



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RENATO EVANGELISTA ALVES

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGILAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE TELHAS
E TIJOLOS EM RUSSAS-CE**

RUSSAS - CE

Abril de 2021

RENATO EVANGELISTA ALVES

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGILAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE TELHAS
E TIJOLOS EM RUSSAS-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Me. Daniela Lima Machado da Silva

RUSSAS - CE

Abril de 2021

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGILAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE TELHAS
E TIJOLOS EM RUSSAS-CE**

RENATO EVANGELISTA ALVES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 05 de Abril de 2021

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Daniela Lima Machado da Silva (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Me. Andriele Nascimento de Souza (Avaliadora Interna)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Wlysses Wagner Medeiros Lins Costa (Avaliador Externo)

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)

- A482c Alves, Renato Evangelista.
Caracterização de argilas utilizadas na fabricação de telhas e tijolos em Russas - CE / Renato Evangelista
Alves. – 2021.
66 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2021.
Orientação: Prof. Me. Daniela Lima Machado da Silva.
1. Indústrias cerâmicas. 2. Argila. 3. Telhas. 4. Tijolos. I. Título.

CDD 620

A Deus,

*Aos meus pais, aos meus avós e a todos os
Russanos que tanto me acolheram.*

AGRADECIMENTOS

Não poderia iniciar esses agradecimentos sem lembrar do quão difícil foi chegar até aqui, antes um sonho muito distante, e para muitos impossível. A longa jornada desde os tempos de escola não foi fácil, mas de uma coisa eu tinha certeza, eu poderia ir muito longe se assim quisesse.

Todavia, acredito que não é possível ir tão longe sozinho, sempre precisaremos de alguém. De seres iluminados que chegam nas nossas vidas para nos fazer pessoas ainda melhores. Já dizia o provérbio africano, “se quiser ir rápido, vá sozinho. Se quiser ir mais longe vá acompanhado de alguém”. Eu ainda adiciono que, para ir adiante é necessário também muita fé, acreditar que tem alguém superior e que tudo é possível quando nos orientamos por Ele. Dessa forma ao meu Deus que até aqui tem me guiado e me mostrado o caminho certo, a minha eterna gratidão.

Aos meus pais, Jeovani Machado e Genézia Moura que sempre me apoiaram, incentivaram e torceram muito para o meu sucesso. Aos meus avós, Alcides e Hilda pelos quais tenho um amor incondicional e sou muito grato a Deus por eles existirem, sempre me apoiaram, sempre me incentivaram e são os meus maiores exemplos de vida. A minha irmã Narinha, da qual tenho tamanha estima.

Aos meus professores e à Escola Pedro de Queiroz Lima, o meu muito obrigado por ter me proporcionado uma base no ensino médio para iniciar a minha jornada acadêmica.

À Russas, uma cidade que jamais poderei esquecer, de pessoas tão hospitaleiras, de histórias que vivi e fazem parte de toda a trajetória da vida acadêmica. Da qual conheci pessoas que me ajudaram chegar até aqui, como a Dona Luzanira que hoje não está mais entre nós, aquela senhora que foi a primeira Russana a me dar abrigo e sempre que podia nos confortava com boas e reconfortantes palavras, com uma animação que só ela tinha.

Aos meus amigos e colegas que fizeram da jornada acadêmica algo mais leve, que com certeza irei levar alguns para o resto da vida. Em especial ao Douglas Sampaio e a Ana Carolina que sempre estavam dispostos a me ajudar, e foram por muitas vezes quem me dava total apoio para que não desistisse. A Daniele Fernandes, pelo qual não poderia esquecer o primeiro ano de faculdade, que era a colega de estudos de quase todos os dias, quantas noites em claro estudando para aquelas 09 benditas cadeiras e que muito me ajudou e incentivou a sempre continuar.

A Inácia Loyana, que sempre foi essa pessoa tão solícita e que sempre nos dava aquela velha e tão boa carona no “baratinha” e assim salvar-nos do escaldante sol russo nas

idas e vindas para o RU. A Cássia Nascimento, que além de uma grande amiga foi uma das pessoas que iniciou essa pesquisa junto comigo, meus agradecimentos. Enfim, a todos da turma 2016.1 que foi “A turma!” Da qual muito vou levar! A Ana Beatriz que foi uma grande contribuinte e para minha chegada até aqui, por todo incentivo e encorajamento.

Aos meus professores que foram pessoas incríveis, grandes inspiradores e que sem dúvidas merecem muito os meus agradecimentos e respeito. Aos Professores, Dr. Otávio Rangel, Dr. Ernesto Pitombeira, Dra. Aliny Abreu, Ms. Camila Lima, Ms. Andriele Nascimento, Ms. Ully Martins, e a todos os demais professores que fizeram parte da minha jornada, meu muito obrigado.

Ao Professor Dr. Lindberg Gonçalves, diretor da UFC Campus Russas, que não mede esforços para tornar a cada dia essa instituição ainda mais brilhante.

Em especial a minha professora orientadora, Dra. Daniela Machado, que com todo seu conhecimento, capacidade e estima não mediu esforços para me orientar, aconselhar em dias difíceis e sempre mostrar o melhor caminho, minha total gratidão.

A todos os servidores e técnicos da UFC campus Russas, vocês contribuem muito para a nossa jornada, muito obrigado por cuidarem tão bem do nosso campus e por estarem sempre nos ajudando nessa árdua caminhada.

A Vale J Jr, que foi minha casa por 02 anos durante a vida acadêmica e que foi um dos maiores incentivos para trilhar a graduação. Muito obrigado a essa empresa que muito me ensinou e que muito contribuiu para ser esse profissional de hoje.

A Fejece, que muito me acolheu e que tanto me ensinou, que me mostrou como é ter ainda mais coragem, sangue no olho, busca por tesouros que a vida nos reserva e conseguir fazer tudo isso com muita leveza e curtindo a jornada como um pirata.

Aos professores examinadores Ms. Wlysses Wagner e Ms. Andriele Nascimento que aceitaram o convite para compor esta banca e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha trajetória acadêmica.

Minha grande estima e gratidão a todos que aqui foram citados!

“Seja bom, seja humilde, seja leve, seja você e nunca desista de sonhar.”

RESUMO

A cidade de Russas, localizada no interior do Ceará, é reconhecida como um pólo cerâmico, com cerca de 50 indústrias atualmente. Entretanto, mesmo diante dessa forte presença, o controle de qualidade de muitos materiais, como a argila, utilizada na fabricação de telhas e tijolos, ainda é pouco estudado e investigado para fins de melhoria. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo, a realização de caracterização geotécnica e química de amostras de argilas utilizadas para fabricação de cerâmicas vermelhas na cidade de Russas-CE. Nessa pesquisa será estudado quais as propriedades das argilas, quais os constituintes desse solo e ainda qual o comportamento tanto da matéria-prima quanto dos produtos gerados a partir destas. As amostras estudadas, foram coletadas em 04 (quatro) olarias, algumas com atividades diferentes das demais, porém limitadas para a produção de telhas e tijolos de cerâmica vermelha e posteriormente realizado os ensaios referidos acima em laboratórios da Universidade Federal do Ceará. Dessa forma, nas análises verificou-se que todas as amostras de argilas utilizadas para a fabricação de telhas e tijolos apresentaram caráter semelhante, indicando serem da mesma bacia de sedimentação, porém houve algumas pequenas disparidades em alguns resultados de análise química e geotécnica. Dessa maneira, cabe ressaltar ainda que a pesquisa obteve como principais resultados que a amostra CE-04 e CE-05 podem ser trabalhadas juntas, uma vez que essas fazem parte da mesma olaria. Outrossim, é a correção do teor de matéria orgânica na CE – 02, o que pode ser através de implementação de uma camada mais superficial, no momento da retirada das jazidas. Porém, de modo geral, as caracterizações granulométricas se apresentam com um caráter satisfatório, uma vez que a taxa de materiais argilosos está dentro do esperado de acordo com a literatura, entre 30% e 70%. As análises químicas também apresentam uma CTC adequada, entre 20 e 30 CmolC/kg, o que indica uma boa qualidade e classifica essas amostras como uma Ilita de baixa atividade, sendo suficientemente adequado para fins de cerâmica vermelha.

Palavras-chave: Indústrias cerâmicas. Argila. Telhas. Tijolos.

ABSTRACT

The city of Russas, located in the interior of Ceará, is recognized as a ceramic pole, with about 50 industries currently. However, even with this strong presence, the quality control of many materials, such as clay, used in the manufacture of tiles and bricks, is still little studied and investigated for improvement purposes. In this context, the present work has as objective, the realization of geotechnical and chemical characterization of clay samples used for the manufacture of red ceramics in the city of Russas-CE. In this research will be studied what are the properties of clays, what are the constituents of this soil and also what is the behavior of both the raw material and the products generated from them. The samples studied were collected in 04 (four) potteries, some with different activities from the others, but limited to the production of tiles and bricks of red ceramic and then performed the tests mentioned above in laboratories of the Federal University of Ceará. Therefore, in the analyses, it was found that all samples of clays used for the manufacture of tiles and bricks had a similar character, indicating that they were from the same sedimentation basin, but there were some small disparities in some chemical and geotechnical analysis results. The main results of the research were that samples CE-04 and CE-05 can be worked together, since they belong to the same pottery. In addition, is the correction of the organic matter content in CE - 02, which can be through the implementation of a more superficial layer, at the time of removal of the quarries. However, in general, the granulometric characterizations present a satisfactory character, since the rate of clayey materials are within what is expected according to the literature, between 30% and 70%. The chemical analyses also present an adequate CEC, between 20 and 30 CmolC/kg, which indicates a good quality and classifies these samples as an Illite of low activity, being sufficiently suitable for red ceramic purposes.

Keywords: Ceramic industries. Clay. Tiles. Bricks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Proporção de cerâmica vermelha por região do Brasil.....	22
Figura 2 - Comportamento dos solos com a variação do teor em água.	29
Figura 3 - Mapa do estado do Ceará, com destaque da cidade de Russas.	34
Figura 4 - Cadeia produtiva principal e auxiliar na produção de cerâmica vermelha.	35
Figura 5 - Procedimento experimental da pesquisa.....	38
Figura 6 - Localização dos depósitos de argilas das respectivas olarias.	39
Figura 7 -Exposição ao sol para secagem das argilas.	40
Figura 8 - Aferição do grau de saturação das argilas.	40
Figura 9 - Destorroamento da argila no almofariz.	40
Figura 10 - Argilas nos tubos de sedimentação.	41
Figura 11 - Divisão da argila em porção de 70g.....	41
Figura 12 - Defloculante hexametáfosfato.	41
Figura 13 - Batedeira elétrica para dispersão das moléculas de argilas.	41
Figura 14 - Pesagem das cápsulas para a estufa.	42
Figura 15 - Ensaio de Limite de Liquidez.....	42
Figura 16 - Processo de "banho maria" para o ensaio de densidade real.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de classificação da plasticidade de Casagrande.	48
Gráfico 2 - Curva granulométrica CE - 01	61
Gráfico 3 - Curva granulométrica CE - 02.....	61
Gráfico 4 - Curva granulométrica CE - 03.....	62
Gráfico 5 - Curva granulométrica CE - 04.....	62
Gráfico 6 - Curva granulométrica CE - 05.....	63
Gráfico 7 - Limite de liquidez CE - 01.....	64
Gráfico 8 - Limite de liquidez CE - 02.....	64
Gráfico 9 - Limite de liquidez CE - 03.....	65
Gráfico 10 - Limite de liquidez CE - 04.	65
Gráfico 11 - Limite de liquidez CE - 05.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa granulométrica dos grãos	28
Tabela 2 - Classificação de Atterberg baseada no comportamento "plástico" dos solos. .	30
Tabela 3 - Granulometria das amostras em %.	45
Tabela 4 - Limites de consistência das amostras em %.	46
Tabela 5 - Condição plástica da argila.	47
Tabela 6 - Densidade real das amostras de solo à temperatura t.	49
Tabela 7 - Resultados das análises de complexo sortivo.	50
Tabela 8 - Propriedades químicas das argilas.	50
Tabela 9 - Valores de CTC efetiva.	50
Tabela 10 - Valores de CTC de alguns materiais constituintes do solo.	51
Tabela 11 - Atividade do hidrogênio.	52
Tabela 12 - Quantidade de matéria orgânica por amostra de 1kg de argila.	53
Tabela 13 - Análise geral por fábrica cerâmica.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ASTERRUSSAS	Associação dos Fabricantes de Telhas Vermelha do Vale do Jaguaribe
CE	Ceará
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
ACS	American Ceramic Society
DRX	Difração de Raio X
EDTA	Ácido Etilenodiamino Tetra-acético
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índice de plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
LR	Limite de Retração
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PIB	Produto Interno Bruto
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio-Ambiente
VPBI	Valor Bruto da Produção Industrial

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
R\$	Reais
°C	Escala de temperatura Celsius
γ_s	Peso específico
μ	Viscosidade
λ	Comprimento de onda
θ	Ângulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	Estrutura do trabalho	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Breve histórico	20
2.2	A indústria de cerâmica vermelha	20
2.3	Argilas	22
2.3.1	Tipos de argilas	23
2.3.1.1	Argila comum	24
2.3.1.2	Argila refratária	24
2.3.1.3	Caulim ou argila da china	24
2.3.1.4	Argilas vermelhas	24
2.3.1.5	Argilas Expandidas	25
2.3.1.6	Bentonitas	25
2.3.2	Composição mineralógica	25
2.3.2 .1	Quartzo	25
2.3.2 .2	Feldspato	26
2.3.2 .3	Mica	26
2.3.3	Caracterização geotécnica	26
2.3.3.1	Análise granulométrica	27
2.3.3.2	Limites de Consistência	29
2.3.3.3	Densidade real	30
2.3.4	Caracterização química	31

2.3.4.1	Complexo Sortivo com indicação da CTC	31
2.3.4.2	Potencial Hidrogeniônico do solo – pH	32
2.3.4.3	Teor de matéria orgânica	32
2.4	Indústrias cerâmicas no Vale do Jaguaribe, com foco na cidade de Russas – CE	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	Caracterização da pesquisa	37
3.2	Levantamento e análise dos dados	37
3.3	Caracterização geotécnica	40
3.3.1	Análise granulométrica	40
3.3.2	Limites de Consistência	42
3.3.3	Densidade real	43
3.4	Caracterização Química	43
3.4.1	Capacidade de Troca Catiônica – CTC	44
3.4.2	Determinação do pH	44
3.4.3	Determinação de Carbono orgânico	44
3.4.4	Teor de matéria orgânica – M.O	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Caracterização geotécnica	45
4.1.1	Análise granulométrica	45
4.1.2	Limites de consistência	46
4.1.3	Densidade real	48
4.2	Caracterização química	49
4.2.1	Capacidade de Troca Catiônica – CTC	50
4.2.2	Potencial Hidrogeniônico – pH	51
4.2.3	Matéria Orgânica – M.O	52
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6.	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A construção civil contribui de forma significativa para o desenvolvimento econômico do Brasil, sendo um dos setores que possui uma ampla utilização de materiais de origem natural. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC, a construção civil impulsiona os investimentos provocando incremento no PIB, sendo que em 2019 houve um crescimento em torno de 2% do setor em relação ao ano anterior e, conseqüentemente, um aumento de 0,4% da economia do País no mesmo período. Outrossim, é notória a contribuição da construção civil na área social, pois é uma atividade essencial para diminuir o déficit habitacional e geração de empregos, e isso é um fator importante para o desenvolvimento econômico de uma nação, como o Brasil (CUNHA, 2012).

Com relação a produção de cerâmica no Brasil, a região Sul e Sudeste são as que mais se destacaram e se desenvolveram no país, todavia, a região Nordeste tem apresentado um grande avanço nesse setor (SEBRAE, 2015). Diante disso, com relação ao Estado do Ceará, o Vale do Jaguaribe, com destaque para a cidade de Russas, apresenta a maior atividade do setor ceramista, sendo que, até 2012, das 400 indústrias dessa categoria presente no estado, em torno de 120 estão localizadas no município, entre as regulamentadas e as não regulamentadas, isso gera uma produção de telhas e tijolos em torno de 76.000 milheiros/mês e gera aproximadamente 3.200 empregos diretos (ELLA, 2012).

Essa expressiva quantidade de indústrias cerâmicas localizadas no município de Russas-CE tem grande influência da localização pertinente da região, por ser uma área rica em solos argilosos e ser relativamente próxima a capital do estado. De acordo com o Sebrae (2008), para que se obtenha viabilidade no negócio ceramista é imprescindível que as fábricas sejam localizadas nas proximidades das jazidas de argilas, principal matéria - prima para fabricação de produtos cerâmicos, e estejam nas proximidades dos mercados consumidores.

Segundo alguns autores ainda não existe na literatura uma definição totalmente aceita sobre o termo argila, porém, Souza Santos (1989) descreve que argilas foram rochas, que devido ao seu processo de formação, apresentam partículas finíssimas e suas propriedades são constituídas de minerais na qual são conhecidos como argilominerais, além de outros minerais como calcita, dolomita, gipsita, quartzo, pirita, goethita e hematita, além de impurezas provenientes do processo de erosão.

Para Macedo *et. al.*, (2008) as argilas caracterizam-se pela heterogeneidade, pois mesmo possuindo algumas características comuns, como granulometria, coesão e plasticidade

ao entrar em contato com a água, sua formação geológica, formas e local de extração, também afetam de algum modo no seu aspecto e em suas propriedades.

Diante disso, o conhecimento das características e do comportamento das argilas, contribuem diretamente para a compreensão das particularidades de seus produtos, como, telhas e tijolos cerâmicos. Isso permite que, seja possível obter-se materiais de maior qualidade, e até mesmo com menores custos de produção, através da otimização dessa matéria-prima. Do mesmo modo, através do comportamento e características desse material, é possível verificar se ele é o ideal para determinada finalidade (KOZIEVITCH *et al.*, 2000). Todavia, o controle de qualidade desses produtos, em muitos casos, ainda mostra - se deficiente, sendo necessário um aprofundamento nesse sentido, tendo em vista a importância desses resultados para a qualidade do produto final.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é caracterizar as argilas utilizadas em quatro indústrias cerâmicas, localizadas no município de Russas – CE.

Assim, esse trabalho apresenta grande relevância, visto que contribuirá para o desenvolvimento dessas indústrias e conseqüentemente, trazendo tecnologia social, uma vez que através dos resultados obtidos poderá haver sugestões de melhorias e adaptações na qualidade dos materiais cerâmicos produzidos na região.

1.1 Justificativa

Sabe-se que os estudos dos materiais que dão origem aos produtos cerâmicos ainda são muito superficiais e não são explorados profundamente como deveriam. Isso deve-se ao fato de que, grande parte dos empresários do ramo ceramista ainda não enxergam a necessidade para isso, porém observa-se que essas pesquisas não trazem apenas colaborações para o meio acadêmico, elas impactam diretamente no mercado.

Dessa forma, fazendo-se uma análise do setor ceramista na cidade de Russas-CE, constata-se que a maioria das cerâmicas não apresentam insumos suficientes que comprovem as propriedades das argilas utilizadas para produção de tijolos e telhas e ainda não possuem um controle de qualidade devidamente eficaz para satisfazer as necessidades do mercado.

Além disso, outro déficit presente nas cerâmicas de Russas é o sistema de gestão e inovação tecnológica. Segundo Jácome *et al.*, (2013) em uma pesquisa realizada com 18 cerâmicas da cidade de Russas, as empresas ainda carecem de ferramentas de gestão. Essas informações foram constatadas a partir de análises em Sistema Integrado de Gestão, Gestão da Produção, Gestão de Produtos, Gestão Estratégica, Gestão de Logística, Gestão de RH e Gestão

Financeira. Assim, isso mostra a importância de aprofundar os estudos também nessa área, tanto na produção dos materiais cerâmicos como também na argila que é a principal matéria prima dessa manufatura.

Sendo assim, essa pesquisa é pautada em analisar um dos principais processos para a produção de cerâmica vermelha, observando quais as características das argilas da região do ponto de vista geotécnico e químico. Ademais, como é tratada e quais as características desses insumos. Vale salientar ainda, que Russas é uma cidade de alta concentração de cerâmicas, possuindo no ano de 2020 em funcionamento, cerca de 50 indústrias desse setor, gerando renda e emprego para a população.

Com isso, esse estudo também permite que a sociedade, principalmente os ceramistas da região do Vale do Jaguaribe, conheçam as características dessa matéria-prima e tenham acesso a dados que permitirão aprimorar a qualidade de materiais cerâmicos, como permeabilidade, durabilidade e outras propriedades das argilas utilizadas.

As indústrias de cerâmica de Russas são consideradas como um tipo de negócio familiar e que se utilizam de recursos da própria região, como matéria prima e mão de obra. Dessa forma, os recursos tecnológicos e pesquisas para o melhoramento da produção ainda não é algo empregado largamente nessas fábricas (NETO, 2014). Nesse sentido, é válido o estudo em questão, pois permite uma contribuição para esse segmento que carece de pesquisas na região.

As olarias de cerâmica de Russas são um importante meio de desenvolvimento socioeconômico da região, sendo considerado como uma das principais fontes de renda e de geração de empregos no município (NETO, 2014).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar as características geotécnicas e químicas das argilas utilizadas na produção de materiais cerâmicos na cidade de Russas – CE.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar caracterização geotécnica das argilas;
- Realizar a caracterização química (pH, CTC, teor de matéria orgânica e carbono orgânico);

- Sugerir possíveis direcionamentos ao setor industrial cerâmico para a melhoria da qualidade dos materiais, de acordo com os resultados obtidos.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho é para fins de conclusão do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará – Campus de Russas e se apresenta dividido em 5 capítulos.

O primeiro capítulo é composto por uma contextualização acerca do tema, a sua importância e a apresentação dos objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo contém toda a base teórica que fundamenta este trabalho e dar credibilidade de acordo com os conceitos concebidos por outros autores. Dentre esses conceitos estão a definição sobre o que é cerâmica vermelha, quais os tipos de argilas mais utilizados como matéria prima para a produção de tijolos e telhas e suas composições, além do conceito e passo a passo dos ensaios realizados para essa pesquisa. Encontra-se também os ensaios geotécnicos e químicos e por fim uma contextualização sobre a cidade de Russas, e o impacto das fábricas de cerâmica existentes no município.

No capítulo três foram apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, destacando desde a colheita das amostras nas olarias da cidade de Russas até onde se deu o procedimento de análise em laboratório e quais os equipamentos mais utilizados para a realização dos ensaios.

O capítulo quatro contém uma das partes mais importantes da pesquisa, que são os resultados obtidos com os ensaios e qual a contribuição desse estudo para a sociedade. Nesse espaço são apontados todos os gráficos obtidos com os experimentos de limites de Atterberg, granulometria, densidade real e análises químicas, além do estudo sobre os resultados destes, baseados na literatura da qual os ensaios se originam.

Por fim, no quinto capítulo, estão as considerações finais da pesquisa, das dificuldades encontradas, contribuições e as sugestões para trabalhos futuros. Além disso, na última seção encontra-se a bibliografia utilizada para o embasamento da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será realizada uma abordagem de toda a base conceitual necessária para o desenvolvimento deste trabalho, serão apresentados conceitos de cerâmica vermelha, ensaios geotécnicos e químicos das argilas, além de uma breve contextualização sobre os impactos do setor ceramista no Vale do Jaguaribe e no Brasil.

2.1 Breve histórico

A palavra cerâmica tem sua origem do grego “*kerameikos*”, que significa “feito de terra” [...] e os produtos cerâmicos obtidos a partir da argila como telhas e tijolos possuem acabamentos rústicos, não necessitando de um aperfeiçoamento detalhado em sua produção final (PAULETTI, 2001). Dessa forma, estudos mostram que desde os tempos mais remotos a cerâmica vermelha faz parte do cotidiano do ser humano, pesquisas datam que desde a pré-história já se tinham atividades ligadas ao uso de materiais cerâmicos ou o uso da argila em algumas atividades humanas, como a primeira queima de argila que estudos apontam para 23.000 a.c (OBERMEIER & VIEIRA, 1998).

De acordo com a Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER, o uso da cerâmica vermelha ou da cerâmica artística industrial só ocorreu na antiguidade, e isso era desenvolvido em grandes centros comerciais. O grande salto nesse setor se deu após a revolução industrial que vem até os dias de hoje.

Ainda de acordo com a ANICER, no Brasil a cerâmica teve seu nascimento na cultura indígena, na ilha de Marajó no Estado do Pará, sendo assim os trabalhos com a queima do barro para o desenvolvimento de utensílios necessários para a época não foram trazidos em 1500 pelos colonizadores, porém aprimorados com a criação das primeiras olarias para a produção de telhas, tijolos e materiais de uso doméstico. Segundo estudos, por volta de 1575 a primeira vila de São Paulo na qual deu origem a cidade houve o emprego de telhas cerâmicas e ainda na cidade de São Paulo, em 1983 foi fundada a primeira fábrica de cerâmicas no País, por uma família de franceses, que deu origem hoje as famosas telhas francesas que se conhece no mercado.

2.2 A indústria de cerâmica vermelha

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica - ABCERAM, cerâmica vermelha tem um amplo significado, pois se refere a diversos materiais de cor avermelhada que são empregados na construção civil como, telhas, tijolos e blocos cerâmicos, além de alguns de uso

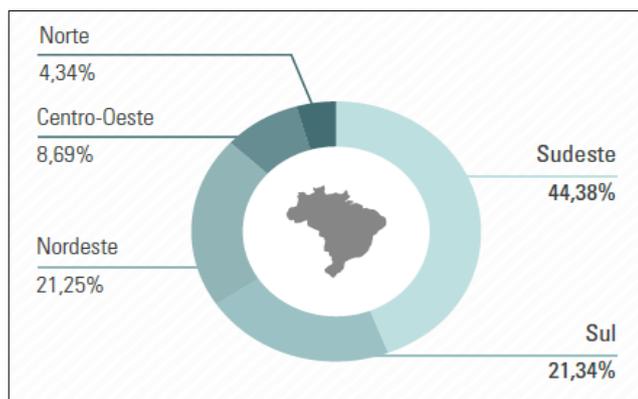
doméstico e afins. A coloração avermelhada e por isso o nome “cerâmica vermelha” refere-se a Óxido de Ferro presente nas argilas que durante o processo de queima fica na cor mencionada. O emprego da cerâmica vermelha é amplo e pode abranger tanto os revestimentos: ladrilhos, porcelanatos, azulejos, dentre outros, quanto materiais empregados na construção: blocos de vedação, telhas, tijolos e tubos.

No Brasil e assim como também no estado do Ceará, sobretudo na região do Vale do Jaguaribe, a indústria de cerâmica vermelha ainda enfrenta dificuldades para a implantação de tecnologias e medidas que venham aprimorar a produção. Se diferenciando do mercado Europeu, algumas empresas Brasileiras do setor ceramista ainda continuam com processos artesanais, com baixa produtividade, apresentando pequena rentabilidade e assim não investindo em inovação. (PAULETTI, 2001). Nesse sentido, há uma contribuição para uma redução na inserção efetiva dessas olarias no mercado e sendo assim entrando em um colapso financeiro e conseqüentemente tendo que declarar falência, isso prova a quantidade de indústria do setor fechadas nos últimos anos no Ceará. Além disso, com a crise na construção civil, que ultimamente assolou a economia de forma drástica e por conseqüente afetou diretamente a produção de artefatos cerâmicos.

Embora se encontre no setor cerâmico algumas dificuldades de produção, essa área é uma das responsáveis por também movimentar a economia do País, sendo responsável por 1,5 milhões de empregos indiretos e faturar 18 bilhões de reais por ano, cerca de 1% do VPBI - Valor Bruto da Produção Industrial (SEBRAE, 2015).

Fazendo uma análise por região do Brasil, as que mais produzem materiais cerâmicos são a região Sul e Sudeste, representando mais de 60% de toda a produção nacional. Todavia, observando o histórico de cada região e o desenvolvimento do setor da construção civil, o Nordeste tem apresentado um crescente desenvolvimento nessa área, com uma produtividade em torno de 20%, como destaca a figura 1 (SEBRAE, 2015).

Figura 1 - Proporção de cerâmica vermelha por região do Brasil.



Fonte: Sebrae (2015)

2.3 Argilas

Para o entendimento de como as argilas são utilizadas para a produção de materiais cerâmicos, é imprescindível conhecer as características das argilas e argilominerais, desde sua definição até suas propriedades e como se dá o processo de transformação da matéria-prima em produtos cerâmicos.

Sendo assim, mineral é todo material ou composto químico inorgânico, que na maioria das vezes se apresenta de forma cristalina e que teve sua formação através de um processo geológico (COELHO & SANTOS, 2006).

A palavra argila é empregada para dar significado a um material inorgânico natural, de granulometria fina, com origem de rochas feldspáticas que possui em sua composição uma combinação da sílica e da alumina, e apresenta comportamento plástico no contato com a água (JÚNIOR *et. al.*, 2008).

As argilas comuns se desenvolvem a partir de um processo de modificação da rocha matriz, através do emprego da água das chuvas e com contribuição dos ácidos provenientes da decomposição de vegetais, consideradas argilas primárias ou residuais, porém a água da chuva continua agindo nesses sedimentos através de um processo natural, carregando os grãos por, muitas vezes, dezenas de quilômetros do local que foi originado (MAIA, 2012). Durante o transporte há uma seleção natural dos maiores grãos e forma-se depósitos de argilas, designados como mais puros e dar se o nome de argilas transportadas, secundárias ou ainda sedimentares (CHRISPIM *et. al.*, 2010).

Uma das principais características da argila é a plasticidade e isso é o que permite os diferentes trabalhos que utilizam da argila como matéria-prima, e dessa forma é possível os mais diferentes formatos de peças cerâmicas que se conhece no mercado (PAULETTI, 2001).

A argila bruta não é submetida a nenhum acréscimo de compostos químicos ou físicos para se fazer a produção de cerâmica, na maioria dos casos é adicionado barro vermelho à argila, que contém óxido de ferro e confere a coloração avermelhada a cerâmica, além de facilitar no processo produtivo por tornar as argila “mais fraca” (PAULETTI, 2001).

Ademais, uma argila é considerada uma boa matéria-prima para a produção de cerâmica vermelha estrutural quando esta, de modo geral, apresenta fácil desagregação, distribuição granulométrica uniforme e apropriada formação mineralógica. Além disso é imprescindível que as peças cerâmicas, ainda verde, apresentam resistência mecânica suficiente, assim como no pós queima (RAMOS *et al*, 2010).

Nesse sentido, caracterizar as argilas e adequar um controle de qualidade dos insumos faz total diferença no momento de garantir a procedência do produto, além de conseguir verificar se a matéria prima que está sendo utilizada por uma determinada indústria é realmente indicada para a finalidade a que se dispõe.

2.3.1 Tipos de argilas

No ano de 1939 a comissão de Geologia da América, *American Ceramic Society* (ACS, 1939) fez uma publicação sobre os nomes das argilas, porém os estudiosos ainda enfrentam dificuldades quando se trata de nomenclatura desses materiais, visto que alguns argilominerais são classificados de acordo com suas bases geológicas e tecnológicas (SANTOS, 1989).

Outra classificação das argilas é de acordo com a quantidade de colóides existentes. As argilas gordas, que tem esse nome devido a sua elevada plasticidade e ser fácil de se moldar, além de se deformar quando submetida a forças e ao ser anulada ela conserva totalmente sua estrutura devido à alumina. Já as argilas magras é um termo utilizado para definir as argilas que são porosas, fracas e possuem um excesso de sílica (SOUSA, 2013).

Nesse sentido, algumas argilas que são utilizadas como matéria-prima para materiais cerâmicos e também algumas mais abundantes encontradas na natureza são: argila comum, argila refratária, caulim ou argila da china, argila vermelha, argila expandida e argila do tipo bentonitas, que são citadas e definidas como se segue:

2.3.1.1 Argila comum

É a argila mais abundante na natureza, utilizada na fabricação de produtos cerâmicos como tijolos e telhas, é encontrada nos depósitos de argila sedimentares e de modo geral possuem idade recente na história da geologia (MEIRA, 2001).

As argilas comuns são divididas em dois grupos: para olaria e para tijolos, na qual as argilas classificadas para olarias possuem em sua composição quartzo, feldspatos, micas, óxidos, hidróxido de ferro, pirita e carbonatos e são normalmente utilizadas para cerâmica ornamental. Já as argilas para tijolos apresentam uma composição dita grosseira, com presença de silte e areia, além de cores variadas, com materiais argilosos, quartzo, micas, fragmentos de rochas, carbonato em concentração, sulfatos, sulfetos, óxidos, hidróxidos de ferro e matéria carbonácea (MEIRA, 2001).

2.3.1.2 Argila refratária

A argila refratária apresenta uma significativa resistência ao calor, por isso essa nomenclatura, com relação às suas características apresenta uma certa variação, sendo algumas muito finas e plásticas e outras nem tanto. Essa matéria prima para cerâmica é bastante utilizada pela sua elevada plasticidade e resistência em altas temperaturas. São largamente utilizadas para produção de placas refratárias na qual atua como isolantes e revestimentos para fornos (SANTOS, 1989).

2.3.1.3 Caulim ou argila da china

Já o caulim ou argila da china é classificada como uma argila primária na produção de massas para porcelana. Apresenta coloração branca e se funde a 1800 °C. Ademais é pouco plástica e portanto é indicado que seja moldada em formas (SANTOS, 1989).

2.3.1.4 Argilas vermelhas

As argilas vermelhas são muito plásticas e possuem um alto teor de ferro, resiste até 1100°C e pode se fundir a uma temperatura bem maior, além de poder ser utilizadas como vidrados para grês. Material muito heterogêneo, variando de acordo com a região geológica ou do local de extração. Sua coloração pode variar de tons avermelhados fortes à quase marrom quando submetida à água (MAIA, 2012).

2.3.1.5 Argilas Expandidas

Argilas expandidas são produzidas em grandes fornos rotativos e utilizando argilas especiais que se expandem a grandes temperaturas, cerca de 1100 °C. Possui inúmeras vantagens como, peso leve, elevada resistência mecânica, ao fogo e a principais ambientes ácidos e alcalinos, elevada permeabilidade e durabilidade, ótimo isolamento acústico e também propriedades de isolamento térmico, a argila expandida pode ser aplicado para diversas finalidades (SANTOS, 1989).

2.3.1.6 Bentonitas

Bentonitas são argilas de origem vulcânica, bastante plástica, apresenta maior teor de sílica do que alumínio e tem origem das cinzas vulcânicas. É classificada como uma argila gorda, pois em contato com a água pode aumentar seu volume cerca de 10 a 15 vezes. Sua temperatura de fundição é 1200 ° C e comumente é adicionado a argilas para aumentar a plasticidade, visto suas propriedades (SANTOS, 1989).

2.3.2 Composição mineralógica

As partículas normalmente são constituídas de um único mineral. Já algumas partículas maiores, cita-se os pedregulhos, são compostas de agregados distintos (PINTO, 2006).

De acordo com professor Marinho (2016), os minerais argílicos são compostos pelos silicatos e sua principal estrutura são os tetraedros de sílica e octaedros de alumina, além disso esses minerais são formados através de camadas na qual possuem ligações entre si. Com isso faz se necessário conhecer alguns minerais que estão presentes nas argilas que embasam esta pesquisa, como o Quartzo, Feldspato e Mica.

2.3.2 .1 Quartzo

O Quartzo é encontrado na maioria dos solos, muito resistente à desagregação, na qual dão elevada rigidez para o corpo cerâmico e têm grande relevância na formação de areias e siltes. Sua composição química é o dióxido de silício (SiO_2) que também é conhecido como sílica e pode ser encontrado em diversos estados, suas partículas são em cubos e esferas com baixa atividade superficial (PINTO, 2006).

2.3.2 .2 Feldspato

Os Feldspatos possuem grande abundância na crosta terrestre, se apresentando em mais de 60% da superfície. São considerados os minerais mais atacados pela natureza e dão origem aos argilominerais, é a fração mais fina do solo, inferior a 2 mm, e assim possui comportamentos totalmente diferentes de siltes e areias (PINTO, 2006). Segundo Lira (2013), os feldspatos possuem origem da cristalização do magma, das rochas ígneas e ao decorrer do tempo ocorre a alteração desse material para outras substâncias como argilas e argilominerais.

Os Feldspatos pertencem ao grupo dos aluminossilicatos, da qual é largamente utilizado na indústria cerâmica, tanto para fabricação de telhas e tijolos que é o embasamento deste trabalho, como também para a fabricação de objetos de porcelanas e o emprego em outros setores da construção civil.

Ainda, de acordo com Lira (2013), é na indústria ceramista que se consome a maior parcela de feldspatos no Brasil. Este material atua nesse setor para amenizar a temperatura de fusão no momento da queima da matéria prima e dar origem aos materiais cerâmicos, por exemplo. Além disso, as características básicas dos feldspatos são: densidade, dureza e clivagem e são classificados como feldspatos alcalino e feldspatos plagioclásio.

2.3.2 .3 Mica

Mica é um mineral constituinte das rochas ígneas, segundo Santos (2012), depois dos feldspatos e do quartzo a mica é o terceiro composto químico mais abundante na crosta terrestre.

Além disso, a mica é formada por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, e magnésio, aque compõem alguns grupos de minerais. Além disso, a mica apresenta um brilho característico elevado, o que permite essa qualidade em alguns argilominerais. Ademais, esse elemento apresenta flexibilidade, baixa condutividade térmica e elétrica e apresenta resistência a mudanças abruptas de temperaturas (CAVALCANTE *et. al.*, 2005).

2.3.3 Caracterização geotécnica

Segundo Santos (1989) para determinar as propriedades e o uso potencial de uma argila para cerâmica vermelha é necessário que essa seja submetida a diversos ensaios tecnológicos e isso poderá ser identificado em laboratório através de testes granulométricos, umidade, limite de liquidez, limite de plasticidade e ensaios cerâmicos em corpo de provas moldados manualmente.

Ademais, Listo (2015) afirma que as principais propriedades dos solos do ponto de vista geotécnico são: coesão e consistência do solo, densidade do solo, espessura da camada de solo, ângulo de atrito interno, além de propriedades hidráulicas e granulométricas.

Outro fator importante a ser identificado nos solos, sobretudo nas argilas, de acordo com Pracidelli, *et al.* (1997), é a plasticidade, dessa maneira ao determinar a plasticidade pode-se prever as principais aplicações nas fábricas, possíveis problemas que venham ocorrer e até mesmo analisar qualitativamente antes de tornar-se um produto para o mercado.

Portanto, a caracterização geotécnica pode ser entendida como o conjunto de métodos, pesquisas e investigações realizadas sobre a crosta terrestre ou com uma determinada amostra de solo, através de ensaios laboratoriais ou *in situ*, para se obter as características e assim conseguir determinar quais são as principais particularidades do solo.

2.3.3.1 Análise granulométrica

De acordo com Teixeira (2017), análise granulométrica é um estudo das dimensões dos grãos individualmente de uma determinada amostra de solo, além de quantificar as porcentagens dos diversos tamanhos dos agregados. Os grãos individuais são as partículas de solo não alteradas, esses grãos são apenas destorroados sem alterar a sua estrutura física principal.

Nesse sentido, Meira (2001) relata em seu trabalho sobre a importância de se conhecer a granulometria dos minerais argilosos, sobretudo para fins de utilização na indústria cerâmica, na qual as propriedades como plasticidade de pastas, permeabilidade e a resistência do material cerâmico tanto em verde quanto pós queima, depende diretamente da dimensão, distribuição e da forma do grão. Isso mostra a relevância de se conhecer, por mais simples que seja, as propriedades granulométrica da matéria prima e assim conseguir obter um parâmetro de resistência, por exemplo, do produto cerâmico.

Dessa maneira, Pinto (2006) afirma que para identificar o tamanho dos grãos de uma amostra de solo e classificá-la são realizadas a análise granulométrica, na qual se divide em duas, por peneiramento e por combinação de sedimentação e peneiramento. Além disso, os solos podem ser classificados em pedregulhos, areia e argila, de acordo com as normas regulamentadoras.

De acordo com Capelli (2016), a fração que compreende os pedregulhos são as partículas com diâmetro entre 2,0 mm e 60 mm (Tabela 01), ao serem arredondados ou semi-arredondados são chamados de seixos rolados. Ademais, de acordo com a textura do mineral

pode ser dito como pedregulhos grossos, na qual apresenta grãos com diâmetro entre 20 mm e 60 mm, pedregulhos médios, entre 6,0 mm e 20 mm e pedregulho fino, entre 2,0 mm e 6,0 mm.

As areias possuem diâmetro entre 0,06 mm e 2,0 mm e apresenta um solo não coesivo e não plástico. Com relação a textura as areias podem ser areias grossas, com diâmetro entre 0,60 mm e 2,0 mm, areias médias, entre 0,20 mm e 0,60 mm e areias finas entre 0,06 mm e 0,20 mm, como mostra na Tabela 01 (CAPELLI, 2016).

Ainda de acordo com Capelli (2016), os siltes são tipos de solos que apresentam baixa ou nenhuma plasticidade, que podem ser moldados por pressão externa sem alterar o volume, e que exibem baixa resistência quando seco ao ar. São formados por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm e as argilas são tipos de solos com grãos menores que 0,002 mm (Tabela 01), com alta coesão e plasticidade, quando em contato água moldam-se com facilidade e quando secas formam torrões com difícil desagregação pelos dedos e com isso necessitam ser destorroados.

Tabela 1- Faixa granulométrica dos grãos

Classificação	Diâmetro das partículas em (mm)
Argila	< 0,002
Silte	0,002 - 0,06
Areia Fina	0,06 - 0,2
Areia média	0,2 - 0,6
Areia grossa	0,6 - 2,0
Pedregulho	2,0 - 60

Fonte: ABNT - NBR 6502, adaptado pelo autor, 2020

Além dos ensaios de peneiramento e combinação de sedimentação com peneiramento, hoje já é comum fazer a classificação granulométrica através do método do granulômetro a laser, sendo classificado como um método rápido e com eficácia sendo comprovada e avaliada por meio de estudos, comparando com os métodos clássicos (CAPELLI, 2016).

2.3.3.2 Limites de Consistência

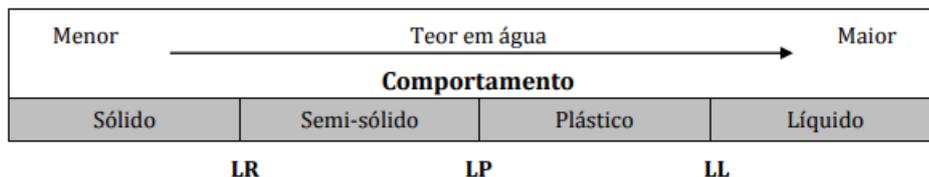
Só apenas a análise granulométrica não é suficiente para caracterizar bem os solos para fins de engenharia, é necessário conhecer as propriedades de consistência e a fração fina do solo tem grande influência em relação a isso.

Os limites, na qual são denominados de Limite de liquidez e Limite de plasticidade, são fronteiras de umidade que delimitam os intervalos de consistência dos solos. Com isso, os materiais muito líquidos são aqueles que estão submetidos a grande quantidade de água; plásticos, semissólidos ou sólidos, à medida que o teor de umidade for reduzido (CAPELLI, 2016).

O teor de água é um dos principais fatores a ser considerado para prever o comportamento dos solos constituídos por siltes e argilas, pois a sua oscilação pode gerar diferentes estados físicos (SOUSA, 2011).

Dessa forma, sabendo que diferentes estados físicos apresentam comportamentos distintos, é importante definir os limites que correspondem a esses estados (Figura 04) assim como seus valores correspondentes.

Figura 2 - Comportamento dos solos com a variação do teor em água.



Fonte: SOUSA (2011)

Os limites de consistência que separam os comportamentos do solo são:

Limite de Liquidez (LL) - É o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico permitindo classificar os solos finos quanto a sua moldagem. Com relação ao ensaio de laboratório, o Limite de liquidez se dá por meio da quantidade de água que há numa amostra com o qual um suco feito sobre esse solo requer 25 golpes para se fechar no aparelho de Casagrande, equipamento utilizado para realização do ensaio, anota-se os valores e o resultado é obtido por meio da interpolação dos dados obtidos.

Limite de Plasticidade (LP) - É o valor de umidade na qual o solo passa do estado plástico para o estado semissólido. Esse ensaio, não é tão representativo se comparado, por exemplo, com o limite de liquidez, visto que os valores obtidos nos intervalos de variação são

muito pequenos. Com relação a prática do experimento é o limite no qual o solo começa a se quebrar em pequenas porções, quando enrolado com a palma das mãos em bastões de 3 mm de diâmetro (SOUSA, 2011).

Limite de Retração (LR) - É o valor de umidade no qual o solo passa do estado semissólido para o estado sólido. O teor em água que define a fronteira abaixo da qual a secagem do solo se processa a volume constante e ao haver a perda de água não ocorre a diminuição do volume (SOUSA, 2011).

Através dos LP e LL é possível determinar o índice de plasticidade, que é a diferença entre o Limite de liquidez e o Limite de plasticidade e se dá pela Equação 02, esse índice, representa o quanto o solo é mais plástico ou menos plástico que outro, além de descobrir o comportamento do solo perante as suas propriedades.

Estes métodos são padronizados no Brasil pela ABNT, cuja norma é a NBR 7180 e são largamente desenvolvidos em laboratórios de mecânica dos solos e geotecnia.

$$IP = LL - LP \quad (\text{Equação 02})$$

Tabela 2 - Classificação de Atterberg baseada no comportamento "plástico" dos solos.

Índice de Plasticidade (IP)	Plasticidade
0 – 1	Solo não plástico
1 – 7	Solo de baixa Plasticidade
7 – 15	Solo de média Plasticidade
> 15	Solo de elevada Plasticidade

Fonte: SOUSA (2011)

2.3.3.3 Densidade real

Para se definir o índice de vazios de um solo é imprescindível se obter a densidade real, que pode ser definida como a relação entre o peso específico dos grãos e o peso específico da água destilada. O ensaio de laboratório de densidade real é normatizado pela NBR 6508, na qual descreve todo o procedimento do experimento (PINTO, 2006).

Assim como entender qual é a granulometria de um solo, estudar qual o seu índice de vazios é extremamente necessário, sobretudo quando é utilizado como matéria-prima para materiais cerâmicos, pois assim, de acordo com o Professor Cooper é possível entender a porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e a água e capacidade de saturação do solo, e dessa forma melhorar o processo produtivo, readaptando a matéria prima de acordo com a necessidade para cada material.

O resultado do experimento em laboratório de densidade real é a diferença entre o peso do solo seco e o peso da água destilada que ocupa o mesmo volume de solo seco, de acordo com a Equação 03 (MEDEIROS, 2018).

$$\delta = \frac{\gamma_g}{\gamma_a} \quad (\text{Equação 03})$$

2.3.4 Caracterização química

A análise química dos solos é fundamental para entender as características e alguns comportamentos que esse apresenta. Dessa forma, observa-se que o estudo químico das argilas tem grande utilização para identificar as características mineralógicas.

Nesse sentido, é importante salientar que a análise química pode não fornecer totalmente as propriedades químicas das argilas, porém esse estudo é capaz de fornecer dados importantes para a identificação posterior de minerais que estão presentes nas amostras e assim sua interpretação sobre tais propriedades (ALEXANDRE, 2000).

2.3.4.1 Complexo Sortivo com indicação da CTC

O complexo sortivo do solo pode ser definido como um aglomerado de partículas de íons no solo. Dessa forma são analisados os cátions positivos, como o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}), o potássio (K^+), o sódio (Na^+), o alumínio (Al^{3+}), o ferro (Fe^{2+}), o manganês (Mn^{2+}), e o cobre (Cu^{2+}) (TEIXEIRA *et. al.*, 2017).

Um dos objetivos do experimento do complexo sortivo é a identificação da Capacidade de Troca Catiônica - CTC, que representa a quantidade total de cátions trocáveis que o solo pode adsorver (TEIXEIRA *et. al.*, 2017).

Para realizar a soma das bases trocáveis S, faz-se o somatório dos teores básicos de Cálcio, Magnésio, Potássio e Sódio em cmolc kg⁻¹, nas condições de pH 7 (Equação 05).

$$Valor_S = (Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (Na^+) + (K^+) \quad (\text{Equação 05})$$

Além disso determina-se a troca catiônica efetiva nas condições de pH natural do solo, sendo determinados a partir da soma dos teores trocáveis de cátions [Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+}], de acordo com a Equação 06 (TEIXEIRA *et. al.*, 2017).

$$CTC_{Efetivo} = [(Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (Na^+) + (K^+)] + (Al^{3+}) \quad (\text{Equação 06})$$

Por fim, é necessário determinar o CTC total, que corresponde à capacidade de troca de Cátions total e significa na prática, a capacidade de cargas negativas concentrada na superfície do argilomineral e está diretamente ligado com a atividade do solo em questão. Dessa forma tem - se que, quando o número de cargas negativas é alto, a argila é de alta atividade, e se o CTC é baixo, a argila é de baixa atividade. Pode ser medido pelo somatório das bases trocáveis (S) e a acidez potencial (H + Al), (Equação 07) e pode se determinar a porcentagem de saturação por base que significa a proporção da CTC do solo (Equação 08) (TEIXEIRA *et. al.*, 2017).

$$Valor_T = [(Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (Na^+) + (K^+)] + [(H^+) + (Al^{3+})] \quad (\text{Equação 07})$$

$$Valor_{V\%} = \frac{100 \times [(Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (Na^+) + (K^+)]}{[(Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (Na^+) + (K^+)] + (H^+) + (Al^{3+})} \quad (\text{Equação 08})$$

2.3.4.2 Potencial Hidrogeniônico do solo – pH

Uma das informações importantes adquiridas com os ensaios químicos é o potencial hidrogeniônico do solo – pH. De acordo com Alexandre (2000), a acidez do solo é um conjunto de concentração de prótons que se inter-relacionam e que através da influência dos meios físicos e biológicos, por exemplo, como chuva ácida, absorção de íons pelas raízes das plantas e reações redox desenvolvem-se a acidez presente nos solos.

2.3.4.3 Teor de matéria orgânica

A presença de matéria orgânica tem papel fundamental na composição dos solos não apenas para o setor agrícola, mas também para o desenvolvimento de materiais cerâmicos, por exemplo. Porquanto, é um dos materiais responsáveis pelas características plásticas das argilas.

Ramos (2010) afirma que os argilominerais esmectíticos por apresentarem elevada finura e presença significativa de matéria orgânica confere a essa a propriedade altamente plástica.

A matéria orgânica age nas argilas como coloides protetores hidrofílicos e tem considerável influência na Capacidade de Troca Catiônica – CTC. Além disso, ao ser aquecida por determinadas temperaturas volatilizam-se e por conseguinte confere aos materiais cerâmicos o aumento da porosidade e contração (ALEXANDRE, 2000).

Além disso, outro fator importante para a determinação da matéria orgânica das argilas é identificar qual o potencial de carbono orgânico, que integra grupos como dos carbonatos, resíduos alternados e resíduos orgânicos, que por sua vez tem influência diretamente no comportamento das peças moldadas.

Quando há excesso de matéria orgânica na matéria-prima para fins de cerâmica vermelha, que a literatura sugere que esse teor seja menor que 1%, é ideal que se faça a correção para que atenda os limites indicados, isso pode ser desenvolvido através do controle de qualidade no momento de colher a argila nas jazidas, atentando-se para uma raspagem superficial do terreno e retirando uma camada que varia de 10 a 50 cm para locais de bacia de materiais sedimentares.

2.4 Indústrias cerâmicas no Vale do Jaguaribe, com foco na cidade de Russas – CE

O Vale do Jaguaribe é uma das 7 subdivisões do Estado Ceará, com 15 municípios em sua totalidade, Alto Santo, Ererê, Iracema, Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Pereiro, Potiretama, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte.

A Cidade de Russas (Figura 6), também conhecida como a “capital do vale” “Terra da laranja” ou “Terra das telhas Vermelhas”, centro de estudos dessa pesquisa, localiza-se no baixo Jaguaribe à 165 km da capital do Estado, tendo como principal via de acesso a BR 116. Segundo dados do IBGE, Russas apresenta o maior PIB da região do Vale do Jaguaribe, com constante desenvolvimento.

Figura 3 - Mapa do estado do Ceará, com destaque da cidade de Russas.



Fonte: (Prefeitura municipal de Russas (2020).

A cidade de Russas tem um grande destaque para a produção de materiais cerâmicos, se destacando na região nordeste do Brasil como o maior polo de produção de telhas colonial e com isso tendo grande influência na economia local. Segundo a Associação dos fabricantes de Telhas de Russas – ASTERUSSAS, das mais de 100 indústrias fundadas no município, 95% são de pequeno porte, apresentando baixo desenvolvimento tecnológico e funcionando de forma semi-artesanal.

É perceptível que nos últimos anos a indústria cerâmica vem crescendo muito no Brasil, isso possui influência da demanda da construção civil e também da crescente exportação desses materiais cerâmicos para outros países.

A cidade de Russas tem grande destaque na quantidade de olarias e também por ser referência quando se trata de telhas e tijolos. Isso também deve-se ao fato da abundância da matéria prima existente na região, em que se localiza na bacia do Rio Jaguaribe, ambiente propício à junção de macro minerais, no caso a argila (RODRIGUES NETO, 2014).

Em uma região de bacia hidrográfica, o rio conduz os sedimentos através do percurso do seu leito, como argilas residuais ou de inundação, sedimentares e também as alteradas quimicamente e mineralogicamente, com isso a população retira esse material importante como matéria prima para materiais cerâmicos (MDIC, 2010).

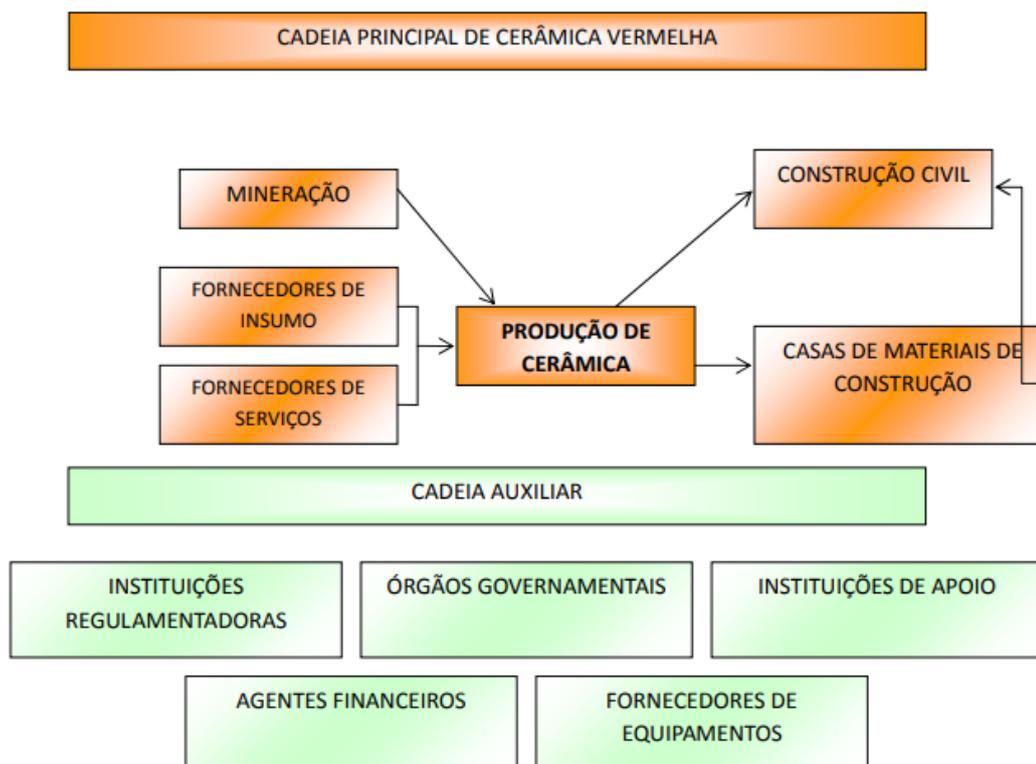
Em Russas, a cadeia produtiva principal é formada por empresas de mineração, fornecedoras de insumos, serviços e clientes finais. Com relação a mineração, a principal

matéria-prima, a argila, fica armazenada nas jazidas e retiradas após a licença ambiental. O outro pilar principal são os fornecedores de insumos, que nesse caso são os produtores de caju da região, que fornecem a madeira das podas de cajueiros para a queima da cerâmica. Além dos resíduos citados, é utilizado lenha de mata nativa como forma de energia para a queima dos produtos (JÁCOME *et. al.*, 2013).

Os clientes são do setor da construção civil que são representados pelos construtores e pelas lojas de materiais de construção.

Os órgãos que estão inseridos na cadeia auxiliar são: Superintendência Estadual do Meio-Ambiente (SEMACE), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Ministério Público, na qual fiscalizam e licenciam os recursos naturais e servem como árbitro em ações que violem a constituição. Além desses setores, tem-se os órgãos governamentais e financeiros que também estão inseridos na cadeia de produção da cerâmica vermelha, na cidade de Russas – CE (JÁCOME *et. al.*, 2013).

Figura 4 - Cadeia produtiva principal e auxiliar na produção de cerâmica vermelha.



Fonte: JÁCOME *et al.* (2013)

Tanto em Russas quanto em outras cidades produtoras de materiais cerâmicos, existe um déficit na empregabilidade de inovação e em conhecimento de novas tecnologias,

voltadas desde a captação da argila, identificação e mapeamento da qualidade e também no processo produtivo como um todo.

Macedo (2008) defende que é de fundamental importância haver um controle tecnológico na identificação do tipo das argilas e suas características e com isso analisar dados sobre a qualidade dos produtos que irá se obter.

Em algumas indústrias é imprescindível que se estude as propriedades físicas, químicas e mecânicas das argilas. Todavia, nas fábricas de Russas ainda não é empregado essas pesquisas previamente, ainda é realizado de forma artesanal, isso implica que, quando não é realizado esses cuidados previamente, há uma diminuição na qualidade dos produtos. Portanto, ao se ter o controle rigoroso ainda com a matéria prima, isso permite que haja uma contribuição significativa no produto final, minimizando perdas e reduzindo custos para os fabricantes, isso mostra que conhecer as propriedades das argilas não possui valor apenas científico e acadêmico, mas também mercadológico (MACEDO *et al.*, 2008).

Em função do porte das indústrias mencionadas no Arranjo Produtivo Local de cerâmica vermelha - APL, 6% enquadram-se no perfil das empresas como microempresas, 89,5 % como de pequeno porte e 4,5 % classificam-se como média empresa, de acordo com o seu faturamento (RODRIGUES NETO, 2014 *Apud* MDIC, 2010). Rodrigues Neto, (2014) aponta ainda que 95,5 % das empresas apresentam mão de obra de habitantes do próprio município e que a faixa etária predominante desses trabalhadores são de 19 a 26 anos e 41 a 52 anos.

Segundo informações do último censo do IBGE (2010), Russas apresentava 65,3 % da sua população economicamente ativa ocupada, 6,2% economicamente ativa desocupada e 28,5 % economicamente inativa. Convertendo essa porcentagem para números, segundo Rodrigues Neto, (2014) o setor ceramista de Russas empregou em 2010 mais de 3.220 pessoas diretamente, com uma média de 32 postos de trabalhos por indústrias.

De acordo com Betini (2007), no Brasil, as indústrias cerâmicas ainda se encontram em um processo lento de implantação de inovação tecnológica e desenvolvimento organizacional, quando comparado com outros segmentos.

Dessa forma, observa-se que o segmento cerâmico na cidade de Russas ainda carece muito de inovação e mão de obra especializada. Isso torna necessário que os empresários da região junto aos órgãos competentes importem tecnologias e invistam em estudos voltados a matéria prima e ao processo produtivo, a fim de se reinventar no segmento e garantir que as telhas e tijolos produzidos na cidade sejam cada vez mais referência e assim consigam um maior desenvolvimento econômico e social para a região do Vale do Jaguaribe.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Essa etapa é dividida em duas seções, a primeira trata da caracterização da pesquisa e a segunda sobre levantamentos e análises dos dados. Para o desenvolvimento do trabalho foi necessário seguir algumas etapas, como análise das cerâmicas que iriam ser trabalhadas e coleta das amostras, realização de ensaios nos laboratórios e tratamento dos dados resultantes dos ensaios.

3.1 Caracterização da pesquisa

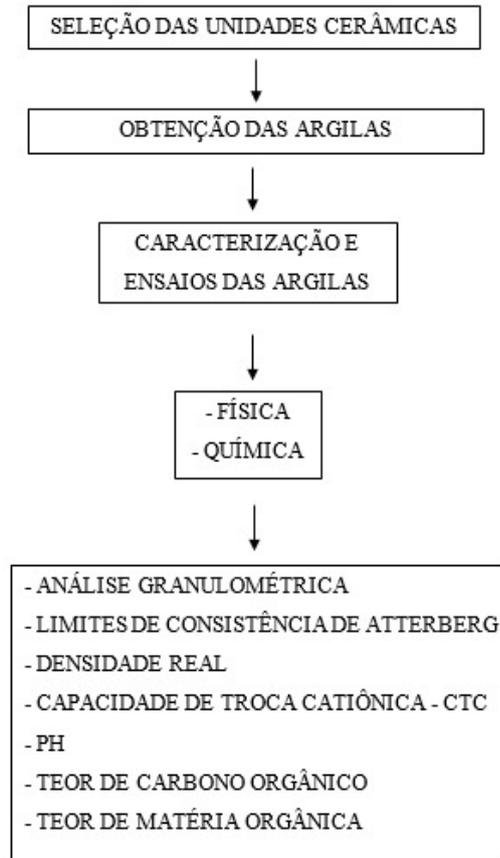
Para o desenvolvimento do estudo foi necessário visitar às fábricas de cerâmica de Russas e também ao local onde encontra-se o montante de argilas, explorando-se quais as características das olarias, como se dá o controle de qualidade da matéria prima e como é feito o tratamento destas. Além disso, foi possível observar como é o processo produtivo e se há o emprego de tecnologias e inovação.

Foi observado e descrito como é o processo de mistura da argila com o barro e como é a exploração da jazida. Com as amostras colhidas, desenvolveu-se em laboratório os experimentos baseados em análises bibliográficas e analisou-se os resultados obtidos.

3.2 Levantamento e análise dos dados

Para o procedimento experimental foram realizados alguns passos (Figura 08). O primeiro deles foi selecionar quais indústrias iriam fazer parte da pesquisa. Em seguida foram escolhidas 4 indústrias cerâmicas, distribuídas na cidade de Russas – CE, que varia de pequeno a grande porte e são localizadas em regiões distintas da cidade.

Figura 5 - Procedimento experimental da pesquisa.



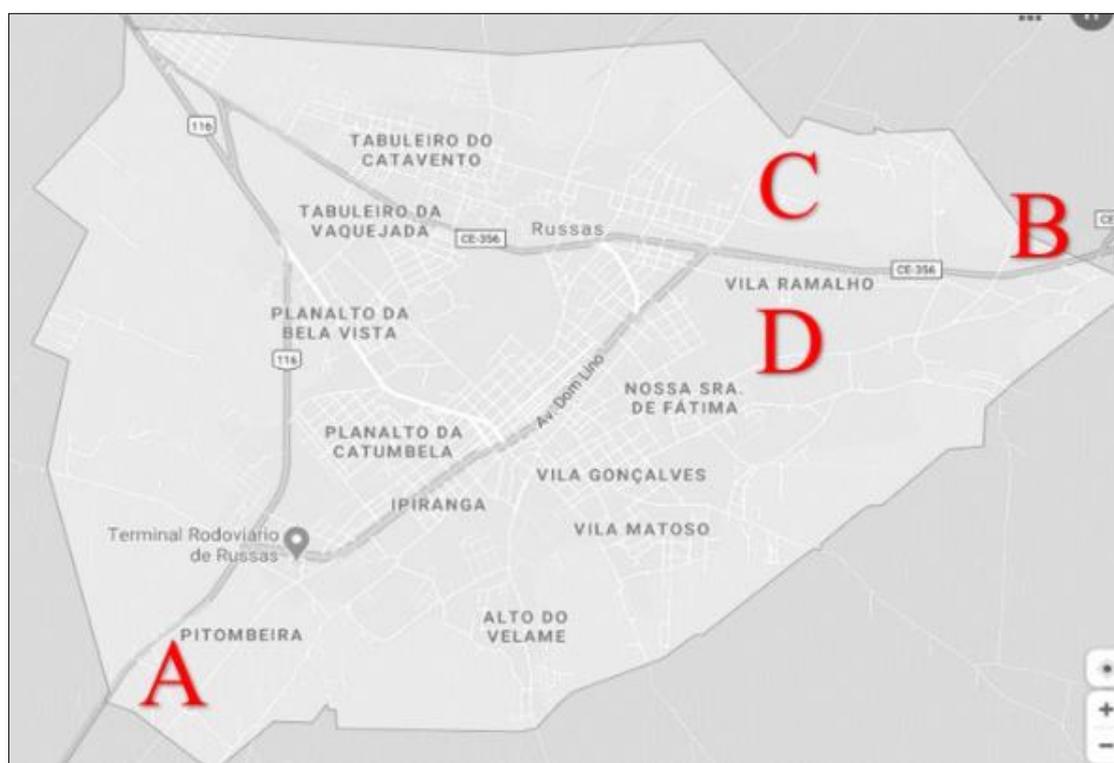
Fonte: Autor, (2020)

Com relação aos ensaios, foram escolhidos devido à falta de tais experimentos na literatura voltados para a indústria ceramista de Russas, que necessita desses ensaios, considerados primordiais para o entendimento das características dos materiais. Além disso, no decorrer do presente trabalho o mundo enfrenta a pandemia do COVID-19, que impediu de realizar outros ensaios previamente planejado. Embora haja limitações em relação a disponibilidade de laboratório os ensaios mencionados no fluxograma da figura 05 foi possível se realizar.

Foram utilizadas 05 amostras no experimento, CE – 01, CE – 02, CE – 03, CE – 04 e CE – 05, das 4 diferentes olarias, foi colhido uma amostra por fábrica, com exceção da fábrica A e B que foram colhidas 02 amostras com diferentes proporções. Estas Olarias são classificadas como, A, B, C e D (Figura 06). As amostragens foram colhidas em um mesmo dia e a coleta das amostras de argilas nas unidades cerâmicas deu-se a partir do contato com os proprietários ou pessoas ligadas a estas, na qual permitiram o estudo das argilas das olarias mencionadas.

As retiradas das matérias-primas foram de cerâmicas com diferentes atividades, as indústrias A, C e D com apenas processos de fabricação de telhas e a indústria B com processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos. A confecção dos materiais cerâmicos das fábricas A e B se dão, a princípio, através da mistura de dois tipos de solos diferentes, e das fábricas C e D se dão apenas por um tipo de solo. Dessa forma, vale ressaltar que foram colhidas amostras de todos os solos utilizados na fabricação e a coleta foi realizada dos depósitos que estavam expostos nas olarias, ou seja, não havia aditivos nessas amostragens, como a correção de carbono ou matéria orgânica.

Figura 6 - Localização dos depósitos de argilas das respectivas olarias.



Fonte: Adaptado pelo autor, (2020)

As caracterizações desses solos foram de caráter físico, com ensaios de: limite de liquidez, limite de plasticidade, densidade real, análise granulométrica por peneiramento e combinação de sedimentação e peneiramento e de caráter químico, com ensaios de: complexo sortivo dos solos e a determinação de outras propriedades químicas.

No laboratório da Universidade Federal do Ceará – Campus de Russas, foram aferidos a umidade higroscópica (Figura 08), de acordo com a NBR 6457/86, dos solos colhidos em campo, em seguida secos por processo natural (exposição ao sol) em diferentes recipientes por um período de 24h (Figura 07), depois disso foram destorroados com auxílio do almofariz

e mão de gral (Figura 09), que por sua vez foram passados na peneira ABNT 10 (2 mm) e ABNT 200 (0,075 mm), que a partir desse material retido e passante iniciou-se os ensaios.

Figura 7 -Exposição ao sol para secagem das argilas.



Fonte: Autor (2020)

Figura 8 - Aferição do grau de saturação das argilas.



Fonte: Autor, (2020)

Figura 9 - Destorroamento da argila no almofariz.



Fonte: Autor (2020)

3.3 Caracterização geotécnica

3.3.1 Análise granulométrica

Em uma mesma amostra de solo é possível encontrar-se partículas de diversos tamanhos e nem sempre consegue-se identificar os grãos, visto que algumas amostras apresentam partículas argilosas finíssimas em aglomerações. Dessa forma, para se identificar a

granulometria das argilas, o presente trabalho caracterizou granulometricamente as argilas por granulometria conjunta.

As análises granulométricas foram realizadas no laboratório de mecânica dos solos da Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici e seguiu as normas da ABNT, NBR 5734 que descreve quais os tipos de peneiras e como utilizá-las e NBR 7181, essas descrevem o método para a análise granulométrica dos solos (Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14).

Figura 10 - Argilas nos tubos de sedimentação.



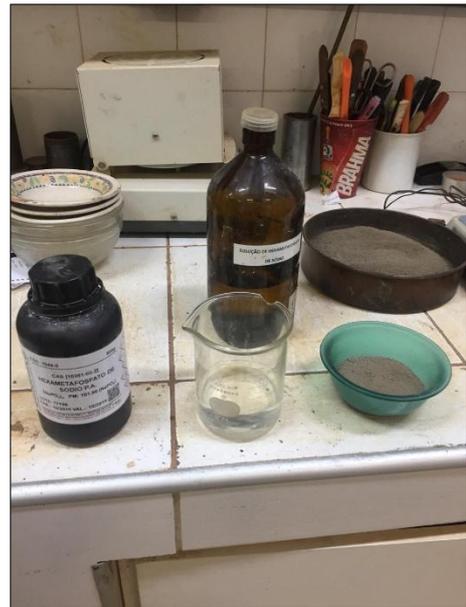
Fonte: Autor (2020)

Figura 11 - Divisão da argila em porção de 70g.



Fonte: Autor (2020)

Figura 12 - Defloculante hexametáfosfato.



Fonte: Autor (2020)

Figura 13 - Batedeira elétrica para dispersão das moléculas de argilas.



Fonte: Autor (2020)

3.3.2 Limites de Consistência

Esse ensaio foi realizado no Laboratório de mecânica dos solos da UFC, Campus do Pici, onde as amostras foram preparadas e secadas previamente de acordo com a NBR 6457 descrita anteriormente neste trabalho.

Limite de Liquidez (LL) - É o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico permitindo classificar os solos finos quanto a moldagem. Com relação ao ensaio de laboratório, o Limite de liquidez se dá por meio da quantidade de água que há numa amostra com o qual um suco feito sobre esse solo requer 25 golpes para se fechar no aparelho de casagrande (Figura 15 e Figura 16), utilizado para realização do ensaio, anota-se os valores e o resultado e assim é obtido por meio da interpolação dos dados obtidos. O método é padronizado no Brasil pela ABNT, cuja norma é a NBR 6459 (SOUSA, 2011).

Limite de Plasticidade (LP) - É o valor de umidade na qual o solo passa do estado plástico para o estado semissólido. Com relação à prática do experimento é o limite no qual o solo começa a se quebrar em pequenas porções, quando enrolado com a palma das mãos em bastões de 3 mm de diâmetro. O método é padronizado no Brasil pela ABNT, cuja norma é a NBR 7180 e largamente desenvolvido em laboratórios de mecânica dos solos e geotecnia (SOUSA, 2011).

Através dos LP e LL é possível determinar o índice de plasticidade, que é a diferença entre o Limite de liquidez e o Limite de Plasticidade (Equação 02).

$$IP = LL - LP \quad (\text{Equação 10})$$

Figura 14 - Pesagem das cápsulas para a estufa.



Fonte: Autor (2020)

Figura 15 - Ensaio de Limite de Liquidez



Fonte: Autor (2020)

3.3.3 Densidade real

Para o ensaio de densidade real, assim como nos outros ensaios utilizou-se primeiramente a preparação das amostras, com auxílio da NBR 6457, ademais a NBR 5734 foi essencial para analisar e entender como se trabalharia com as peneiras. O ensaio é desenvolvido de acordo com a NBR 6508 (Figura 17).

Para o cálculo da massa específica dos grãos de argila deve seguir a fórmula a seguir:

$$\delta = \frac{M1 \times 100 / (100+h)}{[M1 \times 100(100+h)] + M3 - M2} \times \delta T \quad (\text{Equação 11})$$

Figura 16 - Processo de "banho maria" para o ensaio de densidade real.



Fonte: Autor (2020)

3.4 Caracterização Química

A análise química de pH, CTC, teor de carbono e teor de matéria orgânica do presente trabalho se deram mediante a análise das 05 (cinco) amostras, que semelhante aos ensaios anteriores as amostras das 4 cerâmicas foram proporcionalmente misturadas de acordo como é realizado na prática da produção de telhas e tijolos das referidas olarias.

As misturas foram levadas ao laboratório de Solos do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará – UFC, onde foram realizados os ensaios de acordo com a metodologia da EMBRAPA.

3.4.1 Capacidade de Troca Catiônica – CTC

O valor T ou CTC efetiva, representa a troca iônica reversível entre os íons encontrados na superfície sólida do material analisado. Os íons são substituídos por outros sem que haja alterações em sua estrutura cristalina. Assim, é possível identificar como ocorre a troca entre esses elementos químicos presentes no material ensaiado e assim identificar seus respectivos valores.

Esse experimento apresenta dois valores de CTC, o primeiro é denominado CTC efetiva, que é a soma do valor S + Al, que corresponde à junção dos íons de Cálcio, Manganês, Potássio, Sódio e Alumínio. O segundo corresponde a CTC potencial ou CTC correspondente ao pH 7, na qual é a soma do valor S + (H + Al), que correspondem a junção dos íons de Cálcio, Manganês, Potássio, Sódio, Hidrogênio e Alumínio. Ademais esses valores são expressos em CmolC/dm³.

3.4.2 Determinação do pH

O método utilizado para a determinação do pH foi o potenciométrico com determinação em água, apresentado pela Embrapa e largamente utilizado nas caracterizações de solos, principalmente, para fins agrícolas.

3.4.3 Determinação de Carbono orgânico

É realizado através da oxidação do material orgânico das amostras, dessa forma reagindo-se com outros materiais como H₂SO₄ concentrado e depois identificando-se a titulação com Sulfato Ferroso Amoniacal, aferindo os volumes, considerados como V_e e V_b gastos no ensaio.

Procede-se com os cálculos, como mostrado na fórmula a seguir:

$$\%C = \%C f.o \times \frac{1}{0,77} = 1,3 \%C x f.o \quad (\text{Equação 12})$$

Sendo que, %C f.o corresponde ao Teor de Carbono Orgânico facilmente oxidável.

3.4.4 Teor de matéria orgânica – M.O

Realizado pelo método do dicromato em que os materiais orgânicos são oxidados, assim como explicado no tópico 3.4.2 e 3.4.3 para aferir o carbono orgânico. Para descobrir o conteúdo de matéria orgânica presente na argila, é necessário multiplicar o teor de matéria orgânica por um fator multiplicativo de 1,724, com isso permite a conversão de carbono

orgânico em matéria orgânica. De acordo com a Embrapa, os compostos orgânicos dos solos apresentam 58% de carbono, o que permite a partir disso as hipóteses mencionadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objetivo a apresentação dos resultados dos ensaios, que foram desenvolvidos em laboratórios de geotecnia e de ciências dos materiais da Universidade Federal do Ceará – UFC.

Analisar os resultados obtidos configura entender quais as particularidades existentes nas argilas trabalhadas, ou seja, iniciar um trabalho de discussão sobre a classificação e o comportamento da matéria-prima utilizada pelos ceramistas da cidade de Russas – CE.

4.1 Caracterização geotécnica

De acordo com as metodologias apresentadas no capítulo anterior foram realizados ensaios geotécnicos de granulometria, tanto por peneiramento quanto por sedimentação, identificação dos limites de liquidez e plasticidade a partir dos ensaios dos limites de Atterberg e por fim o ensaio de densidade real a 20 °C. As análises dos resultados são apresentados nas Tabelas 03, 04 e 06.

4.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica do presente trabalho contempla o estudo de 05 amostras e os resultados são apresentados na tabela 03. Esses dados são referentes às porcentagens dos teores de areias, siltes e argilas presente em cada amostra das matérias-primas das fábricas cerâmicas.

Tabela 3 - Granulometria das amostras em %.

Frações granulométricas %					
Amostras	Areia			Silte	Argila
	Grossa	Média	Fina		
CE - 01	0,01	0,44	9,66	50,44	39,45
CE - 02	0,04	0,40	3,94	53,40	42,23
CE - 03	0,10	0,40	3,95	50,87	44,69
CE - 04	0,02	0,50	9,62	50,26	39,60
CE - 05	0,20	1,12	14,97	46,84	36,87

Fonte: Autor (2020)

Dessa forma, é possível inferir dos resultados da tabela 03 que as amostras variaram de 36% a 45% o seu teor de argilas, de 45% à 54% o teor de silte e uma variação de 4% a 15% referente ao teor de areias.

Pedroti (2007) menciona em seus trabalhos que a faixa de argila recomendada para uso em cerâmica vermelha é de 30% a 70%, logo as amostras de solos analisadas estão dentro do esperado com valores satisfatórios. Observa-se ainda que em relação a amostra de argila CE – 05, essa possui em sua composição um teor de areia discrepante em relação aos demais, isso pode ser explicado pelo fato da referida fábrica utilizar em seu processo de mistura um material mais arenoso, o que deve-se tentar buscar o equilíbrio entre uma porção com elevado teor de argila com um solo mais arenoso para o sucesso dos produtos cerâmicos.

As curvas granulométricas das amostras CE – 01, CE – 02, CE – 03, CE – 04 e CE – 05 estão presentes no anexo B deste trabalho. Nos gráficos é possível identificar o comportamento de cada amostra com seus respectivos teores de solo, assim como a curva granulométrica destes.

4.1.2 Limites de consistência

A determinação dos limites de consistência das amostras dessa pesquisa foram determinados a partir de planilhas e gráficos elaborados mediante os dados dos ensaios, os quais estão presentes no apêndice B. Os resultados dos limites de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade são apresentados na Tabela 4, como se segue.

Tabela 4 - Limites de consistência das amostras em %.

Limites de Atterberg das amostras			
Amostras	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
CE - 01	57,66	20,55	37,11
CE - 02	37,94	14,71	23,23
CE - 03	38,88	19,58	19,3
CE - 04	35,69	27,52	8,17
CE - 05	32,87	16,73	16,14

Fonte: Autor (2020)

Observando os resultados apresentados na Tabela 4 referente às amostras de argilas, percebe-se que a variação do índice de plasticidade está entre 8,17 % e 37,11 % e com isso é

possível definir qual a zona que se encontra a argila no estado plástico. Dessa maneira, tem-se que quanto maior o índice plástico do solo maior é a sua característica plástica.

Segundo Souza Pinto (2010), o índice de plasticidade indica também a maior ou menor capacidade que o solo tem de se moldar a determinadas condições de umidade. Isso constitui importante característica a ser analisada em argilas para fins cerâmicos, uma vez que estas são moldadas em seu estado plástico com o objetivo de não haver grandes deformabilidades em seu processo de queima.

De acordo com os resultados encontrados na tabela 04 e comparando com as condições de plasticidade padrão normativas das argilas que são mostradas na tabela 05, tem-se que 80 % das argilas analisadas se comportam como um solo de elevada plasticidade, representando assim 04 das 05 amostras analisadas, enquanto que 20 %, que representa 01 amostra analisada, é classificada como uma argila de média plasticidade.

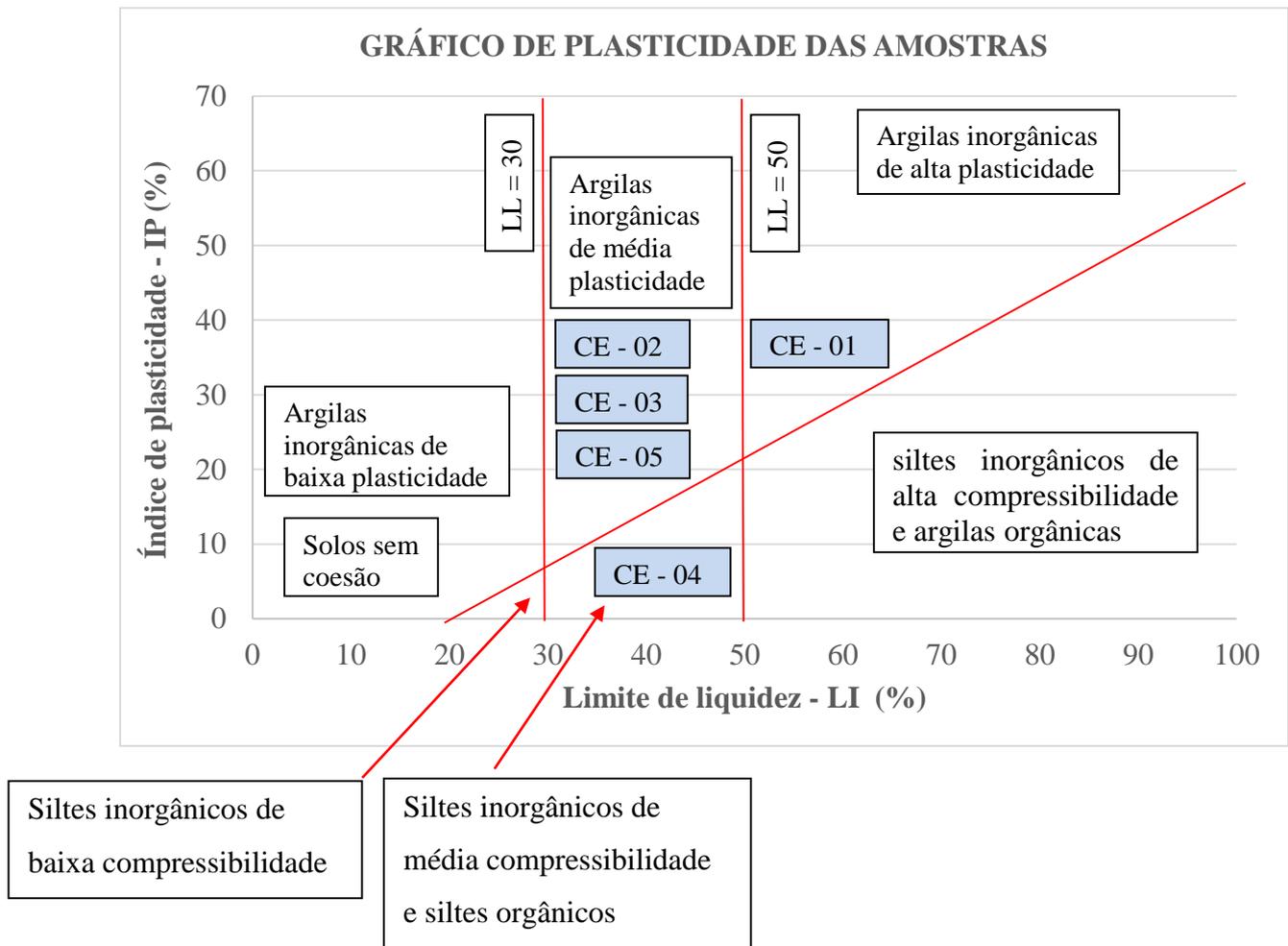
Tabela 5 - Condição plástica da argila.

Índice de Plasticidade (IP)	Plasticidade
0 - 1	Solo não plástico
1 - 7	Solo de baixa Plasticidade
7 - 15	Solo de média Plasticidade
> 15	Solo de elevada Plasticidade

Fonte: Autor (2020)

Buscando compreender um pouco mais como se classifica e analisando trabalhos de outros autores como Alexandre (2000), foi possível desenvolver o gráfico 01. Com isso depreende-se que os solos finos podem ser classificados em 09 grupos distintos: solos sem coesão, siltes inorgânicos de baixa, média e alta compressibilidade, siltes orgânicos e argilas orgânicas, argilas inorgânicas de baixa, média e alta plasticidade.

Gráfico 1 - Gráfico de classificação da plasticidade de Casagrande.



Fonte: Autor (2020)

Nesse sentido, fazendo uma análise das amostras estudadas nesta pesquisa e observando o gráfico de casagrande em paralelo com as tabelas superiores de granulometria e índices de atterberg as amostras podem ser classificadas: CE - 01 é uma argila inorgânica de alta plasticidade, as amostras CE - 02, CE- 03 e CE - 05 é uma argila inorgânica de média plasticidade e amostra CE - 04 classificada como um silte inorgânico de média compressibilidade. A classificação dessas amostras está correlacionada com o tipo de argilomineral e na prática estão associados à mesma bacia de sedimentação, que podem ser facilmente observados pela sua coloração e odor, por exemplo.

4.1.3 Densidade real

A densidade real apresentada na tabela 06 seguiu-se a metodologia do picnômetro descrita no capítulo 03 deste trabalho. Os valores deste ensaio variaram de acordo com a

constituição mineralógica do material utilizado. Segundo Alexandre (2000), a maioria dos solos brasileiros variam entre 2,65 g/cm³ e 2,85 g/cm³, que quanto maior o teor de matéria orgânica presente no solo a densidade real tende a diminuir e para os solos que são ricos em óxidos de ferro os valores do ensaio tendem a aumentar. O conhecimento dessas características são imprescindíveis para ajudar na caracterização das amostras de argilas da presente pesquisa.

Tabela 6 - Densidade real das amostras de solo à temperatura t.

Densidade real das amostras de solo a temperatura de 20 °C	
Amostras	Densidade real do solo
CE - 01	2,65
CE - 02	2,71
CE - 03	2,70
CE - 04	2,68
CE - 05	2,63

Fonte: Autor (2020)

Nesse sentido, de acordo com os resultados da tabela 06, as amostras de solos variaram de 2,63 à 2,71, não havendo disparidades consideráveis entre as amostras ensaiadas. Todavia, percebe-se que as fábricas cerâmicas que utilizam a matéria prima CE – 02 e CE – 03, o teor de óxido de ferro é mais elevado. Porquanto, apresenta densidade real mais elevada e as característica dessas amostras tornam os produtos com cores mais avermelhadas, além de influenciam na CTC do material.

4.2 Caracterização química

De acordo com as metodologias apresentadas no capítulo 03 (três), as amostras de argila deste trabalho foram condicionadas aos ensaios de complexo sortivo, como indicado na tabela 07. Foram analisadas 05 (cinco) amostras, de acordo com os valores obtidos para cada íons que compõe as amostras e as fórmulas seguintes.

$$\text{ValorS} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} \quad (\text{Equação 13})$$

$$\text{ValorT} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} + \text{Al}^{3+} + \text{H}^{+} \quad (\text{Equação 14})$$

$$\text{ValorV} = 100 \times \text{ValorS}/\text{ValorT} \quad (\text{Equação 15})$$

Tabela 7 - Resultados das análises de complexo sortivo.

Complexo Sortivo (CmolC/Kg)										
Amostras	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Valor S (Soma)	Al ³⁺ + H ⁺	Al ³⁺	Valor T (Soma)	Valor V (Sat. Base)	P. Assimilável
CE - 01	17,70	4,10	3,71	0,62	26,13	1,16	0	27,29	96%	87,00
CE - 02	10,80	5,20	5,58	0,34	21,92	0,99	0	22,91	96%	121,00
CE - 03	14,00	2,90	3,65	0,78	21,33	1,82	0	23,15	92%	62,00
CE - 04	13,30	2,70	3,24	0,43	19,67	1,49	0	21,16	93%	61,00
CE - 05	14,40	4,00	5,55	0,38	24,33	1,32	0	25,65	95%	66,00

Fonte: Autor (2020)

Ademais, foram encontradas outras propriedades químicas, além do complexo sortivo para a análise da CTC, como pH, teor de carbono e nitrogênio e matéria orgânica, como mostra a tabela 08.

Tabela 8 - Propriedades químicas das argilas.

Amostras	pH	C (g/Kg)	M.O (g/Kg)
CE - 01	6,80	4,80	8,28
CE - 02	7,20	0,12	0,21
CE - 03	6,80	3,78	6,52
CE - 04	6,90	3,12	5,38
CE - 05	7,10	3,84	6,62

Fonte: Autor (2020)

4.2.1 Capacidade de Troca Catiônica – CTC

Existem dois diferentes tipos de CTC, sendo a CTC efetiva (T), que é a capacidade do solo de reter cátions próximo ao valor natural do pH, que se dá pela soma de bases mais o alumínio. Com isso para as amostras em questão obtivemos os resultados entre 21,16 CmolC/kg e 27,29 CmolC/kg como valores mínimos e máximos respectivamente, como indica a tabela 09.

Tabela 9 - Valores de CTC efetiva.

Amostras	Valor T
CE - 01	27,29
CE - 02	22,91
CE - 03	23,15
CE - 04	21,16
CE - 05	25,65

Fonte: Autor (2020)

Esta identificação é uma propriedade importante dos argilominerais, essa troca catiônica pode alterar e indicar a capacidade plástica, expansão e contração das argila, por exemplo. Assim, com esse resultado é possível identificar que essas argilas analisadas fazem parte do grupo da ilita, que é um mineral do grupo das micas, como indica a tabela 10.

Além disso, de acordo com o manual da Embrapa é possível inferir que esse tipo de argila é de baixa atividade com exceção da argila da amostra 1, que embora esteja dentro da classificação dos argilominerais do grupo ilita ela poderá ser classificada como alta atividade em função do seu valor de CTC maior 27 CmolC/kg.

A atividade da argila influencia diretamente na capacidade de absorção de água, adesão e coesão das partículas de solo. As argilas de alta atividade quando úmidas se expandem com facilidade e se contraem quando secas, ocorrendo ainda possibilidades de formação de fendas e superfícies de compressão. Dessa forma, não sendo indicadas para o uso em cerâmica vermelha, em que essas integram normalmente o grupo das esmectitas, vermiculitas e montmorilonita.

Tabela 10 - Valores de CTC de alguns materiais constituintes do solo.

Tipos	CTC representada
Vermiculita	100 - 150
Montmorilonita	80 - 150
Ilita – Clorita	10 - 40
Haloisita (2H ₂ O)	5 - 10
Haloisita (4H ₂ O)	40 - 50
Caulinita	3 - 15
Húmus	200 - 400

Fonte: Autor (2020)

4.2.2 Potencial Hidrogeniônico – pH

Os valores de hidrogênio de cada amostra foram obtidos com a metodologia do potenciômetro como descrito no capítulo 03, e são mostrados na tabela 11. Tem-se que o potencial hidrogeniônico das amostras variaram entre 6,80 e 7,20.

Tabela 11 - Atividade do hidrogênio.

Amostras	pH
CE - 01	6,80
CE - 02	7,20
CE - 03	6,80
CE - 04	6,90
CE - 05	7,10

Fonte: Autor (2020)

Percebe-se que três das cinco amostras apresentaram um caráter levemente ácido, isso pode ser explicado devido a formação desse tipo de solo, onde ocorre lixiviação no processo. Já duas das amostras ensaiadas apresentam um comportamento mais alcalino, o que pode ser explicado pela presença de lagoas ou que um dia houve inundação próximo ou nos locais de retirada da matéria-prima. Almeida *et. al.*, 2015 afirma que o pH do solo indica muito mais do que acidez e basicidade, ele indica o quanto essa argila apresenta de disponibilidade os minerais contidos ou adicionados, o que influencia diretamente a plasticidade.

Normalmente o pH com um caráter mais ácido apresenta minerais como hematita (Fe_2O_3) e alumina (Al_2O_3) em maiores proporções, o que influencia na alteração da microestrutura da cerâmica argilosa, possibilitando regiões de falha e influenciando também na deformação durante o cozimento.

O pH das argilas influencia na CTC, uma vez que quanto mais ácido o material o solo tende a apresentar maiores cargas negativas dos coloides ocupadas por hidrogênio e alumínio. Entretanto, analisando-se as amostras deste trabalho, percebe-se que os valores de pH de todas as amostras apresentam um caráter adequado para fins cerâmicos, uma vez que não indicam valores elevados de acidez.

4.2.3 Matéria Orgânica – M.O

O teor de matéria orgânica, identificada nas amostras de acordo com a metodologia apresentada anteriormente tem relação direta com o teor de carbono orgânico. Isso é um fator importante nas argilas de uso cerâmico, o que aumenta a plasticidade e traz benefícios para o produto pós-queima, porém em teores adequados. A tabela 12 identificada a seguir, apresenta os teores de matéria orgânica presente em cada kg de argila das amostras ensaiadas nesta pesquisa.

Tabela 12 - Quantidade de matéria orgânica por amostra de 1kg de argila.

Amostras	M.O	% M.O
CE - 01	8,28	0,83
CE - 02	0,21	0,02
CE - 03	6,52	0,65
CE - 04	5,38	0,54
CE - 05	6,62	0,66

Fonte: Autor (2020)

Definir o quanto é benéfica ou maléfica a matéria orgânica nas argilas para fins cerâmicos depende diretamente da sua quantidade, uma vez que apresenta influencia no comportamento mecânico. Entretanto, para fins cerâmicos, a matéria orgânica em pequena quantidade aumenta a resistência mecânica da telha ou tijolo. Entretanto, excesso de húmus pode ir de contramão ao que foi citado anteriormente, uma vez que durante o processo de queima e secagem as peças cerâmicas tende a contrair, causando conseqüentemente trincas e assim influenciando na qualidade do produto. Assim, poderá acarretar perdas financeiras para as fábricas de produção do material, o que é danoso aos ceramistas e às obras que utilizam-se desses produtos.

Nesse sentido observa-se que os valores obtidos nas amostras foram inferiores a 1%, o que pode ser influenciado também pela localização de cada jazida, pela profundidade que se encontra o material e ainda pelo tipo de bacia, que nesse caso a região de Russas é uma bacia sedimentar e que tem materiais oriundos e influenciados pela presença do Rio Jaguaribe.

Uma observação importante a ser analisada é que a amostra CE – 02 apresentou uma porcentagem muito discrepante se comparada com as demais. Com isso, conseqüentemente vai apresentar uma mistura menos plástica, necessitando de um teor de água maior para se equilibrar a matéria-prima. Isso poderá influenciar no produto final, apresentando um material mais denso, menos poroso e com uma resistência mecânica menor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que o objetivo deste trabalho foi cumprido, uma vez que foi possível estudar um pouco de como funciona as cerâmicas de produção de telhas e tijolos na cidade de Russas – CE, além de aprofundar o conhecimento sobre os mais variados tipos de argilas presentes no solo brasileiro, com foco em entender quais as particularidades do solo russano e em especial as argilas utilizadas como matéria-prima para fabricação dos produtos cerâmicos aqui citados.

Foram analisados cinco amostras de argilas, de diferentes fábricas, três fábricas com atividades produtivas de telhas, apenas, e uma das olarias com fabricação de telhas e tijolos. Dessa forma, segue as considerações a respeito dos ensaios geotécnicos e químicos das argilas:

Faixa granulométrica: As amostras apresentam média de teor de argila de 40,57 %, média de 50,36% de silte e 8,43 % de areia. Segundo pesquisas de Pedroti (2007), sobre o teor de argila indicado para uso em cerâmicas vermelhas, a variação deve estar entre 30 e 70 %, logo a matéria prima das cerâmicas de Russas estão dentro do indicado por esses estudos e apresentando uma graduação uniforme.

Classificação quanto à plasticidade: 80% das amostras apresentam alta plasticidade, enquanto 20% baixa plasticidade, com índices de plasticidade variando de 8,17 % à 37,11%. Além disso, uma amostra foi classificada em argila inorgânica de alta plasticidade, três amostras em argila inorgânica de média plasticidade e uma amostra em silte inorgânico de média compressibilidade.

Densidade real: A densidade real das amostras apresenta média de 2,67 g/cm³, variando entre as amostras de 2,63 a 2,71 g/cm³.

Atividade das argilas e classificação do argilomineral: De acordo com a CTC encontrada nas amostras, a média é de 24 CmolC/kg, indicando ser do tipo ilita e portanto ser uma argila de baixa atividade, visto que para estar nessa classificação de argilas com baixa atividade a valor da CTC deve ser menor que 27 CmolC/kg. Todavia, uma das amostras apresentou uma leve disparidade, apresentando valor de CTC um pouco maior que 27 CmolC/kg, o que indica ser considerada de alta atividade.

Estudo do pH: O pH das amostras estão dentro do esperado e apresenta condições satisfatórias, com 03 amostras apresentando pH levemente ácido e 02 amostras com pH mais alcalinos. Entretanto, todas variando de 6,80 à 7,20, o que não apresenta tamanhas diferenças e resultados esperados para uso cerâmico.

Teor de matéria orgânica: A matéria orgânica encontrada nas amostras é inferior a 1%. Uma das amostras se diferenciou das demais em relação a sua baixa porcentagem, apresentando teor de matéria orgânica quase insignificante, o que pode trazer diferentes análises para esse agregado.

Dessa maneira, os resultados obtidos são considerados satisfatórios para uso cerâmico. Porém em alguns casos devem ser feito alguns ajustes, como na CE – 01, que possui uma CTC maior que 27 CmolC/kg e isso pode ser influenciado pelo teor de matéria orgânica elevado e que deve ser corrigido, com retirada da camada superficial da jazida, ou observar essa influência é devido a não homogeneidade adequada desse produto.

Outrossim é em relação as amostras CE – 04 e CE – 05, que pode ser misturadas entre si, visto serem de uma mesma olaria, e assim conseguir resultados mais satisfatórios, uma vez que individualmente, o teor de areia na amostra CE -05 é considerado elevado e o índice de plasticidade da amostra CE – 04 apresentou um percentual menor que 10%.

É importante pontuar a inexistência de uma norma regulamentadora, que preze sobre a composição e como deve ser tratado os produtos que dão origem aos materiais cerâmicos de telhas e tijolos. Existem apenas trabalhos de pesquisas desenvolvido por pesquisadores interessados nessa área, que foi embasado ao longo desse trabalho.

Por fim, considera-se que este trabalho tem uma importante contribuição para a pesquisa do ramo ceramista e análise de solos. Salienta-se que ainda não há tantos trabalhos ou pesquisas desenvolvidas nesse setor voltados para a matéria-prima exclusiva da produção das cerâmicas do polo ceramista de Russas, que é um dos mais importantes para o estado do Ceará e até mesmo para o Nordeste brasileiro.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Continuar um trabalho de pesquisa é imprescindível para a atualização do que é determinado em normas, assim como entregar para o mercado e o ramo da ciência sempre novas pesquisas com o objetivo de tornar os processos da indústria cerâmica, por exemplo, com melhorias contínua e identificar quais as contribuições dos estudos para a sociedade.

Dessa maneira sugere-se que outras pesquisas possam ser realizadas com o objetivo de aprofundar-se nas características físicas, químicas ou térmicas por exemplo. Sugerindo mudanças para os ceramistas e que esses venham a ter maiores insumos para fornecer seus produtos com maior confiabilidade. Além disso, uma outra forma de agregar nesse trabalho e assim desenvolver outros trabalhos seriam, cruzar os dados aqui obtidos com os produtos cerâmicos, ou seja, analisar desde a matéria-prima até o produto acabado, entendendo como é o comportamentos desses tijolos e telhas a partir de alterações na matéria-prima.

Outra consideração dessa pesquisa é para os empresários ceramista de Russas – CE, que de posse dos resultados encontrados é possível ter um maior controle tecnológico das argilas, entender quais as particularidades geotécnicas e químicas e ainda porque deve-se buscar materiais com características peculiares, que venham fornecer um produto com uma qualidade superior das atuais produções.

Por fim, a tabela 13 apresenta todos os pontos debatidos nesta pesquisa, relacionando os resultados com cada fábrica estudada. A fábrica A possui apenas produção de telhas e foram colhidas duas amostras, pois em sua produção há dois tipos de matéria-prima diferentes. A fábrica B e C possui apenas produção de telhas e utilizam um tipo de matéria-prima. A fábrica B, possui produção de telhas e tijolos e utiliza também apenas um tipo de matéria-prima.

Tabela 13 - Análise geral por fábrica cerâmica.

Indústrias cerâmicas	Amostras	Fração granulométrica de argila (%)	Índice de Plasticidade (%)	Densidade real (g/cm ³)	CTC do solo Cmolc/kg	pH	C (g/Kg)	M.O (g/Kg)
C	CE - 01	39,45	37,11	2,65	27,29	6,80	4,80	7,17
D	CE - 02	42,23	23,23	2,71	22,91	7,20	0,12	3,67
B	CE - 03	44,69	19,3	2,7	23,15	6,80	3,78	7,17
A	CE - 04	39,60	8,17	2,68	21,16	6,90	3,12	4,33
A	CE - 05	36,87	16,14	2,63	25,65	7,10	3,84	3,64

Fonte: Autor (2020)

Ressalta-se que esse trabalho foi desenvolvido em meio a uma pandemia, entre os anos de 2020 e 2021, que no momento de escrita desse trabalho já vitimou mais de 300 mil vidas apenas no Brasil. Com isso, o grande desafio dessa pesquisa foi o medo de não conseguir concluir, devido a não abertura dos laboratórios, a falta de conexão de internet de qualidade e a pressão psicológica vivida em um momento tão atípico e marcante do século.

Todavia, esse trabalho tem uma grande contribuição para a sociedade, principalmente a Russana, uma vez que a indústria cerâmica sustenta muitas famílias nessa região e se apresenta como a principal fonte de renda que impulsiona a economia da cidade. Isso mostra também qual deve ser o papel do engenheiro civil, em resolver problemas e trazer soluções que amenizem os impactos sociais.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro ABNT, 2016.
- ALBERS, MELCHIADE, MACHADO, BALDO, BOSCHI. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X, 2002**, Universidade do Vale do Paraíba, UNIVAP.
- ALEXANDRE, J. **Análise de matéria prima e composições de massa utilizada em cerâmicas vermelhas**, 2000, Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Alexandre, J., (1997). **Caracterização das argilas do município de Campos dos Goytacazes para utilização em cerâmicas vermelhas**. Tese (mestrado em Ciências da Engenharia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF
- ALMEIDA, P. H. S., FRANCO, J. de M., TAVARES, C. R. G., **Influence of clay type in the solidification stabilization process of textile sludge**, 2015, Associação Brasileira de Cerâmica.
- AMORIM, C. L. G. **Estudo dos efeitos das interações água-argila no inchamento de argilominerais através da difração de Raios X**, 2007. Departamento de engenharia nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ARAÚJO, ALVES, SOUZA, SILVA, CORRECHEL. **Análise da determinação granulométrica de um latossolo por dois métodos: densímetro e granulômetro a laser**. REVISTA MIRANTE, Anápolis (GO), v. 10, n. 5a, dez. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br>> acesso em: 24 de mar. de 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - **Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em: <<http://www.https://www.anicer.com.br/>> acesso em: 02 de mar. de 2020.
- BARRETO, Thayana Maria de Lima. **Avaliação de impactos da indústria cerâmica do polo de Russas – Ce/ Thayana Maria de Lima Barreto. – 2016**.
- BELUSSO, A. **Avaliação da influência do teor de cimento portland na durabilidade e resistência de um solo argiloso**, 2018, Universidade de Caxias do Sul.

BETINI, D. G. **Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em São Miguel do Guamá** / Daniele Gioppo Betini; orientador Jorge de Araújo Ichihara. — 2007.

EELA -**Programa de Eficiência Energética em Artesanais Ladrilleras de America Latina para Mitigar el Cambio Climatico . Panorama da Indústria de Cerâmica Vermelha no Brasil**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.redladrilleras.net/assets/files/b465b4c24c285ffe2194ca3a56ea6b00.pdf>>. Acesso em: 08 de Abr. de 2020.

Governo municipal de Russas - CE, sobre Russas, Disponível em: <<https://russas.ce.gov.br/sobre-russas/>>, Acesso em: 10 de Abr. de 2020.

H. L. Lira, G. A. Neves. **Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grand**, 2013.

IBGE, 2010; **Atlas brasil; programa das nações unidas para o desenvolvimento**, 2013 Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/russas_ce> Acesso em: 10 de Abr. de 2020.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Populacional 2010-2014**. Disponível em:< www.ibge.gov.br>, acesso em Acesso em: 10 de Abr. de 2020.

JÁCOME, CARMO, ALBERTIN, **Análise do arranjo produtivo de cerâmica vermelha da cidade de russas-CE através do SIMAP**, 2013, Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal Rural do Semi Árido.

LINS, P.G. **Obtenção e caracterização de nano compósitos de PS / Argila esmectítica**, 2010, Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais da escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

MAIA, Fernanda dos Santos, 2012. **Avaliação de massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes** / Fernanda dos Santos Maia. – Campos dos Goytacazes, 2012.

MANSO, E. **Análise Granulométrica dos solos de Brasília pelo Granulômetro a Laser**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. 113 f. UnB. Brasília, 1999.

Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

MORENO, M.M.T **ARGILAS: Composição Mineralógica, Distribuição Granulométrica e Consistência de Pastas**, 2012, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

PAULETTI, M. C. **Modelo para introdução de nova tecnologia em agrupamentos de micro e pequenas empresas: estudo de caso das indústrias de cerâmica vermelha no Vale do Rio Tijucas**. Florianópolis, 2001, 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pósgraduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2001.

PEDROTI, L. G. (2007). **Estudo de conformidades em relação à abnt de blocos cerâmicos prensados e queimados**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Perfil das regiões de planejamento Vale do Jaguaribe -2017, Governo do Estado do Ceará, IPECE. PRACIDELLI SEBASTIÃO, FÁBIO G.MELCHIADES. **Importância da composição granulométrica de massas para cerâmica vermelha**. *Revista cerâmica industrial*. 2017.

RAMOS, S. O. **Caracterização de argilas usadas para cerâmica estrutural**, 2010, Departamento de Engenharia de Materiais - Universidade Federal da Paraíba. RAMOS, 2010.

SANTOS, Odirley Cavalli dos. **Desenvolvimento de compósito cerâmico de Mica Moscovita através da técnica de barbotina em modelo de gesso/** Odirley Cavalli dos Santos – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

SANTOS, P.S. (1989) **Ciência e tecnologia das argilas**, 2ª Ed., São Paulo, Edgard Blucher, Vol. 1

SANTOS, P.S. (1992) **Ciência e tecnologia dea argilas**, 3º Ed., São Paulo: Edgard Blücher, Vol. 1

SANTOS, P.S. **Ciência e tecnologia das argilas**, 2º edição, Edigar Blucher, São Paulo, 1989, Vol.1

SANTOS, P.S. **Ciência e tecnologia das argilas**, 2º edição, Edigar Blucher, São Paulo, 1989, Vol.2ª

SCAPIN, M. A. **Aplicação da difração e fluorescência de Raios X (WDXRF): Ensaio em argilominerais**, 2003. Instituto de Pesquisas Energéticas nucleares, Universidade de São Paulo. SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS.

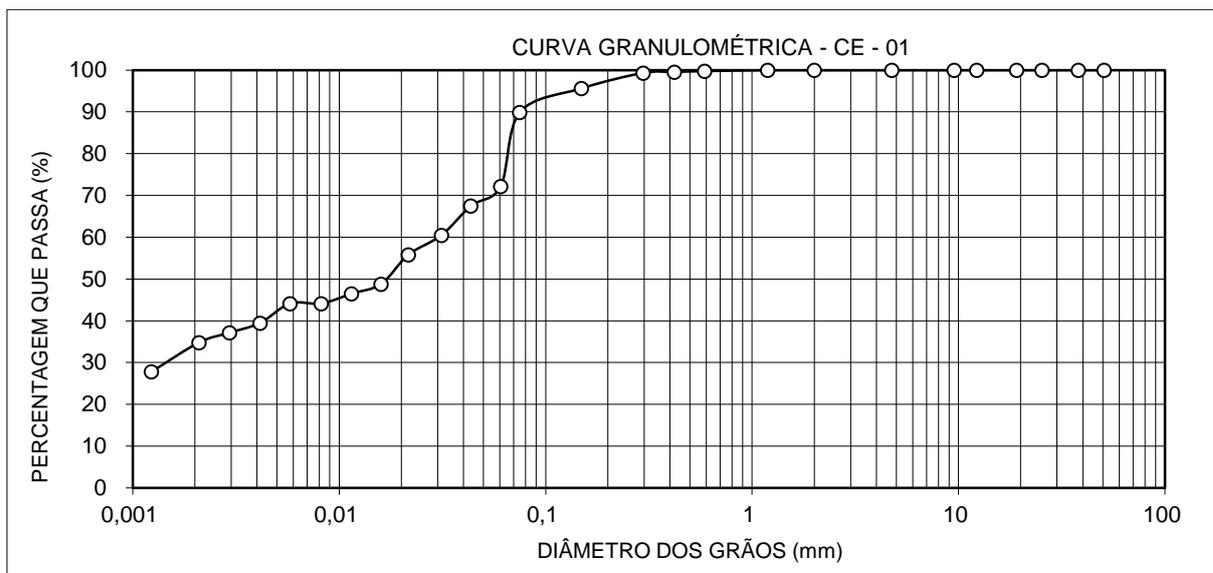
Construção civil. Boletim de inteligência 2015. Disponível em: <
[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/\\$File/5846.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/$File/5846.pdf)>. Acesso em: 25 mar. de 2020.

SOUSA, P.M.L.P. Limite De Liquidez – **Correlações E Comparações Entre Os Métodos De Fall Cone E Da Concha De Casagrande**, 2011, Departamento de Ciências da Terra - Universidade Nova de Lisboa.

VETTORI, L. Equipe de pedologia e fertilidade do solo EPE — **Ministério da Agricultura, métodos de análise de solo**, 1969.

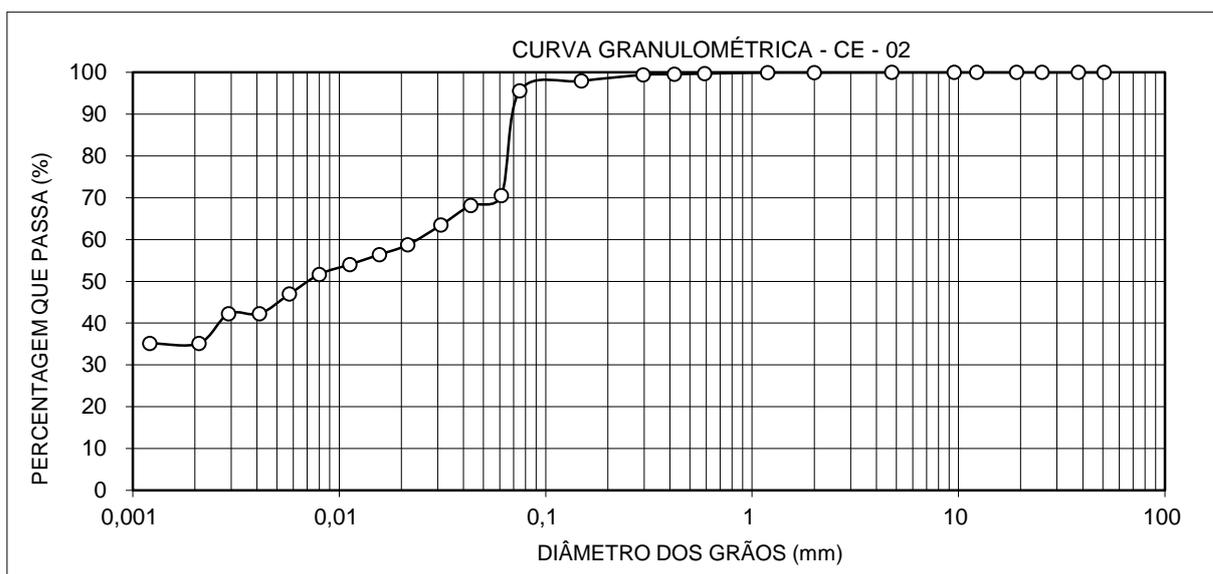
APÊNDICE A: GRÁFICOS DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS

Gráfico 2 - Curva granulométrica CE - 01



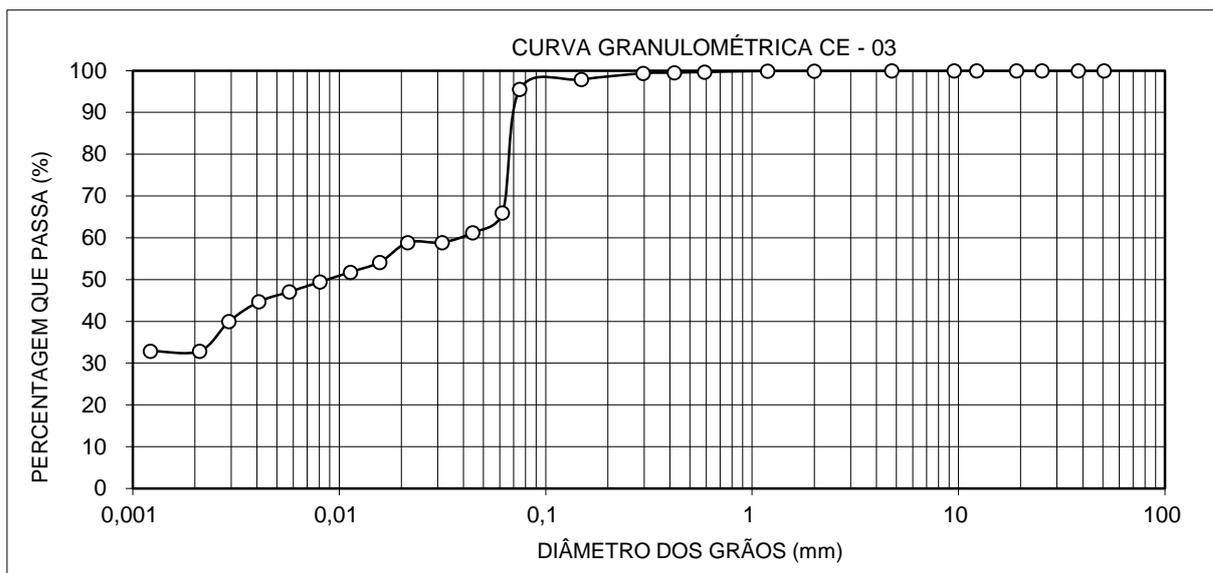
Fonte: Autor (2020)

Gráfico 3 - Curva granulométrica CE - 02



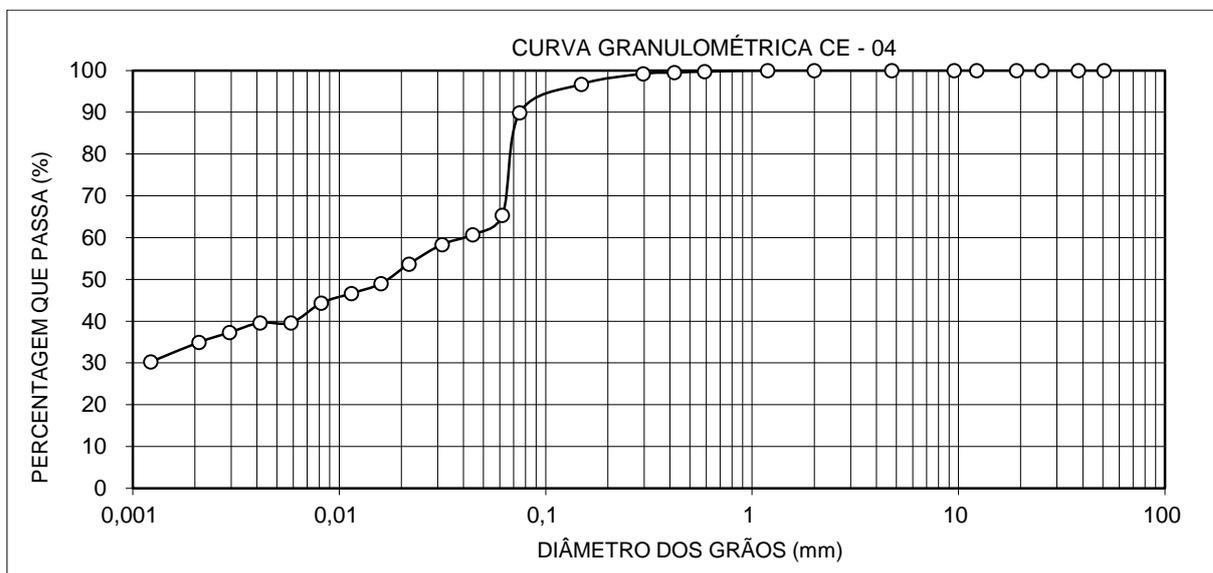
Fonte: Autor (2020)

Gráfico 4 - Curva granulométrica CE - 03.



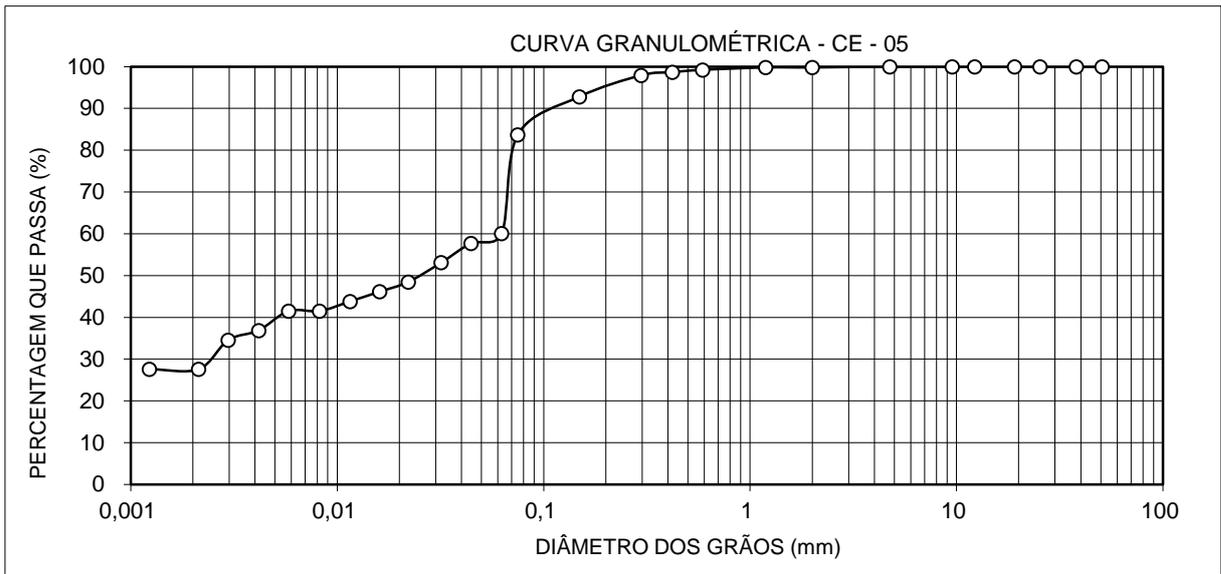
Fonte: Autor (2020)

Gráfico 5 - Curva granulométrica CE - 04.



Fonte: Autor (2020)

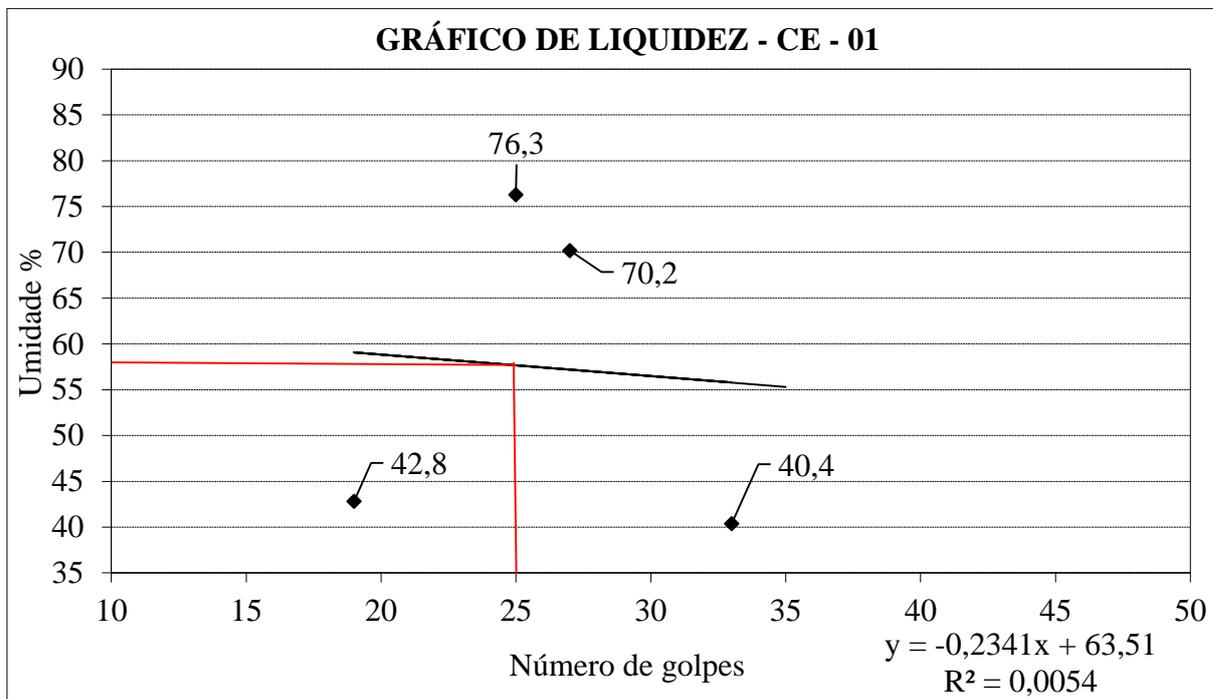
Gráfico 6 - Curva granulométrica CE - 05.



Fonte: Autor (2020)

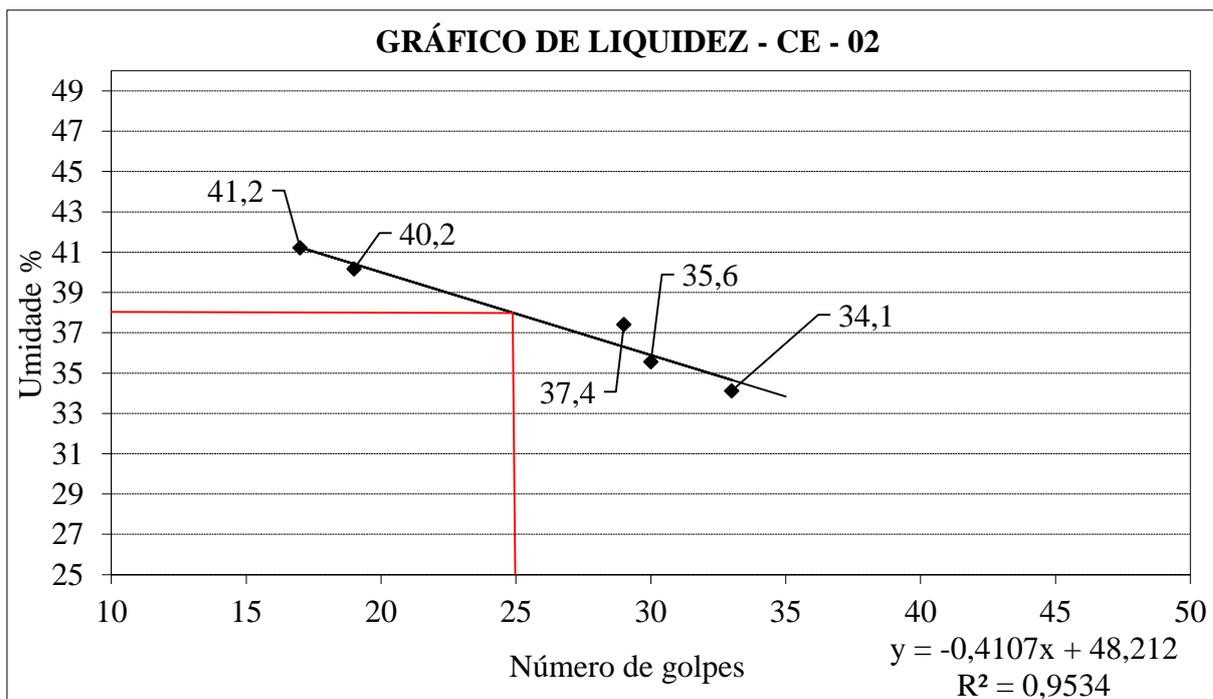
APÊNDICE B: GRÁFICOS DE LIQUIDEZ DAS AMOSTRAS

Gráfico 7 - Limite de liquidez CE - 01.



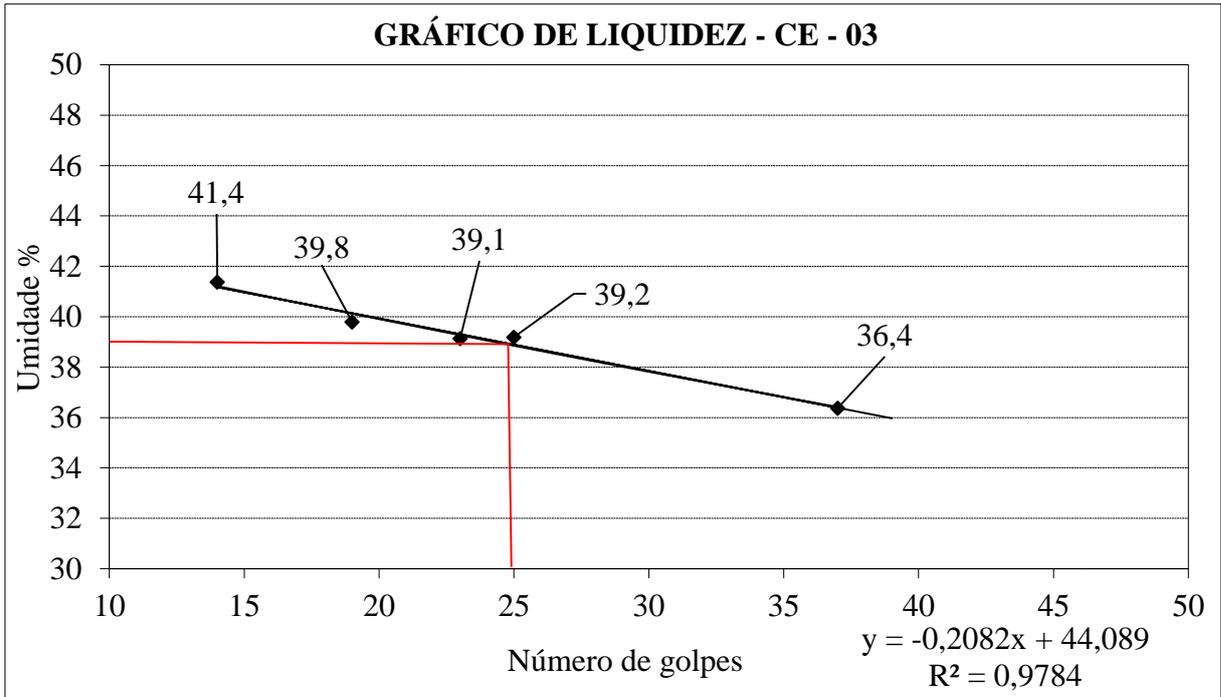
Fonte: Autor (2020)

Gráfico 8 - Limite de liquidez CE - 02.



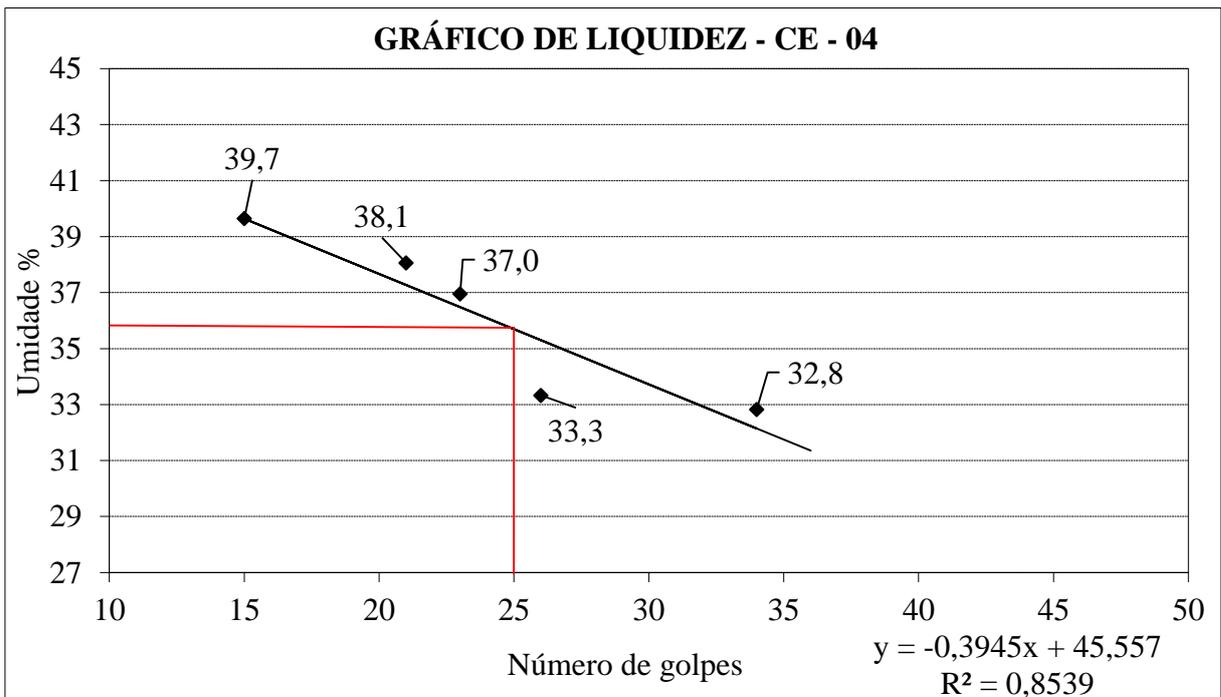
Fonte: Autor (2020)

Gráfico 9 - Limite de liquidez CE - 03.



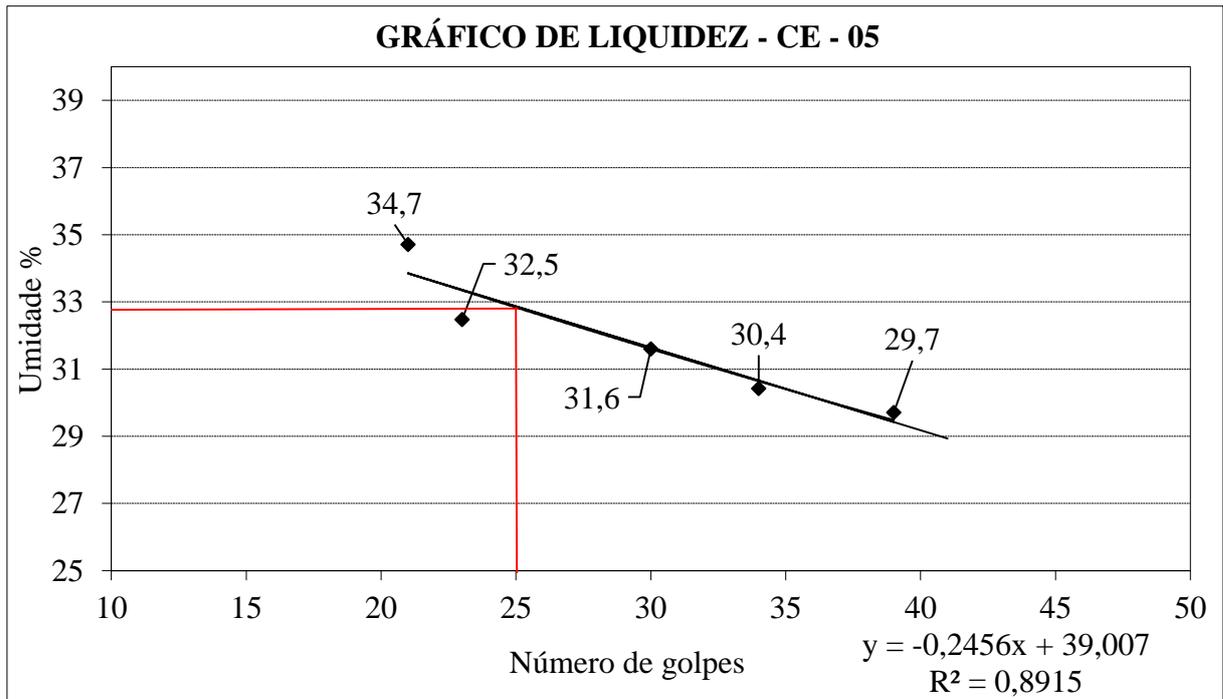
Fonte: Autor (2020)

Gráfico 10 - Limite de liquidez CE - 04.



Fonte: Autor (2020)

Gráfico 11 - Limite de liquidez CE - 05.



Fonte: Autor (2020)