



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

PAULO VICTOR ANTÔNIO CHAVES

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ARGILA TIPO TAGUÁ E IMPLICAÇÕES
PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA DE MONTE CARMELO, MINAS GERAIS

Monte Carmelo
2021



PAULO VICTOR ANTÔNIO CHAVES

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ARGILA TIPO TAGUÁ E IMPLICAÇÕES
PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA DE MONTE CARMELO, MINAS GERAIS

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Geologia da Universidade Federal de Uberlândia como parte da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e requisito para obtenção do título de bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Liliane Ibrahim

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Alessandretti

Monte Carmelo
2021

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ARGILA TIPO TAGUÁ E IMPLICAÇÕES
PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA DE MONTE CARMELO, MINAS GERAIS

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Geologia da Universidade Federal de Uberlândia como parte da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e requisito para obtenção do título de bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Liliane Ibrahim

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Alessandretti

Monte Carmelo, 26 de outubro de 2021.

Banca Examinadora:

Liliane Ibrahim – Orientadora
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Ana Candida de Almeida Prado
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Felix Nannini
Universidade Federal do Uberlândia (UFU)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem ele, nada seria possível. Aos meus pais; pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas e aos meus professores do curso de Geologia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus pela vida e por tudo que me tem dado;

A minha esposa Ana Paula, e meus Filhos Heitor e Miguel por todo amor, carinho e compreensão no decorrer do curso.

Aos meus pais, irmãos e avós pelo apoio;

A minha professora Liliane Ibrahim pelo apoio e orientação dada e por confiar neste projeto, sempre solicita a qualquer momento;

Ao meu professor Luciano Alessandretti, pela coorientação e toda experiência nos campos, visitando e ensinando todo contexto geológico regional e local;

A toda equipe do Curso de Geologia, professores e colaboradores;

Aos meus colegas de curso que me incentivaram;

Aos meus amigos de trabalho que me auxiliaram nesta pesquisa dividindo comigo todas as tarefas no laboratório;

A ACEMC - Associação dos Ceramistas de Monte Carmelo pela oportunidade de estudar mesmo em horário de trabalho.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram com este projeto.

RESUMO

As argilas constituem uma das mais importantes matérias primas para o setor industrial devido as suas variadas aplicações. No caso da indústria ceramista, tais materiais são amplamente utilizados na fabricação de blocos, telhas, tijolos, ladrilhos, entre outros. A caracterização das argilas, do ponto de vista físico, químico, geológico, é um requisito cada vez mais solicitado. O município de Monte Carmelo é um importante produtor nacional de telhas e tijolos, sendo sua matéria-prima constituída pelas argilas denominadas “taguá”, oriundas a partir da alteração “in situ” de rochas sedimentares mesozoicas da Bacia Sanfranciscana e pelas argilas denominadas “comuns”, originadas a partir de sedimentos quaternários aluvionares. O objetivo do trabalho foi a caracterização física, química e mecânica da argila “taguá” explorada por uma indústria cerâmica de Monte Carmelo, através da coleta de quatro amostras representativas da frente de lavra. As amostras foram submetidas a ensaios de granulometria, caracterização do resíduo, teor de umidade, análise química por fluorescência de raios X, determinação do limite de plasticidade, análise térmica diferencial e análise dilatométrica; os corpos de prova foram submetidos à curva de Bigot, retração à verde, retração de secagem e resistência mecânica a seco e corpos de prova queimados em 850°C e 950°C, foram submetidos aos ensaios de retração na queima, retração total, perda ao fogo, absorção de água, porosidade aparente, cor de queima e resistência mecânica queimado. Os resultados permitiram relacionar as classificações texturais e químicas com o comportamento plástico e à resistência à ruptura, mostrando a importância da caracterização das matérias primas no aumento da qualidade dos produtos, associado à implantação de metodologias para monitoramento da lavra e pelas inovações tecnológicas nas etapas do processo produtivo. A metodologia do projeto consistiu em utilizar uma argila situada na em torno da cidade de Monte Carmelo- MG.

Palavras-chave: Indústria ceramista. Cerâmica vermelha. Argila. Monte Carmelo.

ABSTRACT

Clays constitute one of the major raw materials for the industrial sector due to their diversified applications. Regarding the ceramic industry, such materials are extensively used in the manufacture of blocks, roof tiles, bricks, tiles, among others. Considering a physical, chemical, geological point of view, the characterization of clays is an increasingly demanded requirement. The municipality of Monte Carmelo is an outstanding national producer of roof tiles and bricks, having its raw materials constituted from clays denominated “taguá”, originated from the “in situ” alteration of mesozoic sedimentary rocks from the Sanfranciscana Baisin, and from the so called “common” clays, derived from quaternary alluvial sediments. The objective of the work was the physical, chemical and mechanical characterizations of the “tágua” clay, explored by a ceramic industry in Monte Carmelo, through the collection of four representative samples of the mine front. The samples were subjected to particle size tests, residue characterization, moisture content, chemical analysis by X-ray fluorescence, plasticity limit determination, differential thermal analysis and dilatometric analysis; the specimens were subjected to the Bigot curve, green shrinkage, drying shrinkage and dry mechanical strength and specimens burned at 850°C and 950°C, were subjected to burning shrinkage tests, total shrinkage, fire loss, absorption tests of water, apparent porosity, burn color and burnt mechanical resistance. The results allowed us to relate the textural and chemical classifications with the plastic behavior and the resistance to rupture, showing the importance of the characterization of raw materials in increasing the quality of the products, associated with the implementation of methodologies for monitoring the mine and the technological innovations in the stages of the production process. The composition formulation is best used when laboratory practices are applied, seeking to adapt to the industrial reality for better comparison with the mass of the ceramic product. The project methodology consisted of using a clay located in the surroundings of the city of Monte Carmelo-MG.

Keywords: pottery industry; red ceramics; clay; Monte Carmelo

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Etapas envolvidas na indústria cerâmica em Monte Carmelo, Minas Gerais. (A) saídas dos fornos. (B) entrada de matérias primas. (C) sala de produção. (D) Expedição e entrega de produtos. (E) setor de prensas. (F) Entrada dos fornos. (G) Misturador de argilas.	10
Figura 2 -	Localização em relação aos principais municípios do pólo de Monte Carmelo - MG.	14
Figura 3 -	Jazida Taguá – Bacia Buriti, (A) visita de campo e estratos, (B) vista panorâmica frente de lavra.	15
Figura 4 -	Situação da Bacia Sanfranciscana e sua distribuição regional do embasamento.	19
Figura 5 -	Evolução paleogeográfica regional da Bacia Sanfranciscana, neocretáceo, fase principal do Soerguimento do Alto Paranaíba. Deposição do Grupo Urucuia e desenvolvimento do magmatismo alcalino na área afetada pelo soerguimento.	20
Figura 6 -	Visada para oeste mostrando o Grupo Mata da Corda repousando em discordância sobre o embasamento metamórfico da Faixa Brasília. (B) Contato discordante entre filitos da Faixa Brasília e arenitos e conglomerados da Formação Capacete. (B) Orto- e paraconglomerados da Formação Capacete. (D) Arenitos com laminação cruzada planar da Formação Capacete.	21
Figura 7 -	Mapa geológico do entorno da Mina Taguá Buriti, a partir de imagem do Google Earth e mapa geológico da Folha Coromandel (2021).	22
Figura 8 -	Equipamentos Utilizados para caracterização da argila, (A) maromba para extrusão dos corpos de prova, (B) Moinho de pista perfurada, (C) balança de precisão, (D) Vibrador de peneiras, (E) peneira #325, (F) equipamento Casagrande usado no ensaio de limite de plasticidade, (G) prensa para ensaio de resistência mecânica, (H) equipamento de análise térmica diferencial e dilatômetro e (I) recipiente para ensaio de absorção de água.	25
Figura 9 -	(A) Pilha de blocos da argila Tágua, (B) Amostra da Argila Tágua, (C) Corpos de prova para análises laboratoriais e (D) Vista	28

panorâmica da lavra da mineradora Artplan.

Figura 10 -	Camadas coletadas em campo para caracterização física e química, (A) Argilito, (B) Siltito Fino, (C) Siltito Médio e (D) Arenito Fino, (Classificação realizada em campo).	34
Figura 11 -	Frações granulométricas encontradas no Triângulo textural.	35
Figura 12 -	Frente de lavra Cerâmica Artplan, bancadas e taludes.	40
Figura 13 -	Análise granulométrica, (A), (B), (C) e (D).	38
Figura 14 -	Classificação granulométrica do resíduo lavado em peneiras, #100, #150, #200, #325 e fundo, (A), (B), (C) e (D).	40
Figura 15 -	Minério de ferro encontrado nas amostras, com auxílio de imã, (A) e (B), (C) e (D) Amostras secas a 110°C.	40
Figura 16 -	Corpos de prova utilizados secos a 110°C, (A), (B), (C) e (D). Observe nas amostras (C) e (D) feições de “dentes de dragão”, indicando a baixa plasticidade..	48
Figura 17 -	Corpos de prova utilizados queimados a 850°C, (A), (B), (C) e (D).	53
Figura 18 -	Corpos de prova utilizados queimados a 950°C, (A), (B), (C) e (D).	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Divisão de Classificação de bens minerais industriais, com suas aplicações e alguns exemplos de matéria prima.	16
Tabela 2 -	Classificação, contexto geológico e terminologia das matérias primas argilosas para cerâmica vermelha, modificado de (MOTTA et al., 2004).	18
Tabela 3 -	% da Distribuição granulométrica do Resíduo.	39
Tabela 4 -	Classificação qualitativa do resíduo.	39
Tabela 5 -	Análise Quantitativa por Espectrometria de Fluorescência de Raios X.	42
Tabela 6 -	Classificação mineral, correlação e fase mineralógica em relação a análise quantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X.	42
Tabela 7 -	Difratograma, (1) Caulinita, (2) Hematita, (3) Palygorsita e (4) Muscovita.	43
Tabela 8 -	Determinação da porcentagem de plasticidade.	44
Tabela 9 -	Classificação da argila quanto ao índice de plasticidade.	45
Tabela 10 -	ATD – Análise Térmica Diferencial.	46
Tabela 11 -	AD – Análise Dilatométrica.	47
Tabela 12 -	Ensaio 110°C.	48
Tabela 13 -	Determinação da Curva de Bigot.	50
Tabela 14 -	Ensaio 850°C.	53
Tabela 15 -	Ensaio 950°C.	54

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	9
1.1.	Importância da indústria cerâmica na região de Monte Carmelo	11
1.2.	Objetivos	13
1.3.	Localização da área de estudo	13
1.4.	Importância e origem dos argilominerais na indústria cerâmica	15
2.	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	19
3.	METODOLOGIA	23
3.1.	Ensaios laboratoriais	23
3.2.	Análise granulométrica	26
3.3.	Caracterização de resíduo	26
3.4.	Teor de umidade	27
3.5.	Análise química por fluorescência de raios X	27
3.6.	Determinação do limite de Plasticidade	28
3.7.	Análise térmica diferencial	29
3.8.	Análise dilatométrica	29
3.9.	Ensaio em corpos de prova	30
3.9.1.	Conformação dos corpos de prova	30
3.9.2.	Determinação da Curva de Bigot	30
3.9.3.	Retração a verde (Contração linear)	31
3.9.4.	Resistência mecânica a seco (tensão de ruptura a flexão)	31
3.10.	Ensaio nos corpos de prova sinterizados à 850°C e 950°C	31
3.11.	Perda ao fogo	32
3.12.	Porosidade e absorção de água	32
3.13.	Resistência mecânica queimado	32
3.14.	Retração linear na queima	33
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1.	Resultados análise granulométrica e caracterização do resíduo	36
4.2.	Resultados Análise química e mineralógica	41
4.3.	Determinação do limite de plasticidade	43
4.4.	Determinação da Análise Térmica Diferencial e Análise Dilatométrica	45
4.5.	Caracterização à 110°C nos corpos de prova	47
4.5.1.	Contração linear e resistência mecânica a seco	47
4.5.2.	Determinação da Curva de Bigot	49
4.5.3.	Ensaio nos corpos de prova sinterizados à 850°C e 950°C	50
4.6.	Perda ao fogo	50
4.7.	Absorção de água e porosidade	51
4.8.	Resistência mecânica queimado	52
4.9.	Ensaio de cor	52

5.	CONCLUSÕES.....	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A indústria cerâmica é considerada fundamental para o desenvolvimento da economia mundial. O setor cerâmico pode ser considerado como uma das primeiras indústrias de transformação implantada no Brasil, remontando ao início do século XVII, embora na sua forma mais rudimentar, ela exista desde os primeiros anos do descobrimento, mas como atividade empresarial, somente a partir da primeira metade do século XX, com a vinda de imigrantes italianos. Desde então, o Brasil estruturou um dos maiores parques cerâmicos do mundo (CABRAL et al, 2019).

A Agência Nacional dos Fabricantes de Cerâmica (ANFACER) subdivide o setor em diversos segmentos com características particulares. O mais comum é o da cerâmica vermelha, que compreende materiais constituídos principalmente por argilas com coloração de queima avermelhada, e que são empregados majoritariamente na construção civil (tijolos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) (ANFACER, 2020). Há também a cerâmica branca (cerâmica de alta tecnologia), cuja principal aplicação se dá como material refratário e isolante térmico.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2008 havia cerca de 7.000 empresas de cerâmica vermelha no Brasil, sendo 63% de blocos/tijolos e 36% de telhas. O consumo de matéria prima para este número de empresas gira em torno de 10.300.000 toneladas por mês. A geração de empregos diretos é em torno de 293 mil, enquanto os indiretos chegam a 900 mil. O faturamento anual foi de R\$18 bilhões, e o setor representava por volta de 4,8% da indústria da construção civil (IBGE 2008).

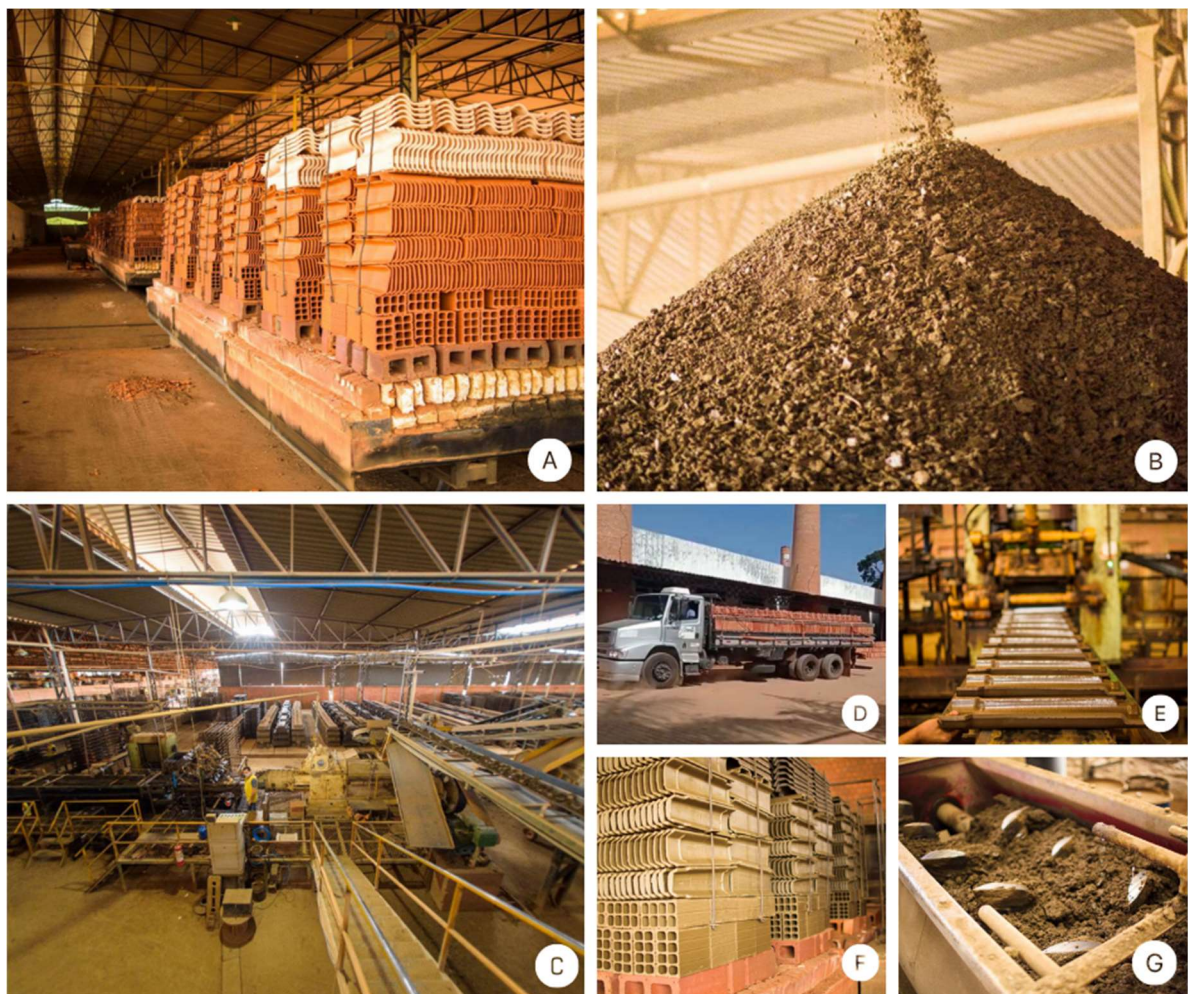
Cabral et al. (2019) observam que o elevado e diversificado consumo de matérias primas minerais constitui uma das peculiaridades da indústria cerâmica, tendo participação significativa na matriz de custo das empresas. A caracterização e o estudo das propriedades destas matérias primas, dos quais podem ser obtidos dados da composição das argilas e seus comportamentos antes e após a queima, são importantes tanto para verificação do atendimento às normas vigentes do produto acabado, quanto para o melhor gerenciamento financeiro em todas as atividades da cadeia produtiva.

Para Collado (2002), a crescente preocupação com a qualidade na construção civil tem trazido mudanças significativas neste mercado. No atual cenário econômico, a produtividade, em decorrência da competitividade e do crescimento, passa a depender fortemente da ciência e da tecnologia, assim como da qualidade, gestão, coordenação dos processos de produção,

distribuição, circulação e venda, sendo o principal meio de sucesso da cerâmica, a qualidade do produto.

A produção de telhas cerâmicas tem criado oportunidades para as pessoas, contribuindo também para outros ramos de negócios como construção civil, importadores industriais e profissionais ligados à distribuição do produto (Figura 1). Contudo, sabe-se que não basta produzir, é preciso obter uma máxima qualidade para o exigente mercado consumidor. Para que isso se torne realidade, é importante investir em pesquisas que auxiliem no conhecimento dessa cultura e em inovações tecnológicas para que a cada dia as empresas se tornem mais competitivas (ACEMC, 2020).

Figura 1 – Etapas envolvidas na indústria cerâmica de Monte Carmelo, Minas Gerais. (A) saídas dos fornos. (B) entrada de matérias primas. (C) sala de produção. (D) Expedição e entrega de produtos. (E) setor de prensas. (F) Entrada dos fornos. (G) Misturador de argilas.



Fonte: O autor (2021).

1.1. Importância da indústria cerâmica na região de Monte Carmelo

Durante a década de 1970, sustentado por uma demanda contínua, ocorreu o “boom” da construção civil no País, provocando a expansão da indústria cerâmica nacional. Na esteira dessa ampliação do setor, houve a incorporação de processos inovadores e o lançamento de novas linhas de produtos, tendo-se por extensão o crescimento e a diversificação da produção de minerais industriais para a indústria cerâmica brasileira (CABRAL JUNIOR et al., 2006).

Conforme Tanno e Motta (2000), o Brasil dispõe de importantes jazidas de minerais industriais de uso cerâmico, cuja produção está concentrada principalmente nas regiões sudeste e sul, onde se localizam os maiores polos cerâmicos do país, sendo a cidade de Monte Carmelo uma das principais produtoras de cerâmica vermelha.

Região antigamente habitada por indígenas, provavelmente da tribo dos Araxás, Monte Carmelo tem sua origem ligada à chegada dos garimpeiros vindos de São João Del Rei e Tamanduá (hoje Itapecerica), por volta de 1840, atraídos pelos diamantes da cidade de Bagagem (atual Estrela do Sul) e de Nossa Senhora da Abadia de Água Suja (atual Romaria) (PMMC, 2006).

O setor cerâmico carmelitano, na sua forma industrial, teve seu início a mais de 100 anos, em meados de 1920. O Sr. Jorge Fernandes montou a primeira olaria, a primeira fábrica de ladrilhos e a primeira cerâmica de Monte Carmelo, situadas na fazenda Araras. Para iniciar o funcionamento desta cerâmica, trouxe pessoas especializadas de Franca, estado de São Paulo. Até hoje ainda se encontra em casas mais antigas, cobertura de telhas da cerâmica de Jorge Fernandes (ACEMC, 2005).

Os principais fatores que contribuíram para dinamizar o setor na região foram: a matéria-prima (argila) abundante e de boa qualidade; cultura inflacionária vivida por mais de quarenta anos, onde a aplicação em imóveis se constituía na melhor reserva de valor, havendo desta forma sempre mercado para telhas e tijolos; a construção de Brasília, capital federal, na década de 50; implantação a partir dos anos 70 do Sistema Financeiro da Habitação e como consequência do Banco Nacional da Habitação, que fomentava a construção de casa própria; mão de obra barata e abundante, com necessidade de pouca especialização; demanda sempre crescente; concorrência com outros polos produtores pouca acirrada (ACEMC, 2005).

Como consequência, o município de Monte Carmelo, entre as décadas de 50 e 90, tornou-se um centro produtor de telhas, dominando grande parte do território nacional graças à qualidade e poder competitivo de seus produtos. Detendo, ainda que extra oficialmente, até o final dos anos 90, o pomposo título de “Capital Nacional da Telha” e “Cidade das Chaminés”,

(PMMC, 2006).

Com a tradição que já desfrutava na fabricação de telhas, conseguiu ser o grande polo fornecedor de tijolos para a construção de Brasília, no final da década de 50. Após 1964, quando o novo governo iniciou o um período de incertezas e de grande retração, a indústria da construção civil foi a mais afetada pelas medidas de combate à inflação. Isto, entretanto, também apresentou o seu lado positivo, já que com o direcionamento seletivo do crédito, as indústrias se viram na obrigação de buscar na modernização a única forma de sobreviverem (ACEMC, 2005).

A própria Associação Nacional das Indústrias Cerâmicas (ANICER) previu esta crise, apontando a desorganização do setor, o excesso de oferta e a concorrência com grupos estrangeiros bem organizados e capitalizados, como os principais fatores que poderiam desencadear tal crise. Previu também que no médio prazo haveria uma desocupação de aproximadamente 200.000 empregos diretos em todo Brasil e o fechamento de 4.000 cerâmicas de telhas (ANICER, 2021).

Infelizmente estas previsões se concretizaram e somente na cidade de Monte Carmelo, no período 1996/2006, 32 indústrias do setor cerâmico fecharam as suas portas, de um total de 41 e apenas 01 foi aberta neste período. Nem mesmo o título de “capital nacional da telha” ou “cidade das chaminés” conseguiu amenizar a situação do setor em Monte Carmelo. Isso causou forte impacto negativo na economia do município, com a diminuição da arrecadação e da renda e o aumento do desemprego (ACEMC, 2020).

Até meados dos anos 90 a indústria cerâmica vermelha de Monte Carmelo era o maior parque produtor de telhas do Brasil, respondia por 2% de toda produção nacional e 9% da produção estadual, gerando 3.000 empregos diretos e 9.000 indiretos. Era responsável até então por mais de 40% de toda arrecadação de Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS) da cidade de Monte Carmelo.

A indústria cerâmica vermelha carmelitana, apesar do declínio vivenciado nos últimos 10 anos, é ainda, indiscutivelmente, uma das grandes forças motrizes da economia de Monte Carmelo. O setor emprega ainda diretamente 1.300 pessoas e indiretamente 4.000 e é o principal componente do setor industrial de Monte Carmelo e um dos que mais gera arrecadação de ICMS para o município. Além disso, é ainda o principal integrante do Polo Cerâmico do Vale do Rio Paranaíba, o maior polo cerâmico do estado de Minas Gerais.

1.2. Objetivos

Este projeto tem como objetivo principal a caracterização físico-química e mecânica da argila tipo taguá, que constitui um dos materiais da mistura que é utilizada na fabricação de telhas e tijolos do parque industrial de Monte Carmelo. Os objetivos secundários são:

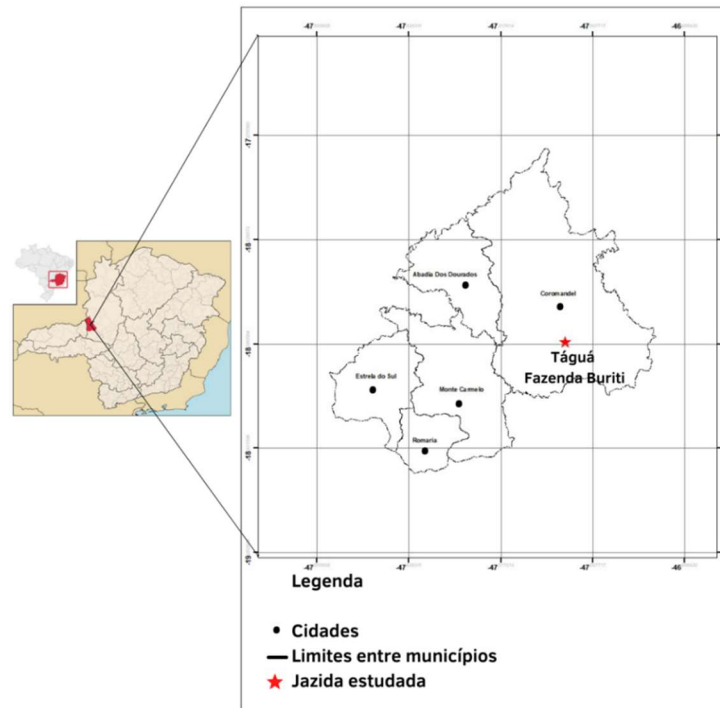
- Geração de uma base de informações para estudos de novas minas e para o desenvolvimento de formulações com as argilas existentes na região;
- Contribuir para o conhecimento da geologia na região onde se inserem estes depósitos de argilominerais.

1.3. Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Alto Paranaíba, região do Triângulo Mineiro, oeste de Minas Gerais. A jazida onde foram amostrados os materiais analisados neste trabalho, denominada Mina Taguá Buriti, está situada na zona rural do município de Coromandel, microbacia do Rio Santo Inácio, na Fazenda Buriti, com coordenadas UTM N 7.944.919, E 278.681 e altitude de 995 m. (Figura 2).

A mina encontra-se em exploração pela empresa Cerâmica Artplan, que transporta o material extraído para sua unidade de fabricação de telhas no município de Monte Carmelo, distante cerca de 98 km, com produção de 16.000.000 telhas/ano.

Figura 2 – Localização da Mina Taguá Buriti em relação aos principais municípios do polo de Monte Carmelo - MG.



Fonte: Modificado do site, CODEMIG pelo autor (2021).

A lavra é executada em bancada única, através da ação de escavadeiras nas rochas sedimentares alteradas de idade mesozoica da Bacia Sanfranciscana, relativas ao Grupo Mata da Corda (Figura 3). Este material, devido à origem a partir da alteração in situ de depósitos de bacias sedimentares, também é conhecido como taguá. O material extraído na Mina Taguá Buriti é um dos componentes do “blend” utilizado pela empresa Artplan para a fabricação de telhas. Outro componente desta mistura são as argilas quaternárias, originadas a partir de planícies aluvionares do Rio Paranaíba, também conhecidas como argilas comuns. A proporção do blend é de 40% de taguá e 60% das argilas quaternárias.

Figura 3 – Mina Taguá Buriti, (A) visita de campo e estratos, (B) vista panorâmica frente de lavra.



Fonte: O autor (2021)

A partir da identificação em campo de quatro materiais com granulometrias distintas, foi realizada a coleta destas camadas individualmente para sua caracterização em laboratório. Reitera-se que a empresa realiza sua extração sem a divisão por características físicas e sim realiza sua extração de maneira integral, ou seja, misturando todas estas camadas.

1.4. Importância e origem dos argilominerais na indústria cerâmica

Minerais industriais englobam todos os recursos minerais predominantemente não metálicos, que por suas propriedades físicas ou químicas, podem ser utilizados em processos industriais.

Os minerais industriais podem ser divididos em duas classes principais: químicos e físicos. A tabela abaixo demonstra suas classes, aplicações industriais e propriedade da matéria prima que as caracterizam, Tabela 1.

Tabela 1: Divisão de Classificação de bens minerais industriais, com suas aplicações e alguns exemplos de matéria prima.

Bens Industriais	Minerais	Aplicações
Minerais Químicos	Argilominerais, Bauxita, Bórax, Cromita, Dolomita, Feldspatos, Cianita, Magnesita, Sílica, Fosfatos, Potássio	Industria Química, Indústria Cerâmica, Indústria Metalúrgica, Indústria de Fertilizantes
Minerais Físicos	Quartzo, Calcita, Halita, Fluorita, Diamante, rubi, areia silicosa, Bentonita, Barita, Córindon	Minerais abrasivos, gemas, eletrônica e óptica, estruturais

Fonte: Modificado da apostila cerâmica vermelha. PRACIDELLI (1992).

Um caso que surpreende entre esses minerais industriais são os argilominerais, que são o foco desse projeto. Estes têm ampla aplicação industrial, ocorrências em todo país e grandes reservas, sendo o setor cerâmico o principal consumidor.

Entre as principais características que os argilominerais devem ter para serem adequados a fabricação de produtos de cerâmica vermelha, estão a fácil desagregação, granulometria apropriada, adequada combinação entre materiais plásticos e não plásticos, composição mineralógica e resistência mecânica a verde suficiente para evitar deformações durante seu manuseio e resistência após queima. No entanto, as argilas para cerâmica são materiais extremamente heterogêneos, com suas características dependendo da sua gênese e localização de extração (DUTRA et al., 2006).

Assim, para a utilização correta das argilas em processos industriais, é importante uma identificação completa de suas características, uma vez que as propriedades do produto são intimamente dependentes destas.

O termo argila *sensu lato* é utilizado para designar um material inorgânico, fino, que apresenta comportamento plástico quando adicionado à água. Na indústria cerâmica é também conhecida principalmente como argilas comuns e taguá, onde sua principal característica é a cor de queima avermelhada, devido ao alto conteúdo de óxido de ferro total, geralmente superior a 4% (FACINCANI, 1992 em MARSIS et al., 2008).

Mineralogicamente, os argilominerais pertencem à classe dos filossilicatos, tem estruturas fortemente anisotrópicas e grande variabilidade composicional; a maioria tem sistema cristalino monoclinico e hábito prismático, sendo alguns triclinicos (DANA;

HURLBUT, 1960). Argilominerais são estruturas constituídas pelo empilhamento de folhas de tetraedros (T) e octaedros (O). A ligação de uma folha de tetraedro a uma folha de octaedro origina o grupo de argilominerais com camadas 1:1 (tipo T-O). Nestas camadas, o plano não compartilhado de ânions da folha de octaedro, consiste inteiramente de grupos de hidroxilas.

A ligação de duas folhas de tetraedro a uma folha de octaedro origina o grupo dos argilominerais com camadas 2:1 (tipo T-O-T). Para que a ligação tipo 2:1 se realize, o tetraedro superior deve ser invertido, para que os oxigênios apicais possam ser compartilhados com o octaedro situado abaixo. Se as camadas 1:1 ou 2:1 não forem eletrostaticamente neutras, o excesso de cargas negativas é neutralizado por diferentes constituintes intercamadas, que podem ser cátions individuais, cátions hidratados ou folhas hidroxiladas octaédricas (BAILEY, 1984).

A folha tetraédrica tem composição tipo T^2O^5 , onde T é um cátion de silício (Si^{+4}), podendo ser parcialmente substituído por alumínio (Al^{+3}) ou ferro (Fe^{+3}). A folha octaédrica tem como cátions octaédricos normalmente Al^{+3} , Mg^{+2} , Fe^{+2} e Fe^{+3} , podendo ocorrer Li, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu e Zn em algumas espécies (BAILEY, 1984).

A qualidade das matérias primas (argilominerais) são definidas a partir da gênese dos depósitos, divididos em argilas quaternárias e argilas de bacias sedimentares (taguá). De acordo com Cabral Junior et al. (2003), a classificação, contexto geológico e terminologia das matérias primas argilosas para cerâmica vermelha, podem ser sintetizadas conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação, contexto geológico e terminologia das matérias primas argilosas para cerâmica vermelha, modificado de (MOTTA et al., 2004).

	Classificação	Contexto Geológico e Terminologia
Argilas quaternárias	Planície Aluvionar	Argila de queima avermelhada que ocorre no fundo dos vales atuais: Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas caulínicas ou composição mista, vermelha; argila turfosa; argilas ferruginosas; argilas de várzea, argilas transportadas ou secundárias; argilas de baixo ou de baixio; argila plástica; argila semiplástica; argila gorda; argila magra; argila, argila siltica, argila arenosa; tabatinga; torba.
	Planície Costeira	Argila de queima avermelhada que ocorre nas planícies costeiras atuais: Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas caulínicas ou de composição mista, vermelha; argila turfosa; argila de queima vermelha; argilas ferruginosas; argilas transportadas ou secundárias; argilas deltáicas, de estuário; argila mista; argila de baixo ou de baixio; argila plástica; argila semiplástica; argila gorda; argila magra; argila, argila. siltica, argila arenosa.
Argilas de bacias sedimentares		Argilas de queima avermelhada em bacias sedimentares antigas: Taguá (taguá mole, taguá duro); argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas ílticas; argilas caulínicas; argilas de composição mista; argilas calcíticas; folhelho; argilito; siltito; ritmito; varvito; argilas alcalinas; argilas ferruginosas; argilas fundentes; argilas de alteração ou alteritas; argilas residuais; argilas transportadas ou secundárias; argila coluvial; argilas sedimentares; argilas terciárias, argilas fanerozóicas, argilas gondwânicas; argilas marinhas, lacustre, glacial.

Fonte: Cabral Junior et al. (2003).

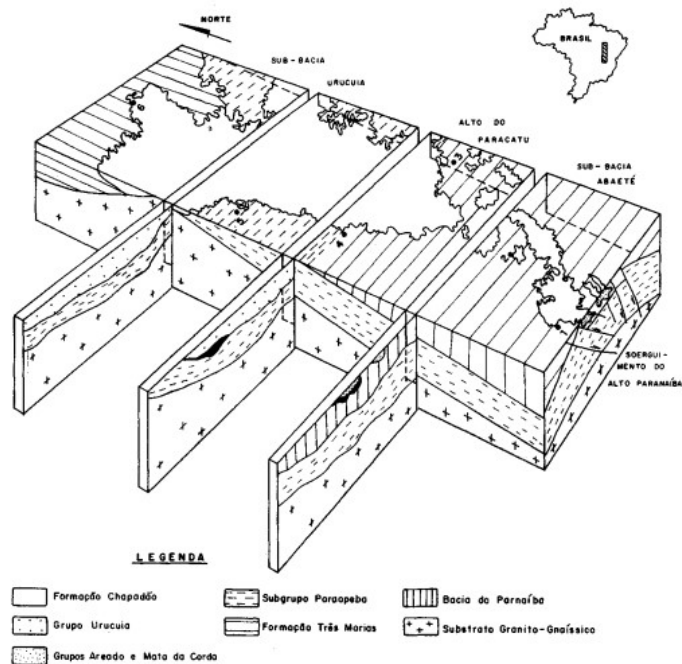
Assim como em diversas regiões do Brasil, na região de Monte Carmelo as argilas utilizadas na indústria cerâmica provêm tanto de depósitos quaternários quanto de depósitos de rochas sedimentares.

De acordo com estudos de Gaspar et. al. (1999), a caracterização da matéria prima, abrangendo todas as definições, são pontos cruciais nas determinações dos comportamentos físicos e físico-químicos dos materiais, que interferem principalmente no controle da qualidade e blendagens.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Bacia Sanfranciscana é do tipo intracratônica e suas seqüências deposicionais correspondem à cobertura fanerozoica do Cráton do São Francisco (SGARBI, 1989, CAMPOS, DARDENNE, 1997a; SGARBI et al., 2001). Possui cerca de 1.100 km de extensão e 200 km de largura, abrangendo áreas dos estados de Minas Gerais, Bahia, Tocantins e Goiás. O embasamento da bacia é formado por rochas mesoproterozoicas do Grupo Natividade, neoproterozóicas do Grupo Bambuí e sedimentares da Bacia do Parnaíba, (Figura 4) (SGARBI, 2011). Da base para o topo, a Bacia Sanfranciscana compreende os grupos Santa Fé, Areado, Urucuia, Mata da Corda e Chapadão (CAMPOS, DARDENNE, 1997a). Com base em significativas diferenças tectônicas, estratigráficas e sedimentológicas entre as regiões norte e sul da bacia, Campos & Dardenne (1997a) propuseram a divisão nas sub-bacias Abaeté e Urucuia.

Figura 4 – Situação da Bacia Sanfranciscana e sua distribuição regional do embasamento.



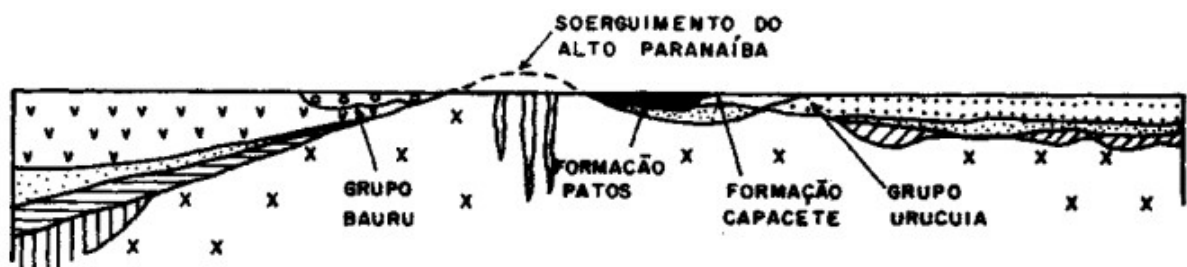
Fonte: CAMPOS J. E. G. & DARDENNE M. A. (1997b). Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. Revista Brasileira Geociências.

O Grupo Santa Fé é subdividido nas formações Floresta e Tabuleiro e contempla rochas depositas de origem glaciogênica durante o Carbonífero-Permiano inferior (CAMPOS,

DARDENNE, 1997a). O Grupo Areado é constituído pelas formações Abaeté (base), Quiricó e Três Barras, depositadas entre o Aptiano e Albiano (Cretáceo Inferior). A primeira é interpretada como tendo sido depositada em ambientes de leques aluviais ao sul da bacia e sistema fluviais entrelaçados sentido norte da bacia (CAMPOS, DARDENNE, 1997a). A Formação Quiricó possui origem lacustre e a Formação Três Barras é composta por sistemas deposicionais fluviais, fluvio-deltáicos e eólicos (CAMPOS, DARDENNE, 1997a; MESCOLOTTI et al., 2019). O Grupo Urucuia, depositado durante o Cretáceo Superior, é subdivido nas formações Posse (base) e Serra das Araras (topo) (CAMPOS, DARDENNE, 1997a). A Formação Posse é majoritariamente formada por depósitos eólicos com fluviais entrelaçados (CAMPOS, DARDENNE, 1997a). A Formação Serra das Araras é interpretada como um sistema fluvial entrelaçado depositado em lençóis de areia e cascalho (CAMPOS, DARDENNE, 1997a).

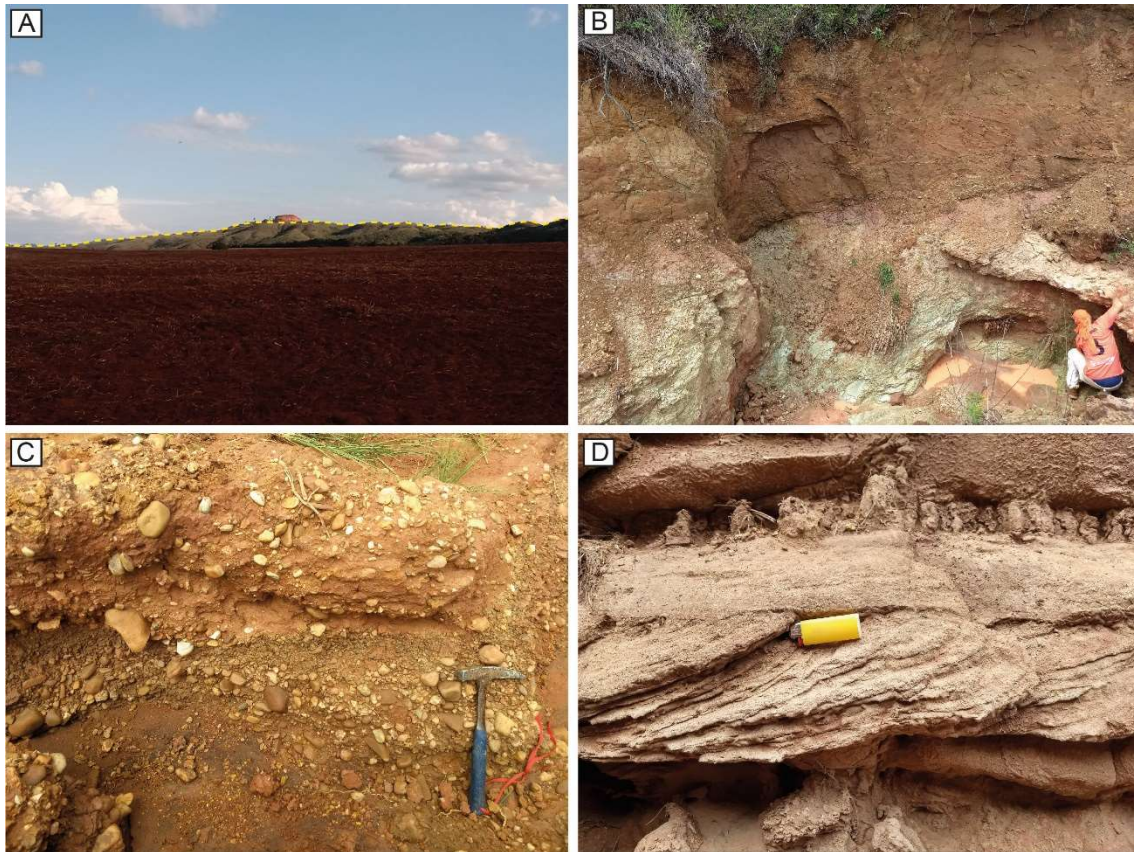
O Grupo Mata da Corda é composto por rochas plutônicas e vulcânicas efusivas e piroclásticas de afinidade alcalina com rochas sedimentares epiclásticas associadas (CAMPOS, DARDENNE, 1997a). O grupo é subdividido nas formações Patos e Capacete (Fig. 05) (CAMPOS, DARDENNE, 1997a), Figura 6. A primeira é constituída por lavas maciças afaníticas ou porfiríticas, basanitos vesiculares ou amigdaloidais, tufos lapilíticos, brechas vulcânicas e cineritos (CAMPOS, DARDENNE, 1997a). Portanto, texturalmente, ocorrem desde derrames até rochas vulcânicas de origem explosiva, Figura 5.

Figura 5 - Evolução paleogeográfica regional da Bacia Sanfranciscana, neocretáceo, fase principal do Soerguimento do Alto Paranaíba. Deposição do Grupo Urucuia e desenvolvimento do magmatismo alcalino na área afetada pelo soerguimento.



Fonte: Modificado de CAMPOS J. E. G. & DARDENNE M. A. (1997b).

Figura 6 - (A) Visada para oeste mostrando o Grupo Mata da Corda repousando em discordância sobre o embasamento metamórfico da Faixa Brasília. (B) Contato discordante entre filitos da Faixa Brasília e arenitos e conglomerados da Formação Capacete. (C) Orto- e paraconglomerados da Formação Capacete. (D) Arenitos com laminação cruzada planar da Formação Capacete.



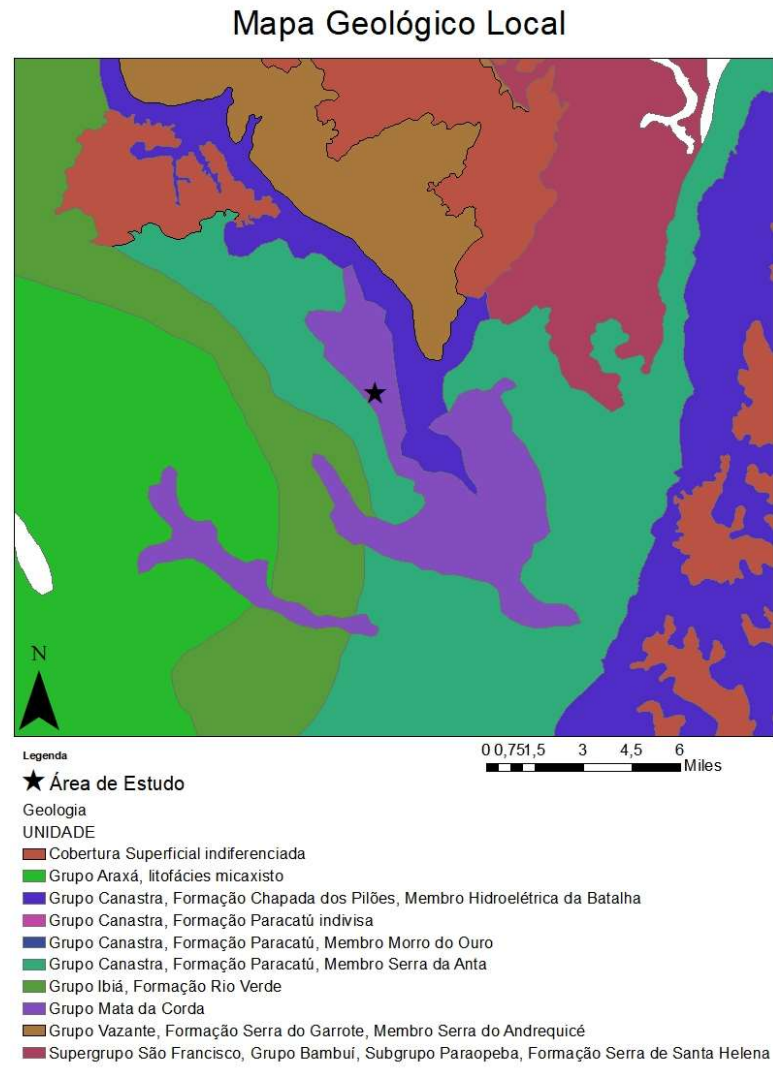
Fonte: Geologia local

O Grupo Canastra compreende litotipos diversos como filito, xisto, sericita xisto, grafita xisto, meta arenito, metasiltito, metaargilito, ardósia e rochas vulcânicas.

O Grupo Mata da Corda na região de Coromandel é caracterizado por ocorrências descontínuas, em geral representadas por morros testemunhos com típicas formas de relevo em mesas (Figura 6). As formações Patos e Capacete em estão inseridas no contexto da Sub-Bacia Abaeté, porção meridional da Bacia Sanfranciscana.

A área de estudo, onde está situada a Mina Taguá Buriti, de acordo com o mapeamento geológico da Folha Coromandel (CODEMIG/CPRM), é caracterizada como unidade Canastra Indiviso e o entorno da área abrange o Grupo Mata da Corda e coberturas sedimentares cenozoicas, (Figura 7).

Figura 7 – Mapa geológico do entorno da Mina Taguá Buriti, a partir de imagem do Google Earth e mapa geológico da Folha Coromandel (2021).



Fonte: O autor (2021) e utilização do banco de dados CODEMIG/CPRM.

A Formação Capacete na região de Coromandel é constituída por uma sucessão de arenitos líticos, argilitos, ortoconglomerados, paraconglomerados e depósitos vulcanoclásticos depositados em não-conformidade sobre rochas metamórficas dos grupos Vazante, Canastra e Ibiá da Faixa de Dobramentos Brasília (Fig. 7) (SEDORKO et al., 2020).

Já a Formação Patos, é representada por rochas retrabalhadas do magmatismo ultrabásico potássico de idade Neocretacea, caracterizado por rochas efusivas e piroclásticas alcalinas (SGARBI & VALENÇA, 1991; SGARBI et al. 2000).

As coberturas sedimentares cenozoicas caracterizam-se pela grande variabilidade textural, porém predominando termos areno argilosos sobre superfícies aplainadas dos divisores d'água e materiais rudáceos, pouco retrabalhados, revestindo superfícies mais inclinadas das

vertentes dos vales fluviais, podendo formar depósitos do tipo piemont. A origem dos materiais detríticos rudáceos está relacionada com as litologias pré-cambrianas dos Grupos Araxá e Ibiá (CAMPOS & DARDENNE, 1997a)

3. METODOLOGIA

Os métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho foram direcionados de acordo com os ensaios de caracterização dos materiais utilizados pelas indústrias cerâmicas da região de Monte Carmelo, os chamados “taguá”. A partir disso, foi escolhida a área de estudo, denominada Mina Taguá Buriti, conforme Figura 4.

A primeira etapa envolveu a pesquisa e leitura crítica do material bibliográfico disponível sobre o contexto geológico regional, principais aspectos técnicos e industriais da indústria cerâmica e escopo dos ensaios realizados para caracterização dos materiais utilizados na cerâmica vermelha.

A etapa de trabalho de campo na área foi realizada ao longo de 20 dias, na região compreendida entre Coromandel e Patrocínio, oeste de Minas Gerais.

A próxima etapa foi o reconhecimento em campo da área, que incluiu os arredores da área de estudo e levantamento de pontos de interesse para o entendimento da geologia regional e local e foi realizada ao longo de 20 dias, na região compreendida entre Coromandel e Patrocínio, oeste de Minas Gerais e na Mina Taguá Buriti.

Na mina, procedeu-se inicialmente com a descrição detalhada e registro fotográfico da frente de lavra e pontos de coleta. As fácies sedimentares foram descritas com base na geometria das camadas, tamanho de grão e estrutura. As fácies vulcânicas foram descritas com base em estudos realizados na região. No local de extração de argila, foi identificada a exata localização estratigráfica do minério e posteriormente amostrado cerca de 30 quilos de cada material para a caracterização dos parâmetros físico-químicos e mecânicos.

3.1. Ensaios laboratoriais

O termo “argila” foi utilizado em referência aos materiais argilosos submetidos aos respectivos ensaios. Por vezes, conforme facilmente observado, este termo também se referiu à fração granulométrica.

O bom desempenho das etapas do processo cerâmico depende muito dos controles

realizados nas matérias primas. Esses controles se iniciam com o sistema de amostragem, que consiste nos procedimentos da obtenção da amostra, compreendendo a secagem natural das argilas, quarteamento e terminam com os ensaios cerâmicos preliminares (DONDI, 2006).

Os ensaios cerâmicos preliminares visaram estudar as características físicas, químicas e mecânicas dos materiais para definir sua aplicação na indústria e prever os usos individuais de matérias primas a partir dos ensaios cerâmicos simples (REGO, 2010).

A caracterização física qualifica as matérias primas para uso no processo de produção, através dos ensaios podemos avaliar qualitativamente as impurezas, estimar o grau de sinterização pós queima e o seu comportamento durante as fases de conformação e de secagem (PRACEDELLI, 1992). Os objetivos dos ensaios de caracterização são, prever, adaptar ou sugerir novos usos para as matérias primas, comparar argilas já utilizadas para possível substituição, organizar estudos científicos e caracterizar as massas cerâmicas.

Os ensaios laboratoriais foram desenvolvidos no Laboratório de Ensaio de Monte Carmelo (LEMC) (Figura 8) e na Escola SENAI Mario Amato em São Bernardo do Campo – SP.

Figura 8 - Equipamentos Utilizados para caracterização da argila, (A) maromba para extrusão dos corpos de prova, (B) Moinho de pista perfurada, (C) balança de precisão, (D) Vibrador de peneiras, (E) peneira #325, (F) equipamento Casagrande usado no ensaio de limite de plasticidade, (G) prensa para ensaio de resistência mecânica, (H) equipamento de análise térmica diferencial e dilatômetro e (I) recipiente para ensaio de absorção de água.



Fonte: Laboratório de Ensaio de Monte Carmelo – LEMC (2021).

A caracterização dos materiais foi realizada nos seguintes estados: natural, após secagem ou queima; após desagregação ou moagem; após separação em meio líquido através de peneiras ou por decantação e em corpos de prova.

Os ensaios realizados nas amostras naturais e desagregadas (amostras verdes, não queimadas) foram análise granulométrica, caracterização do resíduo, teor de umidade, análise química por fluorescência de raios X, determinação do limite de plasticidade, análise térmica diferencial e análise dilatométrica.

As amostras naturais foram conformadas em corpos de prova de tamanho 13 cm x 2 cm x 2 cm, submetidas à secagem em 110°C e realizados os ensaios de caracterização física e mecânica: curva de Bigot, retração à verde, retração de secagem e resistência mecânica a seco.

Os corpos de prova queimados em 850°C e 950°C foram submetidos aos ensaios de retração na queima, retração total, perda ao fogo, absorção de água, porosidade aparente, cor de queima e resistência mecânica queimado.

3.2. Análise granulométrica

O estudo da distribuição do tamanho de partículas busca apresentar graficamente os tamanhos dos grãos presentes nas argilas estudadas, que influi diretamente no fator de empacotamento da massa, no comportamento na secagem e principalmente na reatividade das partículas no tratamento térmico.

A granulometria influencia o comportamento destes materiais frente à plasticidade, modificando a resposta à extrusão. Assim, amostras finas, de maior plasticidade, compactaram de maneira mais efetiva, enquanto amostras mais granulares apresentaram-se menos compactadas, (ROVERI, 2010).

Barbosa (1997) afirma que uma amostra na forma de pó é formada a partir de um grande número de partículas e aglomerados individuais, que muitas vezes têm uma distribuição de tamanho contínua dentro de uma faixa limitada. A partir da determinação quantitativa da porcentagem de partículas que apresentam determinado tamanho dentro de uma determinada faixa, obtém-se uma curva de distribuição de tamanho, que é chamada de distribuição de frequência. A porcentagem pode ser medida considerando o número, volume, área de superfície específica ou massa de partículas de um tamanho específico em relação à quantidade total. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT 7181/2016, que estabelece os métodos de análises do ensaio por peneiramento e por sedimentação.

3.3. Caracterização de resíduo

A análise do resíduo foi realizada em peneira, através da lavagem em peneira malha # 325 mesh. Após secagem, realizou-se a seleção granulométrica nas malhas #100 mesh (0,149mm), #150 mesh (0,106mm), #200 mesh (0,074mm) e #325 mesh (0,044mm). Composto por impurezas minerais presente nos materiais argilosos, o resíduo apresenta granulometria

diferenciada e com grãos maiores que as partículas argilosas; são identificados qualitativamente, através de reagente químico, por onde são observados grânulos de calcário, óxido de ferro, sulfetos, areia, sulfatos, hidróxidos, mica, matéria-orgânica, etc., (SINGER, 1971).

3.4. Teor de umidade

É expressa pela razão entre o peso da água existente numa certa massa de argila e o peso das partículas sólidas. Este ensaio determina a porcentagem de água que o material seco absorve em um ambiente portador de umidade, ensaio preliminar importante para saber a quantidade de água que será adicionada no processo de extrusão para realização de todos os ensaios físicos e mecânicos (PRACIDELLI, 1992).

3.5. Análise química por fluorescência de raios X

A fluorescência de raios X (FRX) foi utilizada para análise da composição química das argilas, sendo considerada uma técnica ágil e com resultados precisos.

O conhecimento da composição química permite classificar as argilas para as diversas finalidades cerâmicas; permite também compreender a ação das impurezas que tendem a baixar a temperatura de queima das argilas, através da reação com compostos de sílica e alumina, formando sílico-aluminatos de ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio, que são fusíveis.

As amostras das argilas foram submetidas à secagem em temperatura de 70 °C, com a finalidade de retirar a umidade residual e depois peneiradas em peneira malha #200 para análise por espectrômetro de fluorescência de raios X, com a finalidade de conhecer os componentes básicos, os fundentes presentes, a perda ao fogo que compreende a perda de massa proveniente dos carbonatos, sulfetos, sulfatos, hidróxidos, a água de constituição, matéria orgânica, etc (MURRAY, 2001).

Apesar da análise química não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas e tecnológicas da argila, mesmo assim ela fornece dados fundamentais que são de grande utilidade industrial e científica (JACKSON e MACKENZIE, 1964).

A análise química foi realizada no SENAI Mario Amato, LEQ – Laboratório de Ensaios Químicos, em São Bernardo do Campo – SP, com temperatura da perda ao fogo 950 ± 50 °C e

temperatura de secagem 110 ± 5 °C; a amostra foi preparada conforme PE-LEQ-008 e realizada no equipamento de Análise Quantitativa por Espectrometria de Fluorescência de Raios X.

Figura 9 - (A) Pilha de blocos da argila Tágua, (B) Amostra da Argila Tágua, (C) Corpos de prova para análises laboratoriais e (D) Vista panorâmica da lavra da mineradora Artplan.



Fonte: O autor (2021).

3.6. Determinação do limite de Plasticidade

A plasticidade foi avaliada segundo as normas NBR 7180/2016 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade e NBR 6459/2016 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez.

Esse teste possibilitou a caracterização do limite de liquidez das amostras estudadas, pela quantidade máxima de água que modifica a massa plástica em suspensão fluida.

A determinação do Limite de Liquidez realizada em aparelho de Casagrande é obtida em % do índice de plasticidade da argila, obtido pela diferença entre a % de umidade a 25 golpes e a água de esfarelamento. Assim, quanto maior é a faixa de umidade com a qual uma

argila permite sua modelagem, tanto maior será sua plasticidade (RYAN, 1987).

Segundo Norton, (1973) o índice de plasticidade obtido orienta a quantidade de água a ser adicionada à massa argilosa, de modo a evitar gastos desnecessários nas etapas de processo, como a conformação e secagem das peças cerâmicas. Com o resultado obtido pelo índice da plasticidade, observa-se que a resistência mecânica à flexão a seco e a contração linear, quando relacionadas, permite compreender a plasticidade e trabalhabilidade das argilas no processamento, portanto, a viabilidade operacional.

3.7. Análise térmica diferencial

A análise térmica diferencial (ATD) é realizada pelo aquecimento da amostra, onde, todas as reações físico-químicas dos minerais são monitoradas, identificando os intervalos que a amostra armazena calor (reação endotérmica), bem como por reações exotérmicas, onde ocorre a identificação da massa da amostra que libera calor. O aquecimento até a temperatura de 1000°C ajuda a prever a velocidade de queima e a identificação do tempo de permanência em determinada temperatura, com objetivo de obter as fases cristalinas desejáveis do produto.

As argilas, quando submetidas a ação do calor, sofrem dilatações e mudanças cristalinas em sua estrutura. O registro destas mudanças nos argilominerais demonstra a quantidade de quartzo, feldspato, carbonato, etc., assim o uso da análise térmica diferencial em conjunto com outras técnicas ajuda a identificar o comportamento das argilas e suas mudanças sob ação do calor (MAIA, 2000).

3.8. Análise dilatométrica

A análise dilatométrica, foi realizada em dilatômetro de 1000°C, aparelho que identificou a dilatação das massas cerâmicas por meio de aquecimento controlado. A presença de certas impurezas, como grãos de silte e areia, modifica o comportamento físico da argila, que por sua vez influi na dilatação das massas argilosas (SOUZA SANTOS, 1992). A dilatação é reflexo direto da composição química e mineralógica das argilas, portanto, prevê maior eficiência para o controle da queima, no grau de sinterização da massa e fornece informações para delinear as curvas de queima (PRACIDELLI, 1992).

3.9. Ensaaios em corpos de prova

3.9.1. Conformação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados pelo processo de extrusão a vácuo, sob depressão de 20 pol/Hg (520 mmHg), em formato retangular, com medidas de 130 mm de comprimento por 20 mm de largura e de espessura. Foram expostos à secagem natural em temperatura ambiente por um período de 72 horas para evaporação da água; em seguida, os corpos de prova foram secos em estufa à temperatura de 110 °C por 24 horas. Foram identificados e pesados a cru, marcados em 100 mm para avaliar o comportamento físico dimensional e foram submetidos à curva de Bigot, retração à verde e resistência mecânica a seco.

Os corpos de prova queimados em 850°C e 950°C foram submetidos aos ensaios de retração linear na queima, perda ao fogo, absorção de água, porosidade aparente e resistência mecânica queimado, com velocidade de aquecimento de 2,5°C/mim, com 1 hora de patamar, (SOUZA SANTOS, 1975).

O estudo das características e variações físicas das argilas permite determinar seu comportamento e adequar os processos mecânicos da extrusão, no manuseio das peças a cru, na presença de trincas e no comportamento na secagem e queima.

3.9.2. Determinação da Curva de Bigot

Estudou-se a curva de Bigot das argilas com a finalidade de relacionar a quantidade de água evaporada em relação à diminuição do volume (contração) dos corpos de prova. Este ensaio é realizado em estufa, controlando-se a perda de massa por pesagem em balança, acompanhando-se a retração dos corpos de prova pelo controle dimensional em períodos determinados. O ensaio tem por finalidade observar as modificações físicas durante a secagem, que pelo gradiente de temperatura, transforma o estado físico da água de líquido para gasoso, resultando na aproximação dos grãos argilosos deixando poros no corpo cerâmico (SOUZA SANTOS, 1975).

3.9.3. Retração a verde (Contração linear)

Este ensaio avaliou a contração linear das argilas através da variação dimensional dos materiais cerâmicas, sabe-se que a composição granulométrica influencia no índice de retração, ou seja, quanto menor a granulometria do material, maior é a quantidade de água necessária ao amassamento. Assim sendo, compreende-se que a plasticidade e a resistência mecânica a cru associam-se ao comportamento físico do corpo cerâmico, tanto na secagem como na queima, (SOUZA SANTOS, 1989).

A secagem dos corpos de prova tem o objetivo de determinar a retração linear (determinada como a diminuição das dimensões originais) por processos físico-químicos durante a secagem e queima, estabelecendo as dimensões iniciais dos produtos, tomando como base a retração em condições de trabalho e consequentemente estabelecer os moldes e controlar os produtos durante o processo no estudo de matérias-primas cerâmicas.

3.9.4. Resistência mecânica a seco (tensão de ruptura a flexão)

Este ensaio busca analisar a resistência à flexão a cru dos corpos de prova, ou seja, secos a temperatura de 110°C, no deflectômetro com capacidade de 500kg e velocidade de 5 N/s, com a finalidade de avaliar o poder de aglutinação das argilas. A resistência mecânica relaciona-se com a plasticidade, com o teor de impurezas minerais e com a fração granulométrica existente.

3.10. Ensaios nos corpos de prova sinterizados à 850°C e 950°C

O conhecimento das propriedades das matérias-primas por meio de suas características cerâmicas é de suma importância para a obtenção de produtos cerâmicos com os padrões de qualidade preestabelecidos pela empresa, isto reduz o retrabalho no processo de produção com mão de obra, energia e desgaste de peças e equipamentos, então se faz necessário analisar por meio de ensaios preliminares. (GOMES, 1988).

Os corpos de prova queimados à 850°C e 950°C foram submetidos aos ensaios de retração linear na queima, perda ao fogo, porosidade, absorção de água e resistência mecânica queimado.

3.11. Perda ao fogo

É a perda de massa de um produto seco e calcinado a uma temperatura determinada de 1000°C. A matéria orgânica contida em muitas argilas confere um caráter plástico muito desejável, devido ao fato de os ácidos húmicos agirem como coloide protetor hidrofílico das partículas dos argilominerais. Deve-se notar que a matéria orgânica tem grande influência sobre a capacidade de troca de cátions, da ordem de 150 a 200 meq, resultados semelhantes aos obtidos a uma montmorilonita ou uma vermiculita. A perda ao fogo é determinada pela presença de linhito, ceras e derivados do ácido húmico. Sua determinação é feita pelo processo de oxidação das amostras e/ou pela sua calcinação em alta temperatura, (MORATA, 1972).

3.12. Porosidade e absorção de água

Os materiais cerâmicos estão relacionados ao empacotamento das partículas que os compõem, resultando em características e propriedades diferentes. De acordo com o trabalho de OLIVEIRA et al. (2000), a proporção de materiais granulares e o tamanho das partículas determinam a quantidade de espaços vazios, os quais podem ser preenchidos com partículas menores, e seus vazios serão novamente preenchidos por partículas menores. Quanto maior o empacotamento, menor a quantidade de poros nos materiais cerâmicos.

Os ensaios de absorção de água e porosidade são realizados nos corpos de prova queimados. Pela absorção de água, se identifica a relação que a massa de água ocupa entre os espaços vazios do interior da massa queimada. Pela porosidade aparente se identifica a relação entre a massa de água absorvida pelo corpo queimado e o volume aparente do mesmo. O volume aparente é a diferença entre a massa do corpo úmido e a massa do corpo imersa em água à temperatura ambiente.

3.13. Resistência mecânica queimado

O comportamento mecânico das argilas cerâmicas é superior ao de outros materiais, sendo altamente utilizados pela indústria. Tecnicamente, uma das categorizações dadas aos materiais é chamada de propriedades mecânicas, sendo um dos critérios de avaliação, a resistência mecânica em temperatura ambiente, pois as cerâmicas quase sempre sofrem fratura antes de sofrerem qualquer tipo de deformação plástica como resposta à uma carga de tração.

Isso evidencia seu elevado nível de fragilidade ao impacto, (ZANOTTO, 1991).

A resistência à flexão após queima dos corpos de prova é realizada em um deflectômetro, com a finalidade de avaliar o poder de aglutinação das argilas e sua sinterização, que é a fusão dos minerais e se relaciona com a plasticidade, com o teor de impurezas minerais e com a fração granulométrica existente.

3.14. Retração linear na queima

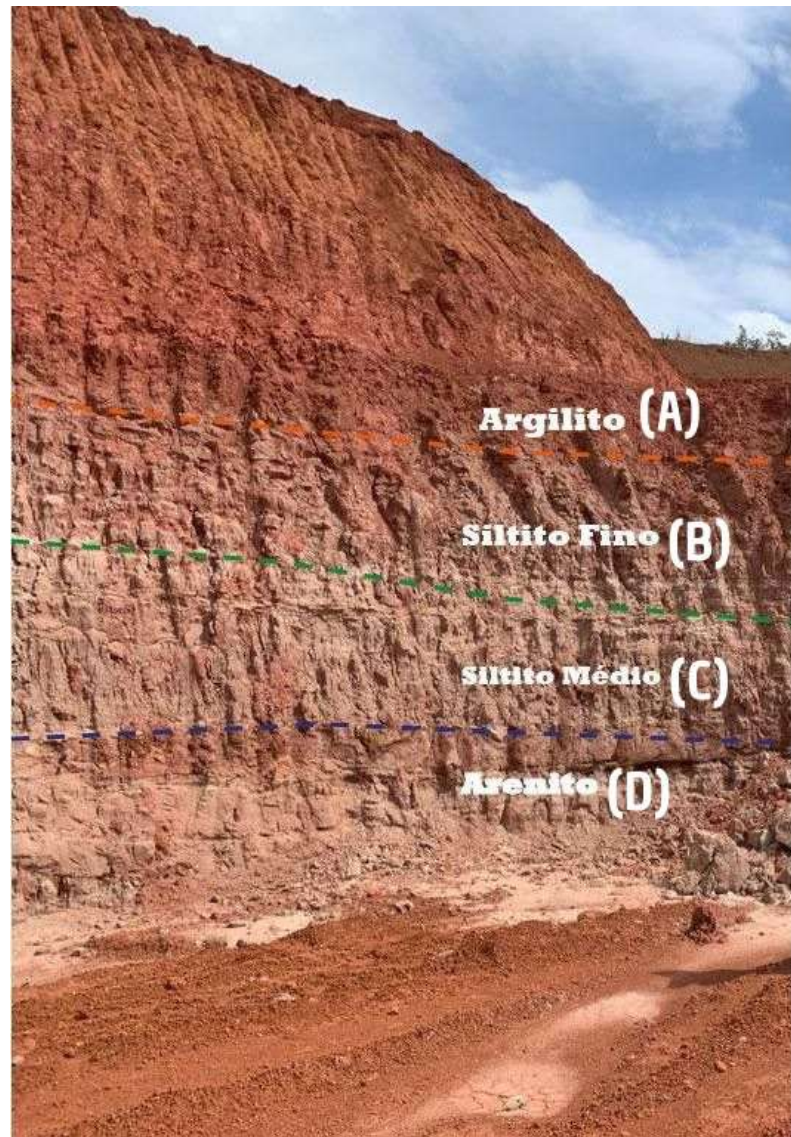
Este ensaio avalia a retração dos materiais cerâmicos submetidos a temperaturas de queima em 850°C e 950°C através da variação dimensional, sendo que sua intensidade está diretamente relacionada com a composição mineralógica e sinterização dos compostos, importante parâmetro para planejamento da queima e medida final do produto.

Maestrelli (2013) aborda que durante os processos de queima, as argilas sofrem transformações relevantes de caráter físico e químico, envolvendo interações entre os seus constituintes, dos quais se destacam transformações de fases, além de reações de perda de água de constituição, oxidação de matéria orgânica, decomposição de hidróxidos e carbonatos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos. Foram observadas fácies estratigráficas bem evidentes no campo, com algumas interdigitações. Da base para o topo, foram descritas as seguintes litologias (realizado em campo) Arenito Fino, Siltito Médio, Siltito Fino e Argilito (Figura 10).

Figura 10 - Camadas coletadas em campo para caracterização física e química, (A) Argilito, (B) Siltito Fino, (C) Siltito Médio e (D) Arenito Fino, (Classificação realizada em campo).



Fonte: O autor (2021).

O argilito (siltoso) apresentou 45% de minerais na fração argila, 40% de silte e 15% de areia, com estrutura maciça e coloração marrom avermelhada escura. No teste de tato não é possível observar areia, o que foi comprovado no ensaio de resíduo. As amostras (B) e (C) se aproximam bastante da amostra argilito, sendo observada uma mudança em sua tonalidade devido a uma quantidade maior de silte médio para fino; os resultados obtidos indicam que os grãos variam de 0,003 mm a 0,07 mm, exibindo coloração amarronzada e esbranquiçada. O siltito é composto principalmente por quartzo, feldspatos, hematita, micas e argilas. O arenito fino (D) é predominantemente composto por quartzo e feldspato potássico (microclínio e

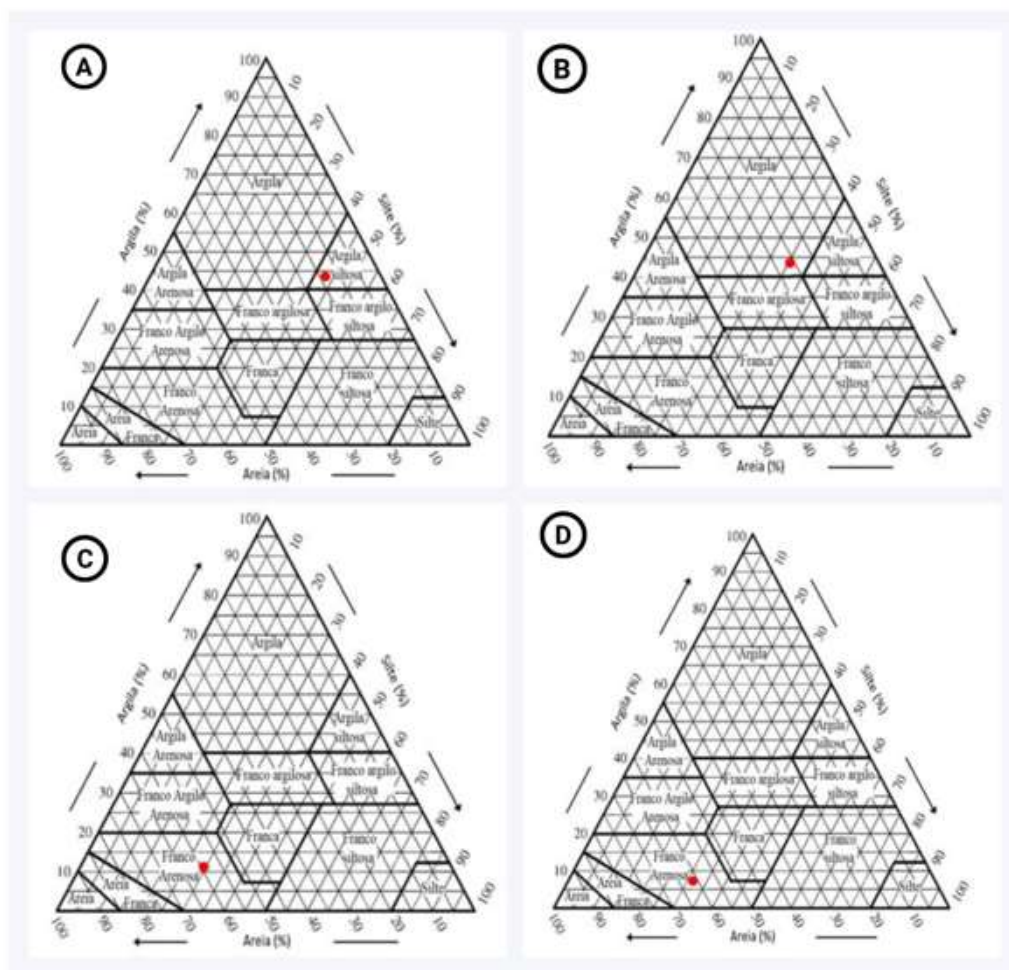
ortoclásio), tendo uma fração argilosa composta por illita.

O conjunto de todas estas estratificações compõe o material de estudo, sendo denominado Argila Taguá, sendo que as empresas não fazem a divisão do material por estratificação.

Souza Santos (1992) afirma que o conhecimento das proporções dos diferentes tamanhos de partículas em uma amostra (ou seja, a textura dos materiais) é importante para o entendimento do comportamento físico e mecânico. Durante a classificação, a textura dos diferentes horizontes é, em muitas vezes, a primeira e mais importante propriedade a ser determinada.

A classificação das amostras no triângulo textural obedeceu a seguinte nomenclatura: (A) argilito, classificada como argila siltosa, (B) siltito fino, classificada como argila (C) siltito médio e (D) arenito fino, classificados como franco arenoso (Figura 11).

Figura 11 - Frações granulométricas encontradas no Triângulo textural.



Fonte - SOUZA SANTOS (1989), modificado pelo autor.

Figura 12 - Frente de lavra Cerâmica Artplan, bancadas e taludes.



Fonte: O autor, 2021.

4.1. Resultados análise granulométrica e caracterização do resíduo

Os resultados da análise granulométrica são obtidos pela técnica de análise granulométrica conjunta, seguindo parâmetros da ABNT NBR 7180:2016. Todas as amostras apresentaram uma tendência de argila – silte. Esse destaque revela a presença de argilominerais e quartzo que foram identificados na caracterização do resíduo qualitativamente. No entanto, as amostras siltito médio e arenito fino, obtiveram uma grande quantidade de resíduo, ou seja, material não argiloso, prejudicando seus resultados de resistência mecânica e plasticidade. Já as amostras (A) e (B) apresentaram uma fração menor de areia, 9,46% e 12,08%, o que destaca a predominância de argilominerais, em especial caulinita e muscovita.

A Figura 13 apresentam as distribuições granulométricas das amostras estudadas, com as amostras C e D apresentando as distribuições mais “grosseiras” e as amostras A e B mais “finas”. A semelhança entre as distribuições das amostras C e D está relacionada ao resultado do resíduo, 34,18% e 44,73% respectivamente.

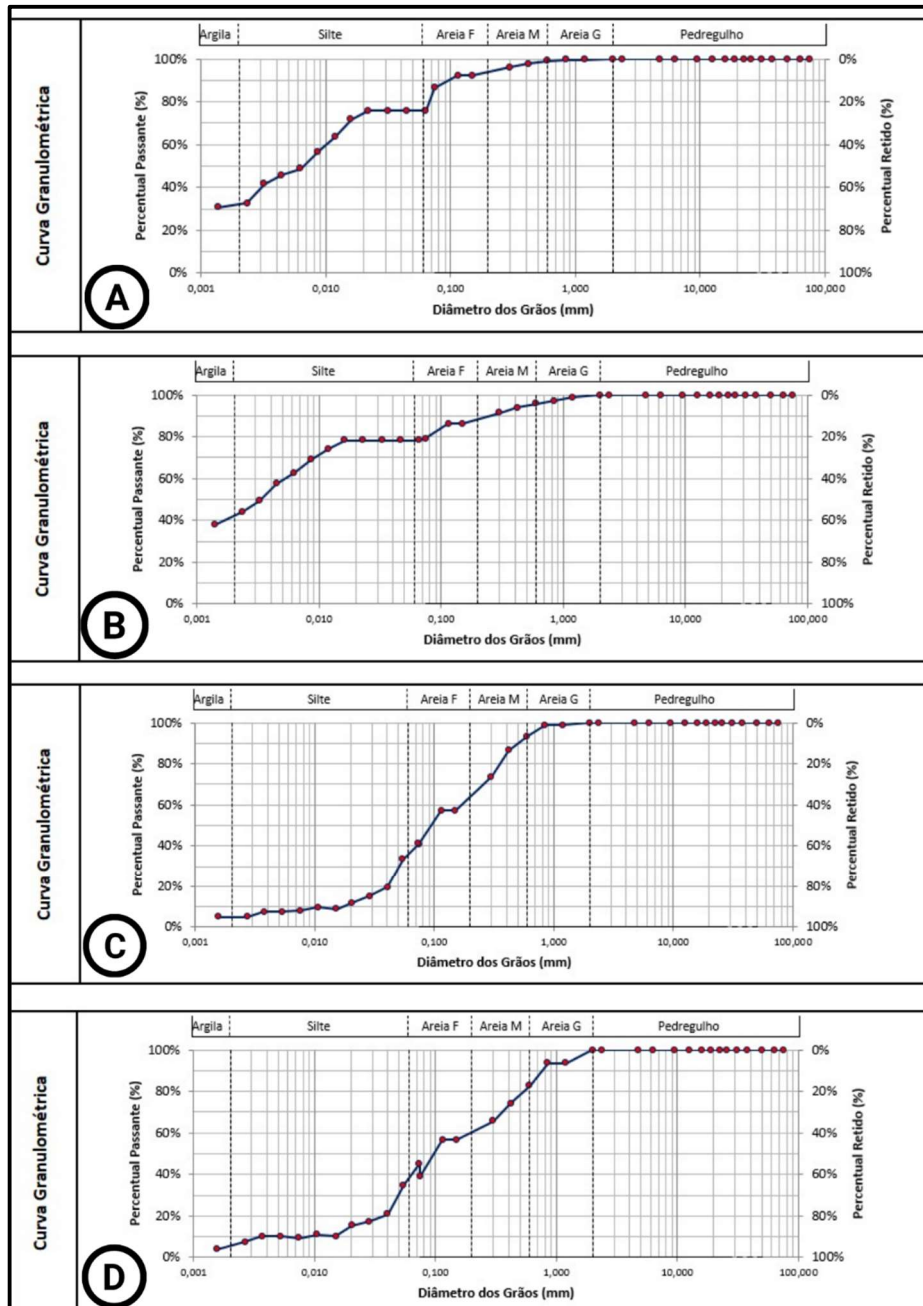
Na indústria cerâmica, considera-se a fração argila de uma matéria-prima cerâmica natural, a fração granulométrica com dimensão igual ou inferior a 6 micras, que corresponde às

frações silte e argila. Foi observado que a distribuição das partículas das amostras analisadas variou de 90,54% de silte + argila para a amostra (A) a 55,27% de silte + argila para a amostra (B). As amostras (C) e (D) apresentam fração argila abaixo do mínimo indicado pelo diagrama de Winkler para massas cerâmicas visando a produção de blocos (tijolos furados) (fração argila entre 30 e 40% de silte + argila) (PRACIDELLI, 1992).

Macedo et al (2008), apresentam que todo material cerâmico, por não poder ser constituído apenas de argila (por dificuldades de processamento), contém materiais não plásticos, que requerem uma “mistura” de granulometria, a parte “fina” está relacionada à argila, e a parte “grossa” à materiais friáveis, como areia (Tabela 3 e Figura 14). O diagrama de Winkler auxilia no estudo da composição granulométrica ideal e indica a dosagem das partículas finas, médias e grossas, o que possibilita que o produto final obtenha o melhor desempenho.

Foi observada de forma qualitativa no resíduo das amostras a presença de mica, óxido de ferro e quartzo em todas as amostras. A presença de ferro magnético pode ser observada através do uso de ímã nas amostras (A) e (B) (Figura 15). Não foi observada a presença de matéria orgânica e carbonatos (Tabela 4).

Figura 13- Análise granulométrica, (A), (B), (C) e (D).



Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC (2021).

Tabela 3 - % da Distribuição granulométrica do Resíduo.

Amostra	(A) (%)	(B) (%)	(C) (%)	(D) (%)
#100	30,66	20,04	58,84	52,80
#150	22,62	12,81	18,75	21,43
#200	30,13	23,22	15,10	17,41
#325	15,33	43,70	7,17	8,37
< #325	1,27	0,22	0,15	0,00
%Resíduo	9,46	12,08	34,18	44,73

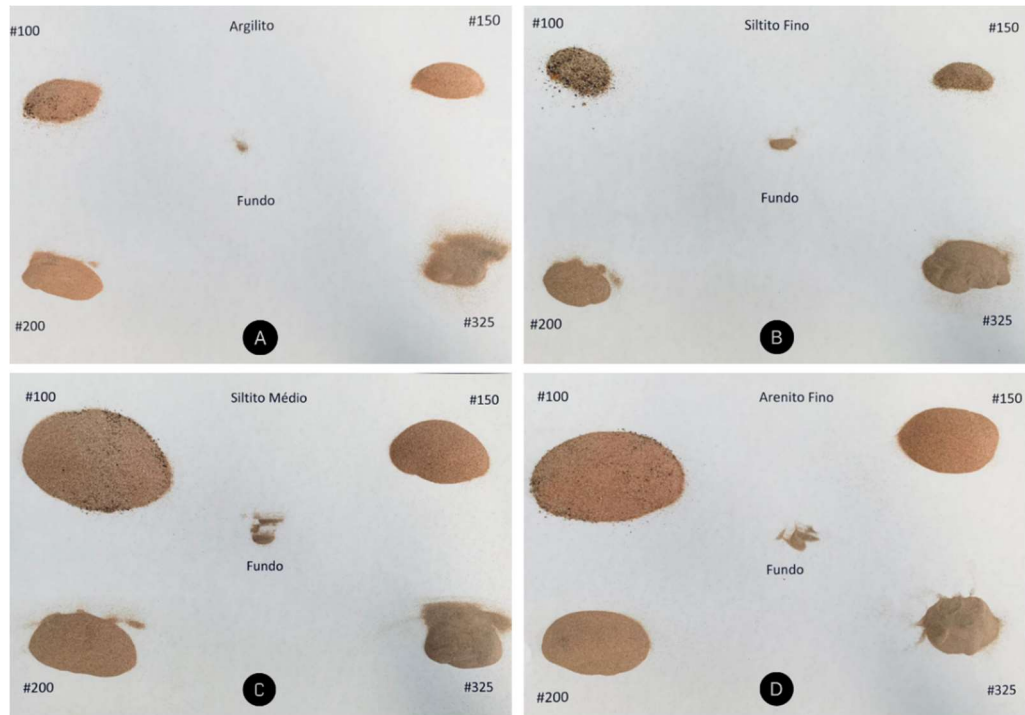
Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC (2021).

Tabela 4 - Classificação qualitativa do resíduo.

Impurezas	(A) (%)	(B) (%)	(C) (%)	(D) (%)
Mica	Sim	Sim	Sim	Sim
Oxido de ferro	Sim	Sim	Sim	Sim
Ferro Magnético	Sim	Sim	Não	Não
Quartzo	Sim	Sim	Sim	Sim
Matéria Orgânica	Não	Não	Não	Não
Carbonatos	Não	Não	Não	Não

Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

Figura 14 - Classificação granulométrica do resíduo lavado em peneiras, #100, #150, #200, #325 e fundo, (A), (B), (C) e (D).



Fonte: Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

Figura 15 - Minério de ferro encontrado nas amostras, com auxílio de ímã, (A) e (B), (C) e (D) Amostras secas a 110°C.



Fonte: Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC.

4.2. Resultados Análise química e mineralógica

A eficiência do método de espectrometria de fluorescência de raios – X foi confirmada com a realização de dois ensaios em sequência, utilizando material de referência para garantir a confiabilidade. Na Tabela 5 são apresentadas as composições químicas das massas estudadas neste trabalho. Os resultados mostram que quimicamente todas as amostras são constituídas essencialmente por óxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3), as quais correspondem à cerca de 80,84% a 82,89%.

Os principais óxidos que estão presentes nos materiais estudados são considerados parâmetros importantes para o conhecimento das propriedades cerâmicas, pois com este resultado pode ser realizada a correlação com a mineralogia. A tabela 05 mostra composição química total e perda ao fogo das amostras analisadas no espectrômetro. Observa-se os óxidos de silício nas faixas de 44,12% na amostra (A) até 57,85%, e de 14,62% na amostra (D) e 20,65% na amostra (A), sendo mais predominantes silicato de alumínio hidratado está associado as caulinitas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e muscovitas ($\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$). Estes argilominerais são responsáveis pelo aumento da plasticidade em contrapartida ao quartzo, que a reduz.

Outro aspecto importante com relação ao ensaio realizado é a quantidade incomum de K_2O encontrado em todas as amostras, sendo que em comparação a outras argilas utilizadas no processo de produção das indústrias cerâmicas de Monte Carmelo, a quantidade é 70% maior. A presença deste óxido deixa o material cerâmico mais fundente, ou seja, se gasta menos calor para sinterizar a massa no processo de queima, sua presença é relacionada às muscovitas.

É observado também um alto teor de Fe_2O_3 , associado à presença de óxido de ferro (hematita), estas concentrações estão na faixa de 9,01% na amostra siltito médio até 16,07% na amostra (A), sendo que a coloração avermelhada para marrom é diretamente relacionada a quantidade deste óxido na composição (CELIK, 2010).

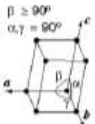
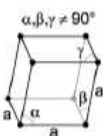
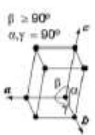
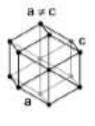
As massas argilosas apresentaram perda ao fogo relativamente alta, da ordem de 8,01% na amostra (A) a 14,78% na amostra (D). A perda ao fogo está relacionada principalmente à caulinita, hidróxidos e à presença de matéria orgânica nas argilas utilizadas na formação das massas argilosas (Tabela 6).

Tabela 5 - Análise Quantitativa por Espectrometria de Fluorescência de Raios X.

Óxidos	(A) (%)	(B) (%)	(C) (%)	(D) (%)
PF.	8,01	7,79	5,37	4,78
SiO ₂	44,12	45,01	56,48	57,85
Al ₂ O ₃	20,65	20,13	17,40	14,62
Fe ₂ O ₃	16,07	15,24	9,01	9,67
TiO ₂	4,21	4,00	1,99	2,51
CaO	0,02	0,04	0,13	0,08
MgO	2,65	2,86	2,40	2,76
Na ₂ O	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
K ₂ O	3,97	4,05	7,15	6,99
MnO	0,08	0,09	0,09	0,15
P ₂ O ₅	0,34	0,64	0,17	0,36

Fonte: Escola SENAI Mario Amato, LEQ – Laboratório de Ensaios Químicos, 2021.

Tabela 6 - Classificação mineral, correlação e fase mineralógica em relação a análise quantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X.

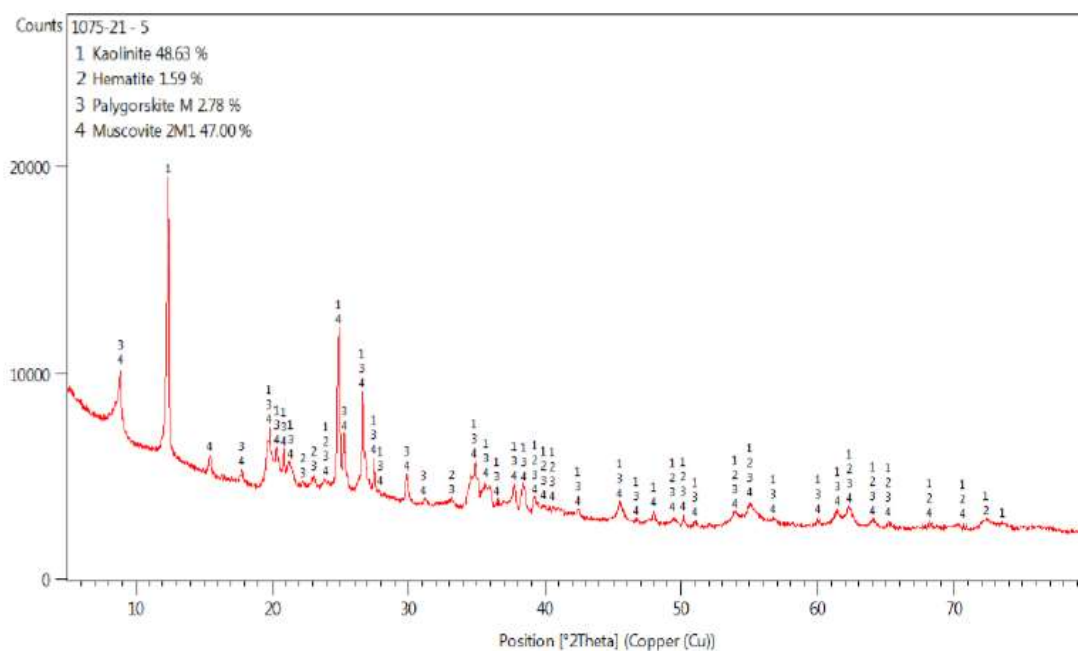
FASE MINERALÓGICA	CONCENTRAÇÃO (%)	CLASSIFICAÇÃO MINERAL	
CAULINITA	48,63	FÓRMULA QUÍMICA: Al ₂ O ₃ 2SiO ₂ 2H ₂ O SISTEMA CRISTALINO: Monoclínico ($\alpha=90^\circ$ / $\beta=100^\circ$ / $\gamma=90^\circ$) DENSIDADE RELATIVA: 2,6 g/cm ³ COR: BRANCO DUREZA: (2 – 2,5) Mohs	
HEMATITA	1,59	FÓRMULA QUÍMICA: Fe ₂ O ₃ SISTEMA CRISTALINO: Romboédrico ($\alpha=120^\circ$ / $\beta=120^\circ$ / $\gamma=120^\circ$) DENSIDADE: (4,9 – 5,3) g/cm ³ COR: vermelho DUREZA: (5,5 – 6,5) Mohs	
PALIGORSKITA	2,78	FÓRMULA QUÍMICA: MgO Al ₂ O ₃ SiO ₂ H ₂ O SISTEMA CRISTALINO: Monoclínico ($\alpha=90^\circ$ / $\beta=100^\circ$ / $\gamma=90^\circ$) DENSIDADE RELATIVA: (1 – 2,6) g/cm ³ COR: Branco DUREZA: (2 – 2,5) Mohs	
MUSCOVITA	47,00	FÓRMULA QUÍMICA: K ₂ O Al ₂ O ₃ SiO ₂ H ₂ O SISTEMA CRISTALINO: Hexagonal ($\alpha=90^\circ$ / $\beta=100^\circ$ / $\gamma=120^\circ$) DENSIDADE: (2,76 – 3,1) g/cm ³ COR: INCOLOR DUREZA: (2 – 2,5) Mohs	

Fonte: Escola SENAI Mario Amato, LEQ – Laboratório de Ensaios Químicos, 2021.

A análise mineralógica por difração de raios X foi realizada em amostra da mistura de todas as camadas lavradas na Mina Taguá Buriti, da mesma maneira que é utilizada pela empresa.

Os minerais das frações argilosas são compostos basicamente por caulinitas, 48,63% da amostra é composta por este mineral, com a fórmula química de $\text{Al}^2\text{O}^3 \cdot 2\text{SiO}^2 \cdot 2\text{H}^2\text{O}$, com sistema monoclinico e uma densidade relativa de $2,6 \text{ g/cm}^3$, coloração branca e uma dureza entre 2 e 2,5 Mohs. Também foi identificado o mineral muscovita $\text{K}^2\text{O} \cdot \text{Al}^2\text{O}^3 \cdot 2\text{SiO}^2 \cdot \text{H}^2\text{O}$, com sistema hexagonal, com densidade de $2,76$ a $3,10 \text{ g/cm}^3$, incolor e dureza entre 2 a 2,5 Mohs. Também ocorrem em menor porcentagem os minerais hematita e paligorskita, 1,59% e 2,78% respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7 – Difratoograma: (1) Caulinita, (2) Hematita, (3) Palygorskita e (4) Muscovita.



Fonte: Escola SENAI Mario Amato, LEQ – Laboratório de Ensaios Químicos, 2021.

4.3. Determinação do limite de plasticidade

As análises de consistência podem ser utilizadas para a determinação dos limites de Atterberg, que é o coeficiente angular da reta obtida nos gráficos umidade x profundidade, que pode ser tomada como uma medida aproximada do Limite de Plasticidade (LP) (SOUZA SANTOS, 1992).

Na Tabela 8, encontram-se as tabelas de plasticidade de cada amostra, com os respectivos valores de água de amassamento e água de esfarelamento, tendo sempre como base a Tabela 9 - Classificação de argila quanto ao índice de plasticidade.

Segundo Emiliani (2002) a presença de montmorillonita não deve superar 5% nas formulações de massas cerâmicas; embora favoreça a trabalhabilidade e o poder ligante da massa, requer muita água, o que aumenta o tempo de secagem, maior risco à deformação e formação de trincas. A relação entre a quantidade de areia e a porcentagem de água contida na amostra permite que o material seja moldado. Observa-se que quanto maior o limite de plasticidade, maior a quantidade de água utilizada, maior a trabalhabilidade e o poder ligante.

Observa-se que a amostra (A) apresenta comportamento excessivamente plástico com $IP = 29,78\%$, sendo necessária uma quantidade maior de água para atingir um grau de trabalhabilidade. Essa característica é importante para o aumento da resistência mecânica, diminuição da porosidade e melhor acabamento pela ausência de areia em sua composição. A desvantagem é uma retração elevada, aumentando assim o índice de empenos e trincas nas peças cerâmicas, sendo que estas características estão diretamente relacionadas com as características mineralógicas.

As amostras (B) e (C) apresentam índices de plasticidade próximos, sendo $17,97\%$ e $13,46\%$ respectivamente, sendo consideradas excelente e regular, segundo NBR 7180: Solo – Determinação de limite de plasticidade. Por fim, a amostra (D) tem o índice de plasticidade $11,77\%$ sendo considerado um material de capa, material que atrapalha na moldagem dos materiais cerâmicos, diminuindo a resistência mecânica e aumentando a absorção de água dos materiais; sendo uma vantagem, a redução do índice de retração que pode ocasionar empenos e falta de padrão aos produtos cerâmicos.

Tabela 8 - Determinação da porcentagem de plasticidade.

Plasticidade	(A) (%)	(B) (%)	(C) (%)	(D) (%)
Água de amassamento	40,51	36,48	42,80	40,55
Água de esfarelamento	32,18	29,58	33,20	33,02
Limite de Liquidez	61,96	47,53	46,66	44,79
% de Plasticidade	29,78	17,97	13,46	11,77
Avaliação	Excessiva	Excelente	Regular	Mat. De Capa

Fonte: Ensaio realizados Laboratório de Ensaio de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

Tabela 9 - Classificação da argila quanto ao índice de plasticidade.

Tipo de argila	Índice de plasticidade
Excessivamente plástica	19 a 25
Excelente	17 a 18
Boa	15 a 16
Regular	13 a 14
Fraca	11 a 12
Material de capa	5 a 10

Fonte: NBR 7180 - Solo – Determinação de limite de plasticidade.

4.4. Determinação da Análise Térmica Diferencial e Análise Dilatométrica

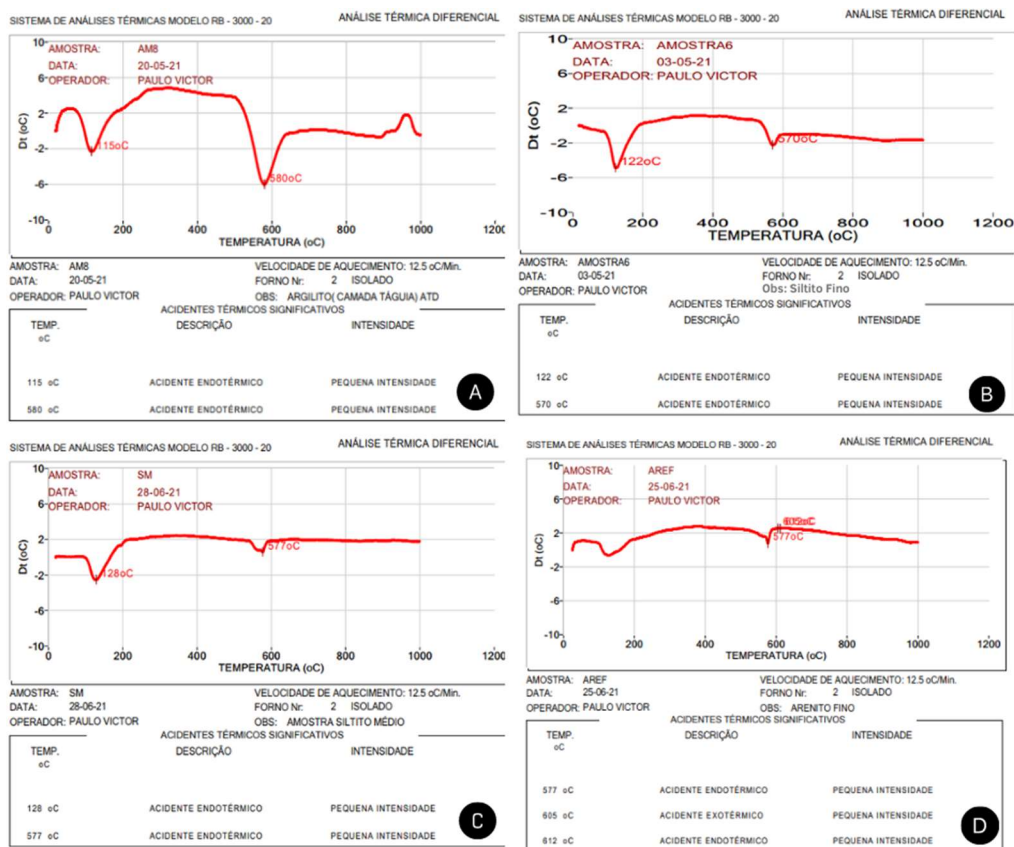
As curvas de Análise Térmica Diferencial (ATD) são apresentadas na Tabela 10. As reações térmicas (picos) abaixo da linha base são endotérmicas (absorção de calor) e as acima são exotérmicas (cessão de calor).

Observa-se em todas as amostras picos endotérmicos resultantes da saída de água absorvida em torno de 135°C. Este pico assume proporções maiores quando o material presente possui baixa quantidade de areia em sua composição, conforme observamos, nas amostras (A) e (B), este pico é mais intenso na temperatura média de 118°C. Um segundo pico endotérmico principal, em torno de 580°C é resultante da saída de água de constituição (desidroxilação), sendo um pico muito evidente. O ângulo de abertura deste pico (razão de declive) pode indicar se é devido à caulinita ou montmorilonita (MACEDO et al 2008).

Nas amostras (B) e (C) observa-se picos endotérmicos de pequena intensidade nas faixas de 122°C e 128°C, respectivamente, indicando a saída da água absorvida. Nas faixas de 570°C e 577°C, observamos a transformação do quartzo alfa para o quartzo beta, sendo um ponto crítico na queima, pois pode acarretar choque térmico e trincas nas peças cerâmicas.

A amostra (D) possui acidentes térmicos de pequena intensidade devido a quantidade elevada de resíduo, sendo importante ressaltar que a amostra possui um comportamento mais padronizado devido a pouca quantidade de água em sua estrutura. Na faixa de 577°C a 612°C ocorre uma variação de picos endotérmicos e exotérmicos devido a inversão da sílica que está presente em grande quantidade no resíduo do material cerâmico, mais de 50%, momento crítico na queima dos fornos cerâmicos onde ocorre o choque térmico e trincas no material (Tabela 10).

Tabela 10 - ATD – Análise Térmica Diferencial.

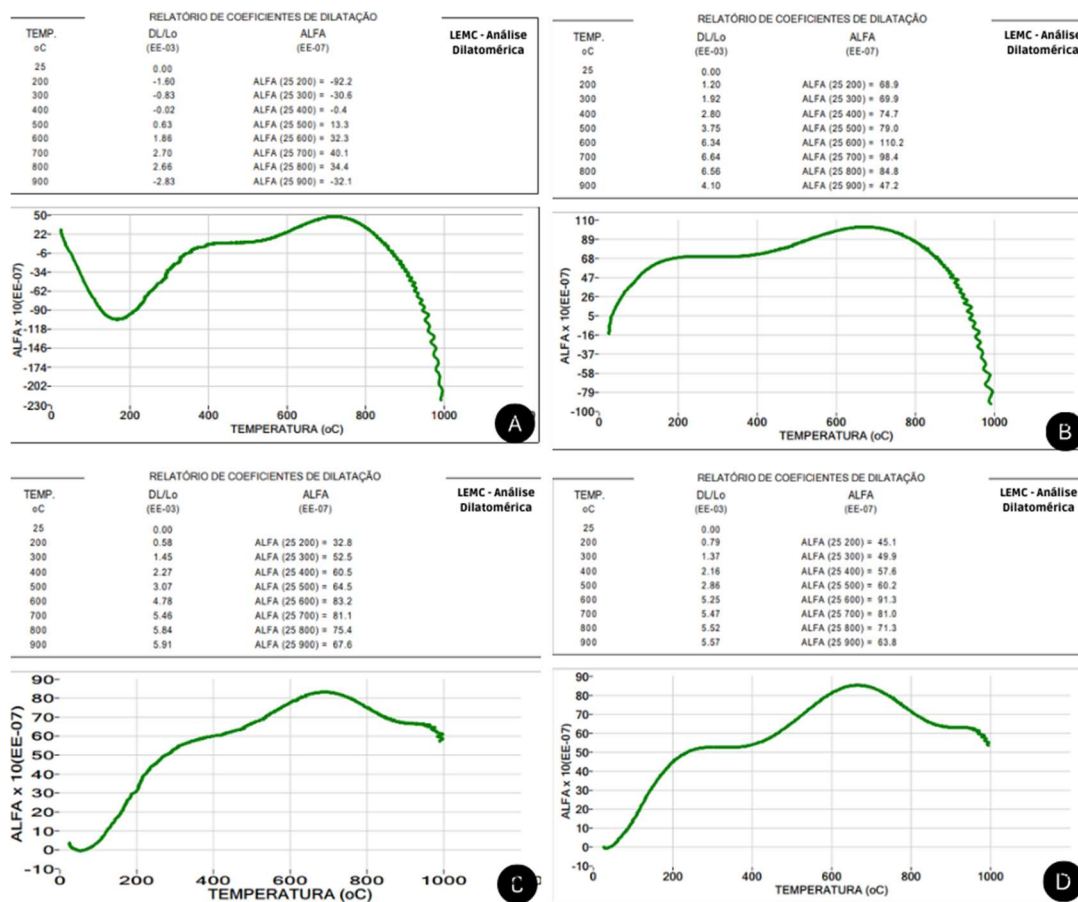


Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

Os resultados da análise dilatométrica dos materiais demonstraram que a amostra (A) apresenta uma alta contração na temperatura de 120°C, devido à alta quantidade de água, uma característica marcante nas argilas com alta plasticidade e baixa incidência de areia em sua composição. Apresenta dilatação a aproximadamente 700° C, ponto que indica o início da sinterização do material e a cristalização dos materiais (Tabela 11).

A amostra (B) apresenta pouca elevação da curva com dilatação em 600° C. Na amostra (C), dilatação na temperatura de 100°C até a temperatura de 700°C, ponto que a amostra começa a retrainr pela sinterização e a amostra (D) dilata próximo aos 280°C, com um pico marcante na temperatura de 575°C devido a transformação de quartzo alfa para beta, reação perigosa nas massas cerâmicas pois pode aparecer trincas de choque térmicos se a curva de queima for realizada em um velocidade da alta e por fim ocorre a contração a partir da temperatura 750°C.

Tabela 31 - AD – Análise Dilatométrica.



Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMCA, 2021.

4.5. Caracterização à 110°C nos corpos de prova

4.5.1. Contração linear e resistência mecânica a seco

Na Tabela 12 são apresentados os dados referentes às medidas de contração linear, umidade, ruptura a flexão e indicação de cor visual das amostras analisadas. Estes ensaios indicam as principais propriedades utilizadas pelas indústrias cerâmicas como controle, de modo a simplificar os ensaios de caracterização na temperatura de 110°C. As características de controle relacionam-se à composição, textura e grau de alteração das amostras, sendo também relevante a quantidade de resíduo (areia) contida.

Com o aumento da resistência mecânica, os produtos cerâmicos suportam maiores movimentações no processo produtivo, diminuindo assim as perdas. As amostras que apresentaram o Módulo de Ruptura à Flexão acima da média são de granulometria fina, que são

as amostras (A) e (B), com 3,19 Mpa e 2,62 Mpa, respectivamente. Os materiais com alto índice de areia, (C) e (D), apresentaram valores de 1,26 Mpa e 1,58 Mpa, respectivamente, sendo observada uma queda substancial da resistência.

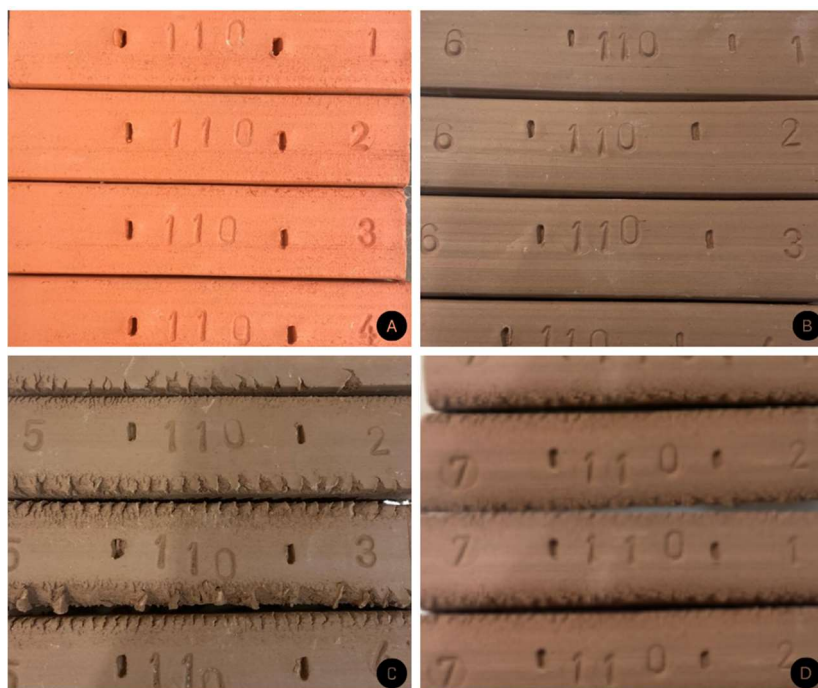
No ensaio de contração linear, fica evidente que os materiais que apresentam predominantemente grãos finos (argila) possuem maior retração devido a sua retenção de água, com valor de 3,98% no (A) e 3,17% no (B). Em relação ao (A), com valor de 1,88%, reitera-se a influencia do residuo no controle dimensional das peças cerâmicas na secagem (Figura 16).

Tabela 12 - Ensaios 110°C.

Amostra	(A) (%)	(B) (%)	(C) (%)	(D) (%)
Contração linear (%)	3,98	3,17	2,75	1,88
% de umidade	35,17	34,12	33,37	30,19
Ruptura (Kgf/cm ³)	32,64	26,76	12,86	16,17
Ruptura (Mpa)	3,19	2,62	1,26	1,58
Cor natural	Vermelho	Marrom	Marrom claro	Bege

Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

Figura 16 - Corpos de prova utilizados secos a 110°C, (A), (B), (C) e (D). Observa-se nas amostras (C) e (D) feições de “dentes de dragão”, indicando a baixa plasticidade.



Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

4.5.2. Determinação da Curva de Bigot

Foi realizado o ensaio da curva de bigot com a intenção de avaliar a relação entre a retração de secagem e a umidade residual das amostras durante o processo de secagem.

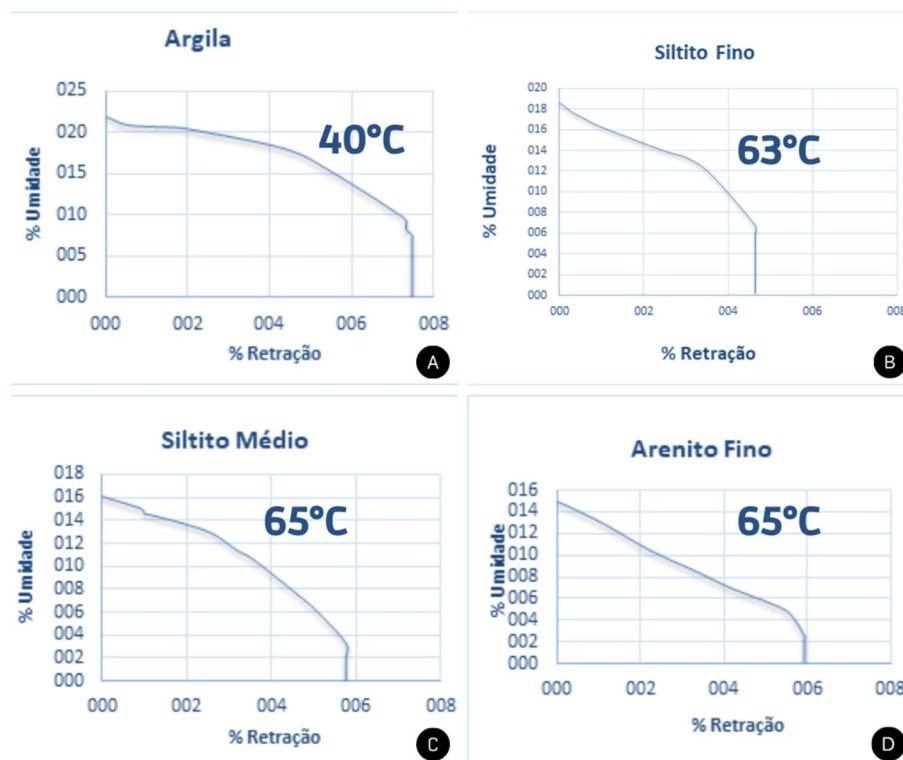
O teste é realizado por meio do monitoramento do processo de secagem de corpos de prova ou peças industriais, mediante avaliações periódicas relacionando a retração de secagem e a umidade (VIEIRA, 2003). A curva crítica indica a temperatura na amostra para de retrain, mas continua com unidade, dificultando assim a saída da água.

Na indústria cerâmica é importante saber esta temperatura, pois a curva de secagem é planejada com base nos resultados da curva de Bigot ou curva crítica, pois a secagem ocorre em um equipamento (secador) que em sua entrada possui uma temperatura baixa (temperatura ambiente) e umidade alta (95%) e no final, alta temperatura (105°C) e baixa umidade (abaixo de 5%).

Na amostra (A) observa-se que a curva crítica acontece na temperatura de 40°C, sendo considerada muito baixa, pois é bem próxima as temperaturas alcançadas com a secagem natural. Esta sensibilidade da massa durante o processo de secagem diminui à medida que a quantidade de areia aumenta, ou seja, quanto maior a distribuição granulométrica, melhor será seu desempenho na secagem.

Nas amostras (B), (C) e (D) observou-se que a temperatura crítica está na faixa de 65°C, sendo a retração de secagem abaixo de 6%, característica muito importante para redução de empenos e trincas de secagem. Este resultado traz informações úteis para o desenho das curvas de secagem, estabelecendo o teor de umidade crítico nas amostras, responsável por condicionar a velocidade de secagem de produtos cerâmicos. A quantidade de areia contribuiu para a redução na quantidade de água de conformação e isso pode reduzir o custo da secagem do material cerâmico (Tabela 13).

Tabela 43 - Determinação da Curva de Bigot.



Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

4.5.3. Ensaios nos corpos de prova sinterizados à 850°C e 950°C

As tabelas 15 e 16 apresentam os resultados das 4 amostras em relação aos ensaios de perda ao fogo, retração linear na queima, porosidade e absorção de água e resistência mecânica queimado, em 850°C e 950°C.

4.6. Perda ao fogo

Nas tabelas 15 e 16 são apresentados os resultados de determinação da perda ao fogo dos corpos de prova das amostras estudadas, submetidos a queimas em forno tipo mufla, em temperaturas de 850°C e 950°C. Observa-se que há aumento nos valores de perda ao fogo para todas as amostras conforme há incremento na temperatura de queima de 850°C para 950°C. Isto ocorre em função das transformações físico-químicas que nos materiais que compõem os corpos cerâmicos, reagindo, primeiramente, a volatilização da matéria orgânica e pela perda de massa proveniente de carbonatos, sulfetos, hidróxidos e água de constituição, (PRACIDELLI, 1992). São formados poros, ou seja, espaços vazios intergrãos.

A quantidade de matéria orgânica na amostra (A) é muito superior, por se tratar de um material mais próximo da superfície, obtendo assim valores elevados de perda ao fogo, 7,15% na temperatura de 850°C e 7,61% na temperatura de 950°C. Esses valores são muito próximos, porque a perda é devida totalmente à presença de matéria orgânica.

Nas amostras com grande incidência de resíduo, percebe-se um aumento substancial no resultado de perda ao fogo quando comparadas as temperaturas de 850° e 950°C, sendo que a diferença chega a 1,37% na amostra (D), devido à transformação dos elementos com potássio, extremamente fundentes.

4.7. Absorção de água e porosidade

A porcentagem de absorção de água das peças é demonstrada nas tabelas 14 e 15, queimadas a 850°C e 950°C, respectivamente.

Pode-se verificar que todas as amostras apresentam valores de absorção de água superiores a 13% na temperatura de 850°C. Isto ocorre porque as amostras não sinterizaram, o que é o oposto na temperatura de 950°C. Este comportamento é comum em corpos de prova confeccionados com litotipos ricos em minerais fundentes, como feldspatos e micas, que funcionam como um “catalisador” de reações na queima (SANTOS, 1989).

Roveri (2010) explica que a reação na queima cerâmica se inicia no estado sólido e depois no estado viscoso e líquido, quando há uma aproximação das partículas devido à diminuição da quantidade de vazios, à ausência de água e gás e à readaptação da fase mineral. Essa aproximação leva a uma redução no tamanho do cavaco cerâmico na maioria dos casos, para este tipo de amostra. Portanto, quanto maior a temperatura de queima, maior será a retração linear e o tamanho da amostra é reduzido ao mínimo. Esta característica, em cada amostra, depende de sua composição e textura, que é a resistência refratária; após esta temperatura limite, onde ela queima mais do que suporta, formam-se bolhas (combustão excessiva) e seu volume aumenta (SANTOS, 2005).

A porosidade dos corpos de prova confeccionados com as amostras estudadas pode ser observada nas figuras 17 (queima a 850°C) e 18 (queima a 950°C) e está diretamente relacionada com a absorção de água. À medida que a temperatura aumenta, a absorção de água diminui, a porosidade diminui devido à redução dos poros nas peças e ao preenchimento dos espaços vazios com líquidos e materiais viscosos e posterior sinterização.

4.8. Resistência mecânica queimado

Os resultados obtidos no ensaio permitem avaliar a resistência mecânica da amostra nas duas temperaturas de queima estudadas. O valor do Módulo de Ruptura à Flexão das amostras tem um aumento significativo na maior temperatura, que está diretamente relacionado à sinterização da amostra, que é mais completa a temperatura de 950°C. Na amostra (A) o aumento é bastante significativo, de 19,91 Mpa para 28,09 Mpa. No siltito variou de 17,66 Mpa para 27,32 e nas amostras (C) e (D), com valores de 3,11 Mpa e 2,66 Mpa na temperatura de 850°C, variaram para 3,69 Mpa e 3,14 Mpa na temperatura de 950°C, respectivamente. A NBR 15310/2009 - Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio, anexo C, Carga de ruptura a flexão, considera o limite mínimo de 12,0 Mpa, portanto estas duas amostras sozinhas não possuem características necessárias para o atendimento a norma vigente no país.

4.9. Ensaio de cor

Em relação à coloração das amostras (ou telha cerâmica, como produto final), a ausência da cor vermelha após a sinterização das peças pode estar relacionado à quantidade de ferro existente na matéria-prima e na temperatura. A maior presença de hematita na amostra (A), com teor de Fe de 16,07%, confere a coloração avermelhada escura. As amostras, (C) e (D), com 9,01 e 9,67% de Fe, respectivamente, apresentam cor de queima entre o marrom claro e o marrom escuro, em ambas temperaturas.

O maior grau de sinterização confere uma tonalidade mais escura da coloração (ROVERI, 2010).

Tabela 54 - Ensaios 850°C.

Amostra	(A) (%)	(B) (%)	(C) (%)	(D) (%)
Retração na queima (%)	3,17	2,81	2,38	1,67
Retração total (%)	7,15	5,98	5,13	3,55
Perda ao fogo (%)	7,36	4,50	3,49	2,86
Absorção de água (%)	14,09	13,31	16,18	17,86
Porosidade aparente (%)	29,01	27,76	33,19	31,59
Ruptura (Kgf/Cm ³)	203,24	180,30	31,76	27,22
Ruptura (Mpa)	19,91	17,66	3,11	2,66
Cor após queima	Vermelho escuro	Marrom	Marrom claro	Marrom escuro

Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

Figura 17 - Corpos de prova utilizados queimados a 850°C, (A), (B), (C) e (D).



Fonte: Ensaios realizados Laboratório de Ensaios de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

Tabela 15 - Ensaio 950°C.

Amostra	(A) (%)	(B) (%)	(C) (%)	(D) (%)
Retração na queima (%)	8,85	2,50	3,10	2,85
Retração total (%)	12,83	5,67	5,85	4,73
Perda ao fogo (%)	7,61	5,09	5,08	4,23
Absorção de água (%)	1,94	7,12	11,98	10,18
Porosidade aparente (%)	3,53	12,76	18,85	17,14
Ruptura (Kgf/Cm ³)	286,69	278,87	37,71	32,09
Ruptura (Mpa)	28,09	27,32	3,69	3,14
Cor após queima	Vermelho escuro	Marrom claro	Marrom claro	Marrom escuro

Fonte: Ensaio realizado Laboratório de Ensaio de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

Figura 18 - Corpos de prova utilizados queimados a 950°C, (A), (B), (C) e (D).



Fonte: Ensaio realizado Laboratório de Ensaio de Monte Carmelo – LEMC, 2021.

5. CONCLUSÕES

As matérias-primas provenientes da base e do topo da Formação Capacete apresentam comportamentos químicos e mineralógicos semelhantes, acarretando assim em propriedades cerâmicas equivalentes. Estas características fazem com que a extração das matérias primas seja de forma “lotada”, ou seja, sem sua separação por propriedades físicas facilmente percebidas a olho nu. Os estudos auxiliam no conhecimento da textura, mineralogia, composição química e comportamento e ajuda a compreender os fenômenos geológicos envolvidos nas fases de pesquisa, exploração e desenvolvimento da lavra dos depósitos de argila. Deve-se aplicar este conhecimento abrangente no planejamento e no desenvolvimento da mina, utilizando controles preliminares antes de seu uso no processo produtivo (SANTOS, 1992).

As amostras (A) e (B), do topo do perfil, possuem granulometria com alto teor de fração argila e apresentam limites de plasticidade dentro do intervalo indicado para utilização em cerâmica vermelha; são constituídas basicamente por quartzo, caulinita, feldspatos, hematita e mica.

As amostras (C) e (D), da base do perfil, apresentam também elevado índice de areia; apresentam absorção de água e módulo de ruptura à flexão dentro da faixa de valores indicada na literatura para argilas usadas na produção de telhas cerâmicas. Os ensaios de caracterização permitiram prever, com base nos conhecimentos dos ciclos de queima, a adequação ou não das matérias-primas para a produção de blocos cerâmicos, (MACEDO et al, 2008).

Nos ensaios de caracterização foi utilizado argila da produção industrial de uma empresa de Monte Carmelo, com a finalidade de determinar suas propriedades físicas e químicas. Foram analisadas individualmente as principais camadas que compõem a frente de lavra. Com o estudo das propriedades das argilas, pode ser repensado a maneira de extração das mesmas, optando por uma lavra com uma logística de retirar os produtos segundo sua estratificação, separando cada produto pelo tamanho dos grãos. Esta ação pode ser facilmente monitorada com a ajuda de um simples ensaio de lavagem de resíduo in situ, com a finalidade de obter melhor desempenho no comportamento físico, buscando melhor plasticidade e trabalhabilidade nas etapas mecânicas da fabricação, buscando a melhoria das propriedades do produto final.

A expectativa quanto à melhoria do aproveitamento da argila na lavra, em relação à massa base no processo produtivo que considera todas as litologias misturadas, pode resultar em qualidade superior em todos os testes físicos e mecânicos.

Pela avaliação desses resultados, fica evidente que o aumento da qualidade dos produtos

ocorre pela implantação de metodologias para monitoramento da lavra e pelas inovações tecnológicas nas etapas do processo produtivo, buscando sempre técnicas para preparo da massa com economia na produção regular, tanto qualitativa quanto quantitativa.

Apesar do estudo não ter alcançado a implantação em processo produtivo, acredita-se que os resultados na empresa irão reduzir custos nas diversas etapas do processo de fabricação. Acredita-se também na redução dos custos gerados no consumo da energia elétrica nas etapas do processo de conformação e na melhor eficiência mecânica das máquinas e dos insumos utilizados, como, por exemplo, a lenha usada para geração de calor para secagem e queima.

Os valores do limite de plasticidade variaram de xx a xx e estão dentro do intervalo de 15 a 30% que é o recomendado para utilização geral na cerâmica vermelha.

Este estudo das propriedades, bem como o conhecimento geológico das estratificações que constituem a Formação Capacete, possibilitaram o aproveitamento completo da mina, praticamente zerando a produção de esteril: a porção com mais resíduo (maior teor de areia) pode ser empregada na fabricação de produtos cerâmicos por extrusão, como tijolos e blocos cerâmicos, que possuem um índice de absorção de água de 25%, segundo NBR 15270/2017, já as porções com pouca quantidade de resíduo (maior teor da fração silte/argila), podem ser utilizadas para a produção de telhas cerâmicas, que possuem seu índice de absorção <20%, segundo NBR 15310/2009, e podem ser utilizados na composição de massas para fabricação de telhas cerâmicas, além de artesanatos, cabogós, manilhas e adoquim.

Com base nos resultados obtidos, fica evidente que o material estudado é indicado para formulação de massas e podem ser utilizadas em grande escala na produção de peças cerâmicas em geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEMC - Associação dos Ceramistas de Monte Carmelo – Parque Cerâmico de Monte Carmelo. Monte Carmelo, 2005.
- ACEMC - Associação dos Ceramistas de Monte Carmelo – Parque Cerâmico de Monte Carmelo. Monte Carmelo, Relatório anual de atividades, 2020.
- ANICER – Associação Nacional da Industrias Cerâmicas, <https://www.anicer.com.br/educanicer/>, (Fonte: IBGE 2008 para Seção C, Divisão 23, Grupo 234, Classe 2342-7, Fabricação de Produtos Cerâmicos Não-Refratários para Uso Estrutural na Construção, excluídas as palavras pisos e azulejos da razão social)., 2021.
- ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento. Acesso em 18/09/2020.
- BAILEY, S. W. **Structures, Classification, and Crystal Chemistry of Micas**. In: Bailey, SW, Ed., The Micas, Reviews in Mineralogy, Vol. 13, Mineralogical Society of America, 1-57, 1984.
- BARBOSA, J. C. **Controle da distribuição do tamanho de partículas cerâmicas no processamento de pavimentos gresificados**. 1997. 185 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- CABRAL JUNIOR, M.; OBATA, O. R.; SINTONI, A. **Diretrizes para Gestão Municipal**. In: TANNO, L. C.; SINTONI, A. (Org.). Mineração e município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais. São Paulo: IPT, 2003. p.37-58.
- CABRAL JUNIOR, M.; SERRA, N. (Coord.) **Bases para implantação de um Polo Mínero - Cerâmico no Estado da Bahia**. Salvador: CBPM, 2006. 132 p.
- CABRAL, M. et al. **Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo: Parte I – Introdução e a Indústria de Cerâmica Vermelha**. Cerâmica Industrial, 24 (1) janeiro/março, 2019.
- CAMPOS J. E. G. & DARDENNE M. A. 1997a. **Estratigrafia e sedimentação da bacia Sanfranciscana: Uma Revisão**. Revista Brasileira Geociências, 27(3): 269-282.
- CAMPOS J. E. G. & DARDENNE M. A. 1997b. **Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana**. Revista Brasileira Geociências, 27(3):283-294.
- CELIK, H. **Technological characterization and industrial application of two Turkish for the ceramic Industry**. Applied Clay Science, 50, p. 240-256, 2010.
- COLLADO, W. R. **Assessoria tecnológica para cerâmica vermelha**. Escola SENAI Mario Amato, Núcleo de Cerâmica Vermelha. São Paulo: 2002.
- DANA, E. S.; HURLBUT, C. S. **Manual de mineralogia**. 2. ed. New York: Reverté, New York, USA, 2ª Ed. 1960.

DONDI, M., Artigo apresentado no “Euroclay 2003, 10ª Conferência do European Clays Group Association, Modena, junho 22-26, 2003”. Workshop sobre “Minas e Meio Ambiente: da prospecção a recuperação local. *Cerâmica Industrial*, 11 (3) maio/junho, 2006.

DUTRA, R. P. S.; VARELA, M. L. V.; NASCIMENTO, R. M.; GOMES, U. U.; PASKOCIMAS, C. A.; MELO, P. T. **Avaliação da Potencialidade de Argilas do Rio Grande do Norte – Brasil**. *Cerâmica Industrial*, v. 11, p. 42-46, 2006.

EMILIANI, G. P.; CORBARA, F. **Tecnologia Ceramica: Volume III Le Tipologie, Faenza: Faenza Editrice**, 2002. 789p.

FACINCANI, E. (1992). **Tecnologia ceramica – I laterizi**. Itália, Gruppo Editoriale Faenza Editrice. Faenza. Seconda edizione. 267p, 1992.

GASPAR JUNIOR L. A, SOUZA M. H. O, MORENO M. M. T, VALARELLI J. V. **A Caracterização química Mineralógica e Textural de Rochas sedimentares da Formação Corumbataí e sua utilização como matéria prima na indústria cerâmica de revestimento**. In: SBG - Núcleos SP, RJ e ES, Simpósio de Geologia do Sudeste, VI, São Pedro, Atas, Boletim de resumos, p.136, 1999.

GOMES, C. F. **Argilas: O que são e para que servem**. Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1988.

IBGE. para Secção C, Divisão 23, Grupo 234, Classe 2342-7, **Fabricação de Produtos Cerâmicos Não-Refratários para Uso Estrutural na Construção, excluídas as palavras pisos e azulejos da razão social**), 2008.

JACKSON, M. L e MACKENZIE, R. C. – **Chemical analysis in the quantitative mineralogical examination of clays, Soil Clay Mineralogy, University of North Carolina Press**. P 313, Raleigh, Carolina do Norte, EUA (1964) (Orgs.). Crystal structures of clay minerals and their X-ray diffraction. 2. ed.

MACEDO. R. S. et al. **Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha (Study of clays used in red ceramic)**. Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande. *Cerâmica* 54 (2008) 411-417.

MAESTRELLI S. C. et al. **Estudo de caracterização de argilas não plásticas da região de Poços de Caldas, MG, Cerâmica** 59 242-248, (2013).

MAIA, L. J. Q. et al. **Caracterização Térmica de argilas de Costa Rica no Estado de Mato Grosso do Sul**, Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro – SP. Anais, 2000.

MARSIS, C. J. et al. 2008. **Argila para cerâmica vermelha. Rochas e Minerais Industriais**, 2 ed. Cap. 33, p.747-770. Centro de Tecnologia Mineral-CETEM.

MESCOLOTTI, P. C. et al. The sedimentary record of wet and dry eolian systems in the Cretaceous of Southeast Brazil: stratigraphic and paleogeographic significance. *Brazilian Journal Of Geology*. Sao Paulo: Soc Brasileira Geologia, v. 49, n. 3, 20 p., 2019.

MORATA, T. e ASSUMPÇÃO, R. M. V. **Manual de Soluções, Reagentes e Solventes**, São Paulo, Ed. Edgard Blucher, 1972, 2º ed.

MOTTA, J. F. M., CABRAL, J. M., TANNO, L. C., ZANARDO, A. **As Matérias-Primas Plásticas para a Cerâmica Tradicional: Argilas e Caulins**. Cerâmica Industrial, 9 (2) Março/Abril, 2004.

MURRAY, H. H. **Clays in Industry**. In: A Clay Odyssey 2001. Domingues, E. A.; Mas, G. R.; Cravero, F. Elsevier, 2001, p.3-14.

NBR 15270-1: **Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

NBR 15310-2009: **Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, 2009.

NBR 6459: Solo – **Determinação de limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

NBR 7180: Solo – **Determinação de limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

NBR 7181: Solo - **Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

NORTON, F. H. **Introdução à tecnologia cerâmica**, Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1973.

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PALDOLFELLI, V. C.; **Dispersão e Empacotamento de Partículas-Princípios e aplicações em Processamento Cerâmicos**, Fazendo Arte Editorial, São Paulo (2000) p145.

PMMC - Prefeitura Municipal de Monte Carmelo – **Perfil Sócio-econômico**. Monte Carmelo, 2006.

PRACIDELLI, S. **Matérias primas da escola SENAI Mario Amato**. São Paulo: 1992.

RÊGO, V. R. **Estudo do efeito da adição da escória de aciaria no processamento e propriedades finais de telhas cerâmicas**. Ph.D. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2010.

ROVERI, C. D. **Petrologia aplicada da formação Corumbataí (região de Rio Claro - SP) e produtos cerâmicos**. 200 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/102977>>, 2010.

RYAN, W. e RADFORD, C. **Whitewares: Production, testing and quality control**. Pergamon Press. Grã – Bretanha, 1987 - S.A., 1960. 600p.

SANTOS, L. M. N., **Apostila de Ensaio Preliminares. Escola SENAI “Armando Arruda Pereira”**. São Paulo, Brasil. SENAI, 2005.

SEDORKO, D., NETTO, R., ALESSANDRETTI, L. **Geologia aplicada à estratigrafia de sequências**. Editora CRV, 2020.

SGARBI, G. N. C., 1989. **Geologia da Formação Areado, Cretáceo Médio a Inferior da Bacia do São Francisco**, oeste do Estado de Minas Gerais. (Dissertação de Mestrado), UFRJ, 324.

SGARBI, G. N. C., Sgarbi, P.B.A. 2001. **Bacia Sanfranciscana: o registro fanerozóico da Bacia do São Francisco**. In.: Martins-Neto M.A., Pinto, C.P. (ed.) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais (Belo Horizonte), SBG–Núcleo de Minas Gerais, p.93- 138.

SGARBI, G. N. C. 2011. **Projeto Alto Paranaíba**. Capítulo III: Sedimentação do Cretáceo Inferior na Bacia Sanfranciscana: O Grupo Areado. CODEMIG/UFMG, 146p.

SGARBI, P. B. A. e VALENÇA J. G. “**Petrografia e Características Químicas Gerais de Rochas Vulcânicas Máficas Potássicas a Ultramáficas Alcalinas da Formação Mata Da Corda, Estado de Minas Gerais, Brasil**”. International Kimberlite Conference: Extended Abstracts 5 (fevereiro): 359-60. <https://doi.org/10.29173/ikc2569>. SGARBI, G. N. C. 2000. The Cretaceous Sanfranciscan basin, Eastern Plateau of Brazil. Revista Brasileira de Geociências, 30.450-452, 1991.

SINGER, F. **Cerâmica Industrial Singer**. Cerâmica Industrial v. 1, Ed. URMO, 1971.

SOUZA SANTOS, P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v.1 - 1ª edição, Editora Edgar Blücher, São Paulo, Brasil, (1975).

SOUZA SANTOS, P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v.1 - 2ª edição, Editora Edgar Blücher, São Paulo, Brasil, (1989).

SOUZA SANTOS, P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v.2 - 2ª edição, Editora Edgar Blücher, São Paulo, Brasil, (1992).

TANNO, L. C.; MOTTA, J. F. M. **Panorama Setorial - Minerais Industriais**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. In Cerâmica Industrial, 5 (3) maio/junho, 2000. p.38.

VIEIRA, C. M. F. **Avaliação da Secagem de Cerâmica Vermelha Através da Curva de Bigot**. Cerâmica Industrial, 8 (1) Janeiro/Fevereiro, 2003.

ZANOTTO, E. D. **Propriedades mecânicas de materiais cerâmicos: Uma introdução, Departamento de Engenharia de Materiais**, Universidade Federal de São Carlos, cerâmica, 37 (247) São Carlos – Sp, 1991.