



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

**MÁRCIA SEVERINO DA COSTA**

**POTENCIALIDADE DE DIFERENTES JAZIDAS DE ARGILA DA REGIÃO  
CENTRAL DO ESTADO DE RORAIMA PARA A PRODUÇÃO DE CERÂMICA  
VERMELHA**

**BOA VISTA, RR  
2018**

**MÁRCIA SEVERINO DA COSTA**

**POTENCIALIDADE DE DIFERENTES JAZIDAS DE ARGILA DA REGIÃO  
CENTRAL DO ESTADO DE RORAIMA PARA A PRODUÇÃO DE CERÂMICA  
VERMELHA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais.

Área de concentração: Manejo e dinâmica de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Junior.

**BOA VISTA, RR**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

C837p Costa, Márcia Severino da.  
Potencialidade de diferentes jazidas de argila da região central do Estado de Roraima para a produção de cerâmica vermelha / Márcia Severino da Costa. – Boa Vista, 2019.  
68 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Junior.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

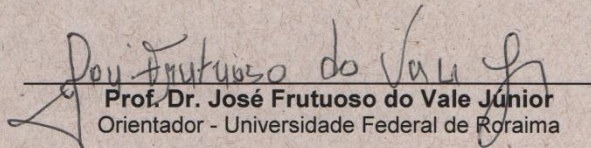
1 – Indústria ceramista. 2 – Cerâmica vermelha. 3 – Jazidas. 4 – Qualidade. I – Título. II – Vale Junior, José Frutuoso do (orientador).

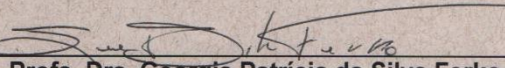
CDU – 666.32 (811.4)

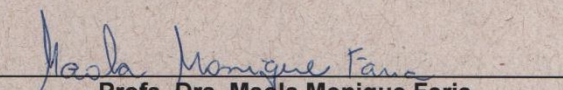
**MÁRCIA SEVERINO DA COSTA**

**POTENCIALIDADE DE DIFERENTES JAZIDAS DE ARGILA DA REGIÃO  
CENTRAL DO ESTADO DE RORAIMA PARA A PRODUÇÃO DE CERÂMICA  
VERMELHA**

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 29 de agosto de 2018 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:

  
**Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior**  
Orientador - Universidade Federal de Roraima

  
**Profa. Dra. Georgia Patrícia da Silva Ferko**  
Membro - Universidade Federal de Roraima

  
**Profa. Dra. Maola Monique Faria**  
Membro - Companhia de Desenvolvimento de Roraima

  
**Profa. Dra. Mónica Montana Martínez Ribas**  
Membro - Universidade Federal de Roraima

Aos meus pais, Petronílio Vieira da Costa e Neuza Severino da Costa, minhas razões e meus melhores amigos, a quem eu devo a minha existência, minhas habilidades, meu apreço e minhas conquistas.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida, que me dá forças e renova a minha fé todos os dias. A Ele, o Deus que realiza sonhos e traz luz para as sombras, toda a honra, glória e majestade.

Ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima por possibilitar a oportunidade de qualificação.

Ao Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Junior pela paciência, esmero e orientação deste trabalho, muito obrigada.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Roraima por me conceder permissão para uso dos laboratórios, muitíssimo obrigada. Sem a infraestrutura cedida não seria possível a realização de muitas das etapas deste trabalho.

Ao Departamento de Física da Universidade Federal de Roraima, no nome do Prof. Dr. Roberto Câmara.

Ao Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos da Universidade Federal do Amazonas por abrir as suas portas e me auxiliar com as análises mineralógicas das minhas amostras de solo, obrigada pela disponibilidade, prontidão e pela cessão de espaço.

Ao Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Sergipe por consentir o uso do espaço e dos equipamentos necessários à etapa de ensaios físico-mecânicos deste trabalho, muitíssimo obrigada. Sem a infraestrutura de vocês também não teria conseguido.

À toda minha família pela compreensão e apoio. Em especial, à minha maravilhosa, amada e querida mãe Neuza e meu saudoso pai Petronílio, que sempre me incentivaram a lutar por um futuro com o qual eles sonharam, sendo meus exemplos de persistência, humildade e fé. Obrigada pelo amor e tempo investido em mim. Eu amo muito vocês.

Ao meu esposo Edson que me ajudou nas atividades laboratoriais, sendo meu braço direito, meu ombro amigo e minha força quando já estava esgotada. Obrigada pela infinita ajuda todos os dias no laboratório, pelo dia a dia em casa, pelos momentos de descanso abdicados, pelos dias em que tive que me ausentar, por sonhar se alegrar junto comigo, por tudo o que tens feito por mim, obrigada. Amo você.

A todos os meus amigos pelo carinho, perdão, alegria, força, compreensão, apoio e encorajamento em todos os momentos que precisei em minha vida. Não listarei nomes, mas cada um está gravado no meu coração, sou eternamente grata por tudo, especialmente pela paciência e amor fraternal.

À Thamires Ohana por ouvir minhas lamentações e deixar de fazer suas coisas para me ajudar. Obrigada, sei que tenho sua amizade para o resto da vida.

Ao técnico laboratorista e amigo Glebisson pelo dia-a-dia no laboratório, pela ajuda, amizade, puxões de orelha e paciência, obrigada.

Às amadas e queridas Andreia Mota, Anne Caroline, Maria Antônia e Jucylene Souza que sempre estiveram dispostas em me receber na sua casa em Manaus nas minhas rápidas passagens pela cidade, me dando abrigo, proporcionando rodas de conversa que me deixavam menos tensa e mais confiante. Aquela caixa com solos tem história. Risos. Obrigada queridas.

Ao Prof. Me. João Bosco Pereira Duarte por ser meu ombro amigo e um grande colaborador para que eu conseguisse o local da realização dos ensaios físico-mecânicos deste trabalho.

À Profa. Dra. Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira por ter me adotado como “filha” durante todo o tempo que passei em Aracaju, por não poupar esforços para me ajudar no laboratório, por me ensinar tanta coisa no meu tão pouco tempo e na correria do seu dia a dia, por todas as conexões no intuito de me ajudar. Sou imensamente grata pela disposição, amizade que ganhei e pela paciência no explicar, ensinar, corrigir e ouvir.

À Prof. Adeline Araújo Carneiro Farias e toda sua família que me receberam em seu apartamento e me deram abrigo e muito carinho na minha estadia em Aracaju. Talvez nunca encontraria pessoas com a mesma disposição, mas Deus preparou vocês. Eu não tenho palavras para agradecer.

À Capes e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo, muito obrigada.

*“Olho nenhum viu, ouvido nenhum ouviu, mente nenhuma imaginou o que Deus preparou para aqueles que o amam.”*

(Apóstolo Paulo)



## RESUMO

O Estado de Roraima possui uma ampla diversidade de solos com texturas variadas, dentre estas a argilosa, ocorrendo em áreas significativamente vantajosas, no que se refere à disponibilidade, com grande potencial de exploração e constituição heterogênea, além disso, o Estado também possui uma quantidade apreciável de indústrias cerâmicas que remete à busca de novas jazidas que supram as demandas das indústrias ceramistas do Estado. Sendo assim, este trabalho se propõe a avaliar a potencialidade de argilas residuais e sedimentares visando sua utilização no processamento de materiais de cerâmica vermelha. Foram selecionadas quatro áreas para este estudo, sendo duas compostas por argilas sedimentares (VM e CA) e duas por argilas residuais (AA e MC). As matérias primas foram beneficiadas e caracterizadas através de ensaios físicos (análise granulométrica, massa específica e limites de Atterberg), espectrofotometria de fluorescência de raios-X e difração de raios-X. Foram confeccionados corpos de prova cerâmicos com dimensões de 60x20x7mm, queimados em temperaturas de 850, 900 e 950°C e procedidas as determinações físico-mecânicas (retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão). Os resultados evidenciaram que são constituídas, principalmente, de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e caulinita (K) como principal argilomineral formador, sem picos de argilomineral expansivo. Os CPs confeccionados com argilas sedimentares (VM e CA) são inicialmente aceitáveis como matéria prima na indústria de cerâmica vermelha, tanto para telhas quanto para blocos. A variável absorção de água indica que, apenas a amostra CA, coletada nas várzeas do Rio Branco no município de Cantá, é enquadrada como matéria prima satisfatória para fabricação de blocos e telhas cerâmicas.

Palavras-chave: Indústria ceramista. Cerâmica vermelha. Jazidas. Qualidade.

## ABSTRACT

The State of Roraima has a wide diversity of soils with varied textures, among them the clayey, occurring in areas that are significantly advantageous, regarding the availability, with great potential of exploration and heterogeneous constitution, besides, the State also possesses a quantity appreciable of ceramic industries that refers to the search for new deposits that meet the demands of the ceramic industries of the State. Thus, this work aims to evaluate the potentiality of residual and sedimentary clays for their use in the processing of red ceramic materials. Four areas were selected for this study, two of which were composed of sedimentary clays (VM and CA) and two by residual clays (AA and MC). The raw materials were benefited and characterized by physical tests (particle size analysis, specific mass and Atterberg boundaries), X-ray fluorescence spectrophotometry and X-ray diffraction. Ceramic specimens with dimensions of 60x20x7mm, burned at 850, 900 and 950°C were made and physical-mechanical determinations (linear retraction, water absorption and bending rupture stress) were carried out. The results showed that they are mainly composed of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and kaolinite (K) as the main clay form, with no expansive argillomineral peaks. The CPs made with sedimentary clays (VM and CA) are initially acceptable as raw material in the red ceramic industry, both for tiles and blocks. The water absorption variable indicates that only the CA sample, collected in the Rio Branco floodplain in the municipality of Cantá, is classified as a satisfactory raw material for the manufacture of ceramic blocks and tiles.

Keywords: Ceramist industry. Red ceramics. Deposits. Quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapeamento da área de coleta de amostras de solo nos municípios de Alto Alegre (AA), Cantá (CA) e Mucajaí (MC e VM). .....	28
Figura 2 - Perfil de solo e coleta realizada em Alto Alegre (a), Várzea Rio Branco (b), Várzea Rio Mucajaí (c) e Mucajaí (d). .....	30
Figura 3 - Lavagem do solo submetido à análise granulométrica (a) e grãos provenientes do peneiramento grosso (b). .....	32
Figura 4 - Realização da etapa de sedimentação da análise granulométrica: agitação manual da proveta (a) e repouso do material em um recipiente com água (b). .....	32
Figura 5 - Execução do ensaio de limite de liquidez no aparelho de Casa Grande. ....	33
Figura 6 - Execução do ensaio de limite de plasticidade do material argiloso: moldagem do cilindro (a); comparação com cilindro padrão (b) e cilindro de solo em cápsula metálica para determinação da umidade (c). .....	34
Figura 7 - Execução do ensaio de massa específica, retirada de vácuo do volume do balão. ....	36
Figura 8 - Esferas após calcinação em forno tipo Mufla: determinação da perda ao fogo. ...	37
Figura 9 - Espectrofotômetro de fluorescência de raios-X. ....	38
Figura 10 - Preparação das frações fina (a) e total (b) de solo para DRX. ....	39
Figura 11 - Etapas da confecção de corpo de prova cerâmico: peneiramento da massa (a), posicionamento da massa na matriz (b), prensagem do CP (c) e CP confeccionado (d). ....	40
Figura 12 - Corpos de prova antes (a) e após queima em forno tipo Mufla (b). ....	41
Figura 13 - Medição do CP antes e após a queima. ....	42
Figura 14 - Execução do ensaio de absorção de água com imersão dos corpos de prova em banho Maria com temperatura de aquecimento de 100°C. ....	43
Figura 15 - Medida da massa imersa do corpo de prova. ....	44
Figura 16 - Rompimento de corpo de prova cerâmico por aplicação de uma carga pontual: ensaio de resistência à flexão. ....	46
Figura 17 - Curva granulométrica do solo coletado em Alto Alegre (AA). ....	49
Figura 18 - Curva granulométrica do solo coletado na várzea do Rio Mucajaí (VM). ....	50
Figura 19 - Curva granulométrica do solo coletado em Mucajaí (MC). ....	50
Figura 20 - Curva granulométrica do solo coletado no Cantá (CA). ....	51
Figura 21 - DRX das amostras de solo da fração total (esquerda) e da fração fina (direita). ....	55
Figura 22 - Relação da temperatura com a retração linear e a perda de massa dos corpos de prova cerâmicos. ....	58
Figura 23 - Relação da temperatura com a absorção de água e a porosidade dos corpos de prova cerâmicos. ....	59
Figura 24 - Relação da massa específica aparente com a absorção de água e a porosidade dos corpos de prova cerâmico. ....	60
Figura 25 - Tensão de ruptura à flexão em função da temperatura de queima. ....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das amostras de solo pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS. ....	47
Tabela 2 - Massa específica das amostras de solo obtidas segundo o método da NBR 6508 (ABNT, 1984). ....	48
Tabela 3 - Resumo da análise granulométrica das amostras. ....	49
Tabela 4 - Limites de Atterberg ( $w_L$ ), plasticidade ( $w_p$ ) e índice de atividade (AA) das amostras de solo. ....	52
Tabela 5 - Porcentagem em massa da composição química das amostras de solo. ....	53
Tabela 6 - Resumo da análise físico-mecânica dos corpos de prova cerâmicos. ....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diversidade de aplicação da argila segundo cada setor produtivo.....	20
Quadro 2 - Caracterização geomorfológica, climática, fisionômica e hidrológica da área de estudo (municípios Alto Alegre, Mucajaí e Cantá).....	27

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	índice de atividade da fração argila
a	largura do corpo de prova
A <sub>A</sub>	absorção de Água
AA	Alto Alegre
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
APL	Arranjo Produtivo Local
atm	atmosfera
aus	ausente
B	altura do corpo de prova
CA	Cantá
Capes	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CH	argila de alta plasticidade
CL	argila de baixa plasticidade
CL-ML	argila siltosa.
cm	centímetro
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CP	corpo de prova
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DCEM	Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais
DRX	difração de raios-X
F	carga de ruptura à flexão
FRX	fluorescência de raios-X
g	grama
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICDD	<i>International Centre for Diffraction Data</i>
I <sub>p</sub>	índice de plasticidade
kg	quilograma
kgf	quilograma-força
K <sub>i</sub>	relação molecular entre sílica e alumina
K <sub>r</sub>	relação molecular entre sílica, sesquióxidos de ferro e alumínio
kV	quilovolt
L	distância entre os apoios dos CPs
L <sub>0</sub>	comprimento seco
L <sub>q</sub>	comprimento após queima
m	metro
mA	miliampère
MC	Mucajaí
ME	método de Ensaio
MEA	massa específica aparente
mg	miligrama
m <sub>i</sub>	massa imersa
min	minuto
ml	mililitro

mm	milímetro
MPa	Mega Pascal
$m_q$	massa de queima
$m_s$	massa seca
$m_u$	massa úmida
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
$P_A$	porosidade aparente
PF	perda ao fogo
PIB	Produto Interno Bruto
Prof	Professor
Pronat	Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais
$R_f$	resistência à flexão
$R_L$	retração linear
RR	Roraima
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UFRR	Universidade Federal de Roraima
UFS	Universidade Federal de Sergipe
VM	várzea de Mucajaí
$w_l$	limite de liquidez
$w_p$	limite de plasticidade

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1	A ARGILA COMO MATÉRIA PRIMA .....	18
1.2	O SETOR DE CERÂMICA VERMELHA .....	22
1.3	O AMBIENTE E A INDÚSTRIA CERÂMICA .....	23
1.4	A INDÚSTRIA CERAMISTA EM RORAIMA .....	25
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	26
2.1	OBJETIVO GERAL .....	26
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	26
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	27
3.2	AMOSTRAGEM .....	29
3.3	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO .....	31
3.3.1	<b>Caracterização Física</b> .....	31
3.3.1.1	Teor de umidade do solo .....	31
3.3.1.2	Análise Granulométrica .....	32
3.3.1.3	Limites de Atterberg .....	33
3.3.1.3.1	Limite de Liquidez .....	33
3.3.1.3.2	Limite de Plasticidade .....	34
3.3.1.3.3	Índice de Plasticidade .....	35
3.3.1.4	Massa Específica .....	35
3.3.2	<b>Caracterização Químico-mineralógica</b> .....	36
3.3.2.1	Perda ao fogo .....	36
3.3.2.2	Espectrometria de fluorescência de raios-X .....	37
3.3.2.3	Difratometria de raios-X .....	39
3.3.3	<b>Confecção dos corpos de prova</b> .....	40
3.3.4	<b>Ensaio Físico-mecânicos</b> .....	41
3.3.4.1	Retração Linear .....	42
3.3.4.2	Absorção de Água .....	43
3.3.4.3	Massa Específica Aparente .....	44
3.3.4.4	Porosidade Aparente .....	45
3.3.4.5	Resistência à flexão .....	45
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
4.1	CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	47
4.2	ANÁLISE FÍSICA .....	48



4.2.1	<b>Massa Específica</b> .....	48
4.2.2	<b>Análise Granulométrica</b> .....	49
4.2.3	<b>Limites de Atterberg</b> .....	51
4.3	<b>ANÁLISE QUÍMICO-MINERALÓGICA</b> .....	53
4.4	<b>ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA</b> .....	56
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	62
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63

## 1 INTRODUÇÃO

A argila é um material terroso e de ocorrência natural. É caracterizada como uma fração solo que possui grãos de dimensões menores que 0,002 mm (ABNT, 1995) e, por ser encontrada na natureza, é classificada como um dos recursos naturais considerados não renováveis, sendo amplamente empregada em diversos setores tais como construção civil, mineral, químico, artístico, etc. (SOUZA SANTOS, 1989).

A diversidade de sua utilização deve-se à fácil e comum obtenção aliada à sua abundante disponibilidade na natureza e suas propriedades autênticas como plasticidade, resistência, compacidade, viscosidade, tixotropia, etc. Além disso, a argila apresenta durabilidade e flexibilidade nos processos produtivos que, juntos, fundamentam sua utilização como matéria prima base do setor produtivo ceramista (ABCERAM, 2016), dentre eles, o que responde pelo maior índice de consumo deste material não apenas em nível local, mas também nacional e mundial, é o setor de cerâmica vermelha, principalmente, na fabricação de telhas e blocos cerâmicos (ANICER, 2015).

O setor de cerâmica vermelha está integrado à indústria da construção civil e tem acompanhado seu crescimento e avanço, tendo grande aceitação de seus produtos no mercado (ANICER, 2015). Isso tem estimulado muitos micro e pequenos empresários, sem nenhum conhecimento ou qualificação técnica, a empregar capital neste ramo produtivo (RIZZATTI et al., 2011).

Contudo, ao passo que ocorrem alguns progressos, esse investimento não vem acompanhado de uma caracterização física, química e mineralógica da argila, como também não é realizado nenhum tipo de ensaio tecnológico nos produtos finais, o que possibilitaria, respectivamente, conhecer o comportamento da argila quando introduzida no processo industrial e medir o índice de qualidade de fabricação, além do que, as argilas passariam então a ser tratadas como realmente são, ou seja, heterogêneas em sua composição química e mineralógica (COELHO, 2009).

Haja vista que se trata de um recurso natural não renovável, o aproveitamento do solo argiloso, seja em grande ou pequena escala, deve ser acompanhado de estudos de caracterização e listagem dos possíveis usos de cada solo argiloso, preocupando-se com o manejo de jazidas (SOUZA SANTOS, 1989) já exploradas como também daquelas disponíveis, porém sem outorga de uso.

A avaliação da composição do solo argiloso pode contribuir para uma formulação apropriada da massa argilosa que é utilizada nas indústrias ceramistas, conferindo ao material fabricado melhor qualidade visual, como trincas, irregularidades nas bordas, fistulas, etc. (FREITAS; BITTENCOURT, 2004), e melhoramento as propriedades físico-mecânicas, no que diz respeito à absorção de água, retração linear e resistência mecânica (SOUZA SANTOS, 1989). Ademais, estudos de caracterização possibilitariam a indicação de depósitos argilosos para determinados usos do recurso em outros setores ceramistas, os quais fabricam produtos de maior valor agregado (SILVA et al., 2017).

Tendo em vista que o Estado de Roraima possui uma ampla diversidade de solos com texturas variadas, dentre estas a argilosa, ocorrendo em áreas significativamente vantajosas, no que se refere à disponibilidade, com grande potencial de exploração e que, os mesmos possuem constituição heterogênea, além disso, o Estado de Roraima possui uma quantidade apreciável de indústrias cerâmicas o que leva à busca de novas jazidas que supram as demandas das indústrias do Estado. Com base nisso, a pergunta principal que este trabalho se propõe responder é: Solos argilosos coletados em áreas de formação de embasamento cristalino podem ser aproveitados para a fabricação de telhas e blocos cerâmicos?

Assim, este trabalho se justifica pela necessidade de caracterização de solos argilosos provenientes de áreas de embasamento cristalino e sedimentares, identificando suas propriedades físicas e químico-mineralógicas e prever, através da produção de corpos de prova cerâmicos e ensaios físico-mecânicos, o devido aproveitamento deste tipo de solo como matéria prima na indústria ceramista do Estado de Roraima.

Com isso, este trabalho participará do rol de estudos já iniciados no Estado, como os de Barros (2009), Costa (2010), Gonzales, Nobrega e Duarte (2016), Medeiros et al. (2017), Moura (2010) e Souza (2015). Além disso, procurou-se definir se esse deslocamento de lavra das áreas de preservação permanente, como os leitos de rios (atualmente utilizados para este fim) conduz a produtos aceitáveis mediante os parâmetros normativos. Isso se constitui na importância ambiental deste trabalho, pois ao passo que o deslocamento é comprovado, o impacto causado pela retirada de solos argilosos dos leitos de rios é diminuído.

## 1.1 A ARGILA COMO MATÉRIA PRIMA

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2016), as argilas apresentam um admirável número de aplicações, sendo que, em quase todos os segmentos tradicionais de produção, compõe total ou parcialmente a formulação de massas cerâmicas.

A argila, no contexto de sua utilização como matéria prima fundamental para o setor ceramista, apresenta grande relevância para áreas como geologia, agricultura, agronomia e engenharia. Para a cerâmica vermelha, os solos que mais se destacam, em termos de potencial exploração, são do tipo Argissolos Vermelhos e aqueles que contenham considerável nível de argilominerais presentes (LEAL; CAVALCANTI; LACERDA, 2016).

No que se refere à definição e classificação, Coelho (2009) traça o perfil das argilas para cerâmica vermelha, dando a elas uma categorização geológica, definindo-as basicamente como sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, argilas aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que queimam em cores avermelhadas a temperaturas variáveis entre 800 e 1.250°C.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, através da NBR 6502 (ABNT, 1995) confere uma classificação geológica e geotécnica às argilas, caracterizando-a como um tipo de solo que possui faixa granulométrica com partículas de dimensões menores que 0,002 mm, que além de apresentar resistência ao cisalhamento, também pode sofrer grandes deformações permanentes sem romper ou variar seu volume. Ainda, de acordo com a norma, os argilominerais são:

Silicatos hidráulicos de alumínio, podendo conter quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio, sódio, lítio, etc. São geralmente formados por lamelas constituídas por estratos ou lâminas de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  e octaedros de  $\text{Al(OH)}_6$ , possuindo cristalinidade variável. Os argilominerais se formam por alteração de minerais primários das rochas ígneas e metamórficas, como feldspatos, piroxênios e anfibólios, ou são constituintes de rochas sedimentares. Possuem a propriedade de absorver às superfícies de suas partículas quantidades variáveis de água e íons. Os principais grupos de argilominerais são: caulinita, ilitas e esmectitas (ABNT, 1995, p. 9).

Souza Santos (1989) reforça este conceito, definindo a argila como um material de ocorrência natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire certa plasticidade quando umedecida com água e que, quimicamente, é formada por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio.

O Glossário Geológico do Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1999) distingue três grupos de argilas: o primeiro, caulim, engloba os seguintes argilominerais caulinita, nacrita, dickita, anauxita, halloysita e alofonaz; o segundo é o do montmorilonita que compreende a montmorillonita, beidellita, montronita e saponita; o último é o das hidromicas onde as integrantes são as hidromuscovitas. Segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995) os principais grupos de argilominerais são: caulinita, micas hidratadas e esmectitas.

A caulinita é o argilomineral mais comumente encontrado em solos e o mais pobre em óxidos e hidróxidos de ferro e outros cromóforos e, por isso, apresenta cores claras de queima (BRASIL, 2010). É constituída por camadas de  $Si_2O_5$  ligadas a camadas de gibbsita e formada como um mineral autigênico de baixas temperaturas e pressões em rochas sedimentares (KLEIN; DUTROW, 2012). A NBR 6502 define a caulinita como:

Alumínio silicato hidratado pertencente ao grupo das caulinitas, caracterizado por estrutura lamelar formada pelo empilhamento regular de camadas constituídas por uma folha tetraédrica de sílica e uma folha octaédrica de alumina (ABNT, 1995, p. 9).

As micas são minerais primários de xistos e têm ampla ocorrência nas rochas ígneas, sendo formadas em baixas temperaturas (KLEIN; DUTROW, 2012). Segundo a NBR 6502:

Argilomineral do grupo das ilitas, formadas por lamelas que são constituídas por dois estratos de tetraedros de silício e um de octaedro de alumínio. A sua estrutura é mais estável que a das esmectitas, impedindo a admissão de água interlamelar. Origina-se das micas por degradação (perda de K e ganho de  $H_2O$ ), sem modificações estruturais. Possui capacidade de troca catiônica de média a baixa e expansão baixa (ABNT, 1995, p. 14).

Os argilominerais do grupo das esmectitas são dioctaédricos e trioctaédricos. (TEIXEIRA et al., 2017).

Grupo de argilominerais formados por lamelas constituídas por um estrato de octaedros de alumínio entre dois estratos de tetraedros. Este grupo é formado pela montmorilonita (principal argilomineral do grupo), montronita, beidelita, etc. Este grupo possui a capacidade de admitir  $H_2O$  interlamelar, o que propicia uma elevada expansão (ABNT, 1995, p. 13).

Graças à ocorrência dos argilominerais, as argilas, na presença de água, desenvolvem características que auxiliam na sua aplicabilidade tecnológica, como por exemplo, plasticidade, retração linear de secagem, resistência mecânica quando úmida, tixotropia,

viscosidade e compactação (ABCERAM, 2016). Vieira e Pinheiro (2012) afirmam que dentre estas características, é conhecido que a plasticidade é a que fundamenta a utilização e a obtenção de diversos produtos cerâmicos conforme o setor de utilização da matéria prima (Quadro 1).

Pereira et al. (2011) descrevem que a plasticidade é um dos parâmetros necessários para a conformação de produtos cerâmicos e é dada pela relação quantitativa entre materiais plásticos, principalmente argilominerais, e materiais não plásticos, como o quartzo e outros, dando à peça confeccionada resistência mecânica estando ela úmida ou seca.

Quadro 1 - Diversidade de aplicação da argila segundo cada setor produtivo.

<b>SETOR</b>	<b>PRODUTOS</b>
Cerâmica Vermelha	Blocos; Lajes; Telha e Agregado leve
Cerâmica branca	Grés sanitário, Pastilha, Porcelana mesa e elétrica e Faiança
Revestimentos	Pisos: rústicos, via seca, gresificado; Azulejo e Grés porcelânico
Artesanal	Panelas, Filtros, Vasos, Telhas e blocos
Saúde Estética	Limpeza de pele, Geoterapia, etc.
Outros	Refratários, Isolantes, Especiais, Cimento e Vidro

Fonte: Adaptado de Buriti et al. (2017); Costa e Rodrigues (2013); Siqueira (2006); Souza Santos (1989).

Quanto aos demais componentes de um solo argiloso, a principal impureza presente é o quartzo, atuando como matéria-prima não plástica e inerte durante a queima dos produtos fabricados. A gibsita colabora para o aumento da refratariedade e perda de massa durante a queima. A muscovita, devido à sua textura lamelar, pode ocasionar o advento de defeitos nas peças cerâmicas. Porém em dimensão reduzida, atua como fundente devido à presença de óxidos alcalinos (VIEIRA; PINHEIRO, 2011).

Brighenti, Almeida e Hofer (2012) apontam que a grande maioria dos solos encontrados no Brasil possui predomínio de caulinita na fração argila. As argilas constituídas essencialmente por este mineral são mais refratárias devido à sua composição, em maioria de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ao passo que outros, em virtude da presença de potássio, ferro e outros elementos, possuem refratariedade, consideravelmente, reduzida (ABCERAM, 2016). Pereira et al. (2011) também apontam que, geralmente, é possível fabricar produtos de cerâmica vermelha com variadas argilas, situadas em qualquer lugar do mundo, que permitam utilizar diversas técnicas de processamento, porém, devem ser esperados produtos com atributos bastante diversificados.

Geralmente, as argilas mais adequadas à fabricação dos produtos de cerâmica vermelha apresentam em sua composição os argilominerais illita, de camadas mistas illita-montmorilonita e clorita-montmorilonita, além de caulinita, pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro. Essencialmente, as argilas para materiais refratários são caulínicas, as quais apresentam baixos teores de compostos alcalinos, alcalinos-terrosos e de ferro; podendo conter, em alguns tipos, a gibsite (ABCERAM, 2016). Devido à composição mista da argila, estudos que tratem, especificamente, tanto da composição, estrutura, formas de ocorrência e gênese, como também propriedades fundamentais e tecnológicas das argilas são, então, imprescindíveis (SOUZA SANTOS, 1989).

Como exemplo, o desempenho da alvenaria estrutural depende dos materiais empregados e das suas interações, ou seja, para melhorar a qualidade do conjunto é importante compreender os fenômenos internos geradores de tensões. Assim, desenvolver pesquisas que também estudem os produtos cerâmicos para a alvenaria estrutural pode auxiliar no incremento deste setor industrial (RIZZATTI et al., 2011).

Menezes, Neves e Ferreira (2001) elencam a importância do estudo da argila como matéria prima:

Apesar da grande importância econômica e social da cerâmica vermelha no país, a grande maioria dos jazimentos de argilas não é devidamente estudada, não havendo, em geral, dados técnico-científicos que orientem e facilitem sua aplicação industrial (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2001).

Ramos et al. (2010) afirmam que:

[...] para a utilização das argilas em processos industriais é importante e indispensável uma identificação completa das características físico-mineralógicas das argilas, uma vez que as propriedades do produto final são intimamente dependentes das características das matérias primas (RAMOS et al., 2010)

Macedo et al. (2008) explicam que, pelo fato de haver muitas jazidas e empresas, o Brasil se tornou o maior produtor de cerâmica vermelha, com número de exploração de matéria prima próximo aos 70 milhões de toneladas por ano e que estudos prévios possibilitam prever o comportamento do solo utilizado para a fabricação de telhas, blocos e demais produtos de cerâmica vermelha.

As argilas para serem adequadas a fabricação de produtos de cerâmica vermelha (estrutural) devem, de modo geral, serem de fácil desagregação, apresentarem distribuição granulométrica conveniente, adequada combinação entre materiais plásticos e não plásticos (adequada composição mineralógica) e conferir à peça

resistência mecânica a verde suficiente para evitar deformações durante seu manuseio e resistência após queima (MACEDO et al., 2008).

## 1.2 O SETOR DE CERÂMICA VERMELHA

O setor ceramista compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, comumente obtidos após tratamento térmico em temperaturas elevadas (ABCERAM, 2016). A Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER aponta que o segmento de cerâmica vermelha possui esta nomenclatura devido à presença de compostos ferrosos nas argilas utilizadas como matéria prima, característica essa que desenvolve a coloração avermelhada das peças fabricadas (ANICER, 2015).

O setor ceramista reúne diversos materiais continuamente utilizados na construção civil, como blocos, telhas, tijolos maciços, tubos para saneamento, lajotas, elementos vazados e argila expandida. Além de estar presente em utensílios domésticos, como filtros e painéis de barro. O empreendimento constitui um segmento de atividade econômica localmente vinculada à transformação da argila e, geralmente, situado em regiões de maior proximidade da matéria prima. É constituído por muitas unidades produtoras distribuídas em todos os estados brasileiros e caracterizado por micro e pequenas empresas, atuando muitas vezes de maneira informal (ANICER, 2015).

A indústria de cerâmica vermelha é a maior e mais diversificada em número de fábricas, como também mais dispersa geograficamente, apesar de adensada em conjuntos produtivos ou Arranjos Produtivos Locais (APLs). O peso da localização das matérias primas e da distribuição dos produtos no mercado dá ao segmento uma característica mais interiorizada de todos os subsetores (MELLO et al., 2011).

O setor ceramista no Brasil tem, aproximadamente, o mesmo perfil em praticamente todos os estados, o que demonstra um grande potencial de produção, mas ainda com pequena capacidade tecnológica e de investimentos que, conseqüentemente, gerem produtos de melhor qualidade (RIZZATTI et al., 2011).

O baixo valor agregado dos produtos também dificulta investimentos em equipamentos, tecnologia e qualificação da mão-de-obra, o que seria fundamental para a obtenção de um produto de maior qualidade (COELHO, 2009). O autor também assinala que, levando em conta a perspectiva de crescimento da indústria da construção civil em todo o país ao longo dos anos, o segmento cerâmico tem um grande potencial de desenvolvimento



respaldado pelo potencial geológico das reservas de matéria prima, modernização da base industrial e fortalecimento dos aglomerados minero-cerâmicos.

Quanto à forma de utilização das jazidas, a geomorfologia é o que governa o método de lavra a ser adotado. Na hipótese de uma exploração de depósitos aluvionares, formados em topografia plana, por camadas argilosas horizontais com espessura, em geral, de até cinco metros, adota-se o desmonte em tiras ou em bancada única, o que requer o uso de pás carregadeiras ou retroescavadeiras, conforme a estabilidade do piso da mina. Já as jazidas residuais e formacionais são lavradas em meias encostas, através de um ou mais níveis de bancadas, sendo usual empregar pás carregadeiras que escavam e carregam a argila em caminhões para transporte até as indústrias (MELLO et al., 2011).

Coelho (2009) aponta que se forem realizados estudos geológicos das reservas atuais e de novas jazidas visando a exploração formal e sustentável da argila como um recurso mineral, além de formalizar a atividade de extração deste material exigindo programas de controle e recuperação ambiental, o setor de cerâmica vermelha no Brasil será capaz de atender à demanda do mercado consumidor nos próximos 20 anos.

### 1.3 O AMBIENTE E A INDÚSTRIA CERÂMICA

O Brasil tem se destacado no cenário mundial devido à utilização e aproveitamento de seus recursos minerais, inclusive da argila, com vistas ao desenvolvimento econômico interno (LEAL; CAVALCANTI; LACERDA, 2016). Paz et al. (2015) evidenciam a importância deste recurso para o país, mostrando que a argila é um recurso finito e que deve ser utilizada de maneira consciente, mas, apesar disso, desde sua extração até a fabricação dos produtos, são apontados aspectos negativos e positivos, dos quais os impactos ambientais alarmantes são dados como negativos, contrapondo-se à geração de emprego e renda para a população local e diminuição das desigualdades sociais, ditos positivos.

A atividade de mineração de argila envolve diversos impactos ambientais, pois implica na remoção do solo e, na maioria das vezes, é realizada sem um conhecimento técnico no que se refere à extração adequada do minério e organização ambiental da área de extração, como também falta conhecimento científico a respeito da qualidade e quantidade de minério existente. O mineral é um recurso não renovável da natureza, ou seja, uma vez extraído diz-se que o mesmo não se repõe. Assim, esgotadas as reservas desse minério, a atividade

econômica que envolve o material cessa, pois ainda não se tem uma matéria prima que a substitua (DESTEFANI; CUNHA, 2016).

No Estado de Roraima, Cortez, Oaigen e Rohde (2013) apontam que:

A necessidade crescente destes materiais, somada a diversos fatores tais como a procura de lucro fácil e rápido, obtenção gratuita e simples das matérias primas, não conscientização ambiental dos envolvidos, finalizando com uma total ausência e até cumplicidade dos órgãos oficiais responsáveis pela fiscalização destas atividades, tem levado a uma degradação acelerada do meio ambiente de inúmeras áreas da calha do Rio Branco e afluentes (CORTEZ, OIAGEN, ROHDE, 2013).

Outro elemento a ser considerado é a redução de jazidas disponíveis para exploração mineral, o que coloca em risco o abastecimento das cidades localizadas em zonas mais longínquas e menos densamente ocupadas; além do que o aproveitamento econômico dos grandes depósitos de argila para cerâmica vermelha está condicionado a alguns fatores, como distância jazida-fábrica, conflitos da mineração com as unidades de conservação ambiental e com outras formas de uso e ocupação do solo (COELHO, 2009).

Os principais combustíveis utilizados pela indústria de cerâmica vermelha são: a lenha nativa e os resíduos de madeira, como por exemplo, cavaco, serragem, briquetes e outros resíduos. A sustentabilidade energética nas instalações industriais implica em um aumento no uso de lenha de reflorestamento, o que pode gerar um excedente de biomassa para comercialização de madeira. Fontes alternativas para a queima desses artigos é a casca de arroz e bagaço de cana (BRASIL, 2015). Estas fontes alternativas aliadas à abundância da matéria-prima e disponibilidade de tecnologias têm levado diversos segmentos cerâmicos alcançarem um nível apreciável de qualidade e quantidade do material fabricado (ABCERAM, 2016).

Fernandes et al. (2007) discutem a temática de exploração de jazidas, evidenciando que materiais como areia, brita, saibro e argila são tratados como bens sociais e sua obtenção tem elevado o índice de clandestinidade. Os autores ainda relatam que os impactos ambientais causados a partir da extração destes materiais, degradam ambientes de delicado equilíbrio ecológico, como dunas e manguezais e altera canais naturais de rios e aspectos paisagísticos locais.

Diante disso, são necessárias estratégias de gerenciamento direcionadas para o desenvolvimento harmonioso da atividade e a manutenção estendida do minério nas jazidas, o que só é possível quando se detém o conhecimento técnico e científico sistematizado das características quali-quantitativas do minério e sua disposição espacial (DESTEFANI;

CUNHA, 2016). Além disso, os consumidores estão cada vez mais adentrando em um processo de conscientização socioambiental, o que os torna mais exigentes quanto à qualidade dos produtos, redução de impactos ambientais e melhoria da qualidade de vida da população onde as empresas estão inseridas (KUZMA et al., 2016).

#### 1.4 A INDÚSTRIA CERAMISTA EM RORAIMA

O setor produtivo ceramista em Roraima não se diferencia muito em relação aos demais existentes no país. Em relação à sua composição, é constituído por micro e pequenas empresas e seus proprietários, em sua grande maioria, não possuem capacitação técnica específica e satisfatória para lidarem com controle de qualidade e produção (BIFF, 2016).

Segundo dados da Confederação Nacional da Indústria - CNI (2016), o setor de construção civil tem participação de 73,8% no Produto Interno Bruto - PIB industrial do Estado de Roraima. Dentre as atividades que mais ganharam participação, a indústria de minerais não metálicos, onde se encaixa a indústria ceramista, aumentou de 0,90 pontos percentuais entre os anos de 2007 e 2013.

Mas, apesar de seu incremento participativo, este setor ainda apresenta falhas e dificuldades nas operações de produção de materiais cerâmicos, falta de monitoramento e controle dos principais indicadores de qualidade e produção, como por exemplo: umidade, extrusão, secagem; absorção de água; dimensão dos produtos e resistência de queima. Traz-se à tona, também, a importância do desenvolvimento de pesquisas posteriores à compra para avaliação dos consumidores e implantação de laboratórios dentro das instalações das empresas, os quais facilitarão ações que permitam o estudo da qualidade do produto fabricado (BIFF, 2016).

Biff (2016) também mostra que a matéria prima utilizada não possui formação de lote, sazonalidade, nem homogeneização do material, além da falta de supressão de impurezas e matéria orgânica. A maioria das empresas fabricantes de material cerâmico no Estado de Roraima utiliza apenas um único tipo de argila retirada do leito do Rio Branco, argila esta que, se combinada com outro tipo, corrigiria alguns dos defeitos encontrados nos produtos atualmente.

## 2 OBJETIVOS

Propondo-se responder à proposta de realização desse trabalho, traçaram-se os objetivos a seguir.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a potencialidade de argilas da região central do Estado de Roraima visando sua utilização como matéria prima na indústria de cerâmica vermelha para fabricação de blocos e telhas cerâmicas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar física e químico-mineralogicamente as argilas como matéria-prima da indústria de cerâmica vermelha;
- Investigar as propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova cerâmicos fabricados com as argilas previamente caracterizadas;
- Identificar as áreas potenciais de exploração de argila que resultarem em corpos de prova aceitáveis mediante parâmetros normativos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho partiu da coleta de material argiloso e sua caracterização física, químico-mineralógica e físico-mecânica a partir da confecção de corpos de prova e determinação de suas propriedades físico-mecânicas.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A escolha da área de estudo foi feita a partir da diferenciação ambiental que interfere ou não na qualidade da argila, obtendo-se um contraste de características daquela originária de solo *in situ*, a partir da decomposição de granitos e gnaisses, e aquela proveniente de sedimentos aluviais, coletadas nas várzeas dos rios. No momento da escolha, também se considerou informações dadas por moradores locais relativas à existência de exploração de áreas para fins de produção de cerâmica vermelha.

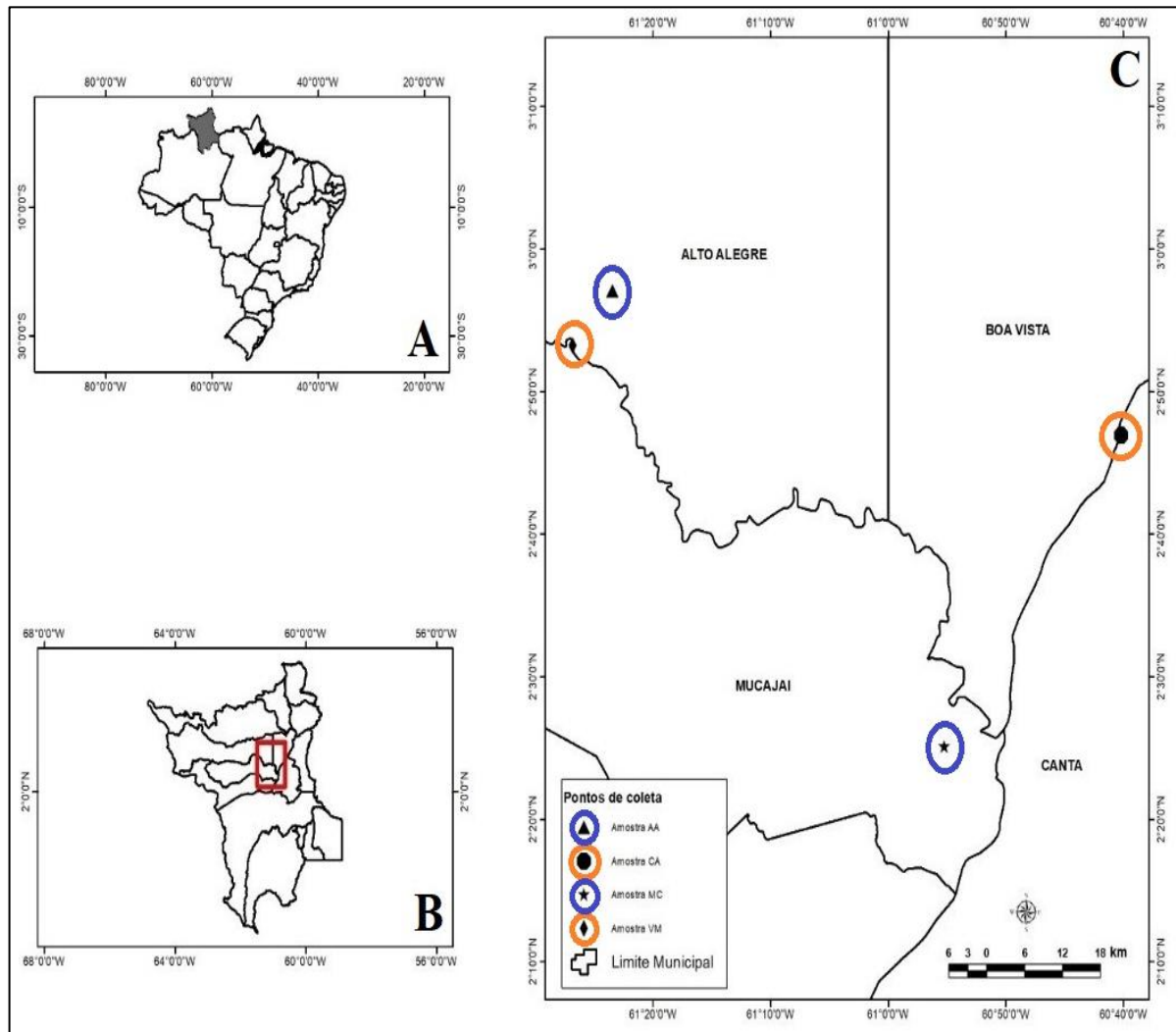
A área de estudo (Figura 1) é composta por 3 municípios do Estado de Roraima: Alto Alegre, Mucajaí e Cantá. A coleta foi realizada nos meses de novembro a dezembro de 2017, período de estiagem na região. A diferenciação ambiental, de que trata este trabalho, considera características como geomorfologia (relevo), clima (classificação de *Köppen*), fitofisionomia (formação da paisagem) e hidrologia (pluviosidade) dos municípios de Alto Alegre, Mucajaí e Cantá (Quadro 2).

Quadro 2 - Caracterização geomorfológica, climática, fisionômica e hidrológica da área de estudo (municípios Alto Alegre, Mucajaí e Cantá).

MUNICÍPIO	CARACTERÍSTICAS				
	Relevo	Clima	Fitofisionomia	Temperatura	Pluviosidade
Alto Alegre	Ondulado	Am	Transição savana-floresta	26,8°C	1.757 mm
Mucajaí	Ondulado	Aw	Transição savana-floresta	27,1°C	1.639 mm
Cantá	Plano	Aw	Formação pioneira	27,2°C	1.567 mm

Fonte: Adaptado de Barbosa (1997); Vale Júnior e Schaefer (2010); Climate-Data (2018).

Figura 1 - Mapeamento da área de coleta de amostras de solo nos municípios de Alto Alegre (AA), Cantá (CA) e Mucajaí (MC e VM).



Fonte: Autora (2018).

Legenda: **AA** - Amostra em Alto Alegre (N<sup>2</sup> 57.080' W61° 23.426'); **CA** - Amostra coletada na várzea do Rio Branco, no município do Cantá (N<sup>2</sup> 46.930' W60° 40.170'); **MC** - Amostra em Mucajaí (N<sup>2</sup> 25.121' W60°55.235'); **VM** - Amostra coletada no limite entre os municípios de Mucajaí e Alto Alegre, na várzea do Rio Mucajaí (N<sup>2</sup> 53.245' W61° 26.818').

Em cada um dos municípios, escolheu-se um ponto para coleta de, aproximadamente, 20 kg de solo argiloso, excetuando o município de Mucajaí onde foram realizadas duas coletas. As coordenadas geográficas dos pontos de coleta são: Alto Alegre: N<sup>2</sup> 57.080' W61° 23.426' (amostra AA); Mucajaí: N<sup>2</sup> 53.245' W61° 26.818' (amostra VM) e N<sup>2</sup> 25.121' W60° 55.235' (amostra MC); e Cantá: N<sup>2</sup> 46.930' W60° 40.170' (amostra CA).

A classificação pedológica, segundo Vale Júnior e Schaefer (2010), é formada por solos provenientes da decomposição de rochas vulcânicas plutônicas, como os granitos e

gnaissees do período pré-cambriano, e básicas que derivam do basalto e diabásio do juro-cretáceo da Formação Apoteri.

### 3.2 AMOSTRAGEM

As amostras de solo foram coletadas diretamente nas jazidas de maneira que fossem obtidas porções representativas de todo o universo amostral, sendo utilizados locais naturais de exposição de argila ou submetidos a processos mecânicos como, por exemplo, cortes de abertura de estradas e várzeas de rios (Figura 2).

Optou-se pela abertura de trincheira para coleta em locais sem exposição de argila. Em seguida, a partir de propriedades detectadas através do manuseio como, por exemplo, cor, textura, estrutura, porosidade, consistência e transição de horizontes e camadas, cada amostra foi classificada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) proposto por Santos et al. (2014).

As amostras foram identificadas como determinado na NBR 9604<sup>1</sup> (ABNT, 2016) e conduzidas ao Laboratório de Solos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Roraima (UFRR) para armazenamento e beneficiamento. Nesta etapa, as amostras, inicialmente, passaram pelo processo de secagem prévia ao ar à sombra, sem exposição solar direta, até próximo da umidade higroscópica.

Feito isso, foram preparadas conforme recomendações da NBR 6457<sup>2</sup> (ABNT, 2016) passando pelas etapas de desagregação (de maneira que não houvesse quebra dos grãos), peneiramento, homogeneização e quarteamento até a obtenção de uma porção representativa e em quantidade suficiente para realização dos ensaios de caracterização física, químico-mineralógica e confecção dos corpos de prova para avaliação das propriedades físico-mecânicas.

---

<sup>1</sup> NBR 9604 (ABNT, 2016): Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento.

<sup>2</sup> NBR 6457 (ABNT, 2016): Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

Figura 2 - Perfil de solo e coleta realizada em Alto Alegre (a), Várzea Rio Branco (b), Várzea Rio Mucajaí (c) e Mucajaí (d).



Fonte: Autora (2018).



### 3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Este tópico trata do desenvolvimento dos ensaios que envolvem a caracterização física e químico-mineralógica de solos predominantemente argilosos, já que o objeto e recurso utilizado neste trabalho é a argila. As etapas de caracterização foram divididas em física e químico-mineralógica de maneira que se obtivesse relação destes com as propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova cerâmicos fabricados com a argila em estudo.

#### 3.3.1 Caracterização Física

Os ensaios de caracterização física consistiram na determinação do tamanho dos grãos (análise granulométrica), consistência (limites de Atterberg) e massa específica e foram realizados no Laboratório de Solos do curso de Engenharia Civil da UFRR. A obtenção destas características promove o entendimento do comportamento da argila como matéria prima na indústria de cerâmica vermelha no Estado de Roraima.

##### 3.3.1.1 Teor de umidade do solo

O teor de umidade define-se como a razão entre a massa de água e a massa das partículas sólidas em certo volume de solo e, para sua determinação, observou-se o procedimento descrito no Anexo A da norma NBR 6457 (ABNT, 2016) que recomenda que sejam efetuadas, no mínimo, três determinações do teor de umidade do material submetido à secagem em estufa à temperatura de 105°C por um período de 24 h. A aferição do teor de umidade foi contínua na execução dos ensaios de caracterização física do solo, sendo repetido para correção dos valores obtidos.

### 3.3.1.2 Análise Granulométrica

A metodologia do ensaio de análise granulométrica é normatizada pela NBR 7181<sup>3</sup> (ABNT, 2016), que combina técnicas de peneiramento, grosso e fino, e sedimentação do material analisado (Figuras 3, 4).

Figura 3 - Lavagem do solo submetido à análise granulométrica (a) e grãos provenientes do peneiramento grosso (b).



Fonte: Autora (2018).

Figura 4 - Realização da etapa de sedimentação da análise granulométrica: agitação manual da proveta (a) e repouso do material em um recipiente com água (b).



Fonte: Autora (2018).

Os solos foram classificados pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) apresentado por Braja (2014). Feito isso, classificou-se o material com relação ao seu

<sup>3</sup> NBR 7181 (ABNT, 2016): Solo – Análise granulométrica.

grau de intemperismo a partir da determinação da relação silte/argila (TEIXEIRA et al., 2017), sendo indicativos de intemperismo mais acentuado quando valores são inferiores a 0,70 em solos de textura média ou inferiores a 0,60 nos de textura argilosa ou muito argilosa (SANTOS; ZARONI, 2018).

### 3.3.1.3 Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg consistem em analisar alguns parâmetros no solo argiloso que são: limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade. A preparação das amostras para os ensaios seguiu a norma NBR 6457 (ABNT, 2016). Os ensaios são normatizados e suas metodologias são dadas pela NBR 6459<sup>4</sup> (ABNT, 2017) para limite de liquidez e NBR 7180<sup>5</sup> (ABNT, 2016) para limite e índice de plasticidade.

#### 3.3.1.3.1 Limite de Liquidez

A metodologia do ensaio de limite de liquidez ( $w_L$ ) é normatizada pela NBR 6459 (ABNT, 2017). A quantidade de amostra utilizada foi de cerca de 70 g do material passante na peneira de 425  $\mu\text{m}$ .

Figura 5 - Execução do ensaio de limite de liquidez no aparelho de Casa Grande.



Fonte: Autora (2018).

<sup>4</sup> NBR 6459 (ABNT, 2017): Solo – Determinação do limite de liquidez.

<sup>5</sup> NBR 7180 (ABNT, 2016): Solo – Determinação do limite de plasticidade.

O limite de liquidez de um solo é definido como o teor de umidade para o qual o solo passa do estado plástico para o líquido (TEIXEIRA et al., 2017) e é obtido através do fechamento de um sulco aberto no centro de uma massa de solo (CAPUTO; CAPUTO, 2015) colocada no aparelho de Casagrande (Figura 5). Foram realizadas duas determinações para obtenção e confirmação do valor do limite de liquidez.

### 3.3.1.3.2 Limite de Plasticidade

Para a determinação do limite de plasticidade ( $w_P$ ) tomou-se por base a norma NBR 7180 (ABNT, 2016).

Figura 6 - Execução do ensaio de limite de plasticidade do material argiloso: moldagem do cilindro (a); comparação com cilindro padrão (b) e cilindro de solo em cápsula metálica para determinação da umidade (c).



Fonte: Autora (2018).

Caputo e Caputo (2015) definem o limite de plasticidade como a porcentagem de umidade para a qual o solo passa do estado semissólido para o plástico, sendo possível moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro com 10 cm de comprimento admitindo-se seu fraturamento (Figura 6).

### 3.3.1.3.3 Índice de Plasticidade

O índice de plasticidade -  $I_P$  foi obtido a partir da Equação 1 conforme a NBR 7180 (ABNT, 2016) que relaciona os limites de liquidez ( $w_L$ ) plasticidade ( $w_P$ ), expressando-se o resultado em porcentagem.

$$I_P = w_L - w_P \quad \text{Equação 1}$$

Segundo Caputo e Caputo (2015), o  $I_P$  é uma propriedade básica dos solos, já que fornece o critério para ajuizamento de seu caráter argiloso, logo, quanto maior o  $I_P$  mais plástico será o solo em questão. A classificação de plasticidade de um solo é dada a partir do valor do  $I_P$  como fracamente plástico se  $1 < I_P < 7$ ; medianamente plástico se  $7 < I_P < 15$  e altamente plástico quando  $I_P > 15$ .

O índice de atividade da fração argila (A) é definido como o valor da atividade físico-química decorrente da carga superficial negativa da partícula sólida da fração fina do solo. Também foi determinado a partir da equação de *Skempton* (Equação 2), como mostrado abaixo. Segundo Pinto (2006), as argilas são classificadas conforme o seguinte critério: inativas quando  $A < 0,75$ ; normais quando  $0,75 < A < 1,25$  e ativas quando  $A > 1,25$ .

$$A = \frac{I_P}{\% < 0,002 \text{ mm}} \quad \text{Equação 2}$$

### 3.3.1.4 Massa Específica

A metodologia do ensaio é normatizada pela NBR 6508<sup>6</sup> (ABNT, 1984). A massa específica é obtida por meio do picnômetro (Figura 7).

---

<sup>6</sup> NBR 6508 (ABNT, 1984): Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica.

Figura 7 - Execução do ensaio de massa específica, retirada de vácuo do volume do balão.



Fonte: Autora (2018).

A amostra foi preparada conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016). O resultado foi obtido após a execução de dois ensaios satisfatórios, ou seja, quando os resultados não diferiram mais que  $0,02 \text{ g/cm}^3$  como prescreve a norma.

### 3.3.2 Caracterização Químico-mineralógica

A caracterização químico-mineralógica é apresentada conjuntamente dado que a composição química é produto da mineralogia de um solo. As argilas foram analisadas por ensaios de perda ao fogo para determinação da porcentagem de matéria perdida por calcinação, espectrometria por fluorescência de raios-X para identificação da composição química das amostras de solo e difratometria de raios-X.

#### 3.3.2.1 Perda ao fogo

A metodologia deste ensaio consiste na determinação da porcentagem de material eliminado por calcinação de uma massa pulverulenta a uma temperatura de  $1000^\circ\text{C}$  como

recomendado por Souza Santos (1989). Confeccionou-se uma esfera de, aproximadamente, 6 g (Figura 8) com solo passante na peneira de 0,075 mm, seco em estufa por um período de 24 h a uma temperatura de 105°C.

Figura 8 - Esferas após calcinação em forno tipo Mufla: determinação da perda ao fogo.



Fonte: Autora (2018).

Após a secagem, anotou-se a massa seca ( $m_s$ ) de cada esfera, sendo submetidas à queima em forno elétrico tipo Mufla (KK 260, LINN HIGH THERM) a uma temperatura de 1000°C à taxa de 2°C/min e patamar de queima de 120 min e resfriamento por convecção natural. Logo depois, pesou-se novamente cada esfera obtendo-se então a massa de queima ( $m_q$ ). A perda ao fogo ( $P_F$ ), em porcentagem, é calculada, segundo Souza Santos (1989) através da diferença das massas (Equação 3).

$$P_F = \frac{m_s - m_q}{m_q} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

### 3.3.2.2 Espectrometria de fluorescência de raios-X

A análise química de um solo argiloso fornece as composições de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO e MgO. Para a determinação da composição química através de

espectrometria de fluorescência de raios-X utilizou-se solo passante na peneira de 0,075 mm seco e em pó.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio Físico-Químicos (Figura 9) da Faculdade de Tecnologia da UFAM em um espectrofotômetro (EPSILON 3 XL, *Panalytical*), por energia dispersiva, operando com gás Hélio em pressão de 10 atm, tensão de 50 kV e corrente máxima de 3mA. Para a realização deste ensaio, o material já possuía dados de umidade e perda ao fogo mensurados.

Figura 9 - Espectrofotômetro de fluorescência de raios-X.



Fonte: Autora (2018).

Com os dados obtidos, foi possível ainda calcular os índices de reações moleculares entre sílica e alumínio -  $K_i$  e entre sílica (Equação 4), sesquióxidos de ferro e alumínio  $K_r$  (Equação 5), conforme Teixeira et al. (2017) que determinam que estes valores podem servir como parâmetro de medida do grau de intemperismo do solo em questão, ou seja, a intensidade de decomposição da fração argila.

$$K_i = \frac{SiO_2 \times 1,70}{Al_2O_3} \quad \text{Equação 4}$$

$$K_r = \frac{SiO_2/0,60}{Al_2O_3/1,02 + Fe_2O_3/1,60} \quad \text{Equação 5}$$

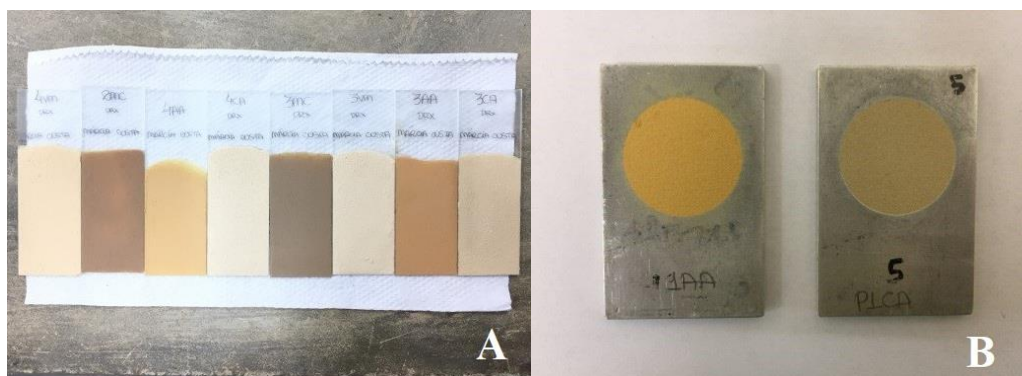


Teixeira et al. (2017) apontam que quando  $K_i < 2$  maior será a solubilização e saída de sílica do sistema solo, já quando este coeficiente é maior,  $K_i > 2$ , menor será o coeficiente de intemperização da amostra. Em alguns casos, o aumento no  $K_i$  é causa provável da presença de minerais 2:1, porém altos teores de areia fina e silte também elevam o valor. Da mesma forma,  $K_r$  é menor quanto mais intemperizado for o solo e valores de  $K_r > 0,75$  classificam o solo com caráter predominantemente caulínítico.

### 3.3.2.3 Difratometria de raios-X

Para este ensaio decidiu-se pela utilização de duas frações: total e fina. Para a preparação da fração fina (Figura 10a) seguiu-se o Método Físico 25 do Manual de Métodos de Análise de Solo proposto por Teixeira et al. (2017). Para o ensaio de fração total empregou-se solo seco passante na peneira com malha de 0,075 mm, montado em porta amostra do tipo “janela” (Figura 10b). Esta fração foi utilizada para a identificação de minerais não planares, como quartzo, feldspato, óxidos cristalinos de ferro e alumínio.

Figura 10 - Preparação das frações fina (a) e total (b) de solo para DRX.



Fonte: Autora (2018).

O ensaio foi realizado no Laboratório de Física da UFRR em um difratômetro (XRD 6000, Shimadzu) sob as seguintes condições: Radiação  $\text{CuK}\alpha$  (40 kV/30 mA) e velocidade do goniômetro de  $2^\circ\text{C}/\text{min}$  e passo de  $0,02^\circ$  na faixa de 5 a  $60^\circ$ . A análise das fases minerais foi realizada através de comparação com as cartas padrões do sistema JCPDS do *International Centre for Diffraction Data* (ICDD).

### 3.3.3 Confeção dos corpos de prova

A massa cerâmica foi preparada a partir de solo fino ( $< 0,075$  mm), umedecida com 7% de água, em seguida peneirada na peneira de 1,00 mm (Figura 11a) e armazenada em um recipiente para repouso por 24 h. Após esse período, a massa cerâmica foi pesada e colocada em uma matriz de aço (Figura 11b) para confecção dos corpos de prova por prensagem de 32 MPa (Figura 11c) em uma prensa hidráulica (MPH-15, Marcon) em um formato retangular com dimensões de 6,00 cm de comprimento, 2,00 cm de largura e 0,70 cm de altura (Figura 11d).

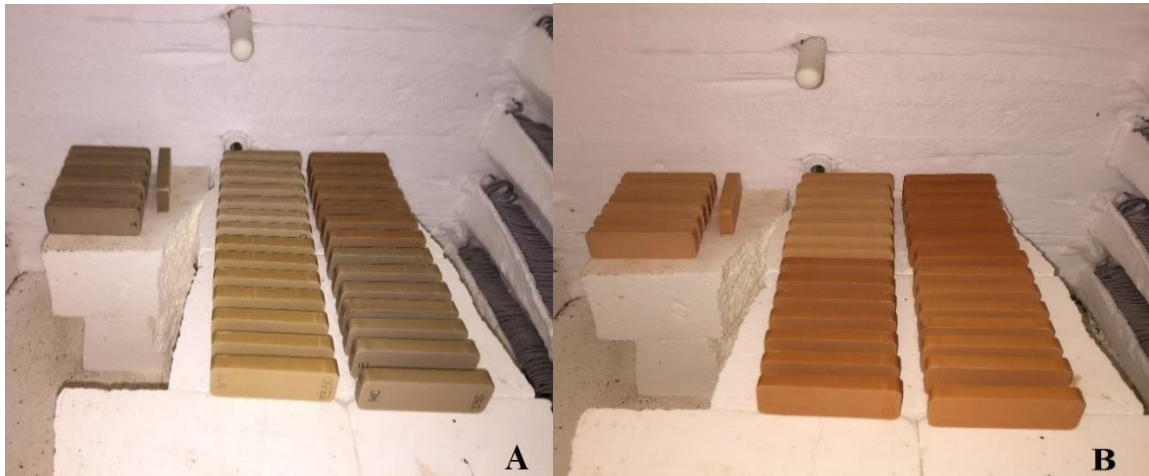
Figura 11 - Etapas da confecção de corpo de prova cerâmico: peneiramento da massa (a), posicionamento da massa na matriz (b), prensagem do CP (c) e CP confeccionado (d).



Fonte: Autora (2018).

Utilizou-se o critério de aceitação visual dos corpos de prova, o qual solicitava que os mesmos estivessem identificados, isentos de defeitos, sem rebarbas e armazenados em um ambiente que garantisse a preservação de suas características. Todas essas etapas foram realizadas no Complexo Laboratorial de Engenharia de Materiais do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Figura 12 - Corpos de prova antes (a) e após queima em forno tipo Mufla (b).



Fonte: Autora (2018).

Promoveu-se a secagem dos corpos de prova em estufa a uma temperatura de, aproximadamente, 105°C até constância de massa. Feito isso procedeu-se à queima (Figura 12) em forno elétrico tipo Mufla (KK 260, LINN HIGH THERM) em temperaturas de 850, 900 e 950°C à uma taxa de aquecimento de 7°C/min e patamar de queima de 120 min com resfriamento por convecção natural.

### 3.3.4 Ensaios Físico-mecânicos

Este tópico trata dos ensaios que envolvem a caracterização físico-mecânica das argilas a partir da fabricação de corpos de prova cerâmicos submetidos às mesmas condições de conformação das massas argilosas, secagem, queima em temperaturas de 850, 900 e 950°C, e ensaios físico-mecânicos: retração linear, absorção de água, porosidade, carga de ruptura à flexão simples em três pontos e massa específica aparente. Essas propriedades foram determinadas a partir da média de seis ensaios utilizando valores com dois algarismos significativos.

### 3.3.4.1 Retração Linear

A retração linear ( $R_L$ ) é a medida da porcentagem da variação dimensional linear do corpo de prova (CP) antes e após o processo de queima (Figura 13).

Figura 13 - Medição do CP antes e após a queima.



Fonte: Autora (2018).

O comprimento do corpo de prova foi tomado individualmente logo após secagem em estufa por 24 h em uma temperatura de 105°C, obtendo-se o comprimento seco ( $L_0$ ), e após queima em forno tipo mufla nas temperaturas determinadas para a execução deste projeto, anotando-se o comprimento após queima ( $L_q$ ). Utilizou-se um paquímetro (1205-150S, INSIZE) com precisão de 0,05 mm. Dessa forma, a retração linear foi calculada pela Equação 6, segundo Souza Santos (1989).

$$R_L = \frac{L_0 - L_q}{L_q} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Para a fabricação de blocos cerâmicos, de acordo com a NBR 15270-2<sup>7</sup> (ABNT, 2005), a variação dimensional é tolerável em  $\pm 3$  mm. Já para telhas cerâmicas, segundo a NBR 15310<sup>8</sup> (ABNT, 2005) admite-se retração linear de  $\pm 2\%$  de suas dimensões.

<sup>7</sup> NBR 15270-2 (ABNT, 2005): Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos.

<sup>8</sup> NBR 15310 (NBR, 2005): Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.

### 3.3.4.2 Absorção de Água

Este ensaio permite medir a porcentagem de água absorvida pelo corpo de prova após a queima. A metodologia do ensaio de absorção de água ( $A_A$ ) consiste em obter a massa do corpo de prova após o processo de queima ( $m_q$ ) e, em seguida, submetê-lo à imersão e fervura em água deionizada em banho Maria a uma temperatura de 100°C por um período de 2 h (Figura 14), e resfriamento lento com substituição da água quente por água em temperatura ambiente. Após resfriamento, o CP foi retirado do recipiente de imersão, sendo removido o excesso de água superficial com o auxílio de um pano limpo e úmido. Pesou-se o CP, anotando sua massa úmida ( $m_u$ ). A porcentagem de absorção de água foi obtida através da Equação 7, segundo Souza Santos (1989).

$$A_A = \frac{m_u - m_q}{m_q} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Figura 14 - Execução do ensaio de absorção de água com imersão dos corpos de prova em banho Maria com temperatura de aquecimento de 100°C.



Fonte: Autora (2018).

O índice de absorção de água ( $AA$ ) para blocos cerâmicos, de acordo com as normas NBR 15270-1<sup>9</sup> (ABNT, 2005) e NBR 15270-2 (ABNT, 2005), deve estar compreendido

<sup>9</sup> NBR 15270-1 (ABNT, 2005): Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.

dentro do intervalo  $8\% \leq A_A \leq 22\%$ . Para telhas, o limite máximo admissível é de 20% (ABNT, 2005).

### 3.3.4.3 Massa Específica Aparente

A execução do ensaio para obtenção da massa específica aparente - MEA do corpo de prova é simples. Para esta determinação é necessário que seja tomada a massa imersa -  $m_i$  do corpo de prova que é obtida em uma balança (Figura 15).

Figura 15 - Medida da massa imersa do corpo de prova.



Fonte: Autora (2018).

Como a massa específica é dada pela relação entre a massa do corpo de prova e o volume ocupado por ele, basta utilizar a Equação 8, segundo Souza Santos (1989), para obtenção de seu valor em  $\text{g/cm}^3$ .

$$MEA = \frac{m_q}{m_u - m_i}$$

Equação 8

#### 3.3.4.4 Porosidade Aparente

A porosidade aparente ( $P_A$ ) se refere à porcentagem do volume de poros abertos no corpo de prova. É avaliada através do princípio de Arquimedes<sup>10</sup> utilizando a água como fluido imersor e é calculada pela Equação 9, segundo Souza Santos (1989).

$$P_A = \frac{m_u - m_q}{m_u - m_i} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

#### 3.3.4.5 Resistência à flexão

O ensaio de tensão de ruptura à flexão tem o objetivo de simular situações genéricas que causem tensões nas peças cerâmicas nas atividades de transporte, no uso, na construção e manutenção. É uma ferramenta muito eficaz no momento de inferir se uma massa argilosa, após a queima, é capaz de suportar cargas. Isso é o que admitimos, além das características físicas, como fator primordial para o controle de qualidade de um produto.

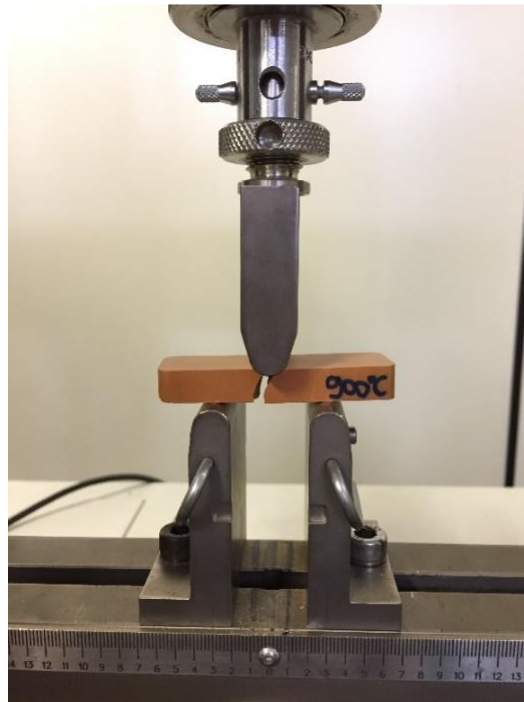
Para a execução do ensaio de resistência à flexão em três pontos utilizou-se uma máquina universal de ensaios mecânicos (3367, INSTRON) com célula de carga de 30 kN (Figura 16). O corpo de prova foi apoiado por suas extremidades e uma carga central e pontual (F) foi aplicada com velocidade de 0,50 mm/min. Calculou-se o valor da resistência à flexão do corpo de prova, em MPa, utilizando-se a Equação 10, segundo Souza Santos (1989).

$$R_f = \frac{3 \times F \times L}{2 \times a \times b^2} \quad \text{Equação 10}$$

---

<sup>10</sup>O princípio de Arquimedes enuncia que “todo corpo completa ou parcialmente mergulhado em um fluido experimenta uma força de flutuação (empuxo) para cima, cujo valor é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo”. (SERWAY; JUNIOR, 2014, p. 522).

Figura 16 - Rompimento de corpo de prova cerâmico por aplicação de uma carga pontual: ensaio de resistência à flexão.



Fonte: Autora (2018).

Na Equação 10, “F” é a carga de ruptura à flexão do corpo de prova, em N, já os valores de L, a e b correspondem, respectivamente à distância entre os apoios das extremidades do corpo de prova, largura do corpo de prova e altura do corpo de prova, ambas tomados em mm. Utilizou-se, para escolha dos pontos de exploração, o critério dos mínimos valores de tensão de ruptura à flexão recomendados por Souza Santos (1989), sendo 5,50 MPa para blocos e 6,50 MPa para telhas cerâmicas.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussões deste trabalho estão subdivididos em tópicos de análises física, química e mineralógica e das amostras de solo coletadas e físico-mecânica e corpos dos prova confeccionados com as mesmas.

### 4.1 CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS

A classificação das amostras de solos (Tabela 1), foi realizada, previamente, em campo de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) proposto por Santos et al. (2014) e, confirmada em laboratório a partir de propriedades detectadas através do manuseio, como por exemplo: cor, textura, estrutura, porosidade, consistência e transição de horizontes e camadas.

Tabela 1 - Classificação das amostras de solo pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS.

Nomenclatura	Município	Classificação do Solo SiBCS
AA	Alto Alegre	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico.
MC	Mucajaí	PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico.
CA	Várzea do Rio Branco (Cantá)	NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distófico gleissólico.
VM	Várzea do Rio Mucajaí (Mucajaí)	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico plúntico.

Fonte: Autora (2018).

Legenda: **AA** - Amostra de Alto Alegre; **CA** - Amostra da várzea do Rio Branco, no município do Cantá; **MC** - Amostra de Mucajaí; **VM** - Amostra coletada no limite entre os municípios de Mucajaí e Alto Alegre, na várzea do Rio Mucajaí.

O horizonte diagnóstico utilizado para coleta de material foi o B, por apresentar-se mais consolidado e livre de lixiviação, a partir da profundidade de 50 cm e após limpeza de resíduos provenientes da camada orgânica de cada local.

## 4.2 ANÁLISE FÍSICA

A análise física consistiu na avaliação dos resultados da caracterização física das amostras de solo que se divide em massa específica, granulometria e limites de Atterberg.

### 4.2.1 Massa Específica

A obtenção dos resultados do ensaio de massa específica (Tabela 2) das amostras é essencial para o cálculo do ensaio de sedimentação da análise granulométrica das amostras.

Tabela 2 - Massa específica das amostras de solo obtidas segundo o método da NBR 6508 (ABNT, 1984).

<b>Amostra</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>AA</b>	2,644
<b>VM</b>	2,654
<b>MC</b>	2,639
<b>CA</b>	2,658

Fonte: Autora (2018).

Os valores de massa específica das amostras estiveram bem próximos e dentro de um único intervalo, sendo reflexo da mineralogia do solo, predominantemente caulínico e da quantidade de ferro obtida na análise química como observado por Caputo e Caputo (2016).

#### 4.2.2 Análise Granulométrica

A análise granulométrica (Tabela 3) determinou que a fração fina, silte e argila, é a que predomina na composição de grãos de todas as amostras. Observou-se que, na amostra AA (Figura 17), a fração argila foi de 52,40%, silte de 7,80%. Já a amostra MC (Figura 19) possui 41,60% de argila e 10,70% de silte. A amostra VM (Figura 18) apresentou teor de argila de 75,70% e silte de 22,30%. Enquanto a amostra CA (Figura 20), contém porcentagens de argila de 58,50% e silte de 41,00%.

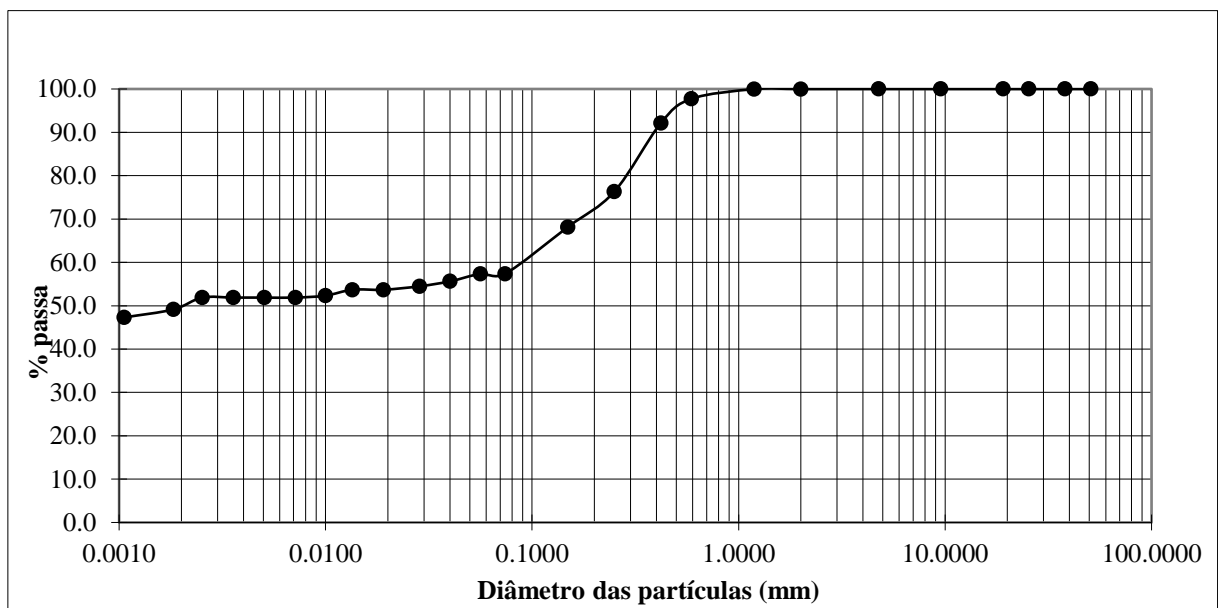
Tabela 3 - Resumo da análise granulométrica das amostras.

Amostra	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Silte + Argila (%)	Relação silte/argila	Classificação SUCS
AA	0,00	39,80	7,80	52,40	60,20	0,15	CL
VM	0,40	1,60	22,30	75,70	98,00	0,30	CH
MC	1,10	46,60	10,70	41,60	52,30	0,30	CL-ML
CA	0,00	0,50	41,00	58,50	99,50	0,70	CL

Fonte: Autora (2018).

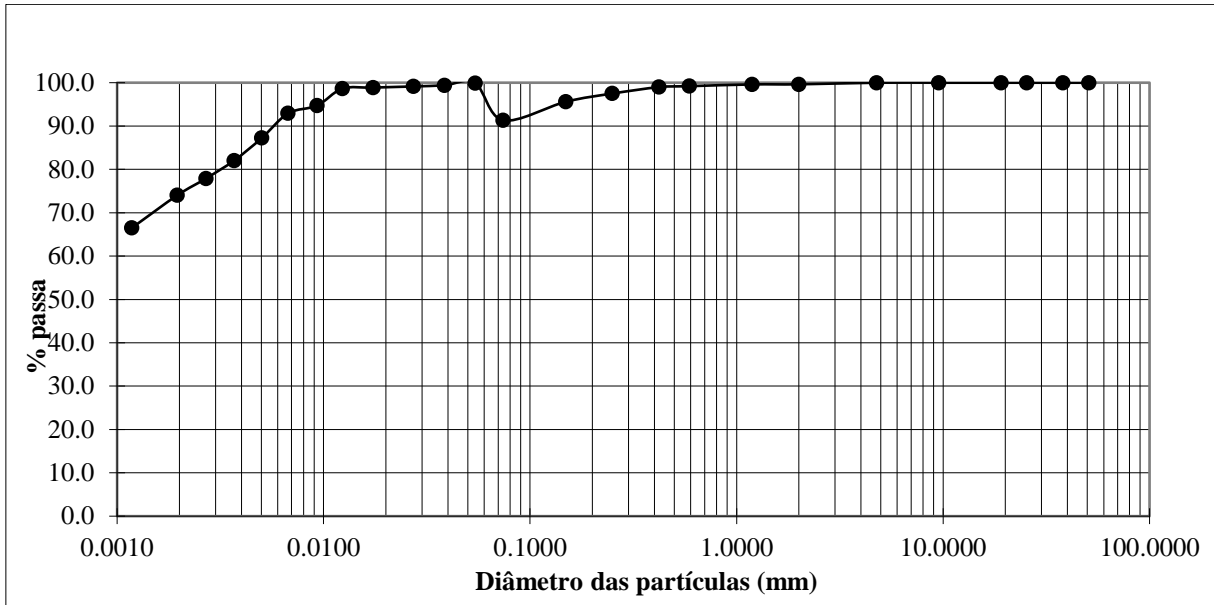
Legenda: **CH** – Argila de alta plasticidade; **CL** – Argila de baixa plasticidade; **CL-ML** – Argila siltosa.

Figura 17 - Curva granulométrica do solo coletado em Alto Alegre (AA).



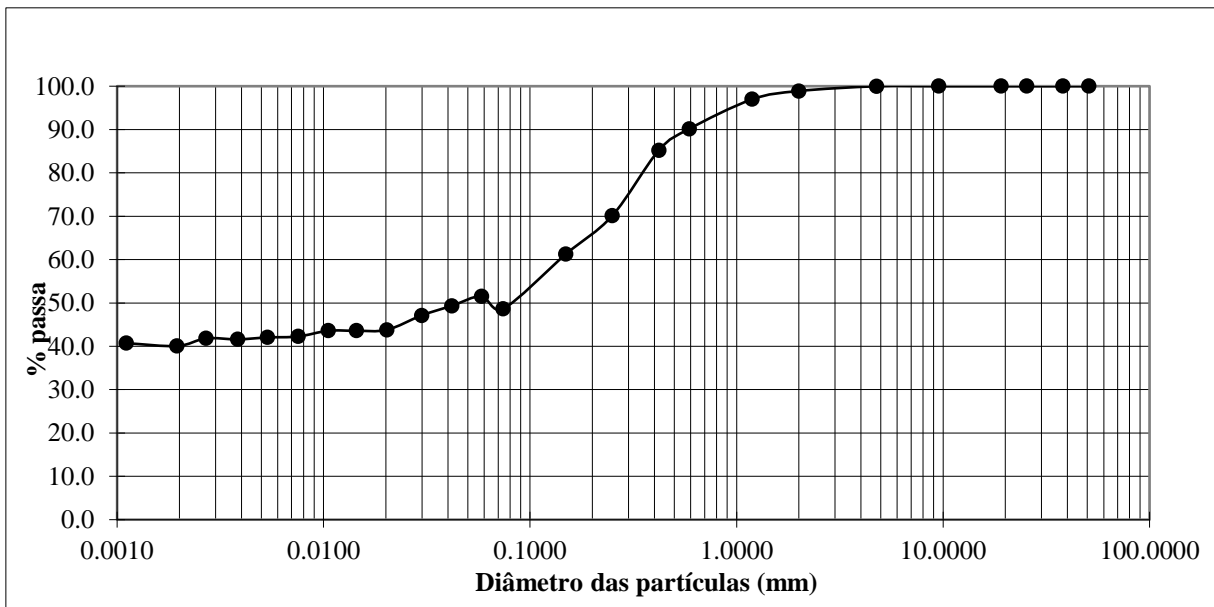
Fonte: Autora (2018).

Figura 18 - Curva granulométrica do solo coletado na várzea do Rio Mucajá (VM).



Fonte: Autora (2018).

Figura 19 - Curva granulométrica do solo coletado em Mucajá (MC).

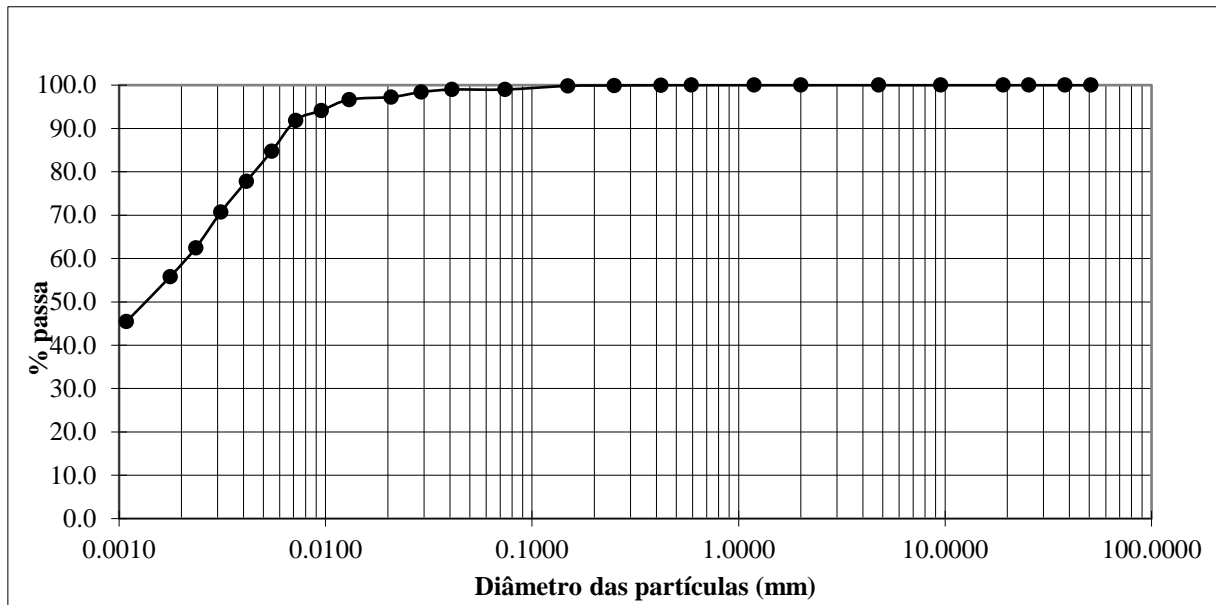


Fonte: Autora (2018).

Todas as amostras assemelham-se granulometricamente com distribuição dos grãos selecionada e soma das frações de silte e argila maior que 50%. Assim, todas são classificadas, segundo a SUCS, como solos finos, sendo que a fração correspondente à argila (partículas menores que 0,002 mm) é a que conferirá à massa cerâmica a característica

plástica, ditando a possibilidade de conformação dos corpos de prova cerâmicos (COUTINHO; VIEIRA, 2016).

Figura 20 - Curva granulométrica do solo coletado no Cantá (CA).



Fonte: Autora (2018).

Outro parâmetro a ser destacado da análise granulométrica é a relação silte/argila (Tabela 3), que é utilizada como indicativo do grau de intemperismo do solo e pode responder possíveis alterações nos limites de consistência do mesmo (TEIXEIRA et al., 2017). Todas as amostras apresentaram grau de intemperismo elevado.

#### 4.2.3 Limites de Atterberg

Os resultados dos ensaios de limite de liquidez e plasticidade e valor do índice de plasticidade estão resumidos na Tabela 4. Os gráficos contendo os dados obtidos no ensaio de limite de liquidez de cada amostra podem ser consultados no Apêndice B. Com relação à atividade da fração argila, todas as amostras são inertes pois  $A < 0,75$ . Isso comprova os resultados de DRX que mostra a caulinita como principal argilomineral formador das amostras.

Tabela 4 - Limites de Atterberg ( $w_L$ ), plasticidade ( $w_P$ ) e índice de atividade (AA) das amostras de solo.

<b>Amostra</b>	<b><math>w_L</math> (%)</b>	<b><math>w_P</math> (%)</b>	<b><math>I_P</math> (%)</b>	<b>A</b>
<b>AA</b>	38,37	30,46	7,91	0,15
<b>VM</b>	65,24	44,67	20,57	0,27
<b>MC</b>	24,86	18,63	6,23	0,15
<b>CA</b>	43,93	30,61	13,31	0,23

Fonte: Autora (2018).

Na amostra do município de Alto Alegre (AA), os limites  $w_L$  e  $w_P$ , respectivamente, foram de 38,37% e 30,46%, com  $I_P$  de 7,91%, sendo classificada como medianamente plástica, pois o índice de plasticidade se encontra dentro do intervalo  $7 < I_P < 15$ . A amostra do município de Mucajaí (MC) possui  $w_L$  de 24,86% e  $w_P$  de 18,63%, com  $I_P$  de 6,23% e é categorizada como fracamente plástica por possuir  $I_P < 7$ .

A amostra da várzea do Rio Mucajaí (VM) apresentou limites  $w_L$  de 65,24% e  $w_P$  de 44,67%, possuindo valor de  $I_P$  igual a 20,67 e caracterizada como altamente plástica por possuir  $I_P > 15$ . A amostra da várzea do Rio Branco (CA) contém  $w_L$  igual a 43,93% e  $w_P$  de 30,61%, com  $I_P$  de 13,31%, logo possui plasticidade média pois  $7 < I_P < 15$ .

Os resultados obtidos são reflexo da influência da granulometria das amostras e assim se confirma a observação de Figueiredo et al. (2018) de que a distribuição dos grãos altera o empacotamento das partículas no estado verde e responde pela variação dos limites de consistência das amostras. A análise permite observar que para a amostra VM, altamente plástica, pode-se indicar, segundo Silva et al. (2017), a mistura com as demais argilas, principalmente com a amostra MC, fracamente plástica, para a conformação da massa cerâmica. Contudo, para que não houvesse fuga dos objetivos deste trabalho, optou-se por não realizar combinações de formulação de massas.

### 4.3 ANÁLISE QUÍMICO-MINERALÓGICA

Os resultados obtidos da espectrofotometria de fluorescência de raios-X (FRX), já considerando o valor de perda ao fogo das amostras, estão resumidos na Tabela 5. A análise química revelou que todas as amostras são constituídas, principalmente, de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Isso é coerente, pois se trata de materiais argilosos e siltosos, como comprovado pela difratometria de raios-X, que mostra que todas as argilas apresentaram as fases cristalinas de caulinita (K) e quartzo (Q) que são formadores dos óxidos encontrados.

As argilas sedimentares, VM e CA, são acompanhadas de porcentagens de óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e de magnésio ( $\text{MgO}$ ), enquanto as residuais (AA e MC) possuem óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e de cálcio ( $\text{CaO}$ ), o que é relevante para o estudo, pois estes materiais atuam como fundentes, aumentando a refratariedade (CARTAXO et al., 2016) e contribuindo para a diminuição de defeitos físicos das peças cerâmicas (SOUZA SANTOS, 1989).

Tabela 5 - Porcentagem em massa da composição química das amostras de solo.

Amostra	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	Outros	Ki	Kr
AA	53,101	31,205	12,499	0,093	1,255	0,235	aus.	0,950	0,662	2,89	2,30
VM	45,423	31,198	18,544	2,234	1,246	aus.	0,108	0,830	0,417	2,48	1,79
MC	49,199	32,239	14,494	0,204	2,020	0,230	aus.	0,824	0,790	2,59	2,02
CA	64,965	21,999	7,705	3,383	0,791	aus.	0,084	0,765	0,308	5,02	4,10

Fonte: Autora (2018).

Legenda: aus. – Ausente.

A predominância de  $\text{SiO}_2$  nas amostras é respondida pela presença de minerais silicatados (argilominerais, micas e feldspatos) e sílica livre nas amostras (MEDEIROS et al., 2017) e sua presença elevada no solo auxilia na redução da retração linear da massa cerâmica. Sendo as amostras formadas, principalmente, por caulinita, argilomineral mais rico em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e agente responsável pela plasticidade (SANTOS et al., 2016), como confirmam os resultados de DRX, esperava-se que apresentassem um teor considerável de alumina.

Todas as amostras são classificadas como sílico-aluminosas por possuir  $\text{Al}_2\text{O}_3 < 46\%$ . O  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é o terceiro componente de maior quantidade nas amostras, sendo este responsável pela variação das cores das peças cerâmicas fabricadas, apresentando tendência de intensidade da cor vermelha conforme este percentual aumenta (SOUZA SANTOS, 1989).

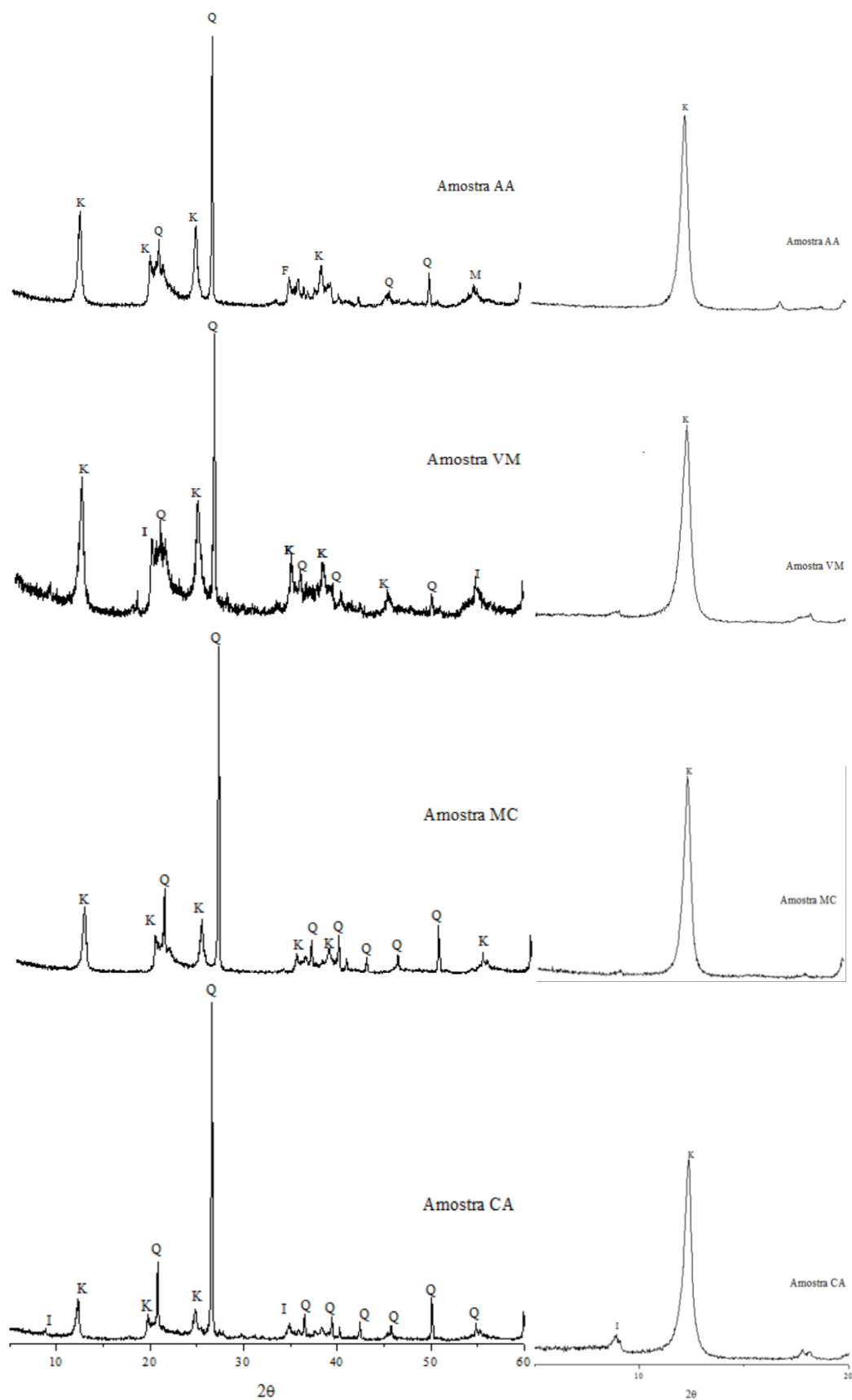
Os óxidos CaO e MgO apresentam-se em quantidades mínimas ou ausentes nas amostras. Nas argilas residuais AA e MC é encontrado CaO, o que confirma a presença de carbonatos. As amostras de argilas sedimentares, VM e CA, contém MgO. Isso explica o alto poder refratário das argilas, o que favorece o processo de sinterização, transformando a fase líquida da massa cerâmica e atuando na diminuição da refratariedade das argilas (SILVA et al., 2017). Os índices de intemperismo demonstram que as amostras se encontram em um baixo estágio de intemperização pois  $K_i > 2$ . O  $K_r > 0,75$  classifica as argilas com caráter predominantemente caulínico (TEIXEIRA et al., 2017), o que também já era esperado devido aos resultados do DRX.

A difratometria de raios-X (Figura 21) mostra que todas as argilas apresentaram as fases cristalinas da caulinita (K) e quartzo (Q). A amostra AA exibiu pico de mica (M) e feldspato (F), VM possui fase característica da illita (I), o que foi ratificado com a difração da amostra glicosilada.

Os resultados da difração de raios-X da fração fina, preparada por saturação com etilenoglicol (Figura 21 à direita), foram utilizados visando a confirmação da presença de montmorilonita nas amostras de solo, porém não houve deslocamento da distância interplanar entre picos na região de  $5^\circ$  a  $20^\circ$ , logo nenhuma amostra possui fase característica deste argilomineral (OLIVEIRA et al., 2017).



Figura 21 - DRX das amostras de solo da fração total (esquerda) e da fração fina (direita).



Fonte: Autora (2018).

#### 4.4 ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA

O resumo dos resultados da análise físico-mecânica dos corpos de prova cerâmicos está na Tabela 6. Decidiu-se pela inserção de gráficos que melhorassem o entendimento desses resultados.

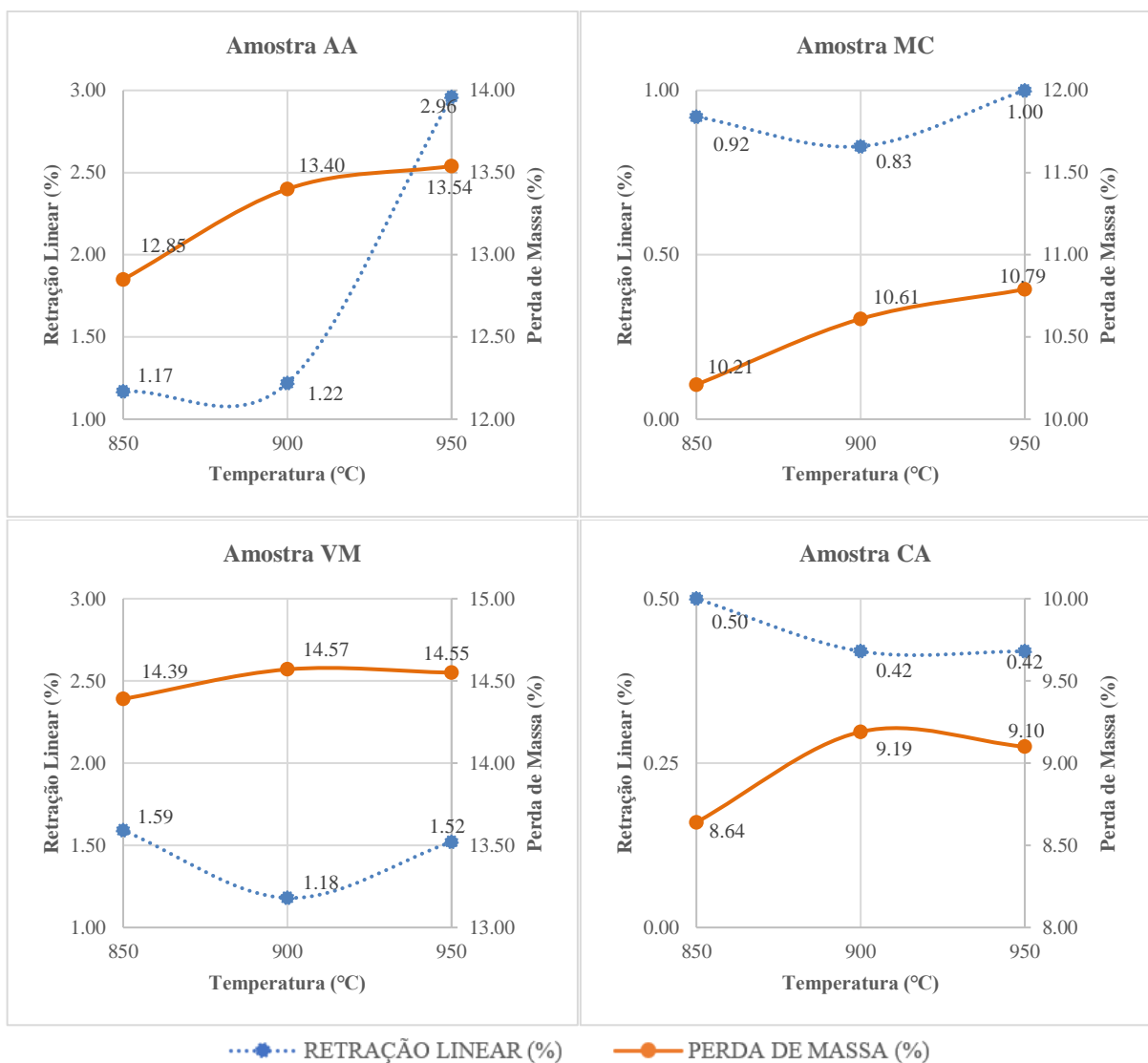
Tabela 6 - Resumo da análise físico-mecânica dos corpos de prova cerâmicos.

<b>Amostra</b>	<b>Temperatura de queima (°C)</b>	<b>Perda de massa (%)</b>	<b>Retração linear (%)</b>	<b>Absorção de água (%)</b>	<b>Massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade aparente (%)</b>	<b>Tensão de ruptura à flexão (MPa)</b>
<b>AA</b>	950	13,54	2,96	24,79	1,59	39,11	4,88
	900	13,40	1,22	25,56	1,55	39,86	4,44
	850	12,85	1,17	25,34	1,54	39,34	3,38
<b>VM</b>	950	14,55	1,52	23,80	1,62	37,83	18,11
	900	14,57	1,18	24,78	1,58	39,30	17,40
	850	14,39	1,59	24,73	1,57	38,15	13,56
<b>MC</b>	950	10,79	1,00	22,32	1,54	34,96	5,28
	900	10,61	0,83	21,96	1,57	35,11	4,36
	850	10,21	0,92	21,59	1,55	33,15	4,21
<b>CA</b>	950	9,10	0,42	18,22	1,66	31,86	19,20
	900	9,19	0,42	18,40	1,71	30,95	18,40
	850	8,64	0,50	17,39	1,71	29,59	14,39

Fonte: Autora (2018).

Quanto à retração linear e perda de massa (Figura 22) observou-se que são diretamente proporcionais ao aumento da temperatura de queima dos CPs para todas as argilas, com exceção de CA que exibiu diminuição e estabilização do valor conforme se elevava a temperatura. Com base na análise química, esse comportamento pode ser explicado pela maior porcentagem de SiO<sub>2</sub> em CA em relação às demais amostras. Tal comportamento também fora constatado pelos estudos de Souza Santos (1989).

Figura 22 - Relação da temperatura com a retração linear e a perda de massa dos corpos de prova cerâmicos.

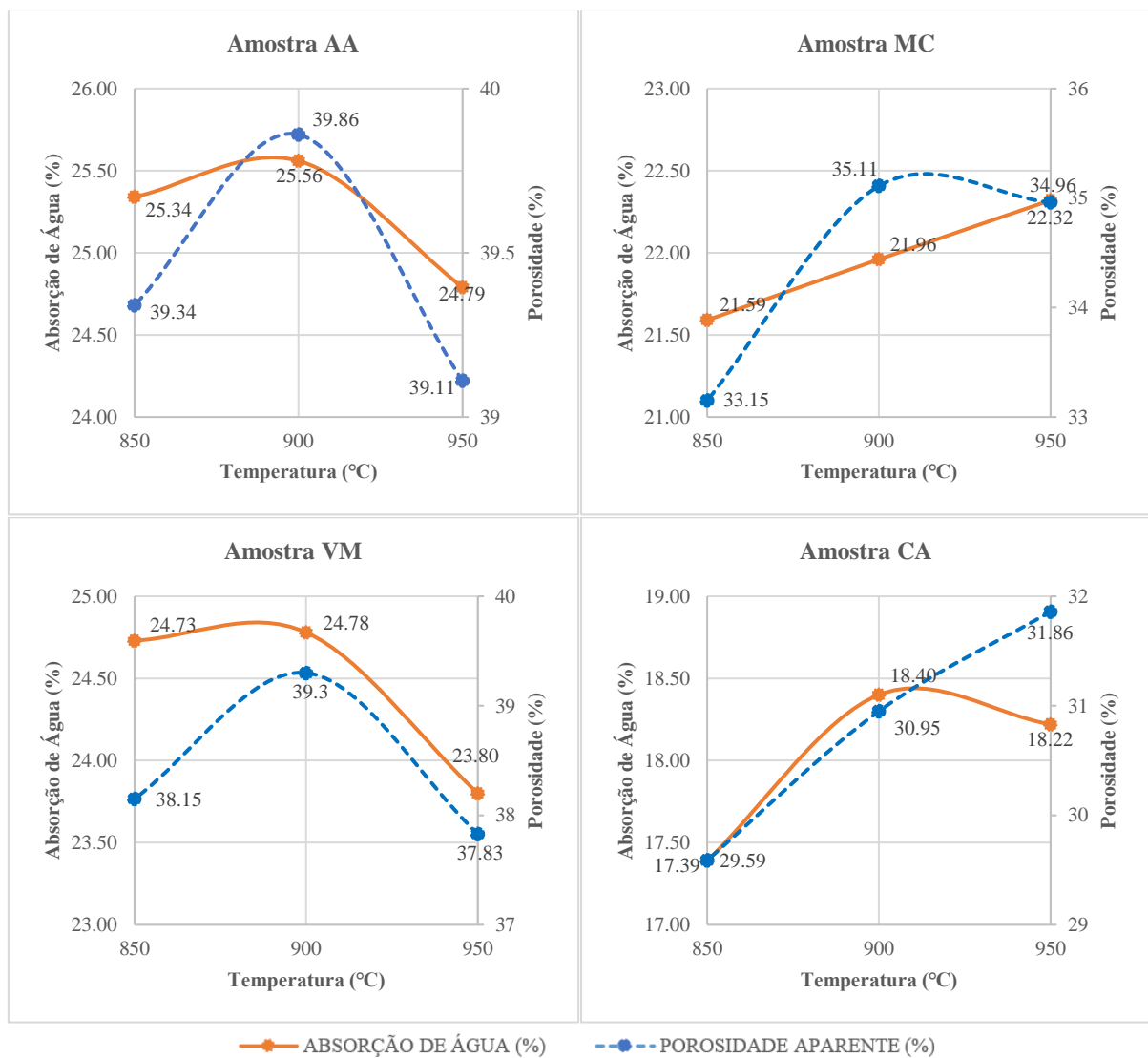


Fonte: Autora (2018).

Quanto à absorção de água (Figura 23) das amostras AA e VM, com o acréscimo da temperatura, apresentou redução, são valores altos se comparados com a absorção de água das

amostras MC e CA que se mostram com um padrão diferente, ou seja, AA sofre adição quando a temperatura sobe. A absorção das amostras AA e VM pode ser justificada a partir da combinação das porcentagens de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$  dessas amostras (Tabela 5), que atuam como fundentes e conferem à peça cerâmica o fechamento dos poros finos por onde penetraria água, afetando significativamente a absorção de água, como observado por Medeiros et al. (2017) e Cartaxo et al. (2016). A porosidade das amostras se relaciona à absorção de água e apresenta um desempenho único e diretamente proporcional em todas as amostras.

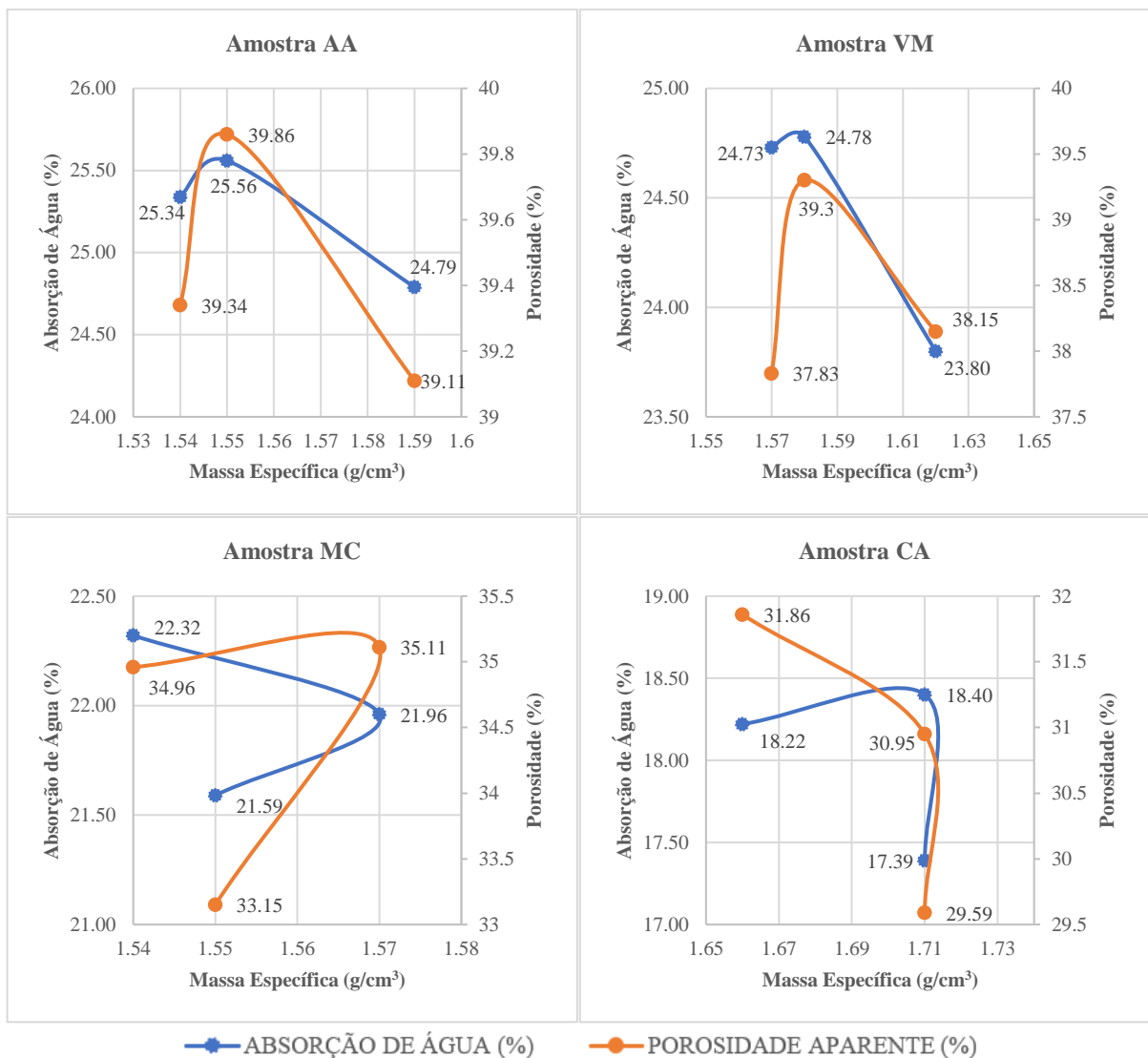
Figura 23 - Relação da temperatura com a absorção de água e a porosidade dos corpos de prova cerâmicos.



Fonte: Autora (2018).

A massa específica aparente (MEA) se relaciona diretamente com a absorção e a porosidades dos CPs (Figura 24), constatando-se que quanto maior for a MEA, menores serão os valores de absorção e porosidade dos CPs. Santos et al. (2016) explicam que essa é uma das características oriundas da formação da fase líquida durante o processo de queima, que promove o acréscimo do adensamento do corpo cerâmico aumentando a aproximação entre suas partículas.

Figura 24 - Relação da massa específica aparente com a absorção de água e a porosidade dos corpos de prova cerâmico.

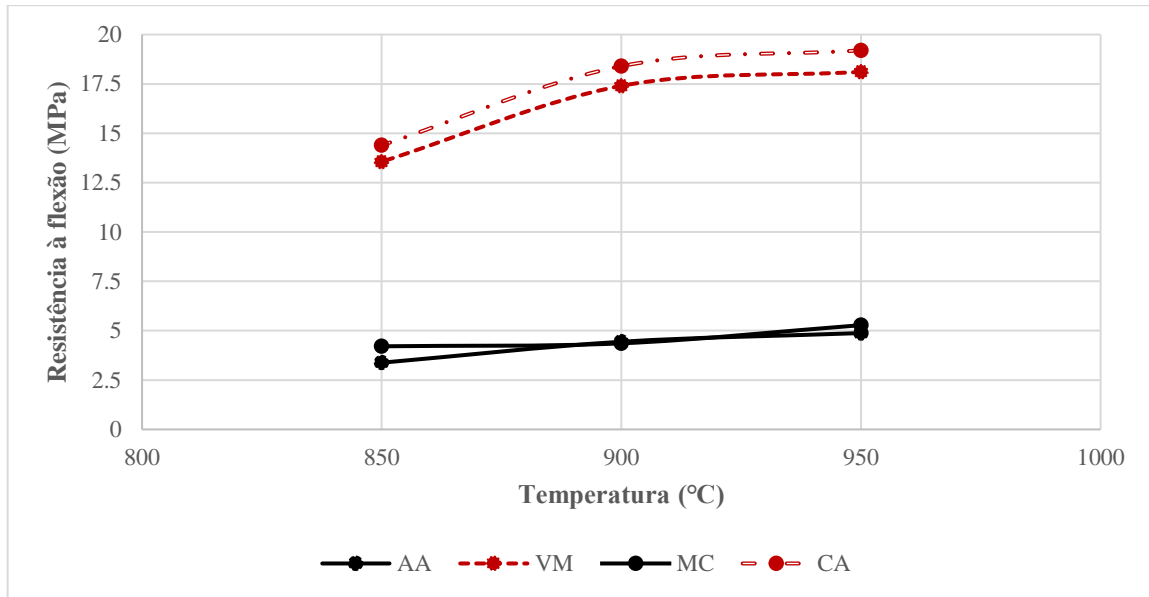


Fonte: Autora (2018).

Para todos os CPs, observou-se um aumento da resistência conforme se elevava a temperatura, sendo que os melhores resultados encontrados são para as argilas sedimentares

VM e CA (Figura 25). Segundo observado por Figueiredo et al. (2018), a explicação desse fato se deve ao empacotamento das partículas, que por si é função da granulometria, o qual, juntamente à maior quantidade de SiO<sub>2</sub> e menor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, favorece o comportamento mecânico das peças cerâmicas (MEDEIROS et al., 2017).

Figura 25 - Tensão de ruptura à flexão em função da temperatura de queima.



Fonte: Autora (2018).

Com base no critério dos mínimos valores, proposto por Souza Santos (1989), que diz que a resistência mínima aceitável para fabricação de blocos é de 5,50 MPa e de 6,50 MPa para telhas cerâmicas, apenas os CPs confeccionados com argilas sedimentares, VM e CA, são inicialmente aceitáveis como matéria prima na indústria de cerâmica vermelha, tanto para telhas quanto para blocos. Contudo, por questões de critérios normativos, para a variável absorção de água, que é de até 22% para blocos (ABNT, 2017) e 20% para telhas (ABNT, 2009), apenas a amostra CA, com A<sub>A</sub> igual a 18%, será enquadrada como matéria prima satisfatória para fabricação de blocos e telhas cerâmicas.

É importante ressaltar que a localização da jazida de argila sedimentar aluvial CA é, atualmente, explorada pelas empresas ceramistas da capital Boa Vista e por produtores artesãos de blocos cerâmicos no município do Cantá. Medeiros et al. (2017), ao explorar parâmetros de expansão por umidade de uma jazida próxima ao local de coleta da amostra CA, comprovam que os CPs suportam temperaturas de queima muito mais elevadas que 1050°C e que a resistência à flexão continua diretamente proporcional ao aumento da temperatura.

## 5 CONCLUSÕES

A mineralogia revelou que todas as amostras são constituídas, principalmente, de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e caulinita (K) como principal argilomineral formador, sem picos de argilomineral expansivo. Os ensaios físico-mecânicos determinaram que a temperatura de queima está diretamente ligada às propriedades físico-mecânicas dos CPs e que os valores de resistência à flexão é o que torna bastante evidente a distinção entre os tipos de solos utilizados na fabricação de produtos de cerâmica vermelha.

Os CPs confeccionados com argilas sedimentares (VM e CA) são inicialmente aceitáveis como matéria prima na indústria de cerâmica vermelha, tanto para telhas quanto para blocos. A variável absorção de água indica que, apenas a amostra CA, coletada nas várzeas do Rio Branco no município de Cantá, é enquadrada como matéria prima satisfatória para fabricação de blocos e telhas cerâmicas.

As demais amostras, que possuem valores de resistência próximos aos aceitáveis mediante parâmetros normativos, podem ser inseridas na massa cerâmica para fabricação de telhas e blocos de maneira que haja incremento da resistência desses componentes cerâmicos. Contudo, indica-se que a realização de estudos mais contundentes sobre a mistura de argilas na formulação e utilização da massa cerâmica.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM). **Cerâmica no Brasil - Considerações Gerais**. 2016. Disponível em: <<http://abceram.org.br/consideracoes-gerais/>>. Acesso em: 2 dez. 2016.

\_\_\_\_\_. **Matérias Primas Naturais**. 2016. Disponível em: <<http://abceram.org.br/materias-primas-naturais/>>. Acesso em: 2 dez. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM-ISO 2395**: Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento - Vocabulário. Rio de Janeiro, 1997. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017. 26 p.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 15310**: Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009. 47 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017. 5 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1984. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016. 9 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA (ANICER). **Cerâmica vermelha**: Panorama do mercado no Brasil. 2015. Disponível em: <[http://portal.anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/01/Cer%C3%A2mica-Vermelha-Panorama-do-mercado-no-Brasil\\_DEZ2015.pdf](http://portal.anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/01/Cer%C3%A2mica-Vermelha-Panorama-do-mercado-no-Brasil_DEZ2015.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2016.

BARBOSA, R. I. Distribuição de chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Org.). **Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p. 325-335.

BIFF, S. **Relatório geral de consultoria em diagnóstico técnico de melhoria de processo produtivo**. Boa Vista: SEBRAE/RR, 2016. 14 p.

BRAJA, M. D. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 612p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. Brasília: SGM, 2015. 116 p.

\_\_\_\_\_. **Argilas brancas e vermelhas**. 2010. Disponível em: <[http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/argilas\\_branca\\_vermelha\\_propriedades\\_aplicabilidade\\_ocorrencias.pdf](http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/argilas_branca_vermelha_propriedades_aplicabilidade_ocorrencias.pdf)>. Acesso em 19 jul. 2018.

BRIGHENTI, I.; DE ALMEIDA; J. A.; HOFER, A. Mineralogia e gênese de Argissolos das Serras do Tabuleiro/Itajaí, Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1057-1071, jul./ago. 2012.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 256p.

CARTAXO, J. M. et al. Estudo de novas ocorrências de argilas plásticas (*ball clays*) do nordeste do Brasil para uso em cerâmicas refratárias. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 62, n. 364, p. 338-344, out./dez. 2016.

CLIMATE-DATA. **Clima Alto Alegre**. 2018. Disponível: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/roraima/alto-alegre-43898/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Clima Mucajaí**. 2018. Disponível: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/roraima/mucajai-31788/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Clima Cantá**. 2018. Disponível: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/roraima/canta-43900/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

COELHO, J. M. **Perfil de argilas para Cerâmica vermelha**. Projeto ESTAL - Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia. 2009. 30 p. (Relatório Técnico 32).

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Roraima: Perfil Industrial do Estado**. 2016. Disponível em: <<http://perfilestados.portaldaindustria.com.br/estado/rr>>. Acesso em: 6 jan. 2017.

CORTEZ, I. C.; OAIGEN, E. R.; ROHDE, L. F. Analisando os Impactos Ambientais no Rio Branco, Boa Vista-RR, a retirada de areia, argila e seixo diante da Legislação Ambiental. **Caderno de Pesquisa**, [S.l.], v. 24, n. 2, p. 31-39, maio/ago. 2013.

COSTA, J. H. B.; RODRIGUES, M. C. G.; SILVA, S. S. Caracterização tecnológica da argila utilizada no processo produtivo de cerâmica artesanal do Distrito Icoaraci em Belém do Pará. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 25., 2013, Goiânia. **Anais...** Goiânia: [s.n.], p. 233-240, out. 2013.

COUTINHO, N. C.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de cinza de resíduo sólido urbano em cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 62, n. 363, p. 249-255, jul./set. 2016.

DESTEFANI, E. V.; CUNHA, L. C. Diagnóstico quantitativo de depósito de argila e determinação do período de suprimento do minério de acordo com a demanda das Indústrias de Cerâmica vermelha do Município de São Manoel do Paraná (PR) como estratégia de Planejamento Ambiental. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 6, p. 861-874, jul./dez. 2016.

FERNANDES, F. R. C. et al. Tendências tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral. **Sgb/CPRM - Serviço Geológico do Brasil**, Rio de Janeiro, 2007. 380 p.

FIGUEIREDO, J.M. R. et al. Influência da composição e das variáveis de processamento de formulações à base de argilas - uso em materiais refratários. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 64, n. 369, p. 10-19. jan./mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Glossário**

**Geológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 214 p.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de ciência dos materiais**. 23. ed. Porto Alegre: Bookman. 2012. 724 p.

KUZMA, E. L. et al. Sustentabilidade em indústrias de cerâmica vermelha por meio da utilização deecoinovações. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 12, n. 3, p. 145-164. out./dez. 2016.

LEAL, B. S.; CAVALCANTI, R. P.; LACERDA, R. M. A. Caracterização dos impactos ambientais gerados pela extração de argila vermelha na margem do rio Araçagi no distrito de Cachoeira dos Guedes-PB. **Revista Ambiental**, [S.l], v. 2, n. 1, p. 1-12, jan./jun. 2016.

MACEDO, R. S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 332, p. 411-417, out./dez. 2008.

\_\_\_\_\_. Influência de aditivos na produção de blocos cerâmicos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 331, p. 371-381, jul./set. 2008.

MEDEIROS, R. R. et al. Influência do uso de resíduo de quartzito na expansão por umidade de massas de revestimentos cerâmicos planos. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 63, n. 366, p. 134-142, abr./jun. 2017.

MELLO, I. S. C. et al. **Atlas de matérias-primas minerais cerâmicas do nordeste brasileiro**. São Paulo: CPRM, 2011. 184 p.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Mapeamento de argilas do Estado da Paraíba. **Cerâmica**, São Paulo, v. 47, n. 302, p. 77-81, abr./jun. 2001.

OLIVEIRA, H. A. et al. Avaliação do potencial de argilas de Sergipe e Alagoas na produção de agregados para uso em concreto. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 63, n. 367, p. 318-328, jul./set. 2017.

PAZ, Y. M. et al. A atividade de extração de argila e a relação homem-natureza. **Revista GEAMA**, Recife, v. 2, n. 1, p. 142-155, set. 2015.

PEREIRA, P. S. et al. Caracterização de argila utilizada para fabricação de cerâmica vermelha. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 55, 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: 2011. p. 620.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 363p.

RAMOS, S. O. et al. Caracterização de argilas usadas para cerâmica estrutural. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v.5, n. 3, p. 65-70, set./dez. 2010.

RIZZATTI, E. et al. Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 730-746, jul./dez. 2011.

SANTOS, C. P. et al. Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no Estado de Sergipe - Brasil. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 62, n. 362, p. 147-156, jun. 2016.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed. Brasília: EMBRAPA, 2014. 342p.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. **Relação silte/argila**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_56\\_2212200611552.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_56_2212200611552.html)>. Acesso em: 03 jul. 2018.

SERWAY, R. A.; JUNIOR, J. W. J. **Princípios de física**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning. 2014. 479 p.

SILVA, A. L. et al. Avaliação das composições de massas argilosas a partir da incorporação de resíduo da indústria de cerâmica vermelha na obtenção de membranas cerâmicas tubulares. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 1-8, jan./jun. 2017.

SIQUEIRA, L. M P. Considerações sobre as argilas e materiais argilosos do município de Caruaru-PE e sua importância socioeconômica. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 16, n. 1, p. 16-29, jan./abr. 2006.

SOUZA SANTOS, P. **Ciência e Tecnologia das Argilas**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 408p.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573 p.

VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Solos sob savanas de Roraima: Gênese, classificação e relação e relações ambientais**. 1.ed. Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010. 219 p.

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. Evaluation of kaolinitic clays from Campos dos Goytacazes used for red ceramic fabrication. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 57, n. 343, p. 319-323, sept. 2011.