



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
RELATÓRIO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

WILKSON JARDIM FREIRE

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MINERALÓGICA DA ARGILA UTILIZADA NA
INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA DE CASCAVEL-CE**

FORTALEZA

2014

WILKSON JARDIM FREIRE

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MINERALÓGICA DA ARGILA UTILIZADA NA
INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA DE CASCAVEL-CE**

Relatório de graduação apresentado ao Curso de Geologia do Departamento do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título De Geólogo.

Orientadora: Prof. Dr.^a Irani Clezar Mattos

FORTALEZA

2014

WILKSON JARDIM FREIRE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F935c Freire, Wilkson Jardim.

Caracterização física e mineralógica da argila utilizada na indústria de cerâmica vermelha de Cascavel-CE /
Wilkson Jardim Freire. – 2014.
67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Geologia, Fortaleza, 2014.
Orientação: Profa. Dra. Irani Clezar Mattos.

1. Deposito Aluvionar. 2. Argila. 3. Granulometria. I. Título.

CDD 551

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MINERALÓGICA DAS ARGILAS UTILIZADAS
NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA DE CASCAVEL-CE**

Relatório de Graduação apresentado ao Curso de Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Geólogo.
Área de concentração: Geotécnica e Geologia Sedimentar.

Orientadora: Dr.ª Irani Clezar Mattos.

Aprovada em: ____/____/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.ª Irani Clezar Mattos (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr.ª Tereza Falcão de Oliveira Neri

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Prof. Dr. César Martinelli

Universidade Federal do Ceará (UFC)

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado”.

Roberto Shinyashiki

Aos meus pais.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais Antônio Jardim Freire (em memória) e Raimunda Almeida Freire pela vida.

A Prof.^a. Dr. ^a Irani Clezar Mattos, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. ^a Tereza Falcão de Oliveira Neri, Prof. Dr. César Martinelli, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus colegas da turma de graduação que hoje posso chamá-los de amigos Vânia (Vaninha), Dilano, Renata (Renatinha), Debora, Junior, Adriano (Cachorrão), Joel Pedrosa, Emmanuel, Denise, Talita, Allan (Papai), Vanessa (Vanessão), Henrique, Bruna Paiva, Cleyson. Pela força, pelo companheirismo, pela dedicação, pela boa vontade e por fazer parte deste trabalho.

Aos amigos Gleison Oliveira, Mario Freire, Mauri Aragão, Thiago Viana, Eduardo Castro pelo apoio que me deram nos momentos de mais precisão.

E a todos que colaboraram mesmo que indiretamente com esse sonho.

RESUMO

O presente relatório de graduação apresenta as caracterizações mineralógicas e tecnológicas da argila, comercialmente conhecida como argila vermelha, localizada no município de Guanacés distrito de Cascavel-CE. Foram realizados ensaios tecnológicos de índices físicos (granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade, absorção d'água, retração linear e compressão) baseados nas normas da ABNT. Como parte da integração de dados, quantificou-se e classificou-se os minerais da argila por meio da Difração de raio X (DRX) e Fluorescência de raio X (FRX). As análises permitiram qualificar a argila, pela denominação inglesa, de *Fire-Clay*. Os resultados tecnológicos mostraram que a argila apresenta qualidade para a produção de blocos cerâmicos, com um índice de absorção relevante, perda de massa aceitável após a queima, capaz de ultrapassar a resistência dos limites da norma ABNT 15.270/2005 (Blocos). A argila mostrou-se ideal na confecção de blocos cerâmicos de revestimento da construção civil.

Palavras Chaves: Deposito Aluvionar, Argila, Granulometria.

ABSTRACT

The present graduation report introduces the mineralogical and technological characterization of clay, commercially known as red clay, located at Guanacés county, Cascavel District- Ceará State. There were realized technological tests of physical indices (grain size, liquid limit, plastic limit, plasticity index, water absorption, linear shrinkage and compression) based on ABNT standards. To integrate data, the minerals were quantified and qualified by X-ray Diffractometry (DRX) and X-ray Fluorescence (XRF). The analysis allowed to qualify clay, as english denomination, Fire-Clay. The technological results evince that the clay presents quality for ceramic blocks production, with a relevant absorption index and acceptable mass loss after burning, able to overcome the resistance of ABNT limits 15.270 / 2005 referent to compressive strength (blocks). Clay proved to be ideal for ceramic coating blocks manufacture for civil construction.

Key Words: Alluvial deposit, Clay, Granulometry.

Lista de Ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo | 14 |
| Figura 2 – Vegetação local - Carnaúba | 17 |
| Figura 3 - Domínio Tectônico Setentrional da província Borborema..... | 19 |
| Figura 4 - Formação Barreira e Terrenos Cristalinos da Região Metropolitana de Fortaleza | 21 |
| Figura 5 – Figura indicando os pontos de coleta A, B, C e D, percurso da água do rio e mina a céu aberto de extração da argila | 22 |
| Figura - 6 Imagem mostrando a) Amostra seca a 110 °C, b) Amostra quebrada, c) Amostra macerada e d) Amostra armazenada para posteriores testes..... | 26 |
| Figura – 7 Cilindro de argila e gabarito..... | 26 |
| Figura 8 – Aparelho de Casa Grande a) Massa da amostra moldada a concha do aparelho e b) Massa da amostra moldada e dividida ao meio | 28 |
| Figura 9 – Corpo de prova a) Visão horizontal b) Visão vertical..... | 29 |
| Figura 10 – Corpo de prova a) Argila em consistência granular b) corpo de prova c) mini-extrusora de fabricação Gelenski d) Compartimento onde fica a argila..... | 30 |
| Figura 11 - Amostras coletadas no galpão da cerâmica PH Indústria e Comércio de Produtos Cerâmicos LTDA Aplicação de Carga | 31 |
| Figura 12 - Posição dos corpos de prova nos ensaios à compressão | 31 |
| Figura 13: Prensa DL 20.000..... | 32 |
| Figura 14: Fácies dos blocos | 32 |
| Figura 15: Planeza das faces..... | 33 |
| Figura 16: Posições Esquemáticas Para as Medições da Espessura das Paredes Externas e Septos..... | 33 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Coordenadas UTM (Datum WGS 1984, Fuso 24M) dos vértices limítrofes da área de pesquisa..... | 14 |
| Tabela 2 – Analise granulométrica das amostras estudadas..... | 36 |
| Tabela 3: Índice de Plasticidade em porcentagem..... | 38 |
| Tabela 4 - Índice de absorção de água..... | 40 |
| Tabela 5 - Resultados da Perda de Massa ao Fogo | 40 |
| Tabela 6 - Médias da Retração Linear..... | 41 |
| Tabela 7 - Dimensões Médias dos Blocos Coletados..... | 42 |
| Tabela 8 - Desvio de Planeza dos Blocos Coletados..... | 42 |
| Tabela 9 - Espessura Média das Paredes e dos Septos | 43 |
| Tabela 10 - Resistência a Compressão | 43 |
| Tabela 11– Composição mineralógica das amostras com base nos resultados de difração de raio X. | 49 |
| Tabela 12 - Percentual dos Óxidos obtidos na FRX das amostras coletadas | 50 |

Lista de Gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Plasticidade..... | 37 |
| Gráfico 2 - Gráfico comparativo entre o limite de liquidez, plasticidade e o índice de plasticidade em 100 g das amostras coletadas | 39 |
| Gráfico 3 – Difratograma da amostra A | 45 |
| Gráfico 4 – Difratograma da amostra B | 46 |
| Gráfico 5 – Difratograma da amostra C | 47 |
| Gráfico 6 – Difratograma da amostra D | 48 |

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 Localização e vias de acesso..... | 13 |
| 1.2 Objetivos..... | 15 |
| CAPITULO 2 - ASPECTOS FISIOGRÁFICOS..... | 16 |
| 2.1 Clima..... | 16 |
| 2.2 Relevo..... | 16 |
| 2.3 Solo..... | 16 |
| 2.4 Recursos Hídricos..... | 16 |
| 2.5 Vegetação..... | 17 |
| 2.6 Aspecto Socioeconômico..... | 17 |
| CAPITULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO | 19 |
| 3.1 Geologia Regional..... | 19 |
| 3.2 Geologia Local | 21 |
| CAPITULO 4 - MÉTODO DE TRABALHO | 23 |
| 4.1 Etapa preliminar | 23 |
| 4.2 Etapa de campo..... | 23 |
| 4.3 Etapa de laboratório..... | 24 |
| 4.3.1 Caracterização Granulométrica..... | 24 |
| 4.3.2 Caracterização Limite de Plasticidade | 25 |
| 4.3.3 Caracterização do limite de Liquidez | 27 |
| 4.3.4 Caracterização de absorção d’água, Perda de Massa ao fogo e Retração Linear | 28 |
| 4.3.5 Caracterização de Resistência a Compressão | 30 |
| 4.3.5.1 Caracterização das medidas das fácieis..... | 32 |
| 4.3.5.2 Caracterização das medidas de planeza das fácieis..... | 32 |
| 4.3.5.3 Caracterização dos Septos e Paredes Externas..... | 33 |
| 4.4 Ensaios de caracterização químico-mineralógica | 34 |
| 4.4.1 Testes de Análises de Difração de Raios X (DRX)..... | 34 |
| 4.4.2 Testes de Analises de FRX | 34 |
| 4.5 Integração de dados..... | 35 |
| CAPITULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO | 36 |
| 5.1 Caracterização Física das Amostras | 36 |
| 5.1.1 Determinação da Granulometria | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1.2 Determinação Do Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade..... | 37 |
| 5.1.3 Índice de absorção d'Água, Perda de Massa ao Fogo e Retração Linear | 39 |
| 5.1.4 Absorção d'água | 39 |
| 5.1.5 Perda de massa ao fogo | 41 |
| 5.1.6 Retração Linear | 41 |
| 5.1.7 Resistência a compressão | 42 |
| 5.1.7.1 Médias das dimensões dos blocos..... | 42 |
| 5.1.7.2 Desvio de planeza | 42 |
| 5.1.7.3 Médias das paredes interna, externa e septos | 43 |
| 5.1.7.4 Resultados da resistência a compressão | 43 |
| 5.2 Caracterização Química das Amostras | 44 |
| 5.2.1 Difração de Raio X – DRX. | 45 |
| 5.2.2 Fluorescências de Raio X – FRX | 50 |
| CAPITULO 6 -CONCLUSÃO | 52 |
| CAPITULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO

Desde o início da humanidade as argilas vêm sendo utilizada pelo homem e sendo parte de sua evolução. No Brasil, o material argiloso é usado desde as primeiras civilizações indígenas e não foi introduzida pelos portugueses como se imaginava. Com o desenvolvimento das cidades o homem vem comprovando a importância e abundância desta matéria prima. O nordeste brasileiro na última década vem se destacando quanto a sua utilização, devido a seu crescente desenvolvimento econômico e verticalização das grandes cidades tornando os produtos derivados da argila indispensáveis para o dia-a-dia do homem.

Argila é o nome dado a um sedimento formado por partículas de dimensões muito pequenas, abaixo de 1/256 milímetros (4 micrômetros) de diâmetro. Esse sedimento pode ser formado por apenas um mineral argiloso, porém o mais comum é ser formada por uma mistura deles, com predomínio de um.

Segundo Gomes (2002) argila é um produto natural terroso que apresenta geralmente comportamento plástico, granulometria muito fina e facilmente dispersáveis em água. É constituída essencialmente por argilominerais, podendo conter outros minerais, como quartzo, mica, pirita, hematita, matéria orgânica e outras impurezas. Quimicamente, os argilo minerais são constituídos por silicatos de alumínio ou magnésio hidratados, contendo em certos tipos outros elementos como ferro, potássio, lítio e outros.

Os produtos finais derivados da argila utilizado no setor da construção civil são tijolos, pisos, tubos, telhas, cubas, pias, lavabos, aparelhos sanitários e demais objetos aplicados à decoração do imóvel.

1.1 Localização e vias de acesso

A área estudada possui 2.719 km² (Tabela 1) e está localizada na carta topográfica Beberibe (Folha SB.24-X-A-II), na região Nordeste do estado do Ceará (Figura 1). A extração da matéria prima (argila) pertence à indústria de beneficiamento de cerâmica vermelha, localizada na fazenda Bebedouro de nome PH Indústria e Comércio de Produtos Cerâmicos LTDA – ME, s/n, distrito de Guanacés, Município de Cascavel.

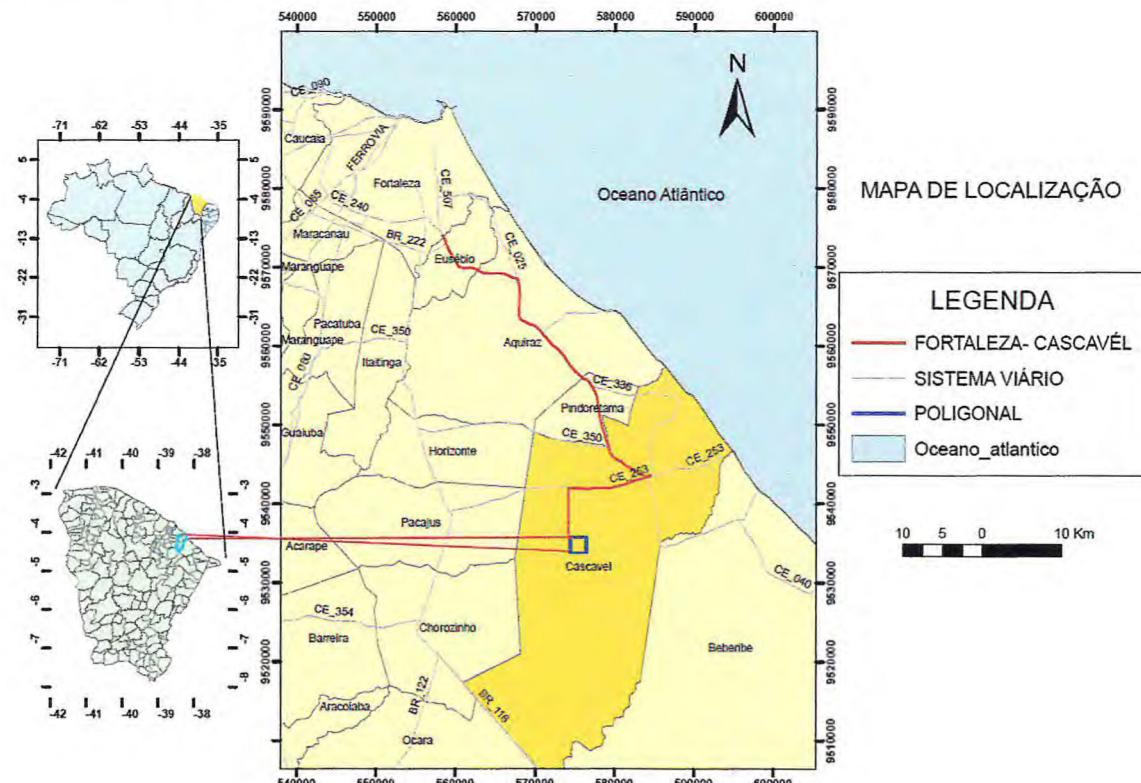
Tabela 1 - Coordenadas UTM (Datum WGS 1984, Fuso 24M) dos vértices limítrofes da área de pesquisa.

| Vértices | Coordenadas | |
|----------|---------------|----------------|
| | E (m) | N (m) |
| 01 | 573478.75 m E | 9534169.89 m S |
| 02 | 573407.14 m E | 9534176.10 m S |
| 03 | 575328.32 m E | 9532699.11 m S |
| 04 | 573478.75 m E | 9532699.11 m S |

Fonte – Elaborada pelo autor

O acesso ao município de Guanacés, em Cascavel, tendo como ponto de partida Fortaleza, pode ser feito através da rodovia CE 040 Fortaleza/Aracati, no quilometro 54 seguindo a direita na CE 253 (entrada de Pacajus). Logo após, 8,8 km toma-se a esquerda, em sentido a localidade de Bananeiras, no qual passa pelas demais vilas, lugarejos, sítios e fazendas, que estão interligados por estradas asfaltadas e/ou de revestimento de terra, as quais permitem franco acesso à área (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte – Elaborada pelo autor

1.2 Objetivos

O escopo geral do trabalho consistiu em caracterizar os sedimentos argilosos aluvionares incidentes na área em foco. Os objetivos específicos foram:

- i. Caracterização granulométrica;
- ii. Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade;
- iii. Absorção de Água;
- iv. Perda de massa ao fogo;
- v. Retração Linear;
- vi. Resistência a Compressão;
- vii. Difração de raio X (DRX);
- viii. Fluorescência de raio X (FRX);

CAPITULO 2 - ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

A partir da identificação da paisagem natural pode-se interpretar o ambiente em tempos pretéritos. Durante a dinâmica evolutiva há interação das Unidades Geoambientais, o que permite a formação de cenários diferenciados. Dos elementos físicos evidenciados, foram descritos clima, relevo, solo, recursos hídricos e vegetação.

2.1 Clima

O Município apresenta tipo climático Tropical Quente Semiárido Brando, caracterizado por temperatura alta, que varia entre 26 a 28°C. Os maiores índices pluviométricos ocorrem entre os meses de janeiro à maio e pode atingir 1331,7 mm em anos chuvosos (IPECE, 2013).

2.2 Relevo

As unidades de relevo da área de estudo estão contidas na Província Borborema, cujos sistemas morfométricos são planície litorânea, tabuleiros pré-litorâneos dissecados em interflúvios tabulares (IPECE, 2013).

2.3 Solo

Os principais fatores formadores do solo da região são; clima, litotipo e relevo. Na área de estudo visualizam-se areias quartzosas distróficas, areias quartzosas marinhas, planossolo solódico, podzólico vermelho-amarelo, solonetz solodizado (IPECE, 2013).

2.4 Recursos Hídricos

A área de estudo encontra-se na Bacias Hidrográfica Metropolitana (IPECE, 2013). De acordo com o Caderno Regional das Bacias Metropolitanas (INESP, 2009) as rochas cristalinas predominam totalmente na área e representam o que é denominado comumente de “aquéfero fissural”. Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão.

As coberturas sedimentares compreendem manchas isoladas de sedimentos detriticos que, em função das espessuras reduzidas, têm pouca expressão como mananciais para captação de água subterrânea.

2.5 Vegetação

A área de estudo está inserida no Bioma Caatinga, cujos índices pluviométricos baixos, geram táxons raros e endêmicos. Encontram-se duas unidades fito ecológicas: complexo vegetacional da zona litorânea, cerrado e floresta perenifólia paludosa marítima (IPECE, 2013).

A carnaúba é abundante na área de coleta das argilas, devido sua característica peculiar de existência (solos rasos, argilosos que no período chuvoso suas raízes e parte do seu tronco ficam submerso) contribuindo para a fixação e proteção desse solo e evitando a erosão do mesmo (Figura 2).

Figura 2 – Vegetação local - Carnaúba.



Fonte – Elaborada pelo autor

2.6 Aspecto Socioeconômico

O Município é dividido em 6 distritos: Cascavel (sede), Caponga, Guanacés, Cristais, Jacarecoara e Pitombeiras.

A maior concentração populacional encontra-se na zona litorânea. A sede do Município dispõe de abastecimento de água, fornecimento de energia elétrica, serviço telefônico, agência de correios e telégrafos, serviço bancário, hospitais, hotéis e escolas de ensino fundamental e médio.

A economia local é baseada na agricultura: produção de caju, coco da Bahia, cana-de-açúcar, mandioca, milho e feijão; pecuária: bovino, suíno e avícola.

O Município possui um polo industrial com 31 indústrias sendo: químicas, bebidas, metalúrgica, perfumaria, sabão e velas, mobiliário, produtos minerais não metálicos, produtos alimentícios, madeiras, vestuário, calçados, artigos de couro, peles e serviços. Dando ênfase ao artesanato de cerâmica (potes, jarros, e esculturas) e cerâmica para construção civil (tijolos e telhas).

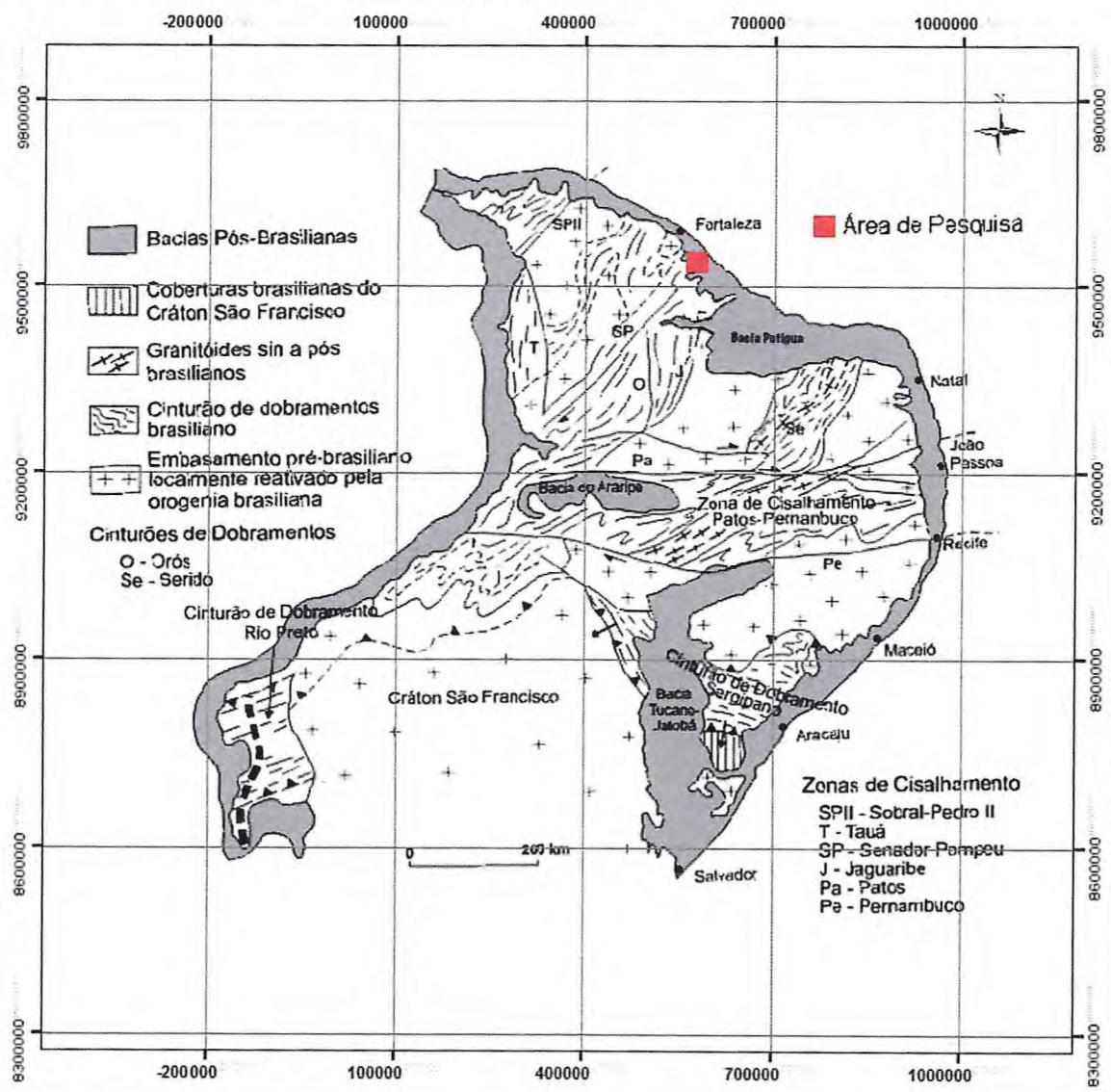
A indústria de cerâmica PH Indústria e Comércio de Produtos Cerâmicos LTDA – ME, na qual a área de estudo está inserida, localiza-se no distrito de Guanacés, município de Cascavel. A empresa traz benefícios à comunidade, fornecendo tijolos para o abastecimento de depósitos locais, além de contribuir economicamente, tanto na geração de empregos diretos (forneiro, ajudantes de forneiro, tratoristas, serventes, copeira, faxineira, dentre outros) como indiretos (caminhoneiros, mateiros, entre outros).

CAPITULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Geologia Regional

A área de estudo está inserida à norte do lineamento Patos, no Domínio Tectônico Setentrional da Província Borborema, de idade Pré-cambriana (Almeida *et al.*, 2000). Localizada entre a Bacia Potiguar (Norte e Leste), Bacia do Araripe (Sul) e zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Oeste). Destacam-se a existência de embasamentos Pré-cambrianos e a presença de sedimentos fanerozóicos da Bacia Potiguar (Figura 3).

Figura 3 - Domínio Tectônico Setentrional da província Borborema.



Fonte - Almeida et al., 2000

Os litótipos Pré-cambrianos são caracterizados pela Unidade Canindé, do Domínio Ceará Central. O Domínio Ceará Central é a unidade geotectônica mais extensa da porção norte da Província Borborema, delimitado entre as zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II (lineamento Transbrasiliano) e Senador Pompeu (Brito Neves et al., 2000). A Unidade Canindé é formada basicamente por paragnaisses, ortognaisses e metabásicas (lentes anfibolíticas) segundo Cavalcante et al., 2003.

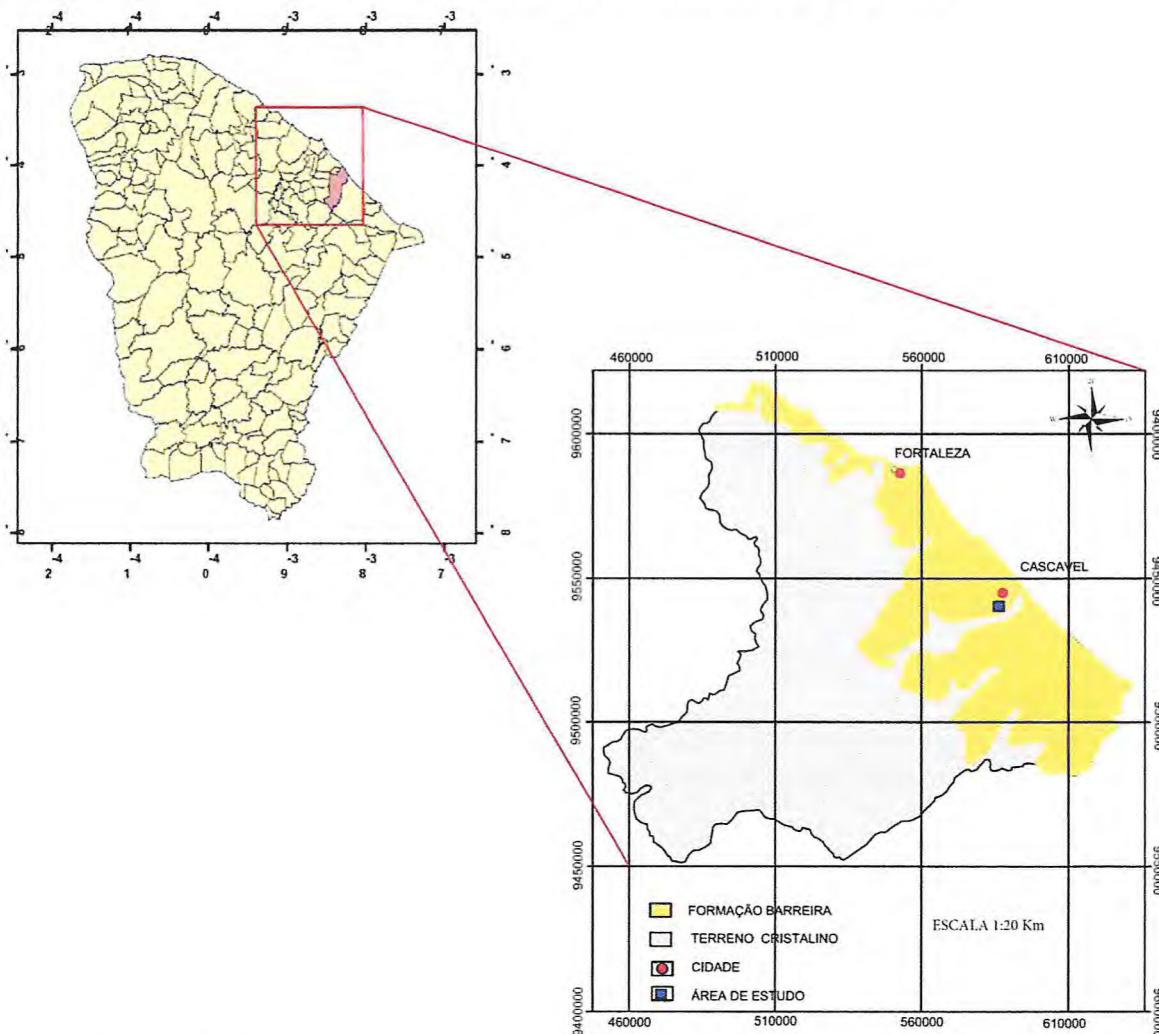
As rochas sedimentares são pertencentes ao grupo Barreira (arenitos, conglomerados, siltitos e folhelhos), formando coberturas extensas. Depósitos aluviais e eólicos (areias e argilas) ocorrem na forma de vales (depósitos aluviais) ou ao longo da costa (depósitos litorâneos). As coberturas sedimentares são pouco espessas e geralmente não ultrapassam 50 m de profundidade.

Segundo Cavalcante (1998), a grupo Barreira é constituída de arenitos finos a médios, com intercalações de siltitos, argilas e níveis de conglomerados, com variação lateral de fácies, podendo notar-se discreta estratificação cruzada entre os bancos deposicionais. Apresenta matriz argilosa caulínica, com cimento ferruginoso, às vezes silicoso e níveis lateritizados. Essa unidade possui caráter predominantemente continental, tendo seus constituintes depositados sob condições de clima semiárido, sujeito a chuvas esporádicas. Formam amplas faixas de leques aluviais coalescentes, ocorrendo à retaguarda dos depósitos eólicos mais recentes.

A análise da exposição subaérea do grupo Barreira permitiu integrá-las como parte de uma sedimentação típica dos ambientes de leques aluviais. A deposição está relacionada à reativação de falhas em zonas de fraqueza pré-existentes com direção aproximadamente paralela à linha de costa atual (Figura 4). Esse processo de reativação gerou a deposição de clásticos grossos (conglomerados) em segmentos proximais e “calhas profundas” dos grabens, e a deposição dos leques aluviais com fácies interdigitadas e formação de subsistemas fluviais entrelaçados, conformando a paleolinha de costa, de acordo com Cavalcante (1998).

Em período posterior, ocorreram novas reativações de lineamentos de direção N50E a EW presentes no interior do continente (Cavalcante, 1998). Estas zonas de fraqueza correspondem aos grandes lineamentos (zonas de cisalhamento e falhas) que são recobertos pelos sedimentos mais jovens quando integram a zona costeira.

Figura 4 - Formação Barreira e Terrenos Cristalinos da Região Metropolitana de Fortaleza.



Fonte – Elaborada pelo autor

3.2 Geologia Local

O acúmulo de sedimentos aluvionares nas margens dos cursos d'água dá origem às várzeas, locais tradicionalmente procurados por agricultores, pois aliam fertilidade à presença d'água. Seus sedimentos podem ser bem ou mal selecionados e pouco ou muito bem retrabalhados (arredondados), dependendo em que ponto do curso do rio se encontram. Quando há alto fluxo, os sedimentos tendem a ser pouco selecionados e pouco trabalhados. Em médio e baixo curso tendem a serem bem selecionados, como é o caso da argila pesquisada na área. Esses depósitos tendem a se acumular dando origem às planícies aluviais.

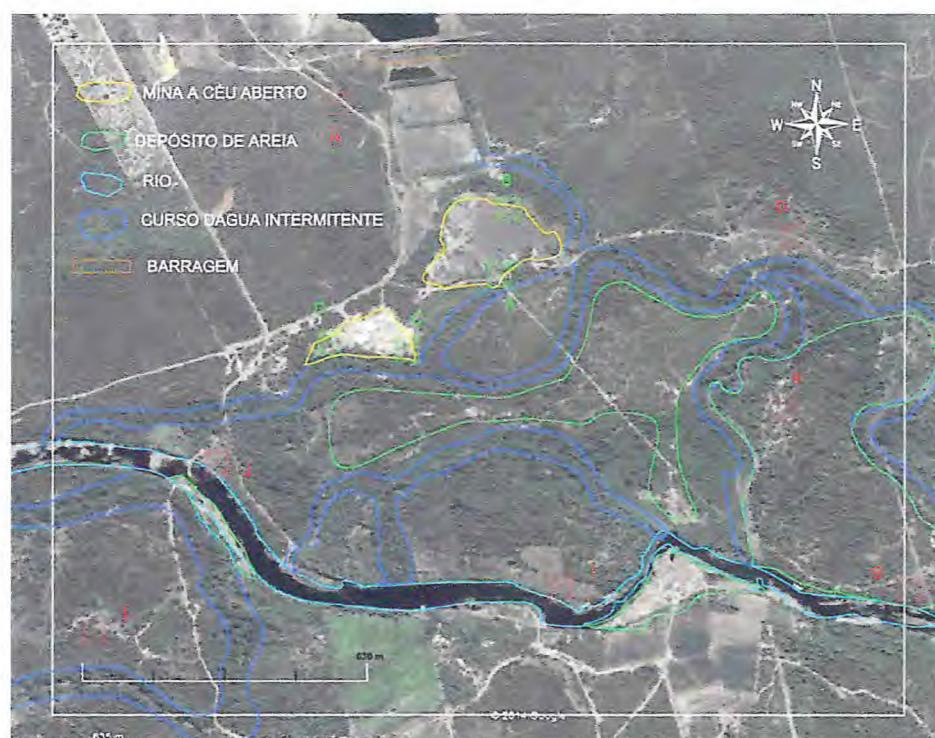
Devido às fortes e bruscas mudanças de regime dos cursos fluviais, os depósitos das planícies aluviais se constituem, geralmente em intercalações de camadas e lentes de diversas granulometrias, desde fração argilosa até conglomerática.

Os rios transportam em suspensão 3,5 vezes mais material do que em solução e 12,5 vezes mais material do que em carga de fundo. Os minerais argilosos predominam no material em suspensão. Segundo Konta (1985), a associação mineral nos sólidos em suspensão na água de um rio é tão característica desse rio como a impressão digital o é para o homem. As argilas de depósitos fluviais têm origem nos solos e nas capas de alteração das rochas, produtos desenvolvidos nas bacias hidrográficas e que são mobilizados e depositados pelos cursos fluviais.

Conforme a região, a argila assume aspectos diferentes. No caso da área estudada, tem-se solos de climas tropical quente com pluviometria média de 1300 mm com chuvas concentradas de janeiro a maio (IPECE, 2013). São solos mais evoluídos devido à alta temperatura, o que facilita mais a hidrólise dos silicatos.

A figura 5 exibe os pontos amostrados e permite evidenciar que as argilas em questão são provenientes de depósitos fluviais. Provavelmente a formação desses depósitos originou-se através dos solos e capas de alteração das rochas. A mesma figura indica ainda que seus sedimentos são mobilizados e depositados pelo curso fluvial do Rio Choró, sendo que tais depósitos se desenvolveram na bacia hidrográfica da região metropolitana de Fortaleza.

Figura 5 – Figura indicando pontos de coleta A, B, C e D, percurso da água do rio e mina a céu aberto de extração da argila.



Fonte – Elaborada pelo autor

CAPITULO 4 - MÉTODOS DE TRABALHO

O trabalho foi dividido em quatro etapas, com intuito de subsidiar os objetivos propostos: (I) Etapa preliminar, (II) Etapa de campo, (III) Etapa de laboratório e (IV) Integração de dados.

4.1 Etapa preliminar

Na etapa inicial da pesquisa foi realizada a aquisição e compilação de materiais bibliográficos e de dados geológicos, estruturais e imagens de sensores remotos da área investigada.

A revisão bibliográfica consistiu na leitura de revistas e artigos publicados no portal de periódicos da Capes, Revista de Geologia e outros meios de veiculação científica, referentes aos contextos do grupo Barreira, Domínio Ceará Central e da Província Borborema.

Os mapas temáticos pré-campo foram confeccionados em plataforma unificada de Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG), em coordenadas *World Geodetic System 1984* (WGS 1984) e fuso 24 hemisfério Sul, com intuito de armazenar planos de informações para futuras consultas e mapas da CPRM (Cavalcante *et al.*, 2003), em escala 1:100.000 para base planialtimétrica.

4.2 Etapa de campo

Os levantamentos das informações de campo foram realizados em 4 dias. No primeiro dia de campo foi feito a poligonal da área. Nos demais dias as argilas foram coletadas, pontuadas para análises posteriores, com intuito de caracterizar o depósito aluvionar e os demais aspectos físicos expostos na região de estudo.

Os materiais auxiliares durante o mapeamento foram caderneta de campo, *Global Positioning System* (GPS), lupa de bolso, máquina fotográfica, martelo geológico, picareta, enxada, trado, pá, alavanca, facão e saco plástico com capacidade de 5kg.

Em campo, foi realizado um teste preliminar para averiguar se a argila possuía um padrão adequado aos procedimentos laboratoriais para a sua caracterização. Em cada ponto foram coletados 100g de argila dentro de uma trincheira e misturado 20 ml de água dentro de uma vasilha plástica estéril, para-se transformar em uma massa plástica adesiva (barro). Então, foi amassada a mão até formato de corda com espessura de um lápis, sendo dobrada entre dois

dedos. Como o breve ensaio de plasticidade em campo apresentou pequenas rachaduras no material como esperado, pode-se prosseguir com os testes de caracterização.

4.3 Etapa de laboratório

Os ensaios tecnológicos e o levantamento das características mineralógicas existentes nas amostras foram realizados nos laboratórios: de Geotécnica, de Geologia Marinha Aplicada (LGMA) ambos do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da UFC, Laboratório de Raio-X do Departamento de Física do Centro de Ciências da UFC e o Laboratório de Cerâmica Vermelha (LCV) do SENAI do Ceará respectivamente.

Foram realizados ensaios de caracterização granulométrica, limite de plasticidade, limite de liquidez, índice de plasticidade, absorção d'água, perda de massa ao fogo; retração linear, resistência a compressão, difração de raio X (DRX); fluorescência de raio X (FRX).

Para os ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade, absorção d'água, perda de massa ao fogo foi preparada uma massa com duas proporções (100 g) da amostra C com uma proporção (100 g) da amostra B denominada de massa pronta (M P). Essa massa será utilizada na preparação do corpo de prova para ensaios posteriores.

4.3.1 Caracterização Granulométrica

A análise foi realizada no Laboratório de Geologia Marinha Aplicada (LGMA) do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da UFC. Inicialmente, as amostras úmidas foram inseridas em recipientes devidamente etiquetadas e levadas a estufa com temperatura controlada de 105°C +/- 5°C, por 12 horas para ser realizado a secagem. Depois, foram separados 1kg de cada amostra e inseridas em bandejas. Cada amostra foi macerada tornando-as homogenia, em seguida, fez-se o quarteamento destas.

Após este procedimento foi pesado 100g de um dos quartos e separado em um recipiente e etiquetado. Acoplou-se uma peneira de 0,062mm a um balde e inserido sob uma torneira, com baixa intensidade de água corrente, para que o material mais fino fosse separado. O material retido na peneira é levado para secagem, já o material de granulação menor ficou decantando por dois dias. Passado o período, a água é retirada por meio de sifão e o material precipitado foi colocado para secar em estufa de temperatura controlada em 105°C +/- 5°C por 6h, deixando o material mais fino preparado para a pipetagem. O procedimento é repetido para cada amostra coletada.

Com o auxílio de um agitador tipo *Rot Up Silve Shaker*, foi colocado um jogo de 12 peneiras em ordem decrescente de malhas, que variam de 4,0 mm a 0,099 mm e o fundo na qual se deposita a fração 0,062mm. As amostras foram peneiradas e agitadas por 10 minutos, onde o conteúdo de cada peneira foi pesado, anotado na ficha de análise granulométrica, separados em sacos plásticos e identificados seguindo a norma da ABNT NBR 6502/95.

O material fino foi introduzido em proveta de 1000 ml e adicionado 0,67g de oxalato de sódio, para evitar floculação. Em seguida, adicionou-se água destilada até completar a proveta. Com um bastão de vidro, o material foi mexido até que o reagente e a amostra se dissolver-se completamente. A marcação do tempo foi realizada com auxílio de cronômetro, da ordem de coleta da solução, em 0:00'58" foi retirado 20 ml da solução no nível de 20 cm abaixo da cota de 1000 ml da proveta e, posteriormente, separado no frasco marcado 01. No tempo de 0:03'52" foi retirado 20 ml da solução abaixo da cota de 1000 ml da proveta e inserido no frasco 02. No momento 0:07'44" foi retirado 20 ml da solução no nível de 10 cm abaixo da cota de 1000 ml da proveta e inserido no frasco 03. Durante o tempo de 0:31'00" foi retirado 20 ml da solução no nível 10 cm abaixo da cota 1000 ml da proveta e inserido no frasco 04. Com 2:0'00" foi retirado 20 ml da solução no nível 10 cm abaixo da cota 1000 ml da proveta e colocado no frasco 05.

Posteriormente, foi anotado os respectivos pesos na tabela, sendo repetido todo o procedimento para cada amostra coletada. Após todas as análises, os frascos foram postos em estufa, com temperatura constante de aproximadamente 60 °C, para a evaporação da água, ficando apenas os sedimentos, sendo os mesmos pesados e anotados na tabela do programa de análises granulométrica (Anexo 1) seguindo a ABNT NBR 7218:2010 Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.

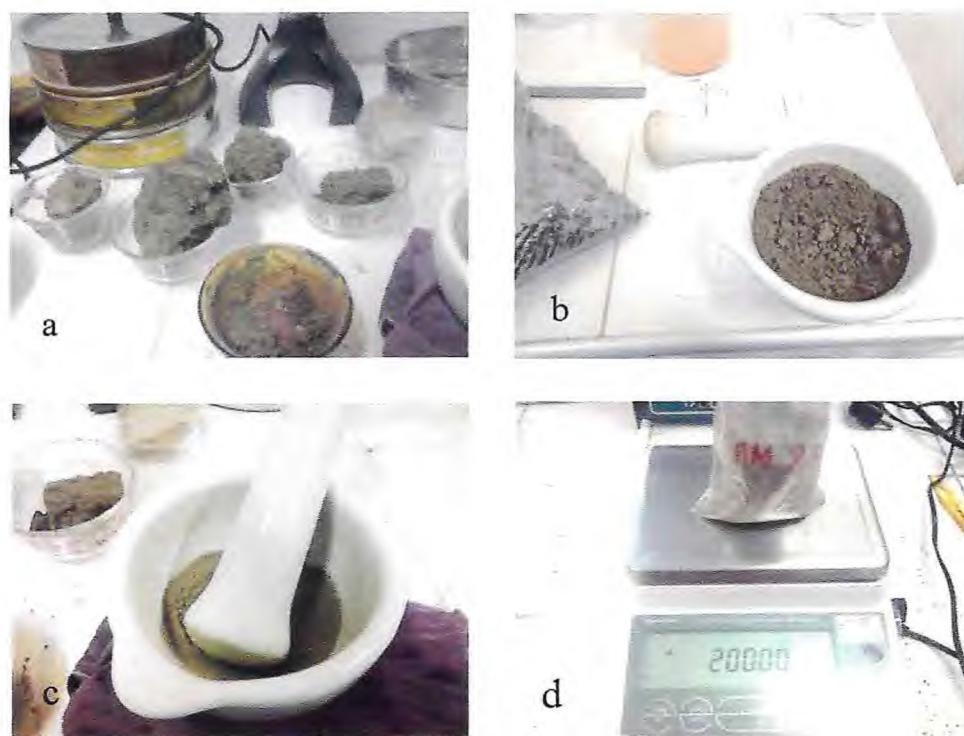
4.3.2 Caracterização Limite de Plasticidade

Este ensaio foi realizado no laboratório de Geotécnica do Departamento de Geologia do Centro de ciências da UFC, seguindo as normas técnicas da ABNT – NBR 7180.

Com a argila seca, em estufa com temperatura constante a 110°C, foi separada uma porção de aproximadamente 200 g, que por sua vez foi quebrada e macerada em uma cápsula de porcelana com capacidade de 500 g. O material foi selecionado e peneirado em uma peneira de 0,425 mm, separado e pesado 50 g em uma balança sensível a 0,001g. Após a pesagem foi

armazenada em um recipiente etiquetado, sendo repetido todo o procedimento para as demais amostras (Figura 6).

Figura - 6 Imagem mostrando a) Amostra seca a 110 °C, b) Amostra quebrada, c) Amostra macerada e d) Amostra armazenada para posteriores testes.



Fonte – Elaborada pelo autor

Utilizando-as 50 g do material passado na peneira de 0,425 mm, foi colocado na cápsula de porcelana, misturando 20 ml de água destilada, formando uma massa plástica uniforme. Com o material homogêneo obtido formou-se uma pequena bola, que foi rolada sobre a placa de vidro esmerilhado, amassando-se até tomar a forma de um cilindro de 3 mm de diâmetro por 10 cm de comprimento conforme o gabarito (Figura 7).

Figura – 7 Cilindro de argila e gabarito



Fonte – Elaborada pelo autor

A argila foi amassada, formando uma pequena bola e rolada novamente na placa de vidro esmerilhado até que por perda de umidade fragmentou-se sendo repetido esse processo para todas as amostras. Após esse processo, esses bastões foram pesados e quebrados em três partes e inseridos em recipiente resistente à alta temperatura e levados a estufa com temperatura de 60°C, por um período de duas horas.

Posteriormente, foi realizada uma nova pesagem e levados de volta a estufa por 40 minutos, sendo repetido esse procedimento até atingirem peso constante.

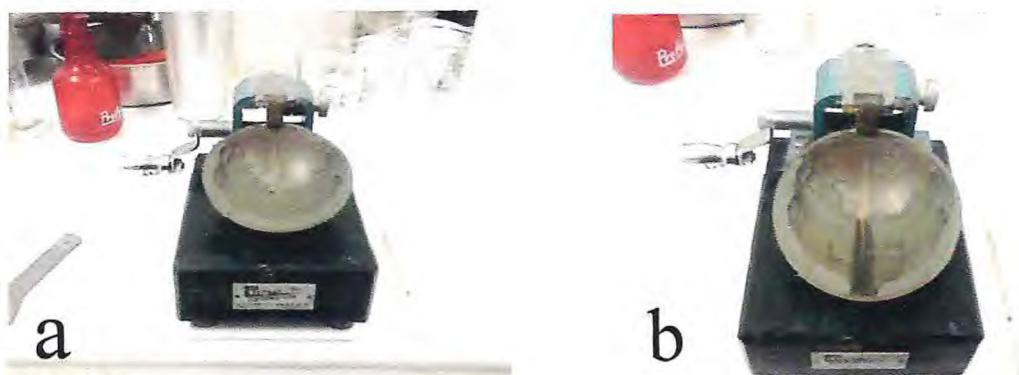
4.3.3 Caracterização do limite de Liquidez

De acordo com o Manual de práticas do Laboratório de Geotécnica (LAGETEC) do Centro de Ciências da UFC, que o teste realiza-se no mesmo. Segundo a norma NBR 6459, foi colocado 70 g do material passado na peneira 0,425 mm, em uma cápsula de porcelana. Logo após, acrescentou-se 20 ml de água destilada, formando uma massa plástica.

Com a espátula a massa foi moldada ao aparelho de Casa Grande de tal forma que a parte central da concha, apresentava uma espessura de aproximadamente 1cm (Figura 8). A massa obtida foi moldada novamente com acréscimo de 13 ml água, no aparelho Casa Grande. Com o emprego da espátula, a mesma foi dividida ao meio, perpendicularmente à articulação da concha (Figura 8). Girando a manivela, procedendo golpes na concha contra a base do aparelho, tendo uma razão de duas voltas por segundo, seguindo o procedimento até que as bordas inferiores da ranhura se unissem, obtendo assim o número de golpes.

Retirado o excesso da massa plástica do trecho em que ela se uniu foi transferido para uma cápsula, resistente à alta temperatura e pesada. Utilizou-se uma estufa com temperatura constante de 60°C por um período de 4 horas. Após esse tempo foi novamente pesado e repetido esse processo até que chegou a um peso constante. Foi acrescentado 3cm³ de água destilada à massa plástica e repetiu-se todo o procedimento cinco vezes para cada amostra coletada.

Figura 8 – Aparelho de Casa Grande a) Massa da amostra moldada a concha do aparelho e b) Massa da amostra moldada e dividida ao meio.



Fonte – Elaborada pelo autor

Como fundamentação teórica o limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade foram determinados pelo Limite de Atterberg, segundo as normas ABNT NBR 6459/1984 e ABNT NBR 7180/1980/1984. Implicando na diferença entre o limite de liquidez (separa o estado líquido do plástico) e o limite de plasticidade (separa o estado plástico do semi-sólido) respectivamente, utiliza-se da fórmula abaixo:

$$W (\%) = M_w / M_{ss} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$W (\%)$ = Teor de Umidade

M_w = Massa úmida

M_{ss} = Massa solo seco

4.3.4 Caracterização de absorção d'água, Perda de Massa ao fogo e Retração Linear

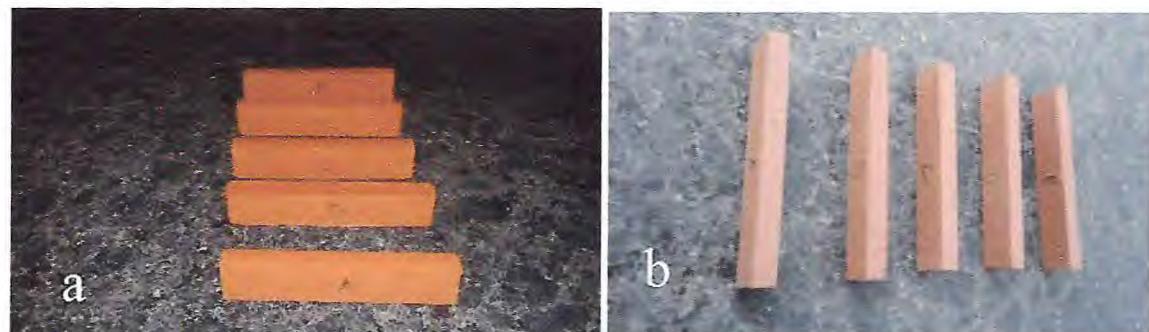
De acordo com o manual de Laboratório da Engenharia de Materiais da UFC, para se fazer um corpo de prova usou-se 63g do material argiloso, seco e passado em uma peneira de 0,074 mm, acrescentou-se 20% de seu peso em água destilada, misturou-se a massa até ficar homogênea e inseriu-a na mini-extrusora. Aplicou-se uma força de aproximadamente 500 kg para a retirada do ar do corpo de prova. Posteriormente, levado ao forno com temperatura controlada gradualmente, onde a cada 10 minutos aumentou-se 100 °C, chegando a estabilidade à 900°C e permanecendo por 10 minutos, no qual regrediu gradualmente 100°C até atingir temperatura ambiente (Figura 9).

Esse processo de fabricação (corpo de prova) não se aplica a argila, com 20% de seu peso em água a argila tem seu estágio plástico atingindo, perdendo material pelas brechas do recipiente armazenador do equipamento de prensagem, quando aplicou-se a carga de 500 kg na amostra.

Observando o comportamento da argila, o corpo de prova teve que ser refeito, com quantidades menores de água e peneira com maior abertura.

Inseriu-se o material coletado em uma estufa com temperaturas constante a 110°C, sendo separada uma porção de 400g, que por sua vez foi quebrada e macerada em uma cápsula de porcelana com capacidade de 500 g, o material macerado foi selecionado e peneirado em uma peneira de 0,044 mm, separado e pesado 63g em uma balança sensível a 0,001g adicionado aproximadamente 3 ml de água destilada, misturando até obter uma consistência granular. Posteriormente inserido em uma mini-extrusora de fabricação Gelenski, que foi prensado com força de 500 kg, com a finalidade de formar um bloco com menor umidade, evitando rachaduras e dobramentos durante a queima dos corpos de prova (Figura 10).

Figura 9 – Corpo de prova a) Visão horizontal b) Visão vertical.



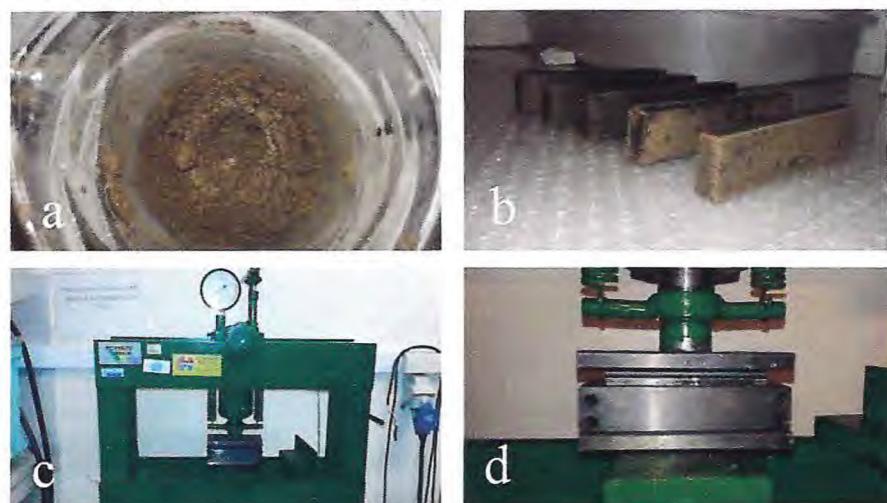
Fonte – Elaborada pelo autor

Após a confecção destes corpos de prova, os mesmos foram pesados, medidos e identificados e levados à estufa, onde foram secados à 105°C, variando 5°C em estufa durante 12 horas, onde foram novamente pesados, retornando a estufa por mais 6 horas até peso constante.

Depois da secagem os corpos de prova foram novamente pesados e medidos e enviados ao forno para sinterização a quatro diferentes patamares de temperatura, à 700° C, 800° C, 900° C e à 1.000°C, com tempo de 30 minutos em 500° C e de duas horas em temperatura final de queima. As amostras foram queimadas em fornos tipo *mufla* com rampa de aquecimento de aproximadamente 10° C/min. Após a queima, os corpos de prova foram pesados

e medidos pela última vez para possibilitar a realização da análise comparativa em relação à retração linear, do mesmo modo é obtida a perda de massa e umidade.

Figura 10 – Corpo de prova a) Argila em consistência granular b) corpo de prova úmido c) mini-extrusora de fabricação Gelenski d) Compartimento onde fica a argila.



Fonte – Elaborada pelo autor

O corpo de prova sinterizado foi pesado, submerso em um tanque com água, por aproximadamente 24 horas. Após esse período é repetida a pesagem e enviado à estufa Microprocessada de secagem – Quimis Q317M com temperatura controlada em 105°C para que possa eliminar o excesso de água. Após 12 horas de estufagem os mesmos foram pesados e novamente colocados na estufa para mais um período de 6 horas e pesado outra vez, atingindo assim um peso constante.

4.3.5 Caracterização de Resistência a Compressão

Após a sinterização do corpo de prova descrito no procedimento anterior, o mesmo foi inserido no equipamento de compressão hidráulica e prensado, obtendo o erro de leitura do aparelho. Esse erro se deu pelas dimensões (pequenas) das peças fabricadas, pois o aparelho que mede a resistência necessita de quatro pontos distintos em uma plataforma plana do corpo de prova, para a aplicação da força em Kg e tensão (Mega Pascal).

Para esse procedimento, foi coletado no galpão da cerâmica PH Indústria e Comércio de Produtos Cerâmicos LTDA 15 amostras (Figura 11) e os ensaios realizados no Laboratório de cerâmica Vermelha do SENAI-CE.

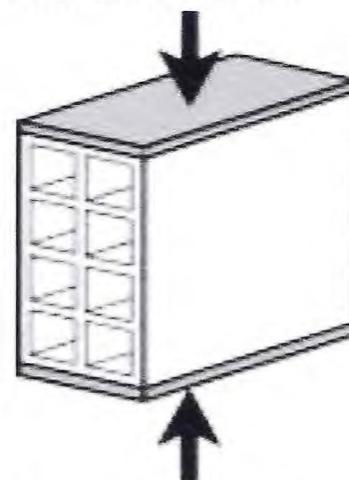
A realização dos ensaios de medidas das fácieis, Determinação das Dimensões, Desvio em relação ao Esquadro, Planeza das Faces, Ensaio de Septos e Paredes Externas usou-se a norma NBR15270-3, para o ensaio de Resistência a Compressão usou-se a norma NBR 15270-1 (item 5.5, Tabela 4). Estes corpos de prova possibilitaram um entendimento de maior detalhe do comportamento destas amostras.

Figura 11 - Amostras coletadas no galpão da cerâmica PH Indústria e Comércio de Produtos Cerâmicos LTDA



Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 12 - Posição dos corpos de prova nos ensaios à compressão



Fonte - ABNT NBR 15270-3:2005. C.4.2 Posição dos corpos – de - prova nos ensaios à compressão

Primeiramente o corpo de prova foi selado por uma camada de argamassa, para planificar as laterais, após a secagem dessa massa, inseriu-se na prensa DL 20.000 e aplicou-se carga necessária para romper o bloco (Figura 13).

Figura 13: Prensa DL 20.000

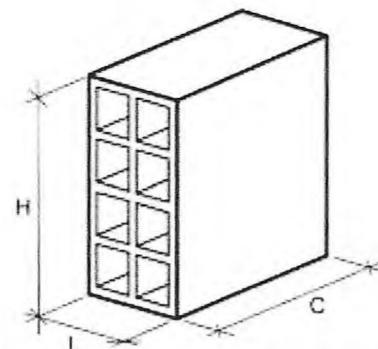


Fonte – Elaborada pelo autor

4.3.5.1 Caracterização das medidas das fácieis

Com um paquímetro de 600 mm mediu-se as laterais, largura e altura do corpo de prova coletado no galpão da indústria, conforme NBR 15270-3(Figura 14).

Figura 14: Fácieis dos blocos



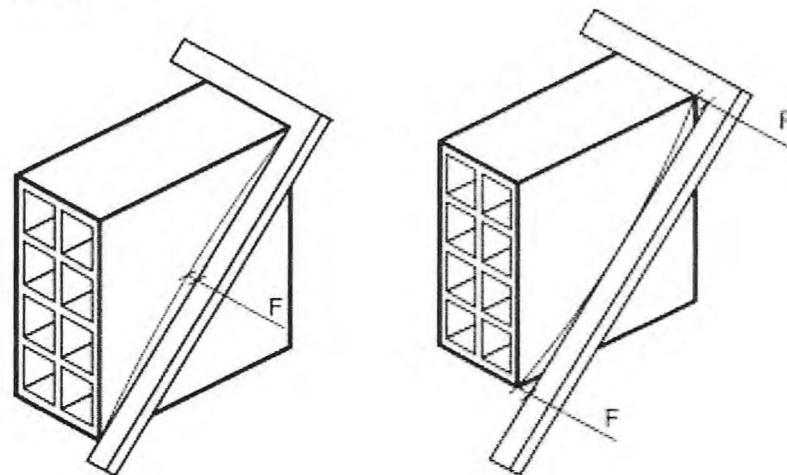
Fonte - ABNT NBR 15270-3:2005, pontos indicados para efetuar as medições nos blocos, nas suas faces.

4.3.5.2 - Caracterização das medidas de planeza das fácieis

De posse de um paquímetro 200mm mediu-se o centro do bloco e com auxílio de uma régua de 600 mm foi medido em linha horizontal da extremidade lateral inferior à

extremidade lateral superior, passando pelo centro do bloco com uma régua de 500mm. Neste teste foi medido a planeza do centro e planeza das extremidades, a incerteza expandida (U) relatada, é baseada em uma incerteza padrão combinada multiplicada por um fator de abrangência K , para um nível de confiança de aproximadamente 95%, a tolerância de fabricação conforme NBR 15270-3/2005 (Figura 15).

Figura 15: Planeza das faces.



Fonte - ABNT NBR 15270-3:2005, A.4.5 Determinação da planeza das faces (F)

4.3.5.3 Caracterização dos Septos e Paredes Externas

Utilizando um Paquímetro 200mm, mediu-se as paredes externas e internas dos septos (Figura 16).

Figura 16: Posições Esquemáticas Para as Medições da Espessura das Paredes Externas e Septos.



Fonte - ABNT NBR 15270-3:2005, figura A.4 Posições esquemáticas para as medições da espessura das paredes externas e septos

A incerteza expandida (U) relatada é baseada em uma incerteza padrão combinada multiplicada por um fator de abrangência K , para um nível de confiança de aproximadamente 95%. Seguindo uma espessura mínima de fabricação para septos conforme NBR 15270-3/2005.

4.4 Ensaios de caracterização químico-mineralógica

Os ensaios de caracterização químico-mineralógico foram realizados no laboratório de Raio – X do Departamento de Física do Centro de Ciências da UFC.

Na preparação das amostras, as argilas foram secas em estufa a 60 °C até uma massa constante, em seguida trituradas à mão com auxílio de pistilo e almofariz de ágata, com capacidade para 100 g. Posteriormente, foi peneirada em malha de 0,074 mm. Separadas 2g de cada amostra, inseridas em um recipiente acrescentando 2ml de peróxido de hidrogênio e colocadas em banho térmico. Após 10' ou 15' de fervura e diminuição na liberação de bolhas, a argila ainda úmida foi levada novamente à estufa com temperatura de 60°C.

Depois da secagem, a argila foi novamente macerada cuidadosamente até formar uma camada fina, que por vez foi fixada a uma lâmina deixando-a pronta para os ensaios em laboratório.

4.4.1 Testes de Análises de Difração de Raios X (DRX)

Nas análises de DRX, a amostra foi seca e desagregada por ação de moagem ligeira e suave em moinho e almofariz de ágata. Foi inserida uma porção de cerca de 1g de amostra na cavidade do porta amostras do Difratômetro modelo DMAXB – Rigaku gerador de raios X de 2 KW equipado com tubo de Cu.

4.4.2 Testes de Analises de Fluorescência de Raios-X (FRX)

A característica elementar das amostras foi realizada em um equipamento de Fluorescência de Raios-X, (modelo ZSX minill, da Rigaku, condições de operação de 40KV e 1,2 mA, tubo de Pb) que produz análises qualitativas e semi qualitativas dos elementos de massa atômica, maior ou igual à massa atômica do Flúor, cujo os resultados foram obtidos como gráficos de excitação.

4.5 Integração de dados

O compilado de informações literárias, os dados levantados no trabalho de campo e os resultados das análises realizadas nos laboratórios conforme detalhado no decorrer deste capítulo, foram tratados, integrados e interpretados. Todos os dados gerados e correlacionados permitiram a confecção do presente relatório, no qual atende as exigências da disciplina Relatório de Graduação (CG0449) para o grau de geólogo pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

CAPITULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentam-se os resultados das análises e dos ensaios tecnológicos relacionados à caracterização e comportamento da matéria-prima cerâmica argilosa amostradas: granulometria, absorção d'água, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade, perda de massa ao fogo, retração linear, resistência a compressão e composição química e mineralogia.

5.1 Caracterização Física das Amostras

5.1.1 Determinação da Granulometria

Na classificação granulométrica realizada, os resultados obtidos nas 4 (quatro) amostras, apresentaram um percentual de material fino (silte e argila, com diâmetro maior que 0,025mm) próximo a 95% para as amostras A (93,18%), B (96,55%) e D (95,75%). Na amostra C, esse percentual diminui bruscamente para 39,47 % e apresenta elevado percentual de areia (57,26%), considerando a massa total de cada amostra em 100g (tabela 2).

Tabela 2 – Análise granulométrica das amostras estudadas

| Teor das Amostras | | | | | |
|-------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Amostras | A | B | C | D | |
| Cascalho (%) | 0,18 | 0,39 | 3,27 | 0,42 | |
| Areia (%) | 6,64 | 3,06 | 57,26 | 3,83 | |
| Finos (%) | 93,18 | 96,55 | 39,47 | 95,75 | |
| Finos | Silte (%) | 44,32 | 55,11 | 0 | 61,37 |
| | Argila (%) | 48,85 | 41,43 | 39,47 | 34,38 |

Fonte – Elaborado pelo Autor

De acordo com a tabela 2 o resultado mais relevante do estudo foi a ausência de silte na amostra C e elevado percentual de areia, essa característica granulométrica torna a argila menos resistente a compressão, mais permeável e com menor plasticidade dentre as amostras estudadas. As amostras A, B e D apresentam comportamento semelhantes entre si devido ao percentual de 93,18 % a 96,55 % de finos e 3,06 % a 6,64 % de areia. De acordo com a tabela

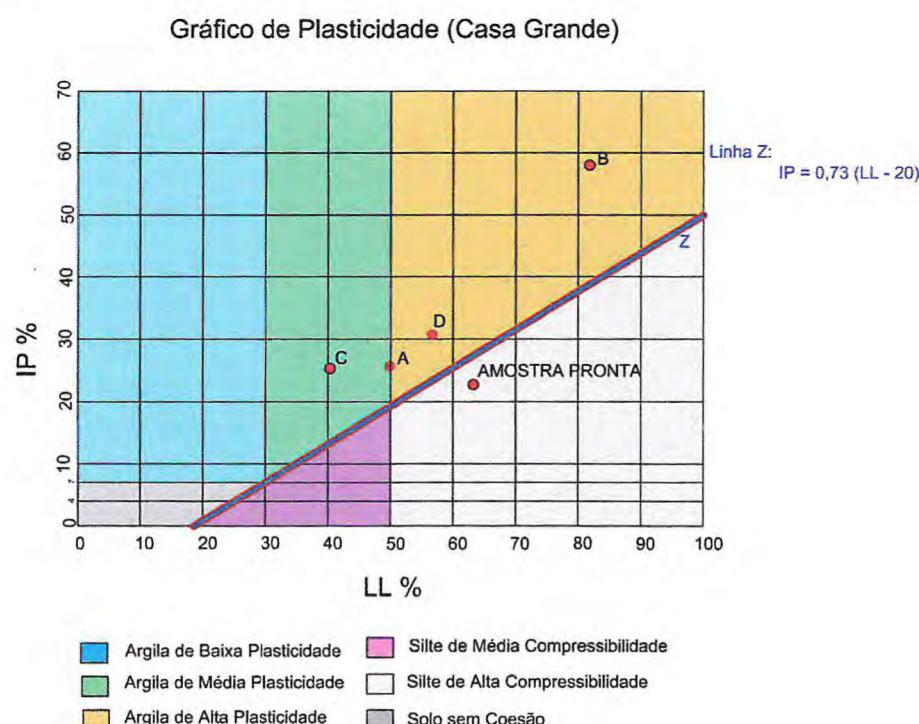
2, tais resultados condicionam as argilas à um empacotamento compressional mais eficaz, com alta plasticidade e elevada impermeabilidade.

O comportamento das características tecnológicas após cozedura das amostras a 900°C (anexo 4) *versus* as percentagens das frações argilosa e arenosa (anexo 1.1) demonstra claramente como a proporção de fração argila condiciona o aumento da resistência mecânica e retração linear das peças cerâmicas, ao mesmo tempo que regula a diminuição da absorção de água. A proporção de fração arenosa exerce o efeito exatamente oposto.

5.1.2 Determinação Do Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade

De acordo com o capítulo 4 métodos de trabalho, o índice de plasticidade – (Ip) é determinado pela diferença entre o Limite de Liquidez (Li) e o Limite de Plasticidade (Lp), seguindo as normas descritas observa-se os resultados a seguir:

Gráfico 1: Plasticidade



Fonte – Elaborado pelo Autor

No gráfico de plasticidade pode-se observar que a amostra pronta (AP), com uma proporção de 2:1 da amostra C e B (Traço) respectivamente, foi classificada como Silte de Alta Compressibilidade confirmando a alta resistência adquirida no teste de compressão, este resultado se dá por sua granulometria possuir 75,27% de finos (45,72% de argila, 29,54% de silte) e 23,51 % de areia. Observou-se que a amostra C é a de menor Plasticidade, pois seu percentual de finos fica abaixo dos 40% e contém 57,26% de areia, indicando maior granulometria, que dificulta a compactação entre os grãos, deixando o material mais poroso, diminuindo a impermeabilidade. A amostra B é de mais alta plasticidade pois possui a maior concentração de finos (48,85% de argila e 55,11% de silte), implicando maior impermeabilidade e maior plasticidade dentre as amostras estudadas.

Considerando a escala que classifica o índice de plasticidade em fracamente plástico ($1 < I_p < 7$), mediamente plástico ($7 < I_p < 15$), altamente plástico ($15 < I_p$) e não plástico (quando não é possível se obter o L_p ou L_l) todas as amostras possuem I_p dentro da faixa de altamente plástico. Com um percentual de 23,6% para a amostra D a 25,4 % para a amostra A, com exceção da amostra C que foi classificada com mediamente plástico estando com 14,4 % em relação a plasticidade devido a sua granulometria (57,26% de areia e 39,47 % de argila).

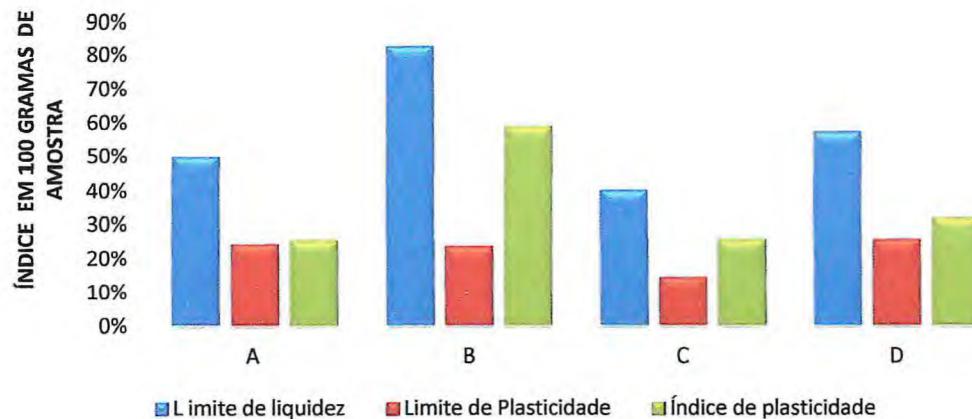
A granulometria torna-se importante na caracterização do traço (2:1, de C para B), que leva a melhor empacotamento dos sedimentos, tornando o corpo argiloso coeso e com menor sensibilidade à formação de trincas provenientes das etapas de secagem e extrusão do material cerâmico. Isto se dá devido a diferença dos grãos, que no momento da conformação da massa na prensagem à vácuo unem-se com mais coesão, e preenchem os vazios dos grãos maiores por grãos de menor diâmetro, diminuindo a possibilidade da formação de trincas e micro fissuras.

Tabela 3: Índice de Plasticidade em porcentagem.

| Amostra | Limite de Liquidez | Limite de Plasticidade | Índice de Plasticidade |
|---------|--------------------|------------------------|------------------------|
| A | 50 | 24,4 | 25,6 |
| B | 82,4 | 23,6 | 58,8 |
| C | 40 | 14,4 | 25,6 |
| D | 57,1 | 25,4 | 31,7 |

Fonte – Elaborado pelo autor

Gráfico 2 - Gráfico comparativo entre o limite de liquidez, plasticidade e o índice de plasticidade em 100 g das amostras coletadas.



Fonte - Elaborado pelo Autor

Considerando que o índice de plasticidade é obtido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. O gráfico 2 mostra que a amostra B possui o maior índice de plasticidade, pois possui maior limite de liquidez (82,4%) e menor limite de plasticidade (23,6%), enquanto a amostra C apresenta o menor índice de plasticidade, com o menor limite de liquidez (40 %) e menor limite de plasticidade (14,4 %).

5.1.3 Índice de absorção d'Água, Perda de Massa ao Fogo e Retração Linear

De acordo com o capítulo métodos de trabalho, 5 corpos de prova foram confeccionados com a massa pronta (2:1 dias proporções de C para uma proporção de B) que é o mesmo traço usado na fabricação de tijolos da cerâmica PH. Os corpos de prova ficaram com denominação de A, B, C, D e E. Sendo eles utilizando-se tanto para o ensaio de perda de massa ao fogo, absorção d'água e retração linear.

5.1.4 Absorção d'água

Observando a tabela 4 os índices de absorção d'água determinados pela norma ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos), demostram que as amostras estão nos limites aceitáveis para a fabricação de tijolos. E não há limite inferior do índice de absorção de água. Quanto menor for o valor da absorção maior será seu índice de impermeabilidade.

Tabela 4 - Índice de absorção de água

| Amostra | Absorção | Índice de Absorção de água | |
|---------|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos) | ABNT NBR 15.270/2005 (Telhas) |
| Média | 10% | > 8% e < 22% | < 20 % |

Fonte – elaborado pelo autor

As amostras analisadas obtiveram resultados satisfatórios, atingindo uma média de 10%, que satisfazem os limites estabelecidos pela ABNT NBR 15.270/2005 para blocos e ABNT NBR 15.310/2005 para telhas (Tabela 4).

Devido as amostras apresentarem uma granulometria com os percentuais de finos (superior a 95 %, com exceção da amostra C), a compactação do corpo de prova é elevada (500 kg de força). Usado 3 ml de água para 63g dos finos na confecção destes corpos de prova, deixa-se a massa de argila ainda em caráter granular e não plástica, assim, após a queima, à influência desses fatores fazem com que a compactação dos grãos seja mais acentuada elevando a impermeabilização e deixando mais resistente a compressão.

Destaca-se a importância deste ensaio, pois seu resultado mostra que a argila estudada está apta ao uso tanto para a fabricação de tijolos quanto para a fabricação de telhas.

5.1.5 Perda de massa ao fogo

Foram considerados os cinco corpos de prova descritos no capítulo 4 métodos de trabalho, as amostras foram pesadas em quatro etapas de temperaturas diferentes conforme a tabela 5.

Tabela 5 - Resultados da Perda de Massa ao Fogo

| Temperatura | Média da perda de massa |
|-------------|-------------------------|
| 700 °C | 1,21 % |
| 800 °C | 9,16 % |
| 900 °C | 9,24 % |
| 1000 °C | 10,14 % |

Fonte - elaborado pelo autor

Com base nos resultados da tabela 5 constata-se que os diferentes estágios de temperatura influenciam nas propriedades das argilas. A uma temperatura de 700°C não há calor suficiente para uma diminuição significativa dos poros dos corpos de prova, observamos apenas uma diminuição de 1,21 % de seu peso. Já com a temperatura de 1000°C essa porosidade é fechada (por fusão do material) causando um empacotamento, o que indica que o processo de sinterização nessa condição depende principalmente da distribuição granulométrica, mesmo considerando que todos os materiais foram prensados para se obter densidade constante.

5.1.6 Retração linear

Com o auxílio de um paquímetro digital foram efetuadas medidas de altura comprimento e largura em milímetros dos corpos de prova secos a 100 °C e após a queima com temperatura de 1000 °C, como mostrado na tabela 6.

Tabela 6 - Médias da Retração Linear

| Médias da Retração Linear | | | | | |
|---------------------------|-------------|------------------|--------------|--|-----------------------------------|
| | Altura (mm) | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Tolerância na Média ABNT NBR 15.270-1 (mm) | Retração Total (mm ³) |
| CP | 0,47 | 1,61 | 2,81 | 3 | 2,12 |

Fonte - elaborado pelo autor

De acordo com os resultados obtidos observou-se que na tabela 6 os corpos de provas atendem as exigências da norma da ABNT NBR 15.270-1, ficando com 2,12 mm no resultado final da retração linear, confirmado pouca perda de massa após a queima de 1000°C durante um período de 12 h. Os corpos de prova apresentam uma variação tolerável de 0,02 mm (mínima) à 0,08 mm (máxima) de um corpo para o outro, satisfazendo os parâmetros estipulados pela a norma ABNT NBR 15.270-1/2005.

5.1.7 Resistência à Compressão

Os ensaios de Resistência à Compressão foram realizados em corpos de prova (Tijolos/Blocos) cedidos pela da cerâmica PH Indústria e Comércio de Produtos Cerâmicos LTDA na qual explora aa argilas da área de estudada seguindo um traço de 2:1, duas porções das amostras C com uma porção da amostra B.

5.1.7.1 Médias das dimensões dos blocos

Tabela 7 - Dimensões Médias dos Blocos Coletados

| Dimensões médias dos blocos coletados | | | |
|---------------------------------------|------------|--------------------|------------------------------|
| | Média (mm) | Incerteza (+/-) mm | ABNT 15.270/2005 (Blocos) |
| Largura | 87,7 | 0,21 | 90,00 +/- 3 |
| Altura | 184,1 | 0,14 | 190,00 +/- 3 |
| Comprimento | 189,1 | 0,26 | 190,00 +/- 3 |

Fonte - Elaborado pelo autor

5.1.7.2 Desvio de planeza

Tabela 8 - Desvio de Planeza dos Blocos Coletados

| Desvio de planeza dos Blocos Coletados | | |
|--|-------------------|------------------------------|
| Média total blocos | Incerteza (+ / -) | ABNT 15.270/2005 (Blocos) |
| 0,7 mm | 0,2 mm | Máximo 3,0 mm |

Fonte - Elaborado pelo autor

5.1.7.3 Médias das paredes interna, externa e septos

Tabela 9 - Espessura Média das Paredes e dos Septos

| Espessura Média das Paredes e dos Septos | | | |
|--|--------|-----------------|------------------------------|
| | | Incerteza (+/-) | ABNT 15.270/2005 (Blocos) |
| Média Paredes Externas | 5,4 mm | 0,1 mm | 7,0 mm |
| Média Septos | 5,1 mm | 0,1 mm | 6,0 mm |

Fonte - Elaborada pelo autor

5.1.7.4 Resultados da Resistência à Compressão

Tabela 10 - Resistência à Compressão

| Resistência à Compressão | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| | Área (cm ²) | Resistência Média (MPa) | ABNT 15.270/2005 (Blocos) |
| C P | 165,9 | 3,3 | 1,5 |

Fonte - Elaborada pelo autor

A granulometria é um importante fator para à resistência, atingindo o ponto ideal da massa, a peça cerâmica fica com melhor acomodação dos sedimentos, tornando o corpo argiloso coeso. Os grãos com dimensões aproximadas tendem a se acomodar mais facilmente, com a compactação exercida pela prensagem unindo-se com mais coesão dando menor possibilidade de deformação, trincas e microfissuras.

Como se observa na tabela 7 e 8 a largura, altura, comprimento e planeza estão dentro dos parâmetros estipulados pela norma da ABNT NBR 15 270/2005 (Bloco), permitindo que os blocos apresentem sua estrutura alinhada, proporcionando maior resistência a tensão aplicada sobre os mesmos.

A medida dos septos influencia a estrutura interna e externa do bloco, septos com dimensões maiores podem ocasionar uma maior resistência. No caso específico dos corpos de prova estudado, os septos estão com as paredes menores, podendo ocasionar uma perda na resistência do bloco rompendo-se com maior facilidade (Tabela 9). A compensação das medidas menores dos septos decorre devido à qualidade da argila (granulometria com

dimensões aproximadas, alto teor de finos e baixo teor de grossos), combinado com tratamento térmico, alto índice de plasticidade, baixa permeabilidade e boa simetria dos blocos.

De acordo com o ensaio de Resistência à Compressão, as amostras apresentaram 3,3 MPa, representando o dobro do valor limite estipulado pela norma ABNT NBR 15 270/2005 (Bloco) que é de 1,5 MPa, classificando a argila estudada como matéria-prima de boa qualidade para a fabricação de blocos cerâmicos.

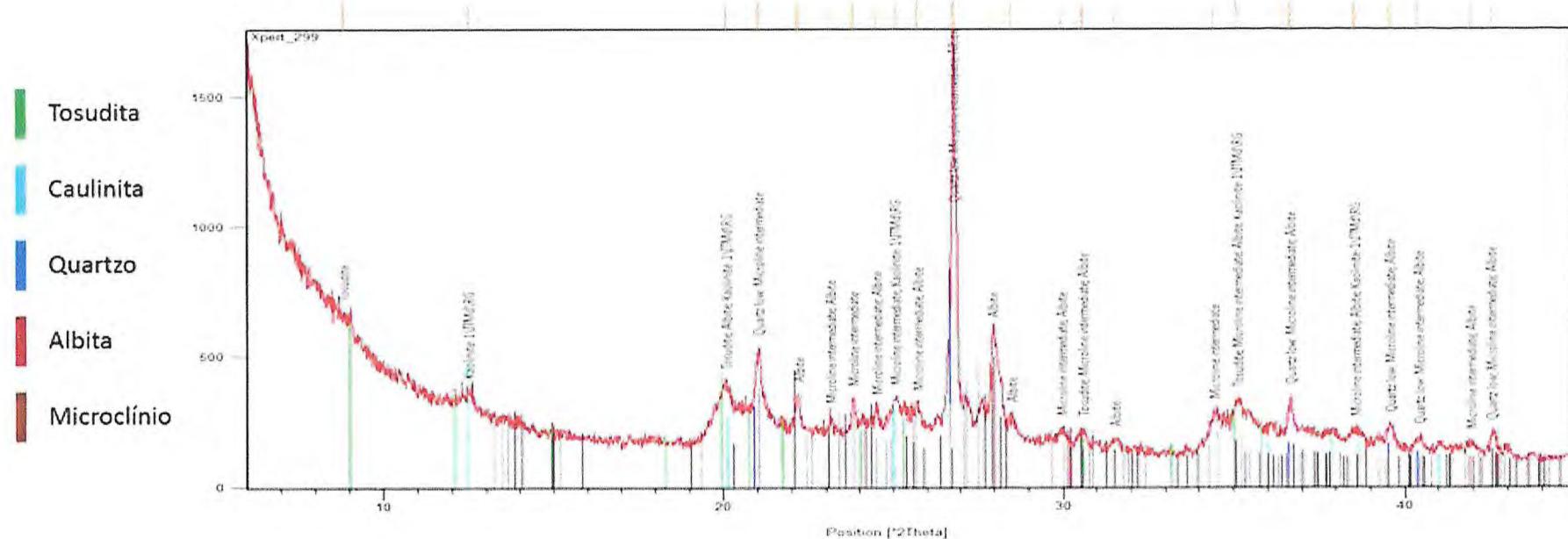
5.2 Caracterização Química das Amostras

A caracterização mineralógica e química das argilas estudadas foi possível através dos resultados das análises de difração de raio x e fluorescência de raio x e suas respectivas interpretações.

5.2.1 Difração de Raio X – DRX

Difratograma da amostra A

Gráfico 3 – Difratograma da amostra A – minerais presentes: tosudita, caulinita, quartzo, muscovita e ortoclásio

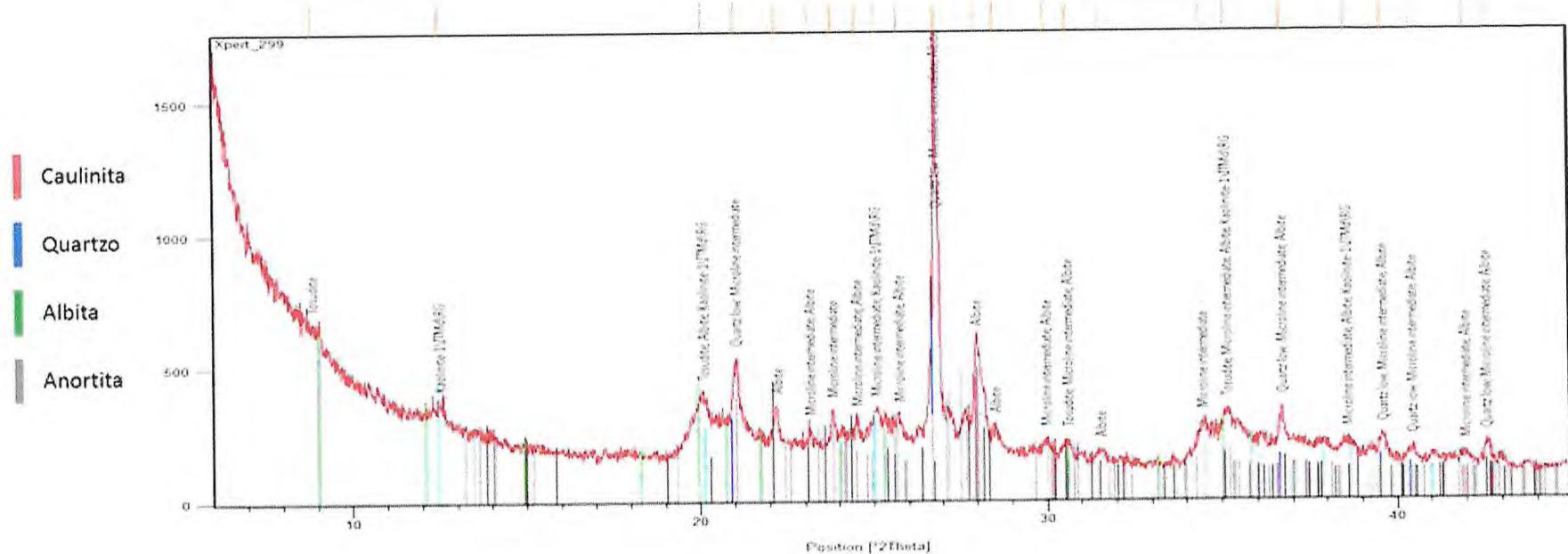


Fonte – Programa de análise de difração de raio X

O difratograma do gráfico 3 mostra as posições referentes aos minerais presentes na argila da amostra A, os quais são Tosudite (mineral interestratificado grupo: clorita e esmectita), caulinita, quartzo, albita, microclínio.

Difratograma da amostra B

Gráfico 4 – Difratograma da amostra B – minerais presentes: caulinita, quartzo, anortita e albita

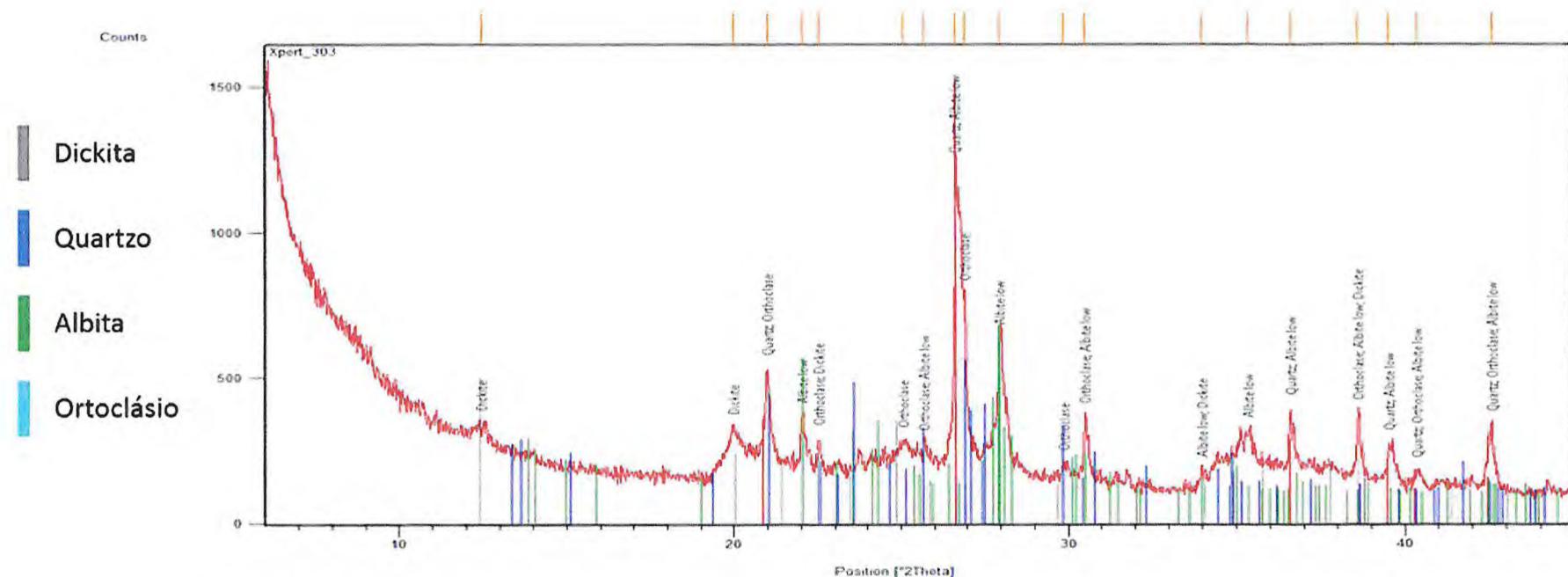


Fonte – Programa de análise de difração de raio X

O difratograma do gráfico 4 mostra as posições referentes aos minerais presentes na argila da amostra B, os quais são caulinita, quartzo, anortita e albita.

Difratograma da amostra C

Gráfico 5 – Difratograma da amostra C – minerais quartzo, ortoclásio e albita.

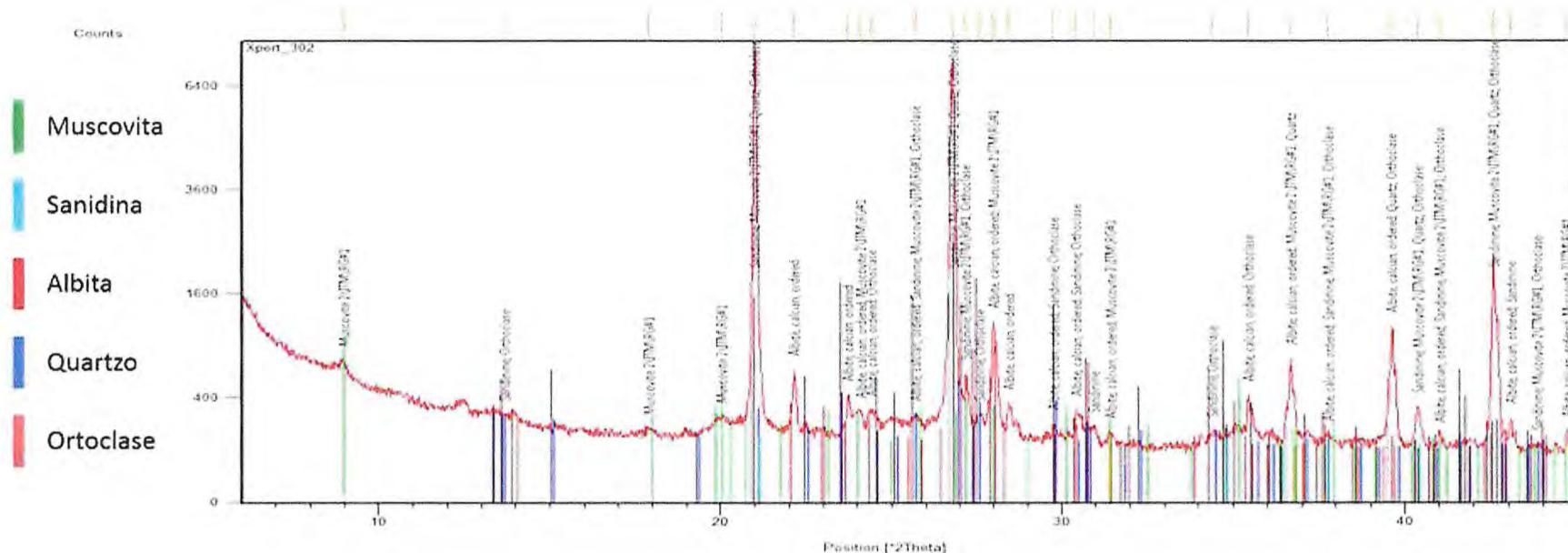


Fonte – Programa de análise de difração de raio X

O difratograma do gráfico 5 mostra as posições referentes aos minerais presentes na argila da amostra C, os quais são quartzo, ortoclásio, dickita, e albita.

Difratogramma da amostra D

Gráfico 6 – Difratograma da amostra D – muscovita, ortoclásio, sanidina e quartzo



Fonte – Programa de análise de difração de raio X

O difratograma do gráfico 4 mostra as posições referentes aos minerais presentes na argila da amostra D, os quais são Muscovita, ortoclásio, sanidina, quartzo, ortoclase e albita.

De acordo com os gráficos 3, 4, 5 e 6 os difratogramas apresentam as posições dos picos característicos de cada mineral: caulinita, quartzo, muscovita, ortoclásio, tosudite, anortita, albina, quartzo, microclínio, Sanidina. Na tabela 11 apresenta-se um resumo dos principais minerais identificados na análise de difração de raio X. Observa-se que a mineralogia da amostra C (quartzo e ortoclásio) reflete o resultado da análise granulométrica com um percentual de finos (39,47 %) enfatizando a ausência de silte e elevado percentual de areia (57,26%). A presença de caulinita e muscovita nas amostras A, B e D pode estar correlacionada ao alto percentual de finos, refletindo no desempenho dos testes de plasticidade, perda de massa ao fogo e absorção d'água.

Tabela 11– Composição mineralógica das amostras com base nos resultados de difração de raio X.

| Amostra | Minerais presentes |
|---------|---|
| A | tosudite, caulinita, quartzo, albina, microclínio, ortoclásio |
| B | caulinita, quartzo, anortita e albina |
| C | quartzo, ortoclásio, dickite e albina |
| D | muscovita, ortoclásio, sanidina, quartzo e albina |

Fonte – Elaborado pelo autor

5.2.2 Fluorescência de Raio X – FRX

De acordo com o capítulo 4 métodos de trabalho, as características químicas foram analisadas com o uso FRX para determinação da porcentagem dos óxidos e alguns elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Na_2O_3 , MgO , CaO , MnO e Cl) em cada amostra coletada.

Tabela 12 - Percentual dos Óxidos obtidos na FRX das amostras coletadas

| ELEMENTOS | Amostra A % | Amostra B % | Amostra C % | Amostra D % |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SiO_2 | 40,45 | 48,88 | 54,81 | 43,03 |
| Al_2O_3 | 13,13 | 12,17 | 11,146 | 14,21 |
| TiO_2 | 3,88 | 3,69 | 2,95 | 3,74 |
| Fe_2O_3 | 32,49 | 22,72 | 17,303 | 28,8 |
| K_2O | 4,82 | 6,16 | 5,76 | 5,5 |
| MnO | 0,32 | 0,46 | 0,3374 | 0,35 |
| CaO | 3,43 | 4,8 | 5,7684 | 3,74 |
| Na_2O | 0 | 0,81 | - | - |
| MgO | - | - | 0,7044 | 0,35 |
| SrO | 0,12 | 0,1215 | 0,0756 | 0,1293 |
| Cl | 0,44 | 0,22 | 0,1708 | 0,61 |
| Rb_2O | 0,14 | 0,0626 | - | 0,06 |
| SrO | 0,12 | 0,06 | - | 0,06 |

Fonte - Elaborada pelo autor

De acordo com a tabela 11 observa-se que as amostras possuem um teor de ferro variando de 17,303% na amostra C (com menor teor) e 32,49% na amostra A (com maior teor), mostrando então o porquê da cor avermelhada após a queima.

Os óxidos dominantes das argilas estudadas são SiO_2 e Al_2O_3 . A amostra C apresenta o maior percentual de SiO_2 (54,81 %) enquanto a amostra A apresentou o menor percentual SiO_2 (40,45 %) corroborando com a granulometria e comportamento plástico das amostras.

Correlacionando a análise mineralógica (tabela 11) com a análise quantitativa (tabela 12) observa-se que o percentual de alumínio nas amostras é proveniente da albita e muscovita com uma porcentagem maior na amostra D (14,21%).

A porcentagem de K_2O é semelhante entre as amostras refletindo a presença constante de minerais ricos em potássio como: microclínio, ortoclásio, sanidina, caulinita e dickita. A presença de CaO mais expressiva nas amostras B e C se deve pela presença da anortita nas argilas conforme registrada na difração (gráfico 4 e 5).

CAPITULO 6 - CONCLUSÃO

As argilas examinadas estão localizadas no curso fluvial do rio Choró, Fazenda Bebedouro distrito de Guanacés município de Cascavel com distância aproximada de 60 km de Fortaleza.

A área de estudo está limitada entre a Bacia Potiguar (Norte e Leste), Bacia do Araripe (Sul) e zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Oeste), destacando a existência de embasamento pré-cambrianos e sedimentos fanerozoicos do grupo Barreiras.

O produto final da argila em foco destina-se ao comércio local e municípios vizinhos em forma de blocos cerâmicos com oito furos usado para construção civil.

Com as caracterizações físicas e químicas conclui-se que as argilas podem ser denominadas pela classificação inglesa, de uma argila *Fire-Clay* de origem sedimentar, refratária, plástica, rica em alumina com presença de ferro. Com coloração marrom avermelhada após a queima e composição química semelhantes entre as amostras.

Com base nos resultados obtidos nas quatro amostras, considerando as características: granulométricas, plásticas, composição mineral e tratamento térmico, o produto está apto a produção de blocos de vedação.

A temperatura ideal de queima para a produção de blocos cerâmicos é de 800 °C tendo em vista uma retração linear de 2,12 mm³, perda de massa de 10,14 % e índices de absorção de água de 10 % para o corpo de prova estudado. Tendo o traço utilizado com duas proporções da amostra C e uma proporção da amostra B. Do ponto de vista tecnológico este traço utilizado tem um bom desempenho físico mecânico, sugerindo que pode-se aplicar como blocos cerâmicos em obras civis, destacando excelente empacotamento granulométrico, alta resistência, baixa permeabilidade, pouca perda de massa.

A composição e proporção mineralógica da argila é de grande valia para suas características físicas, observando-se na amostra C, maiores percentuais dos minerais dominantes SiO₂ e Al₂O₃, portanto apresentando um comportamento diferenciado das outras amostras com composição dos minerais quartzo, anortita, albíta e caulinita.

CAPITOL 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABNT NBR 15270-3:2005 - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação.

ABNT NBR 15270-1:2005 – Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos

ABNT NBR 15270-2:2005 – Componentes cerâmicos – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos

ABNT – NBR 6459, Solo - Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – NBR 7180, Solo- Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ALMEIDA, F.F.M., BRITO NEVES, B. B., DAL RÉ CARNEIRO, C., 2000. The origin and evolution of the South American Platform. Earth-Science Reviews, Volume 50, Issues 1-2, /may 2000, 77-11.

GOMES, C.F. Argilas: o que são e para que servem. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 457p. 2000.

GOMES, D.F. Mapeamento Geológico e Geoambiental do Distrito de Parajurú, Município de Beberibe/CE. Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará-UFC. Fortaleza. 144p. 1995.

KONTA, J., Clay and man: Clay raw materials in the service of man, Appl. Clay Sci., v.10, p.275-335, 1985.

INESPE 2009 Caderno regional das Bacias Metropolitanas / Conselho de Autos Estudos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará.

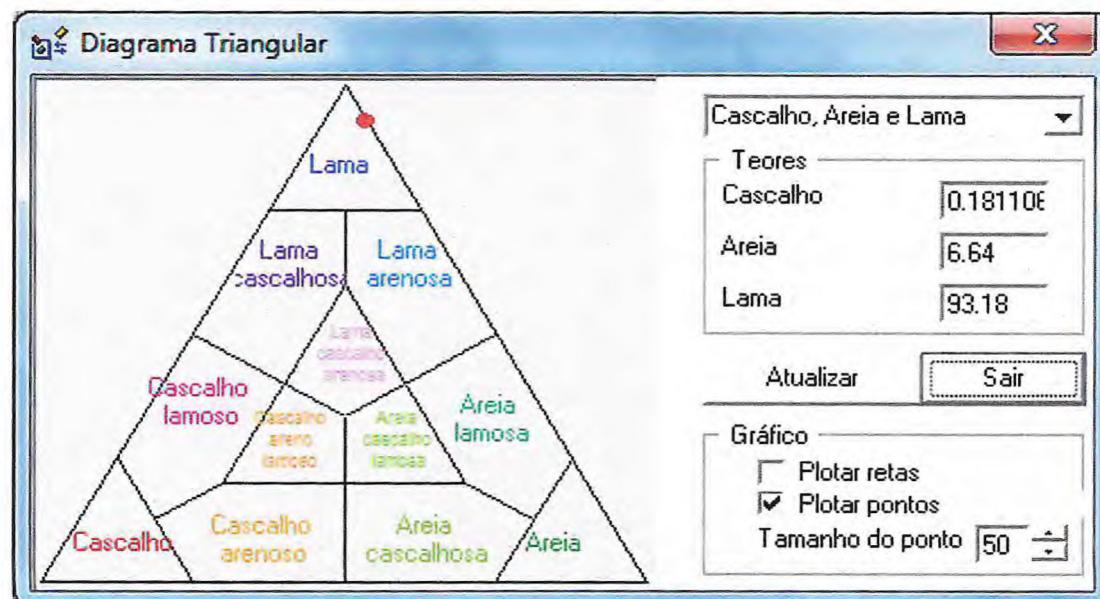
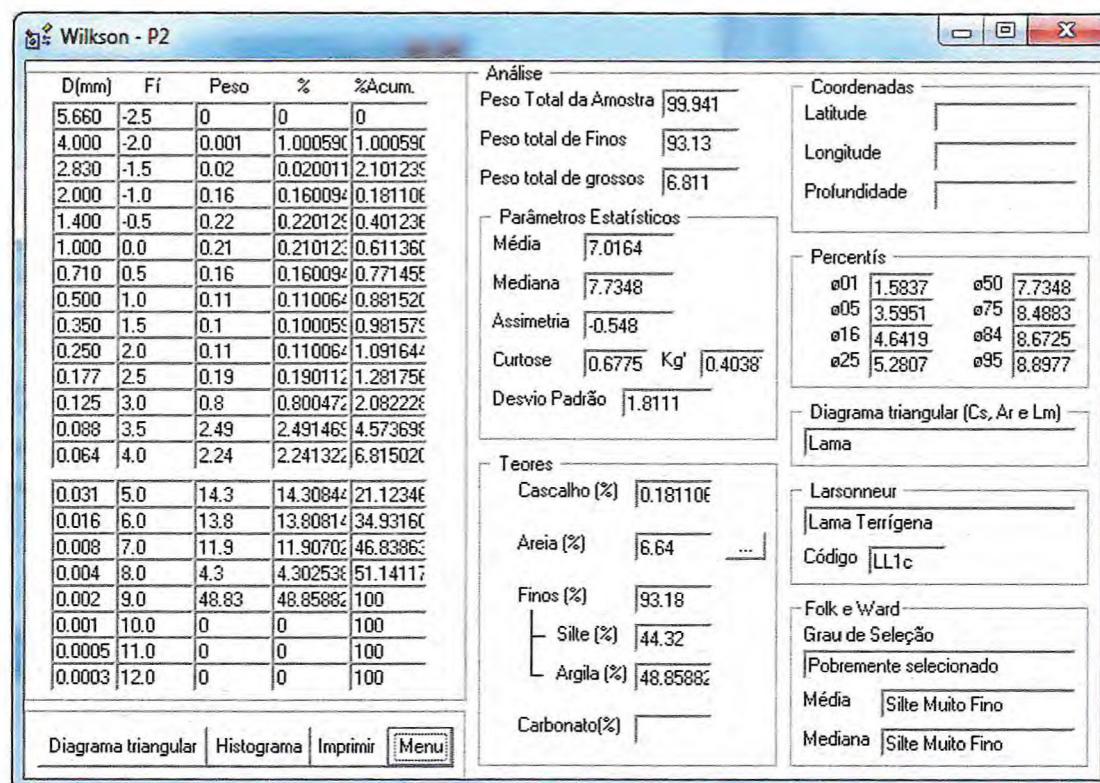
ANEXO 1 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Resultados obtidos pelo programa de análise granulométrica do Laboratório de Geologia Marinha Aplicada (LGMA) do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da UFC.

1.1 Classificação granulométrica

Amostra: A

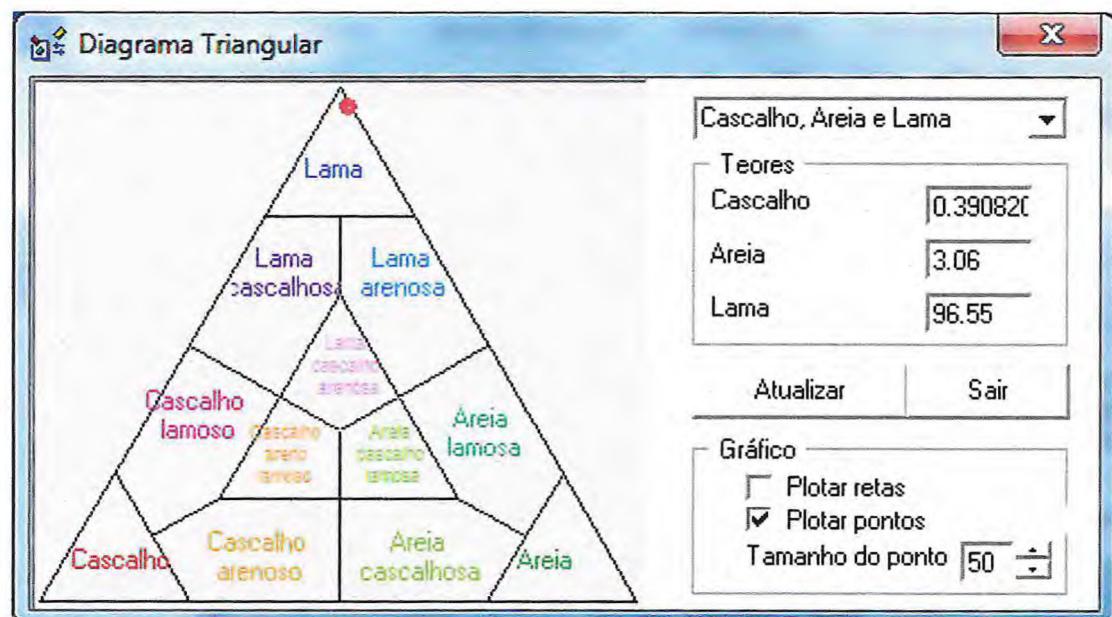
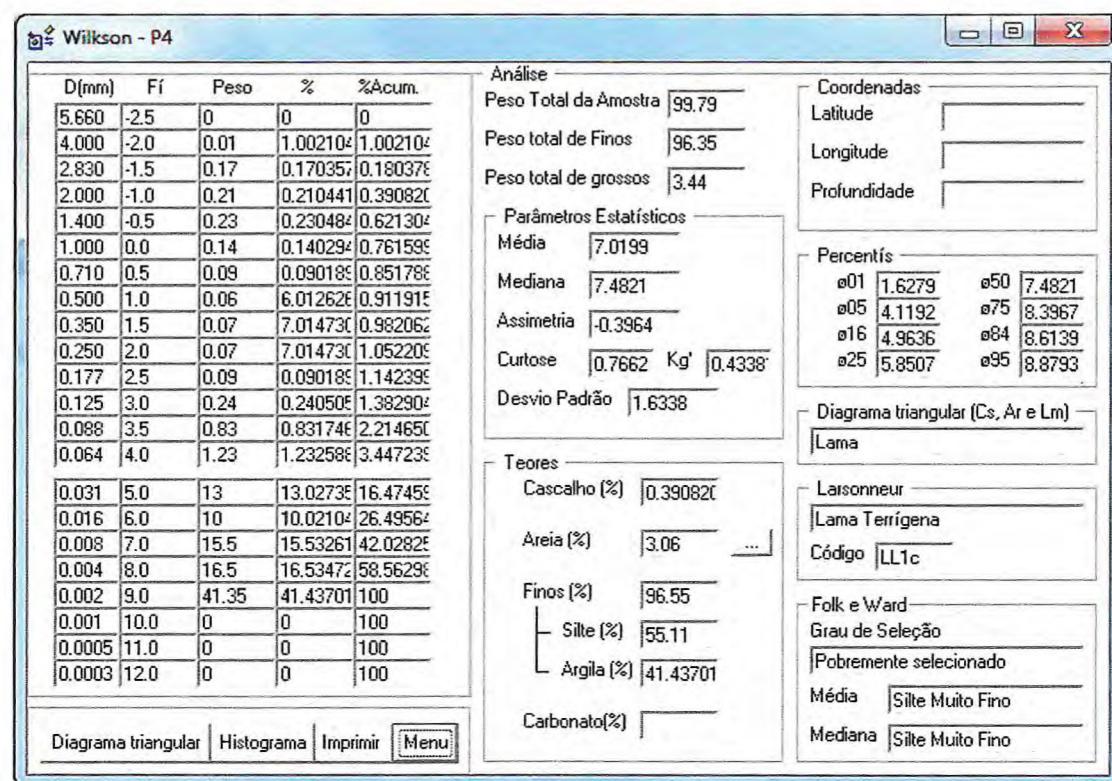
Data: 02/09/2014



1.2 Classificação granulométrica

Amostra: B

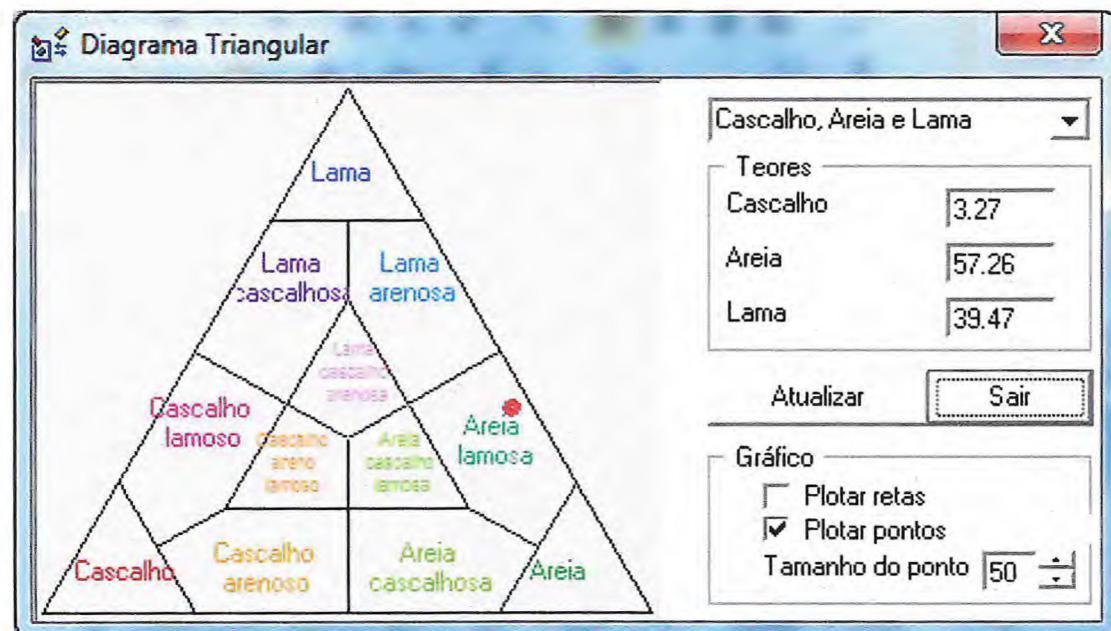
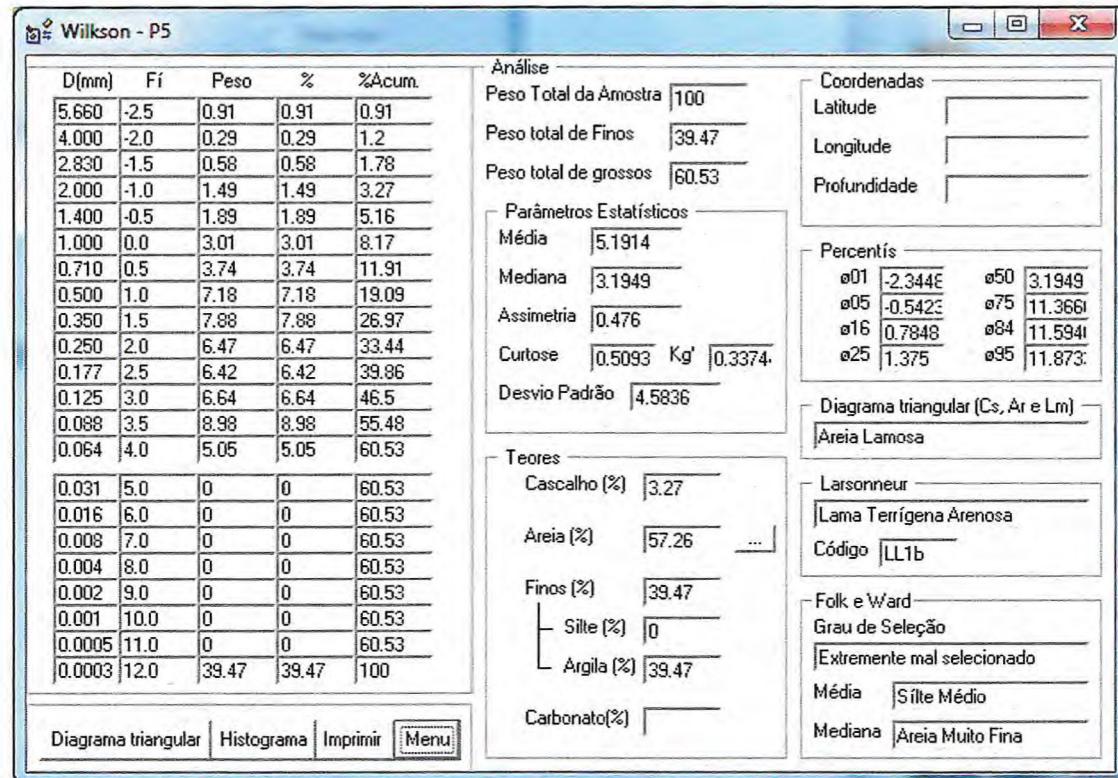
Data: 02/09/2014



1.3 Classificação granulométrica

Amostra: C

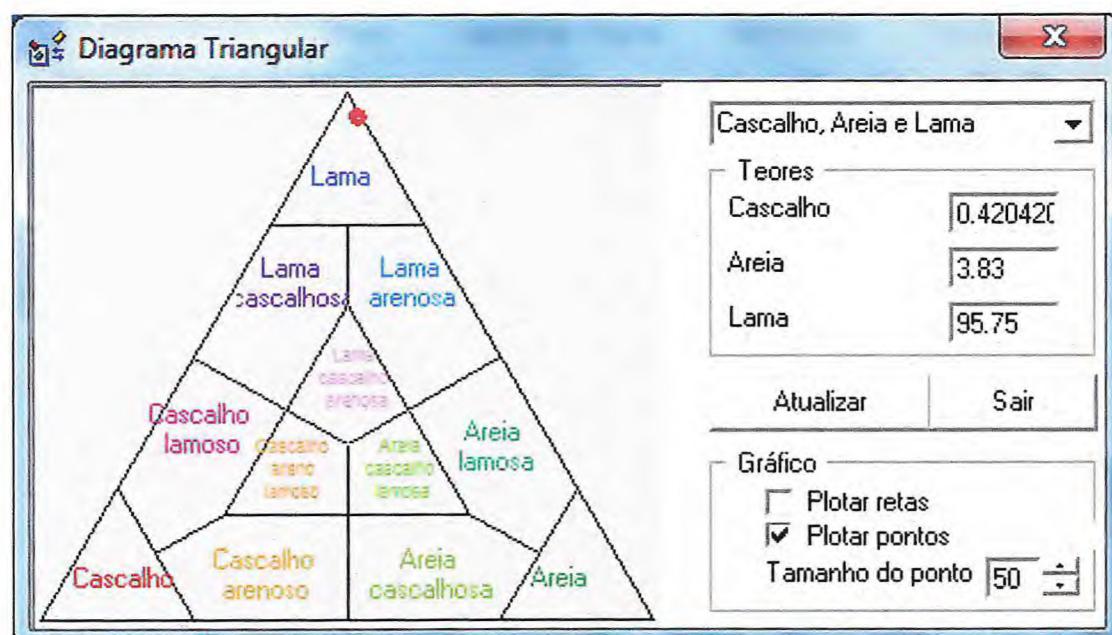
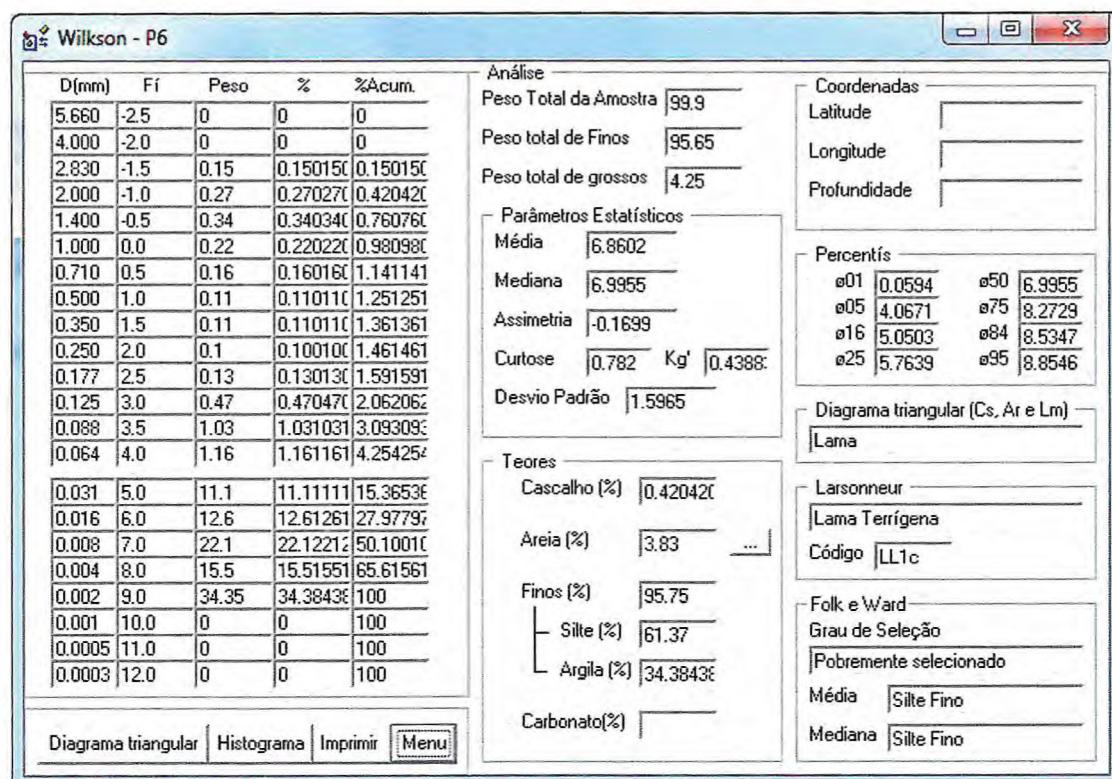
Data: 02/09/2014



1.4 Classificação granulométrica

Amostra: D

Data: 02/09/2014



ANEXO 2 – ENSAIOS: LIMITE DE LIQUIDEZ, LIMITE DE PLASTICIDADE E ÍNDICE DE PLASTICIDADE

2.1 Limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade.

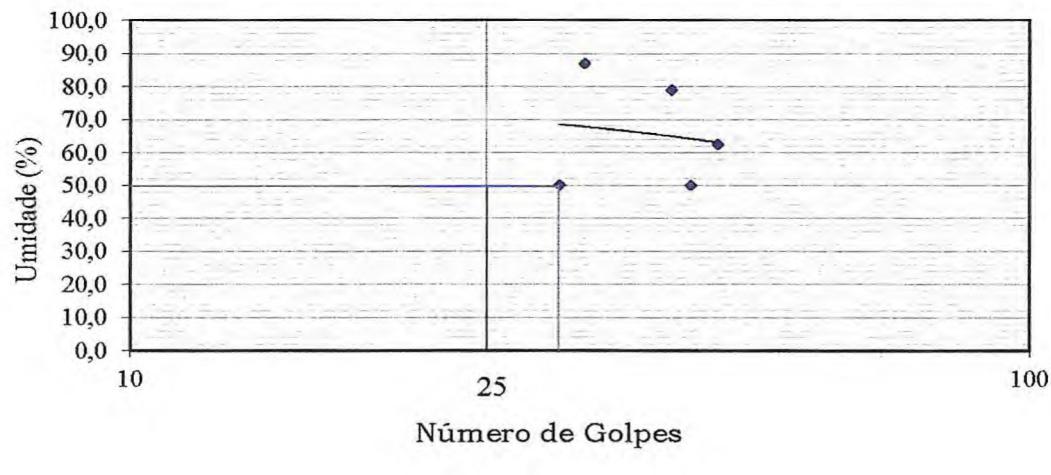
Amostra: A

Data: 02/12/2013

| LIMITE DE LIQUIDEZ AMOSTRA A | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cápsula N° | A | B | C | D | E | |
| Amostra Úmida + Tara (g) | 16,38 | 15,32 | 16,03 | 16,14 | 16,40 | |
| Amostra Seca + Tara (g) | 16,24 | 15,22 | 15,88 | 15,94 | 16,26 | |
| Água (g) | 0,14 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,14 | 0,00 |
| Solo (g) | 0,28 | 0,16 | 0,19 | 0,23 | 0,28 | 0,00 |
| Tara (g) | 15,96 | 15,06 | 15,69 | 15,71 | 15,98 | 0,00 |
| Umidade % | 50,0 | 62,5 | 78,9 | 87,0 | 50,0 | 0,00 |
| Número de Golpes | 30 | 45 | 40 | 32 | 42 | |

| LIMITE DE PLASTICIDADE | | | | RESULTADOS | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|
| Cápsula N° | A | B | C | LIMITE DE LIQUIDEZ | 50,0 |
| S + A + T (g) | 15,34 | 17,30 | 16,50 | 15,38 | |
| S + T (g) | 15,02 | 17,02 | 16,22 | 15,05 | |
| Água (g) | 0,32 | 0,28 | 0,28 | 0,33 | |
| Solo (g) | 1,25 | 1,18 | 1,26 | 1,26 | |
| Tara (g) | 13,77 | 15,84 | 14,96 | 13,79 | |
| Umidade % | 25,6 | 23,7 | 22,2 | 26,2 | 25,6 |

LIMITE DE LIQUIDEZ



FONTE –

2.2 Limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade.

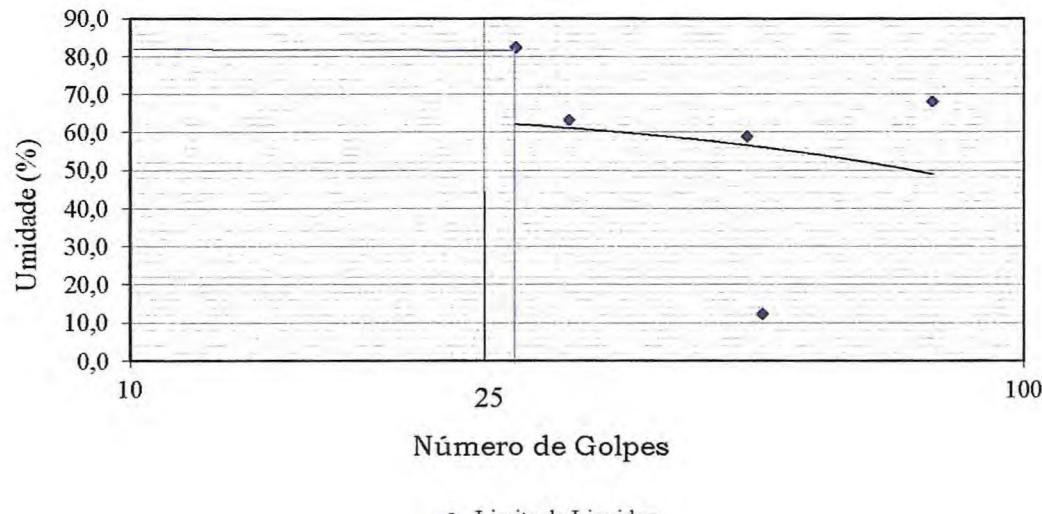
Amostra: B

Data: 02/12/2013

| LIMITE DE LIQUIDEZ AMOSTRA B | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Cápsula N° | A | B | C | D | E | |
| Amostra Úmida + Tara (g) | 14,22 | 17,19 | 15,91 | 14,26 | 17,22 | |
| Amostra Seca + Tara (g) | 14,08 | 17,02 | 15,81 | 14,14 | 17,05 | |
| Água (g) | 0,14 | 0,17 | 0,10 | 0,12 | 0,17 | 0,00 |
| Solo (g) | 0,17 | 0,25 | 0,17 | 0,19 | 1,38 | 0,00 |
| Tara (g) | 13,91 | 16,77 | 15,64 | 13,95 | 15,67 | 0,00 |
| Umidade % | 82,4 | 68,0 | 58,8 | 63,2 | 12,3 | 0,00 |
| Número de Golpes | 27 | 79 | 49 | 31 | 51 | |

| LIMITE DE PLASTICIDADE | | | | RESULTADOS | |
|------------------------|--------|--------|--------|------------------------|------|
| Cápsula N° | A | B | C | LIMITE DE LIQUIDEZ | 82,4 |
| S + A + T (g) | 163,62 | 162,23 | 159,33 | LIMITE DE PLASTICIDADE | 23,6 |
| S + T (g) | 163,31 | 161,98 | 159,06 | ÍNDICE DE PLASTICIDADE | 58,8 |
| Água (g) | 0,31 | 0,25 | 0,27 | | |
| Solo (g) | 1,26 | 1,50 | 0,93 | | |
| Tara (g) | 162,05 | 160,48 | 158,13 | | |
| Umidade % | 24,6 | 16,7 | 29,0 | | |

LIMITE DE LIQUIDEZ



Fonte -

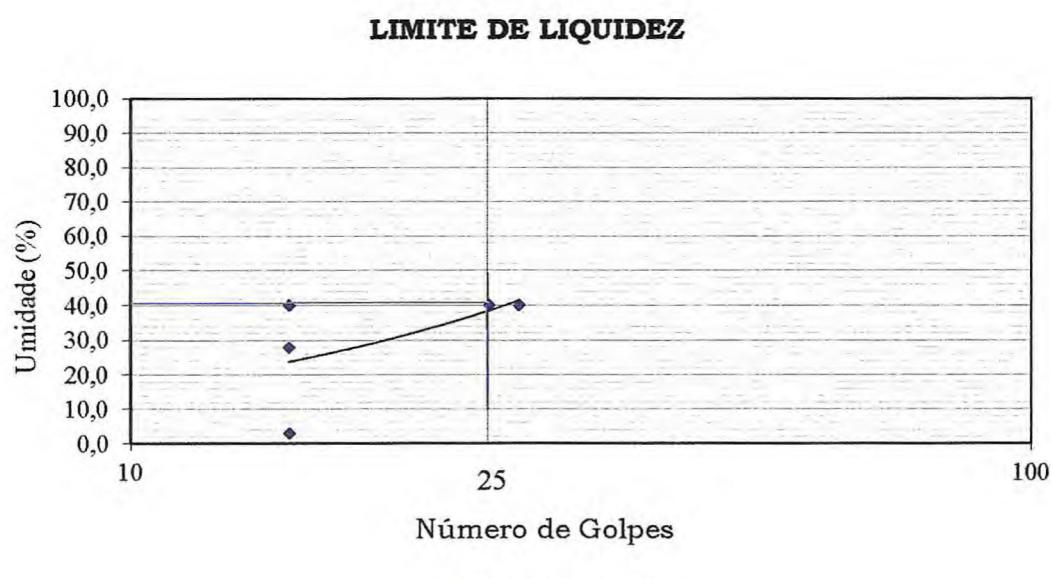
2.3 Limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade.

Amostra: C

Data: 02/12/2013

| LIMITE DE LIQUIDEZ AMOSTRA C | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Cápsula N° | A | B | C | D | E | |
| Amostra Úmida + Tara (g) | 17,82 | 14,73 | 15,38 | 17,80 | 17,75 | |
| Amostra Seca + Tara (g) | 17,56 | 14,63 | 15,30 | 17,54 | 17,65 | |
| Água (g) | 0,26 | 0,10 | 0,08 | 0,26 | 0,10 | 0,00 |
| Solo (g) | 0,65 | 0,36 | 0,20 | 0,65 | 3,36 | 0,00 |
| Tara (g) | 16,91 | 14,27 | 15,10 | 16,89 | 14,29 | 0,00 |
| Umidade % | 40,0 | 27,8 | 40,0 | 40,0 | 3,0 | 0,00 |
| Número de Golpes | 27 | 15 | 15 | 25 | 15 | |

| LIMITE DE PLASTICIDADE | | | | | RESULTADOS | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|------|
| Cápsula N° | A | B | C | D | LIMITE DE LIQUIDEZ | 40,0 |
| S + A + T (g) | 16,14 | 17,25 | 18,32 | 17,27 | LIMITE DE PLASTICIDADE | 14,4 |
| S + T (g) | 16,01 | 17,05 | 18,09 | 17,07 | ÍNDICE DE PLASTICIDADE | 25,6 |
| Água (g) | 0,13 | 0,20 | 0,23 | 0,20 | | |
| Solo (g) | 1,07 | 1,37 | 1,44 | 1,36 | | |
| Tara (g) | 14,94 | 15,68 | 16,65 | 15,71 | | |
| Umidade % | 12,1 | 14,6 | 16,0 | 14,7 | | |



Fonte -

2.4 Limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade.

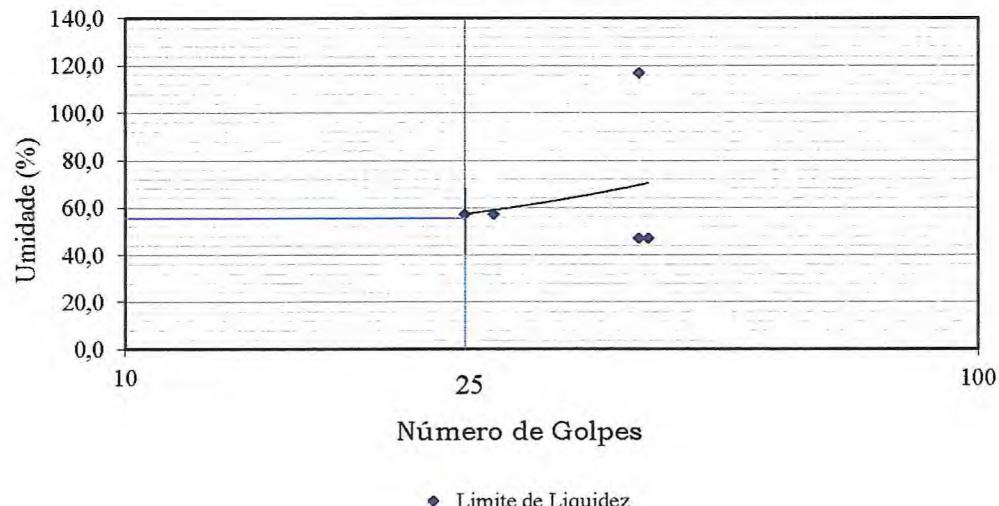
Amostra: D

Data: 02/12/2013

| LIMITE DE LIQUIDEZ AMOSTRA D | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Cápsula N° | A | B | C | D | E | |
| Amostra Úmida + Tara (g) | 15,21 | 17,03 | 14,52 | 15,25 | 14,56 | |
| Amostra Seca + Tara (g) | 15,17 | 16,96 | 14,44 | 15,21 | 14,48 | |
| Água (g) | 0,04 | 0,07 | 0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,00 |
| Solo (g) | 0,07 | 0,06 | 0,17 | 0,07 | 0,17 | 0,00 |
| Tara (g) | 15,10 | 16,90 | 14,27 | 15,14 | 14,31 | 0,00 |
| Umidade % | 57,1 | 116,7 | 47,1 | 57,1 | 47,1 | 0,00 |
| Número de Golpes | 25 | 40 | 40 | 27 | 41 | |

| LIMITE DE PLASTICIDADE | | | | RESULTADOS |
|------------------------|--------|--------|--------|------------|
| Cápsula N° | 425 | 418 | 952 | 411 |
| S + A + T (g) | 163,84 | 167,66 | 159,23 | 10,24 |
| S + T (g) | 163,58 | 167,46 | 159,03 | 9,82 |
| Água (g) | 0,26 | 0,20 | 0,20 | 0,42 |
| Solo (g) | 0,80 | 0,69 | 0,78 | 2,90 |
| Tara (g) | 162,78 | 166,77 | 158,25 | 6,92 |
| Umidade % | 32,5 | 29,0 | 25,6 | 14,5 |

LIMITE DE LIQUIDEZ



Fonte -

ANEXO 3 – ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

3.1 ENSAIO PARA ABSORÇÃO DE ÁGUA - ABNT NBR 15270-3:2005

Amostra: Corpo de prova A, B, C, D e E

Data: 05/05/2013

| ABSORÇÃO | | | | |
|------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| RESULTADOS INDIVIDUAIS | | | | |
| Nº. CP | MASSA SECA (g) | MASSA SATURADA (g) | PESO APÓS A QUEIMA (g) | INDICE DE ABSORÇÃO (%) |
| A | 58,51 | 59,7 | 53,08 | 10% |
| B | 59,75 | 60,89 | 54,25 | 10% |
| C | 60,71 | 62 | 55,22 | 10% |
| D | 58,81 | 59,85 | 53,43 | 10% |
| E | 59,55 | 60,45 | 54,07 | 10% |

| Nº. CP | 1° Pesagem | 2° Pesagem | 3° Pesagem | 4° Pesagem |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| A | 56,94 | 53,08 | 53,08 | 53,08 |
| B | 59,59 | 54,25 | 54,25 | 54,25 |
| C | 59,52 | 55,23 | 55,22 | 55,22 |
| D | 58,13 | 53,42 | 53,42 | 53,43 |
| E | 59,65 | 54,07 | 543,07 | 54,07 |

Calcula-se o teor de absorção pela seguinte fórmula:

onde: A = teor de absorção em porcentagem;

M h = peso após o ensaio de absorção;

M s = peso do corpo-de-prova seco.

$$A (\%) = M_h - M_s / M_s \times 100$$

ANEXO 4 – ENSAIOS DE RETRAÇÃO LINEAR E PERDA DE MASSA AO FOGO

ENSAIO DE RETRAÇÃO LINEAR E PERDA DE MASSA AO FOGO - ABNT NBR 15270-1:2005

TABELA 4.

Amostra: Corpo de prova A, B, C, D e E

Data: 05/05/2013

| RETRAÇÃO LINEAR | | | | | | |
|---------------------|------------------|----------|-----------------|----------|----------------------|----------|
| MEDIDAS INDIVIDUAIS | | | | | | |
| | LARGURA (L) (mm) | | ALTURA (H) (mm) | | COMPRIMENTO (C) (mm) | |
| | Medida A | Medida B | Medida C | Medida D | Medida E | Medida F |
| Nº CP | | | | | | |
| A | 11 | 11 | 23 | 23 | 110 | 110 |
| B | 11 | 11 | 23 | 23 | 112 | 113 |
| C | 11 | 11 | 23 | 23 | 111 | 111 |
| D | 10 | 11 | 23 | 23 | 112 | 112 |
| E | 11 | 11 | 24 | 24 | 113 | 113 |
| Nº CP | | | | | | |
| A | 10 | 11 | 23 | 23 | 110 | 110 |
| B | 11 | 11 | 23 | 23 | 112 | 112 |
| C | 11 | 11 | 23 | 23 | 111 | 111 |
| D | 10 | 11 | 23 | 23 | 112 | 112 |
| E | 11 | 11 | 24 | 24 | 113 | 113 |
| Nº CP | | | | | | |
| A | 10 | 11 | 23 | 23 | 108 | 108 |
| B | 11 | 11 | 23 | 23 | 110 | 110 |
| C | 11 | 11 | 23 | 23 | 109 | 109 |
| D | 10 | 11 | 23 | 23 | 110 | 110 |
| E | 10 | 11 | 23 | 23 | 112 | 112 |

1000° C | 10h:21 h

MÉDIAS DA RETRAÇÃO LINEAR

| | Altura (mm) | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Tolerância na Média NBR 15.270-1 (mm) | Retração Total (mm³) |
|----|-------------|------------------|--------------|---------------------------------------|----------------------|
| CP | 0,47 | 1,61 | 2,81 | 3 | 2,12 mm |

| PERDA DE MASSA AO FOGO | | |
|------------------------|--|-------------------------|
| Temperatura | | Média da perda de massa |
| 700 °C | | 1,21 % |
| 800 °C | | 9,16 % |
| 900 °C | | 9,24 % |
| 1000 °C | | 10,14 % |

ANEXO 5 – ENSAIOS DE MEDIDAS DAS FACES

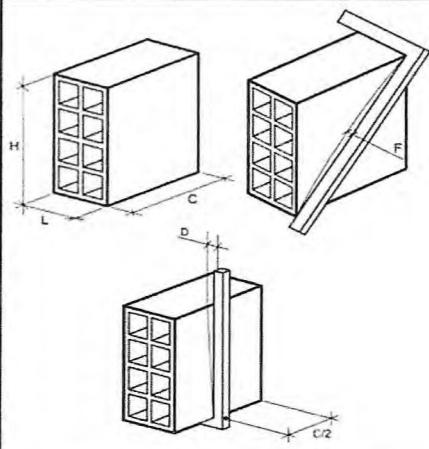
ENSAIO DE MEDIDAS DAS FACES - ABNT NBR 15270-2:2005 ITEM 5.1 TABELA 2 E 3.

Amostra: Corpo de prova 1 à 13

Data: 05/05/2013

| RELATÓRIO DO ENSAIO DE MEDIDA DAS FACES | | | |
|---|---------------------|--------------------|-------------------------|
| DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES | | | |
| Medidas Individuais | | | |
| | Largura (L) (mm) | Altura (H) (mm) | Comprimento (C) (mm) |
| Nº CP | Média (mm) | Média (mm) | Média (mm) |
| 1 | 87,00 | 183,50 | 190,50 |
| 2 | 87,50 | 183,00 | 187,00 |
| 3 | 88,00 | 184,00 | 190,50 |
| 4 | 88,00 | 184,50 | 190,50 |
| 5 | 88,00 | 184,00 | 187,50 |
| 6 | 87,50 | 183,00 | 189,50 |
| 7 | 88,50 | 184,50 | 190,00 |
| 8 | 85,50 | 185,50 | 188,00 |
| 9 | 87,00 | 182,50 | 187,50 |
| 10 | 88,50 | 184,50 | 188,50 |
| 11 | 88,00 | 184,50 | 192,50 |
| 12 | 88,00 | 184,50 | 188,00 |
| 13 | 89,00 | 185,00 | 188,50 |

FIGURA ESQUEMÁTICA Modelo: 9
x 19 x 19



| MÉDIA DE CADA UMA DAS DIMENSÕES CONSIDERADAS | | | |
|--|------------|------------------------|--------|
| | Média (mm) | INCERTEZA(U) (+/-)(mm) | K (mm) |
| Largura (mm) | 87,7 | 0,21 | 2,23 |
| Altura (mm) | 184,1 | 0,14 | 2,23 |
| Comprimento (mm) | 189,1 | 0,26 | 2,23 |

| DIMENSÕES MÉDIAS DOS BLOCOS COLETADOS | | | |
|---------------------------------------|------------|--------------------------|-------------------------------|
| | Média (mm) | Incerteza (U) (+/-) (mm) | ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos) |
| Largura (mm) | 87,7 | 0,21 | 90,00 +/- 3 |
| Altura (mm) | 184,1 | 0,14 | 190,00 +/- 3 |
| Comprimento (mm) | 189,1 | 0,26 | 190,00 +/- 3 |

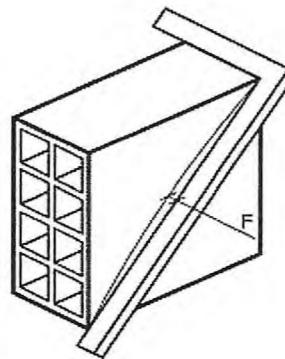
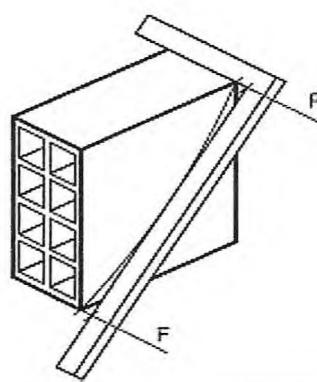
ANEXO 5 – ENSAIOS DE PLANEZA DAS FACES

ENSAIO DE PLANEZA DAS FACES - ABNT NBR 15270-3:2005 ITEM 5.1 TABELAS 2 E 3.

Amostra: Corpo de prova 1 à 13

Data: 05/05/2013

RELATÓRIO DO ENSAIO DE PLANEZA DAS FACES

| RESULTADOS INDIVIDUAIS | | |
|------------------------|------------------|---|
| Nº CP | MÉDIA INDIVIDUAL | PLANEZA DAS FACES |
| 1 | 0,2 |  |
| 2 | 1,3 |  |
| 3 | 0,5 | |
| 4 | 0,6 | |
| 5 | 0,9 | |
| 6 | 1,0 | |
| 7 | 0,7 | |
| 8 | 0,9 | |
| 9 | 1,2 | |
| 10 | 0,4 | |
| 11 | 0,4 | |
| 12 | 0,4 | |
| 13 | 0,9 | |

| DESVIO DE PLANEZA DOS BLOCOS COLETADOS | | |
|--|---------------------|-------------------------------|
| Média Total Blocos | Incerteza (U) (+/-) | ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos) |
| 0,7 mm | 0,2 mm | Máximo 3,0 mm |

ANEXO 6 – ENSAIOS DE MEDIDA DOS SEPTOS E PAREDES EXTERNAS

ENSAIO DE MEDIDA DOS SEPTOS E PAREDES EXTERNAS - ABNT NBR 15270-3:2005.

Amostra: Corpo de prova 1 à 13

Data: 05/05/2013

RELATÓRIO DOS ENSAIOS DE SEPTOS E PAREDES EXTERNAS

| ESPESSURA DAS PAREDES E SEPTOS | | | |
|--------------------------------|------------------|--------|------------------|
| PAREDES EXTERNAS | | SEPTOS | |
| Nº CP | MÉDIA INDIVIDUAL | Nº CP | MÉDIA INDIVIDUAL |
| 1 | 5,3 | 1 | 6,4 |
| 2 | 5,2 | 2 | 5,2 |
| 3 | 5,7 | 3 | 5,1 |
| 4 | 5,6 | 4 | 5,1 |
| 5 | 5,3 | 5 | 5,0 |
| 6 | 4,7 | 6 | 4,8 |
| 7 | 5,8 | 7 | 4,6 |
| 8 | 5,9 | 8 | 5,0 |
| 9 | 5,4 | 9 | 4,8 |
| 10 | 5,6 | 10 | 5,0 |
| 11 | 6,0 | 11 | 4,9 |
| 12 | 5,2 | 12 | 4,9 |
| 13 | 5,1 | 13 | 5,3 |

| ESPESSURA MÉDIA DAS PAREDES E DOS SEPTOS | | | |
|--|--------|---------------------|----------------------------------|
| | | INCERTEZA (U) (+/-) | ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos) |
| Média Paredes Externas | 5,4 mm | 0,1 mm | 7,0 mm |
| Média Séptos | 5,1 mm | 0,1 mm | 6,0 mm |

ANEXO 7 – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL

ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL - ABNT NBR 15270-1:2005 ITEM 5.5

TABELAS 4.

Amostra: Corpo de prova 1 à 13

Data: 05/05/2013

| RESISTÊNCIA DO BLOCOS E COMPRESSÃO | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|-------------|------------------|-------|-------------------------|------------|--------------|--------------------|
| RESULTADOS INDIVIDUAIS | | | | | | | | |
| Nº CP | Largura (mm) | Altura (mm) | Comprimento (mm) | Nº CP | Área (cm ²) | Força (Kg) | Tensão (MPa) | APLICAÇÃO DA CARGA |
| 1 | 87,0 | 183,5 | 190,5 | 1 | 165,7 | 5910,9 | 3,5 | |
| 2 | 87,5 | 183,5 | 187,0 | 2 | 16,6 | 7207,48 | 4,3 | |
| 3 | 88,0 | 184,0 | 190,5 | 3 | 167,6 | 2542,32 | 1,5 | |
| 4 | 88,0 | 184,5 | 190,5 | 4 | 167,6 | 5898,19 | 3,4 | |
| 5 | 88,0 | 184,0 | 187,5 | 5 | 165,0 | 4207,54 | 2,5 | |
| 6 | 87,5 | 183,0 | 189,5 | 6 | 165,8 | 2783,84 | 1,6 | |
| 7 | 88,5 | 184,5 | 190,0 | 7 | 168,2 | 7715,95 | 4,5 | |
| 8 | 85,5 | 185,5 | 188,0 | 8 | 160,7 | 7347,31 | 4,5 | |
| 9 | 87,0 | 182,5 | 187,5 | 9 | 163,1 | 2656,73 | 1,6 | |
| 10 | 88,5 | 184,5 | 188,5 | 10 | 165,8 | 7169,35 | 4,2 | |
| 11 | 88,0 | 184,5 | 192,5 | 11 | 169,4 | 6660,88 | 3,9 | |
| 12 | 88,0 | 184,5 | 188,0 | 12 | 165,4 | 6838,85 | 4,1 | |
| 13 | 89,0 | 185,0 | 188,5 | 13 | 167,8 | 5580,4 | 3,3 | |

| MÉDIA DOS RESULTADOS | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-----|--------------------------|---------------------|-----|
| | INCERTEZA A (U) (+/-) | K | | INCERTEZA (U) (+/-) | K |
| N. DE CPS: | 13 | 0,7 | Largura (mm): | 87,7 | 2,2 |
| MÉDIA (Mpa): | 3,3 | | Altura (mm): | 184,1 | 2,2 |
| DESVIO PADRÃO (Mpa): | 1,1 | | Comprimento (mm): | 189,1 | 2,2 |
| COEF. DE VARIAÇÃO (%): | 34,1 | | Área (cm ²): | 165,9 | 2,2 |

| RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO | | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|--|
| | Área (cm ²) | Resistência Média (Mpa) | ABNT NBR 15.270/2005 (Blocos) | |
| CP | 165,9 | 3,3 | 1,5 | |