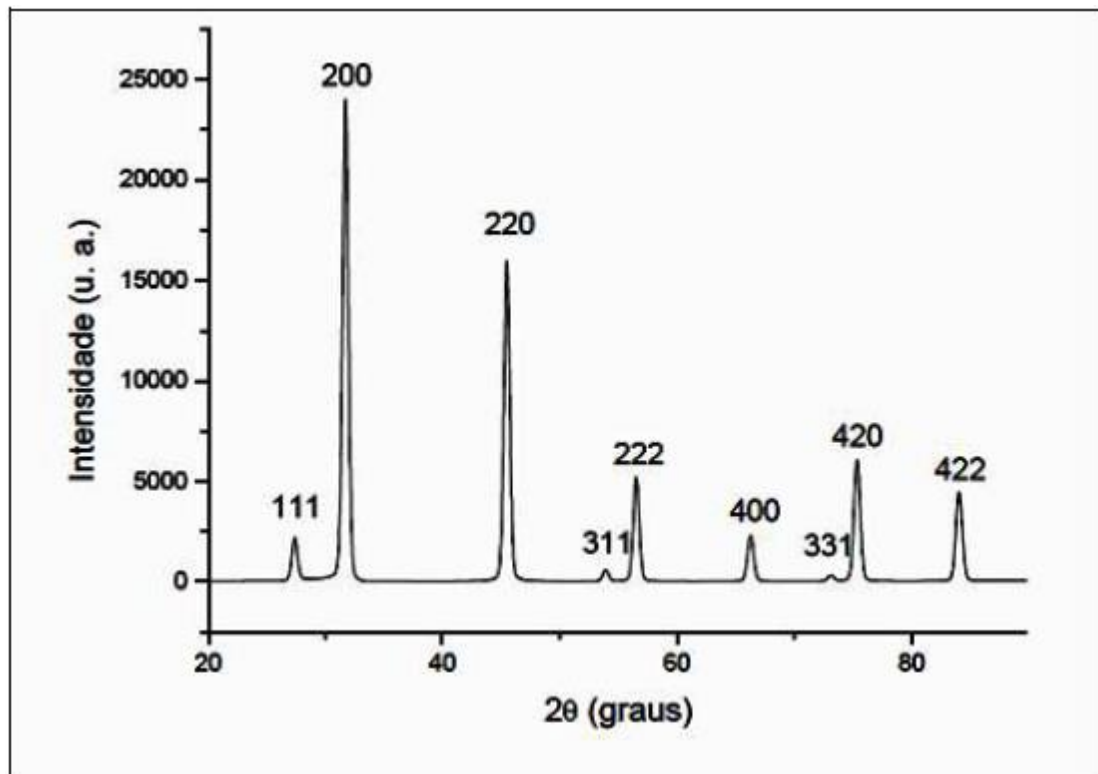
Os instrumentos tradicionais de medida da DRX são os difratômetros com análises pelo método do pó ou com câmaras de monocristais acopladas, sendo que as últimas são utilizadas apenas em certas situações, por exemplo, quando é crítica a disponibilidade de amostra e, principalmente, em estudos específicos para a determinação de parâmetros cristalográficos.

Atualmente, o difratômetro de raios X constitui quase a totalidade dos equipamentos de difratometria de raios X pelo método do pó presentes nos centros de pesquisas, universidades e indústrias.



No detector, o feixe difratado detectado é geralmente expresso através de picos que se destacam do *background* (linha de base), registrados em um gráfico de intensidade versus ângulo  $2\theta$ , constituindo o padrão de difração ou difratograma, exemplificado na figura 9.

Figura 9 - Difratograma do cristal de NaCl com indicação de seus respectivos índices de Miller



Fonte: [20].

### 3.5 Exemplos semelhantes

#### 3.5.1 Reuso do resíduo de fundição, areia verde na produção de blocos cerâmicos.

A pesquisa realizada por [7], relata que a areia de moldagem descartada é o principal resíduo da indústria de fundição. Esse resíduo é regenerado e recirculado no processo produtivo, até o momento que deve ser descartado. O emprego em materiais da construção civil tem sido indicado como principal possibilidade de utilização segura das areias descartadas. Assim, o objetivo do trabalho foi analisar, com base em estudos de laboratórios e industriais, os aspectos tecnológicos e ambientais do reuso da areia de fundição na produção de blocos cerâmicos. A areia verde foi obtida de

uma típica indústria de produção de ferro fundido, localizada no município de Erechim, RS, Brasil, que utiliza os processos de moldagem em areia verde e cold box. Em laboratório foram caracterizados as argilas e o resíduo através de análises químicas, mineralógicas e granulométrica. Foram avaliadas as características dos corpos-de-prova produzidos com adições de 0, 5, 10 e 20% do resíduo na massa cerâmica. Estudou-se também o efeito de diferentes temperaturas de queima. As propriedades avaliadas foram retração linear, absorção de água, resistência à flexão em quatro pontos, composição química, periculosidade e emissões gasosas. Os estudos em planta industrial foram realizados na produção de lotes de blocos cerâmicos de 6 furos em e com 10% de aria de fundição. Avaliaram-se as propriedades geométricas, absorção de água, resistência a compressão, periculosidade e emissões gasosas. Os estudos em laboratórios demonstram que os melhores resultados de resistência mecânica foram obtidos com dosagens de 5 e 10% de aria de fundição e temperatura de queima de 900°C. Através dos resultados da indústria comprovou-se a similaridade e conformidade dos blocos cerâmicos, de acordo com a norma vigente, produzidos com 10% de aria de fundição em termos de geometria, absorção de água e resistência mecânica, permitindo sua comercialização. Por fim, [6], concluiu que a reciclagem do resíduo sólido de fundição – areia verde mostrou-se perfeitamente possível para fabricação de produtos de cerâmica vermelha para a construção civil [7].

### 3.5.2 Estudo das propriedade físicas, químicas e estrutural da cerâmica vermelha com substituição de parte dos agregados por lodo proveniente da indústria têxtil

Avaliou a influência da temperatura de queima nas propriedades tecnológicas da cerâmica incorporada com lodo da estação de tratamento da água. O lodo e a argila foram submetidos inicialmente aos testes da caracterização para determinar a composição química, física, mineralógica, o comportamento térmico, os aspectos morfológicos e a avaliação toxicológica. As misturas foram preparadas com quantidades de 0, 10, 15 e 20 % de lodo incorporado na argila. Os corpos de provas são retangulares, com dimensões de 70 X 30 X 5 mm. Os corpos de provas foram queimados nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C em um forno de cerâmica. As propriedades cerâmicas relacionadas à retração linear, perda ao fogo, absorção de água e tensão de flexão de ruptura foram determinadas. Os resultados indicam que

a incorporação do lodo aumenta a perda ao fogo, absorção de água e reduz a tensão de flexão dos corpos de provas cerâmicos. Esta é uma consequência das mudanças causadas na porosidade pela perda de massa durante o estágio de queima. Os resultados também mostraram que a temperatura de queima interfere na qualidade do produto. Quanto maior a temperatura de queima, maior será a retração, perda ao fogo e a tensão de flexão e menor será a absorção de água. A análise estatística destas variáveis mostrou que tem diferença significativa entre uma matriz de cerâmica pura em relação à matriz com incorporação de lodo, mas atendem as normas brasileiras, quando seguidos os procedimentos e também as proporções citadas neste projeto. A análise de toxicidade dos materiais mostrou que após a confecção dos corpos de provas incorporados com lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma empresa têxtil da região de Joinville, Santa Catarina, não mostraram características tóxicas ao meio ambiente [15].

### 3.5.3 Incorporação da cinza do caroço de açaí em formulação de cerâmica estrutural

O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da incorporação da cinza do caroço de açaí em formulações de cerâmicas estruturais. Foram preparadas formulações, com percentuais de rejeito de até 15% em peso, usadas na confecção de corpos-de-prova por prensagem, para queima nas temperaturas de 950°C, 1050°C e 1150°C. Os resultados mostraram que teores da ordem de 15% de cinza à 1050 °C em associação à massa argilosa para fabricação de cerâmica estrutural, melhoraram as propriedades físicas e mecânicas das amostras. A densificação aumentou na medida em que a temperatura de sinterização foi aumentada, devido ao efeito fundente da cinza, que forma fase líquida, a qual preenche a porosidade do material, aumentando sua densidade e diminuindo sua porosidade aparente [22].

## 4 MATERIAIS E MÉTODO

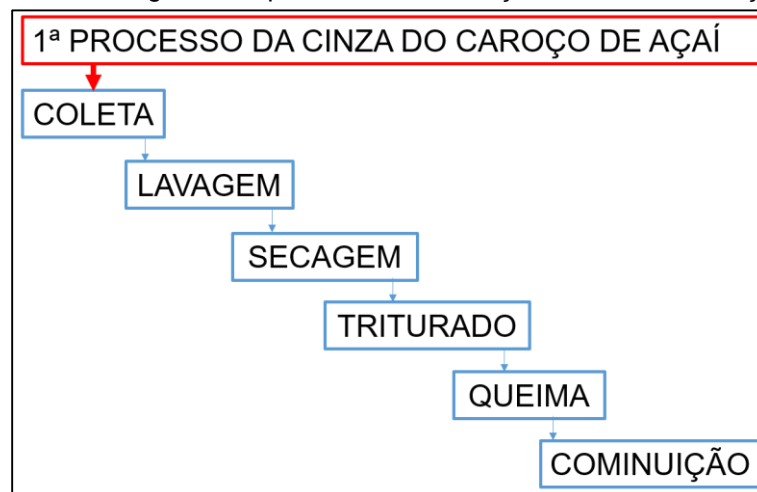
Para alcançar os objetivos do presente trabalho, foi necessária a integração de metodologias específicas das áreas de Engenharia de Materiais e de Processos, buscando adequar os materiais e métodos para a confecção dos corpos de prova, igualmente para a síntese da cinza do caroço de açaí, e o preparo adequado da argila para o processo de prensagem.

### 4.1 Processo de fabricação da cinza do caroço do açaí

Para a síntese da cinza do caroço de açaí, houve a coleta do fruto após o processamento para a retirada do suco, a fim de evitar a germinação do caroço. Após a coleta, ocorreu o processo de lavagem para retirar o excesso de fibra e de borra, que é a camada externa do fruto. Em seguida, ocorreu uma secagem natural de vinte e quatro horas, e uma secagem artificial na estufa por duas horas em uma temperatura de 110°C. Após isso, os caroços foram processados no moedor de resíduos, para diminuir a área de contato e facilitar a secagem final na estufa, por mais duas horas. Na etapa da queima, utilizou-se os reatores de carbonização, a uma temperatura de 800°C na mufla, com um patamar de meia hora, com taxa de aquecimento de 25°C/min. Na última etapa da síntese da cinza do caroço de açaí, após a queima, ele é processado por um moedor até passar na peneira de 80 mesh.

A seguir, o fluxograma do processo acompanhado de algumas imagens.

Figura 10 – Fluxograma do processo de fabricação da cinza do caroço do açaí



Fonte: os autores, 2017.

Figura 11 – Processo de queima do caroço de açaí



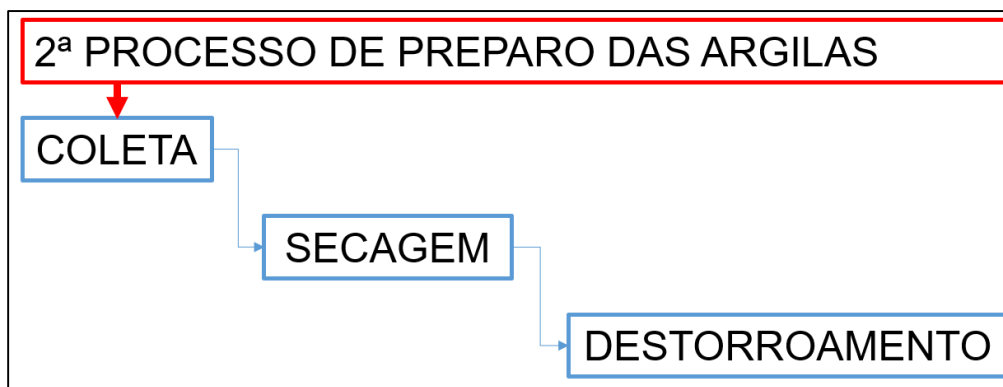
Fonte: os autores, 2017.

## 4.2 Processo de preparo das argilas

Para o preparo adequado da argila para o processo de prensagem, os dois tipos de argilas, a plástica e a menos plástica, passam pelo mesmo processo. Após a coleta, houve uma secagem ao ar livre seguida de vinte quatro horas na estufa a 110°C. Após essa fase, elas foram destorroadas para passar na mesma numeração de peneira da cinza do caroço de açaí.

A seguir, o fluxograma do processo acompanhado de algumas imagens.

Figura 12 – Fluxograma do processo de preparo das argilas



Fonte: os autores, 2017.

Figura 13 – Destorroamento e peneiramento da argila



Fonte: os autores, 2017.

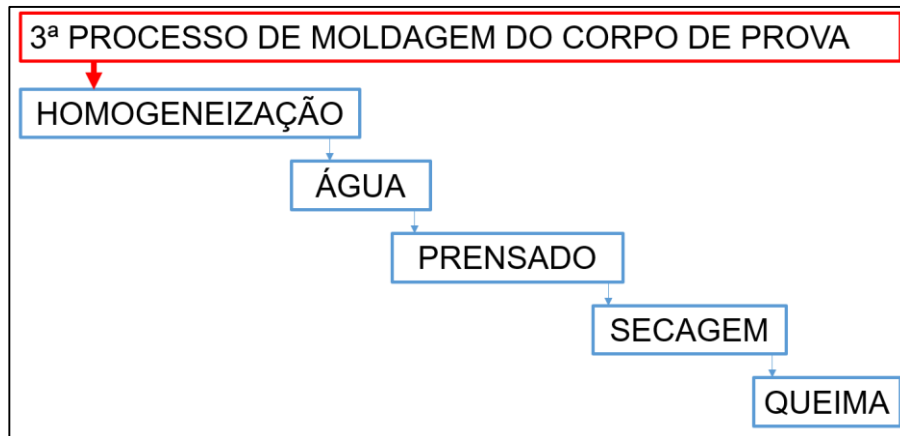
### 4.3 Processo de moldagem dos corpos de prova

Após o preparo de toda matéria prima, confeccionou-se os corpos de prova (CPs), que possuem forma retangular, variando a proporção de cinza adicionada, sendo que a mesma quantidade de argila será retirada, para seguir um mesmo volume de corpo de prova, variando de 0%, 5%, 10% e 15% de cinza incorporada. A mistura ocorreu de forma manual, com um acréscimo de 10% de água em relação ao peso do corpo de prova, a pressão a ser utilizada na prensa será de 25Mpa.

Totalizando 48 corpos de provas, divididos nos ensaio listados nos próximos itens, sendo que para cada ensaio o total de amostra foi de 6 CPs. Os CPs passaram por etapas de secagem natural e artificial, vinte quatro horas para cada secagem, onde na artificial a temperatura foi de 110°C. No processo de queima, utilizou-se a mufla, com temperatura de queima de 1050°C, com patamar de uma hora e taxa de aquecimento de 5°C/min, onde foram produzidos CPs testes para os ensaios mecânicos.

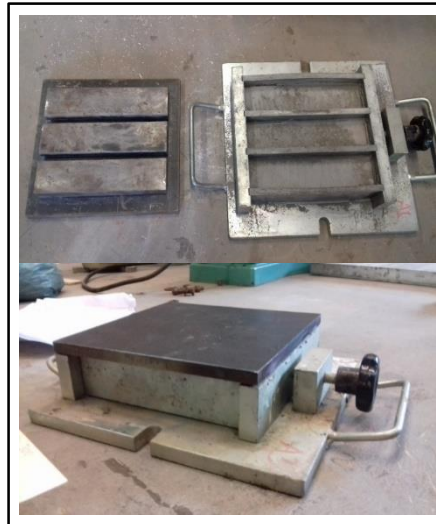
A seguir, o fluxograma do processo acompanhado de algumas imagens.

Figura 14 – Fluxograma do processo de moldagem do corpo de prova



Fonte: os autores, 2017.

Figura 15 – Forma adaptada para a conformação dos corpos de prova



Fonte: os autores, 2017.

Figura 16 – Processo de mistura/homogeneização, conformação e desforma dos CPs



Fonte: os autores, 2017.

#### 4.1 Ensaios tecnológicos

Para avaliar as propriedades tecnológicas das amostras, foram realizados ensaios com os corpos de prova para avaliar a retração linear (RL), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA) e tensão de ruptura à flexão de três pontos (TRF). Todos os valores foram obtidos através dos procedimentos adotados por SANTOS (1989). Utilizou-se também a análise por difração de raios X.

Figura 17 – Ensaios tecnológicos



Fonte: os autores, 2017.

##### 4.1.1 Retração linear (RL)

São avaliadas as dimensões lineares dos corpos de prova após a sinterização. A retração linear de queima (RL) foi calculada através da equação:

$$RL (\%) = \frac{L_i - L_f}{L_i} * 100 \quad (1)$$

Sendo: RL – retração de queima (%);

$L_i$  – comprimento do corpo de prova antes da sinterização (cm);

$L_f$  – comprimento do corpo de prova após a sinterização a 1050°C (cm).

Onde  $L_i$  e o  $L_f$  foram obtidos através da média de três medidas transversais do cp.



#### 4.1.2 Absorção de água (AA)

Compreende a percentagem do peso de água absorvido pelo corpo de prova seco.

Os valores de absorção de água foram obtidos após a queima dos corpos de prova de acordo com a NBR 13818. Consistindo em secagem prévia dos corpos de prova na estufa a 100°C até obter massa constante, pesagem do corpo de prova seco e imersão durante um período de 24 horas em um recipiente com água. Completado o tempo determinado, foi retirado o excesso de água com um pano umedecido, em seguida pesado em uma balança eletrônica. Os valores de absorção de água foram obtidos a partir da média aritmética de quatro medições individuais, utilizando-se a equação:

$$AA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} * 100 \quad (2)$$

Sendo: AA – Absorção de água (%);

Mu – Massa do corpo de prova úmido (g);

Ms – Massa do corpo de prova após a secagem a 100°C (g).

#### 4.1.3 Porosidade aparente (PA)

Consiste no volume de poros abertos do corpo de prova tomando como base seu volume total. A porosidade aparente dos corpos de prova após a sinterização foi determinada de acordo com a norma C373-88(2006), e calculada através da equação:

$$PA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_l} * 100 \quad (3)$$

Sendo: PA – Porosidade Aparente (%);

Mu – massa do corpo de prova úmido (g);

Ms – massa do corpo de prova após a secagem a 100° C (g);

Mi – massa do corpo de prova imerso em água (medição feita pelo método da balança hidrostática).

#### 4.1.4 Massa específica aparente (MEA)

Massa específica é o valor da massa por unidade de volume, dos corpos de prova, esta foi determinada segundo a norma C372-94 (2007), utilizando a média de quatro amostras, calculadas através da equação:

$$MEA(\text{g/cm}^3) = \frac{PA}{AA} = \frac{M_s}{M_u - M_I} * 100 \quad (4)$$

Sendo: MEA – Massa Específica Aparente (g/cm<sup>3</sup>);

Mu – massa do corpo de prova úmido (g);

Ms – massa do corpo de prova após a secagem a 100°C (g);

Mi – massa do corpo de prova imerso em água (medição feita pelo método da balança hidrostática).

#### 4.1.5 Procedimento de perda ao fogo (PF)

A perda de massa ao fogo é a diminuição percentual da massa do corpo de prova queimado (Mq) em relação à massa do corpo de prova seco (Ms) em estufa. Ela é calculada usando a equação:

$$PF (\%) = \frac{M_s - M_q}{M_s} * 100 \quad (5)$$

#### 4.1.6 Resistência a flexão (RF)

É a tensão de flexão necessária para causar a ruptura de um corpo de prova, segundo o método proposto por VICAT através da equação:

$$RF(\text{kgf/cm}^2) = \frac{4PL}{bh^2} \quad (6)$$

Sendo: TRF – tensão de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>);

P – Carga atingida no momento da ruptura (kgf);

L – a distância entre os apoios do corpo de prova (cm);

- b – a largura do corpo de prova (cm);
- h – a altura do corpo de prova (cm).

#### 4.1.7 Difração de raios X (DRX)

Todo o procedimento do ensaio foi realizado no Laboratório de Síntese e Caracterização do Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Para a realização das análises, o equipamento utilizado foi o difratômetro modelo Advance da Bruker, de configuração  $2\Theta$ . Os dados gerados, difratogramas, foram processados através do *software* X'Pert HighScore Plus. Com o auxílio de um banco de dados foi feita a comparação com os picos do difratograma das amostras e os padrões mineralógicos de DRX existentes no banco de dados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, os resultados obtidos das análises relacionadas aos corpos de prova e das etapas da fase experimental.

### 5.1 Ensaio tecnológicos

As amostras de argilas e o processamento do caroço de açaí em cinza, juntamente com os ensaios tecnológicos dos corpos de prova estudados foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Instituto de Biodiversidade e Floresta, no Laboratório de Síntese e Caracterização ambos da Universidade Federal do Oeste do Pará, e no Laboratório de Materiais do Instituto Federal do Pará.

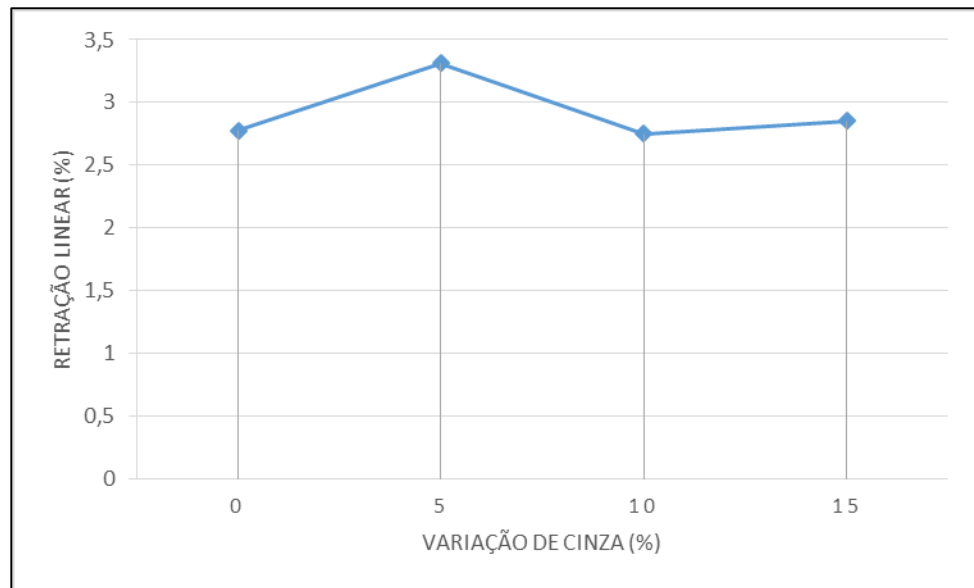
#### 5.1.1 Retração linear

O Gráfico 1 apresenta o comportamento da RL das amostras produzidas a partir da massa, que é composta de argila plástica, argila não plástica e as variações de 0%, 5 %, 10% e 15% de cinza.

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios obtidos com os respectivos desvios padrões das amostras para retração linear de queima.

Na temperatura de 1050°C todas as amostras apresentam retração. Para o percentual de 5% houve um aumento da retração linear com a adição de cinza, para as amostra de 10% e 15% a variação de retração foi aproximada em relação ao corpo de prova de 0%. Comparando-se o resultado da variação de cinza de 10% à temperatura de 1050°C com os resultados de [19], [20] e [22], respectivamente, cinza de bagaço de cana, cinza do caroço do açaí e cinza de forno cerâmico, nota-se que a amostra em estudo apresenta um valor dentro do esperado pra a adição de cinza, sendo o limite mínimo de 1,45% e máximo de 9,28% dos trabalhos citados.

Gráfico 1 – Retração linear



Fonte: os autores, 2017.

Tabela 1 – Retração linear

RETRAÇÃO LINEAR (%)				
Temperatura	0%	5%	10%	15%
1050°C	2,77 ± 0,32	3,31 ± 0,14	2,75 ± 0,20	2,85 ± 0,28

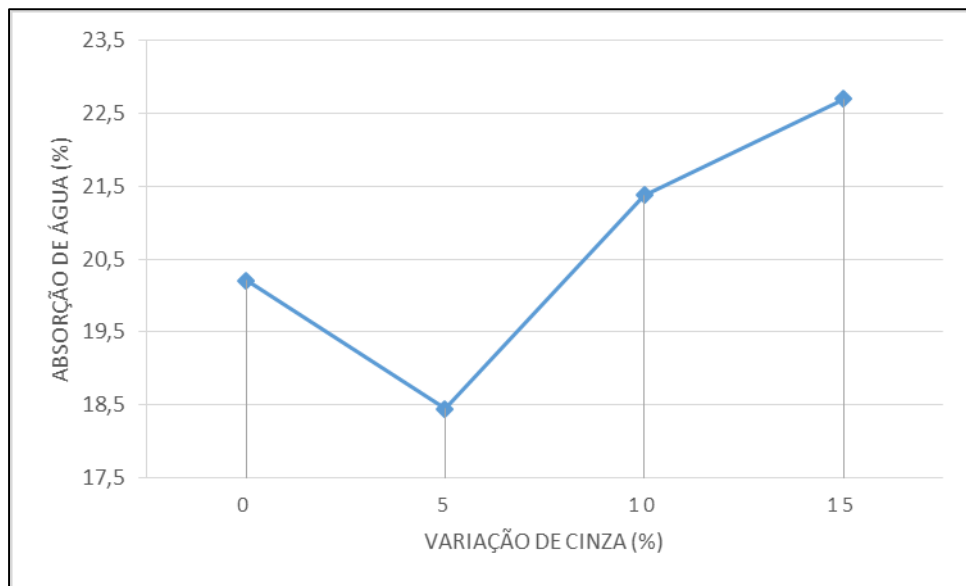
Fonte: os autores, 2017.

### 5.1.2 Absorção de Água

No Gráfico 2 apresenta-se o comportamento da AA das amostras sem e com adição de cinza na temperatura estudada.

Na Tabela 2 são fornecidos os valores médios obtidos com os desvios padrões para absorção de água.

Gráfico 2 – Absorção de água



Fonte: os autores, 2017.

Tabela 2 – Absorção de água

ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)				
Temperatura	0%	5%	10%	15%
1050°C	20,2 ± 0,49	18,44 ± 0,42	21,37 ± 0,31	22,69 ± 1,29

Fonte: os autores, 2017.

A absorção de água para a formulação da massa formada por argila plástica e argila não plástica apresentou uma declividade na variação de 5% de cinza, porém em 10% e 15% a absorção de água aumentou, fato este que pode estar relacionado com o aparecimento de trincas nestas variações de cinza. Sendo que com uma temperatura elevada se tem uma diminuição da absorção de água pelo fechamento dos poros, acontecendo um aumento devido a presença da cinza em uma maior quantidade influenciando como um dos fatores para o aumento de poros. Os valores obtidos de AA estão acima dos valores alcançados por [19] e [20], sendo o maior valor de 18%, próxima à variação de 5% de cinza.

### 5.1.3 Porosidade aparente

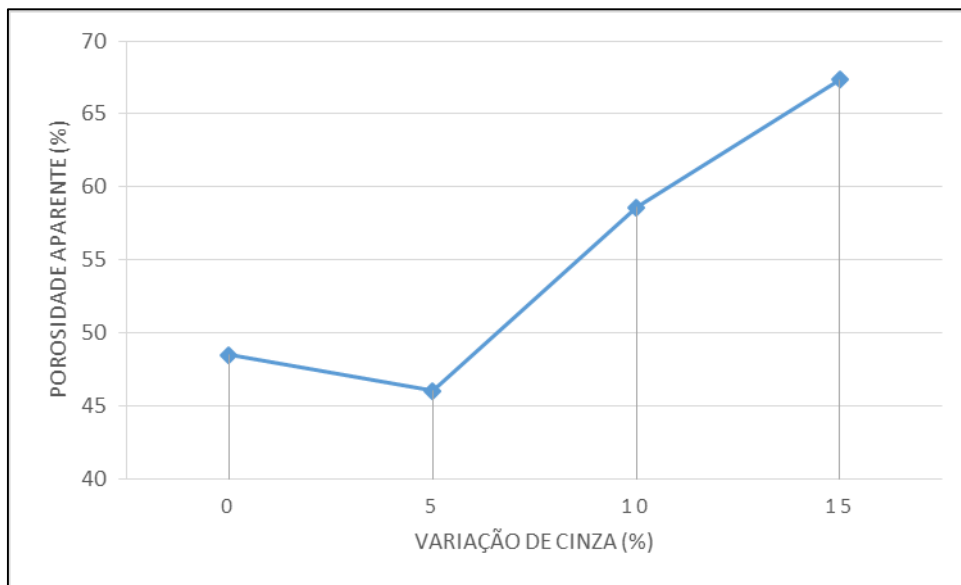
Os resultados obtidos para o percentual de PA no material com adição de cinza estão representados no Gráfico 3.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos valores médios com os desvios padrões para a porosidade dos corpos de prova.

Os valores de porosidade aparente demonstram que os corpos de prova sofrem redução por causa do aumento da variação de cinza. O comportamento apresentado nas amostras é semelhante ao da absorção de água, onde ocorreu uma redução em 5% seguida de um acréscimo em 10% e 15%. Podemos observar ainda que os índices de porosidade aparente estão acima dos valores máximos encontrados na literatura, na qual a faixa descrita é de 29,60% a 23,30% para a temperatura de 1050°C [23].

Esses valores da porosidade aparente seguindo comportamento semelhante a absorção de água comprova a existência de um aumento de poros proporcional a variação de cinza.

Gráfico 3 – Porosidade aparente



Fonte: os autores, 2017.

Tabela 3 – Porosidade aparente

POROSIDADE APARENTE (%)				
Temperatura	0%	5%	10%	15%
1050°C	48,49 ± 1,45	46,00 ± 1,57	58,58 ± 3,16	67,35 ± 9,06

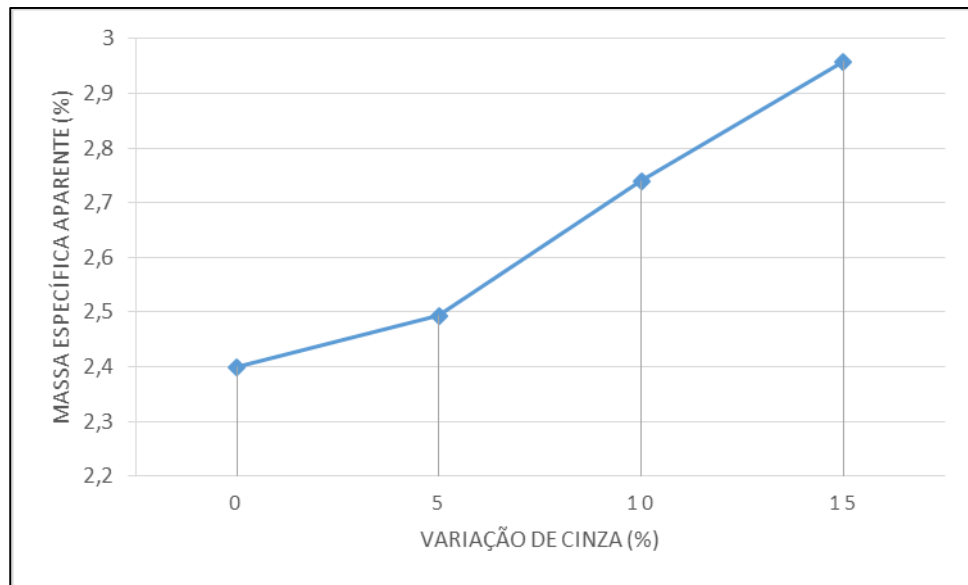
Fonte: os autores, 2017.

#### 5.1.4 Massa Específica Aparente

O Gráfico 4 apresenta o comportamento da massa específica aparente das amostras após a queima, a partir das massas em função das variações de cinza e massa padrão queimada a temperatura de 1050°C.

Na Tabela 4 estão os valores médios das amostras para a massa específica aparente e os respectivos desvios padrões.

Gráfico 4 – Massa específica aparente



Fonte: os autores, 2017.

Tabela 4 – Massa específica aparente

MASSA ESPECÍFICA APARENTE (%)				
Temperatura	0%	5%	10%	15%
1050°C	2,39 ± 0,01	2,49 ± 0,02	2,73 ± 0,11	2,95 ± 0,22

Fonte: os autores, 2017.

A massa aparente aumenta com a adição de cinza nos corpos de prova, sendo que na variação de 0% para 5%, o intervalo é de 0,1 e de 0,24 e 0,22 para os intervalos de {5%, 10%} e {10%, 15%}, respectivamente. Analisando os resultados de [22] e [24], com valores entre 1,86% e 2,14%, avaliamos que os resultados obtidos no presente trabalho possuem valores elevados para a massa específica aparente.

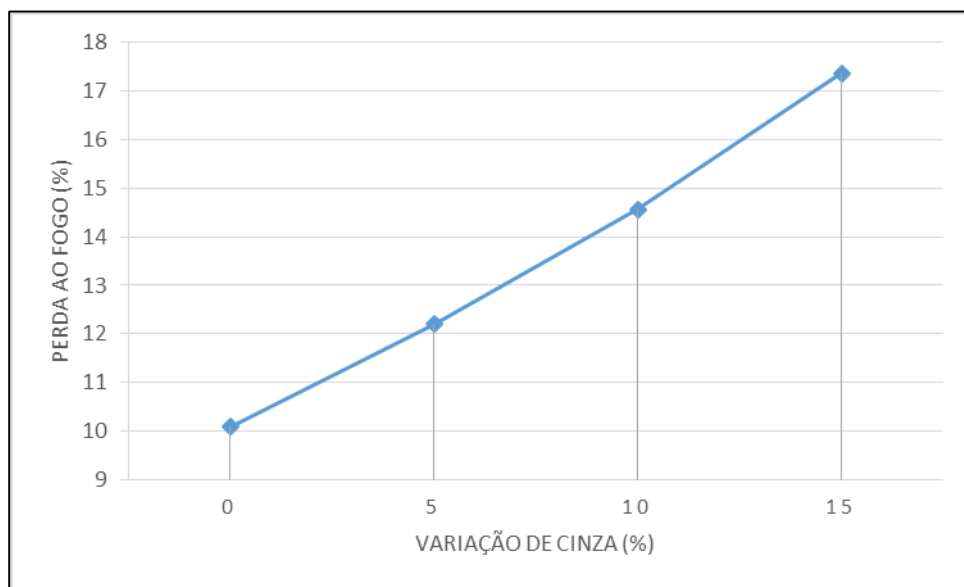


### 5.1.5 Perda ao Fogo

O Gráfico 5 apresenta os comportamentos da PF das amostras produzidas a partir da massa, que é composta de argila plástica, argila não plástica e as variações de 0%, 5 %, 10% e 15% de cinza.

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios obtidos com os respectivos desvios padrões das amostras para retração linear de queima.

Gráfico 5 – Perda ao fogo



Fonte: os autores, 2017.

Tabela 5 – Perda ao fogo

PERDA AO FOGO (%)				
Temperatura	0%	5%	10%	15%
1050°C	10,08 ± 0,05	12,19 ± 0,08	14,55 ± 0,9	17,35 ± 1,87

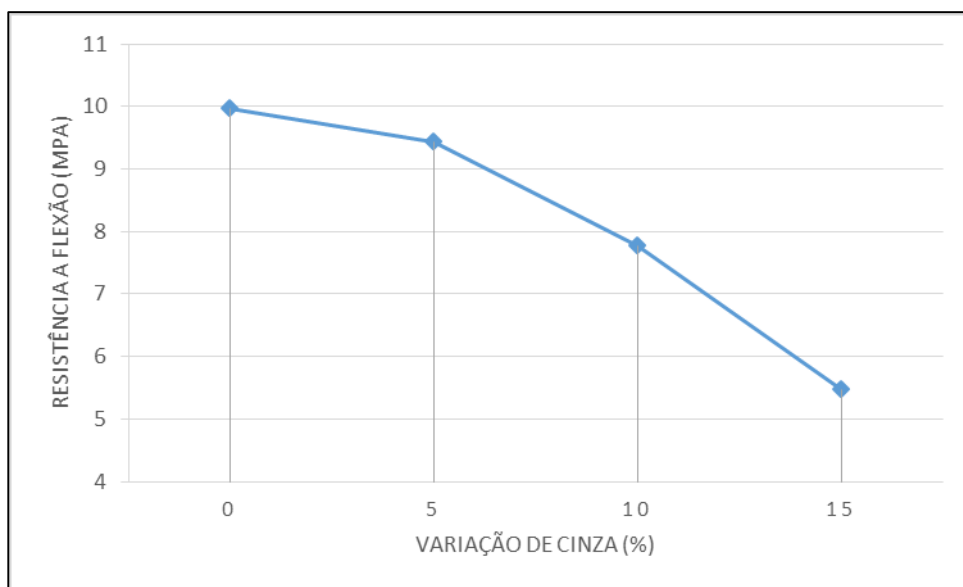
Fonte: os autores, 2017.

Analisando esta tabela verifica-se que a variação de cinza nas amostras interfere no percentual de perda ao fogo. Nos percentuais 0% e 5%, a argila possui valores de perda ao fogo dentro do esperado, ou seja, abaixo do valor máximo aceitável, que é de 15%, segundo [25]. Sendo que na variação de cinza de 10% e 15% está acima desse valor aceitável. Verifica-se que o comportamento do gráfico se aproxima a de uma reta, isto é, quando maior a quantidade de cinza incorporado maior é a perda ao fogo.

### 5.1.6 Ensaio de Flexão

A Tabela 6 demonstra os resultados com seus desvios padrões de tensão de ruptura à flexão (TRF) expressos em MPa, de acordo com a temperatura de 1050°C, com a variação de cinza, observado melhor o seu comportamento no Gráfico 6. Realizadas em corpos de prova com dimensão de 16,0 cm x 4,0 cm x 2,0 cm, moldados com uma pressão de 25 MPa.

Gráfico 6 – Resistência a flexão



Fonte: os autores, 2017.

Tabela 6 – Resistência a flexão

RESISTÊNCIA A FLEXÃO (MPa)				
Temperatura	0%	5%	10%	15%
1050°C	11,96 ± 4,29	9,44 ± 2,54	7,77 ± 3,22	5,47 ± 1,35

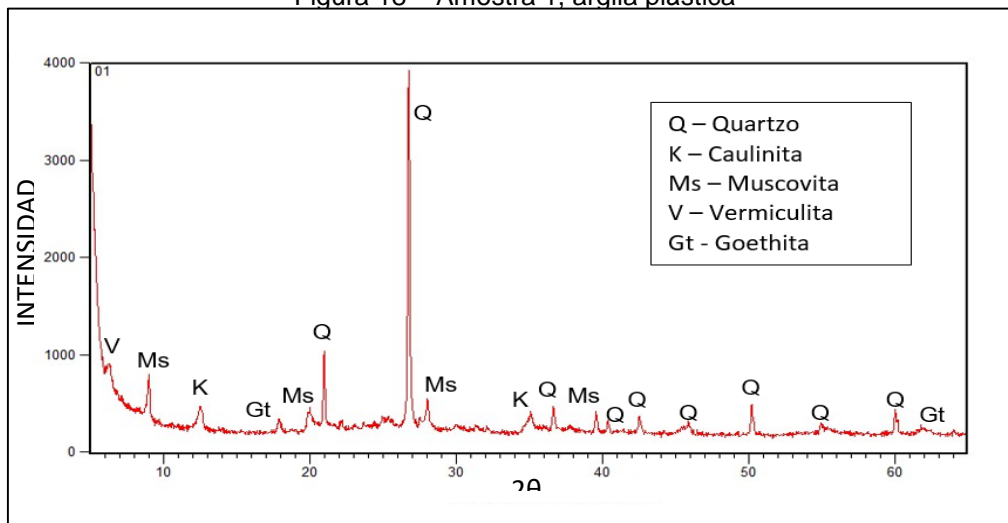
Fonte: os autores, 2017.

A incorporação da cinza na argila representou uma diferença significativa nos resultados da tensão de flexão. Quando maior a quantidade de lodo incorporada na argila, menor foi o resultado para este ensaio. Este fato pode estar relacionado ao aumento da porosidade do material devido ao aumento da perda ao fogo. No entanto, [26] estabeleceu médias mínimas entre 2 MPa e 6,5 MPa após a queima, assim a variação de cinza de 15% deve estar entre esse limite, e os outros valores de variação acima desse limite estabelecido.

### 5.1.7 Difração de Raios X

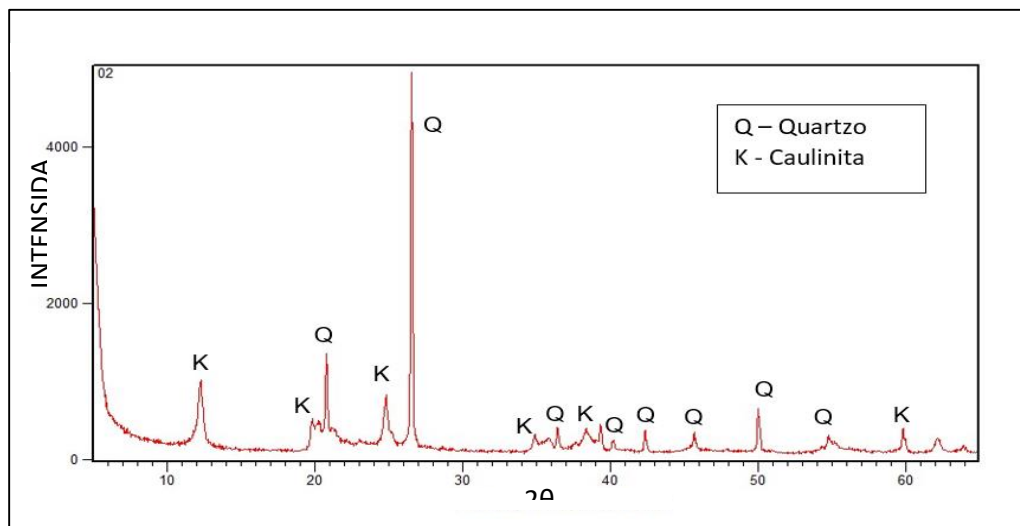
As Figura 18 e 19 apresentam os difratogramas de raios X das argilas utilizadas e a figura 20, o raio X de um corpo de prova queimado a 1050°C. As argilas são compostas por diversos argilominerais, em virtude desse fator, a presença de mais de uma fase mineral apresentada nas figuras era esperado.

Figura 18 – Amostra 1, argila plástica



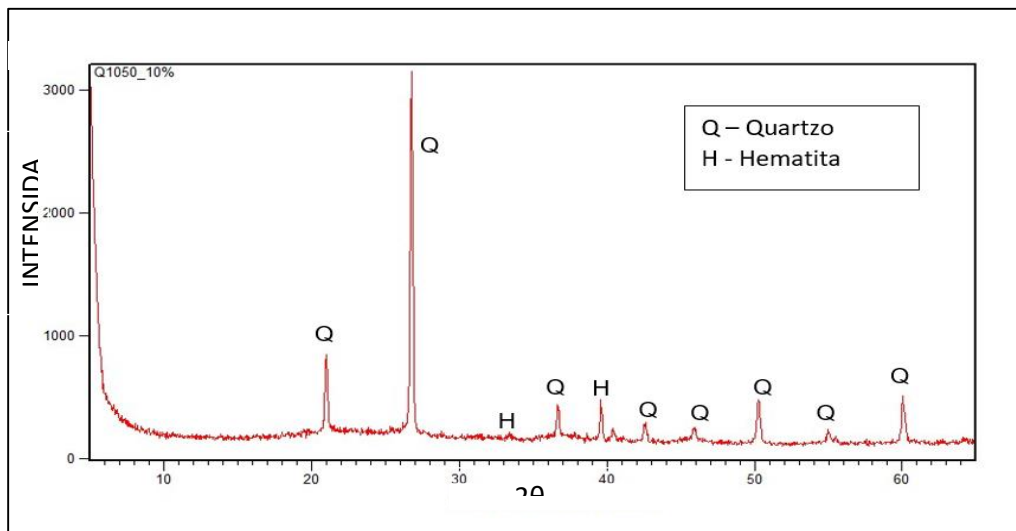
Fonte: os autores, 2017.

Figura 19 – Amostra 2, argila menos plástica



Fonte: os autores, 2017

Figura 20 – Amostra 3, corpo de prova queimado a temperatura de 1050°C.



Fonte: os autores, 2017.

Nas duas amostras de argilas estudadas, apresentam-se picos característicos de caulinita, que é um argilomineral comum na região.

Na figura 18, o difratograma apresenta picos dos minerais quartzo, caulinita, muscovita, goethita e vermiculita, sendo que essa última influencia na expansão e na contração da cerâmica. Já a muscovita é do grupo das micas, considerado um fundente natural, que em geral são minerais com elevado teor de álcalis que reduzem a porosidade do produto e a temperatura de queima [27]. A goethita quando sofre aquecimento com temperaturas acima de 200°C se torna a hematita presente na figura 20, porém com picos de baixa intensidade.

No difratograma da figura 19, os picos aparentes mais característicos são os de quartzo e da caulinita. Esta argila pode possuir baixa plasticidade devido à presença de quartzo e caulinita [28]. Por possuir pouca diversidade de argilomineral, industrialmente, esta argila é considerada “magra”, tendo assim como função o complemento de outras argilas mais plásticas, a fim de se ter uma massa cerâmica com este parâmetro equilibrado.

## 6 CONCLUSÃO

Fundamentado nos resultados apresentado e discutidos no presente trabalho, verificamos que é possível gerar produtos utilizando o resíduo da cinza do caroço de açaí como parte da composição da massa cerâmica na proporção de 5% de cinza, uma vez que os resultados obtidos para a retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, perda ao fogo e os resultados do ensaio de flexão enquadram-se dentro de limites apresentados pela literatura e com valores próximos aos resultados encontrados para a massa cerâmica de referência, que é a variação de 0% de cinza, ou seja, sem adição da cinza do caroço de açaí na massa cerâmica.

Analisando os ensaios de absorção de água, porosidade aparente e de perda ao fogo, a adição de cinza se mostra eficiente para a elaboração de produtos cerâmicas porosos, aja vista que essas variáveis aumentam de acordo com a variação crescente da cinza do caroço de açaí.

Os resultados obtidos pelos ensaios tecnológicos indicam que o processamento das argilas e da cinza do caroço de açaí devem ser alterados para a efetiva eliminação do material orgânico assim como uma modificação da metodologia, para um melhor estudo do desempenho mecânico da massa cerâmica. Visto que na amostra sinterizada na temperatura de 1050°C há a detecção de fase com propriedade fundente que alteram a resistência da cerâmica.

Verificamos com o auxílio dos difratogramas de raios X apresentados das duas argilas utilizadas para a confecção de produtos cerâmicos fabricados na região, que a Amostra 1 se trata de uma argila plástica, e a Amostra 2 é uma argila com um baixo teor de plasticidade. Sendo que no momento da coleta das argilas para a realização do presente trabalho, o ceramista informou o contrário.

Com os devidos estudos realizados, podendo assim caracterizar a matéria-prima utilizada nos produtos cerâmicos, as informações técnicas se tornam mais evidentes a fim de elaborar e testar novas formulações para as massas cerâmicas, com o intuito de otimizar o processo de fabricação visando a qualidade de empreendimentos familiares, onde o conhecimento é passando empiricamente de geração a geração.

## REFERÊNCIAS

- [1] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- [2] HOMMA, A. K. O; NOGUEIRA, O. L; MENEZES, A. J. E. A; CARVALHO, J. E. U; NICOLI, C. M. L; MATOS, G, B. **Açaí: novos desafios e tendências. AMAZÔNIA: Ciência & Desenvolvimento** v. 1, n. 2, 2006.
- [3] ADRIGUETO, J. R; NASSER, L. C. B; TEIXEIRA, J. M. A; SIMON, G; VERAS, M. C. V; MEDEIROS, S. A. F; SOUTO, R. F; MARTINS, M. V. de M; KOSOSKI, A. R. **Produção Integrada de Frutas e Sistema Agropecuário de Produção Integrada no Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento**, 2008.
- [4] SILVA, M. N. A. **O mix de produtos como estratégia competitiva das agroindústrias de polpa de frutas do estado do Pará.** Dissertação (Mestrado em Economia Rural), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2004. UFPA, Belém, 2009.
- [5] NACIF, A. M. P. **O apl de polpa de frutas no nordeste paraense e região Metropolitana de Belém** – análise da dinâmica evolutiva 2003/2007.
- [6] BRANDÃO, C. R. F; BARROS, A. L; LAMEIRA, C. C; PALHETA, F. C; GALVÃO, J. R. **O açaí no estado do Pará e seu potencial para o desenvolvimento sustentável da região.** UFRA, Belém – PA, 2015.
- [7] EMBRAPA. **Cultivar de Açaizeiro. Belém** – PA, 2015.  
<https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/925/cultivar-de-acaizeiro-brs-para> acesso em 11 de novembro de 2017.
- [8] BILOLO, Simone Maríndia. **Reuso do resíduo de fundição, areia verde na produção de bloco cerâmicos.** Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais. Porto Alegre-RS, 2005.
- [9] SEBRAE. **Cerâmica vermelha para Construção: Telhas, Tijolos e Tubos. Estudo de mercado SEBRAE / ESPM.** Relatório completo. 2008.
- [10] ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha.** 2016.
- [11] MARSIS, Cabral Junior. MOTTA, José Francisco Marciano. ALMEIDA, Amilton dos Santos. TANNO, Luiz Carlos. **28. Argilas para Cerâmica Vermelha. Rochas e Minerais Industriais.** CETEM, 2005.

- [12] SESMA, Natália Maia. **Estudo das propriedades de uma cerâmica vermelha sinterizada em diferentes temperaturas.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade de São Paulo. Lorena, 2014.
- [13] RODRIGUES, Bruno Noronha. **Estudos das propriedades mecânicas de produtos cerâmicos da microrregião do baixo Jaguaribe – CE.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró. 2013.
- [14] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: **Rochas e Solos.** Rio de Janeiro - RJ, 1995.
- [15] JÚNIOR, Gilberto Baccelli. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó – RN.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal. Abril, 2010.
- [16] VIEIRA, Geovane. **Estudo das propriedades física, química e estrutural da cerâmica vermelha com substituição de parte dos agregados por lodo proveniente da indústria têxtil.** Dissertação. Universidade da Região de Joinville. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de processos e Tecnologias Limpas. Joinville, 2010.
- [17] OLIVEIRA, Fabson Emerson Marrocos. **Acompanhamento da produção industrial em cerâmica da microrregião do Vale do Assu: estudo de caso.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Campos Angicos. Angicos-RN, 2011.
- [18] BASTOS, Frederico Assis. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- [19] TEIXEIRA, Silvio Rainho. **Caracterização de argilas usadas para produção de cerâmica vermelha e estudo das alterações nas suas propriedades pela adição de resíduos sólidos.** Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2006.
- [20] MARTINS, L.F.B.; FREITAS, M.C.; VIEIRA, J. H. A.; RABELO, A. A.; NETO, E. F. **Incorporação da cinza do caroço de açaí em formulações de cerâmica estrutural.** Curitiba – MT, 2014.
- [21] SILVA, Amanda Luiza da. **Caracterização mineralógica por difração de raios x e determinação de terras raras por ICP-MS de rochas da região sul da Bahia.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.
- [22] LUCENA, Maurílio De Medeiros. **Efeito da introdução de resíduo de cinza de forno cerâmico em massa para cerâmica estrutural.** Dissertação. Universidade

Federal do Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal, 2007.

[23] CALLISTER, W.D.J. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC.2002.

[24] PARANHOS, Raimundo Jorge Santos. **Aproveitamento de resíduos de cinza da cana de açúcar em massas cerâmicas.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

[25] Paixão, L. C. C.. **Aproveitamento do lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha,** Dissertação - (Mestrado em Engenharia de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, REDEMAT, fevereiro, 2005.

[26] SANTOS, P. S. **Tecnologia de Argilas,** V.1, São Paulo, Edgar Blücher, 1989.

[27] SOUZA. Agda Eunice de. **Argilominerais: influência dos aditivos (cinza de bagaço de cana-de-açúcar e rocha sedimentar) no processo de sinterização.** Universidade Estadual Paulista – Unesp Júlio de Mesquita Filho Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais. Bauru, 2008.

[28] LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. **Rochas & minerais industriais: usos e especificações.** Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 2005.