



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ELIAS DE SOUZA FEITOZA NETO

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE RESÍDUOS DE CERÂMICA
VERMELHA PARA USO NO MELHORAMENTO DE SOLOS

Pau dos Ferros
2023

ELIAS DE SOUZA FEITOZA NETO

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE RESÍDUOS DE CERÂMICA
VERMELHA PARA USO NO MELHORAMENTO DE SOLOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. José Daniel Jales da Silva

**Pau dos Ferros
2023**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

FE42c Feitoza Neto, Elias de Souza .
Caracterização Geotécnica de Resíduos
de Cerâmica Vermelha para Uso no
Melhoramento de Solos / Elias de Souza
Feitoza Neto. - 2023.
45 f. : il.

Orientador: José Daniel Jales Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Sustentabilidade. 2. Propriedades. 3.
Mecânicas. 4. Olarias. 5. Reutilização. I. Silva,
José Daniel Jales, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ELIAS DE SOUZA FEITOZA NETO

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE RESÍDUOS DE CERÂMICA
VERMELHA PARA USO NO MELHORAMENTO DE SOLOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia.

Defendida em: 17 / 04 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Daniel Jales Silva(UFERSA)
Presidente

Me. Vinícius Navarro Varela Tinoco (UFERSA)
Membro Examinador

Bela. Adriana Correia de Moraes (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a Deus em primeiro lugar, por seu auxílio e sua constante orientação ao longo deste trabalho e em todos os aspectos da minha vida. Sem Sua sabedoria, nada seria possível. Em segundo lugar, mas não menos importante, gostaria de agradecer aos meus pais, Maria de Souza e Airton Alves, por sempre terem me proporcionado tudo o que precisei para me desenvolver como pessoa e cidadão. Agradeço também à minha noiva, Victória, por seu incentivo constante, à minha irmã, Ítala, e ao meu orientador, Prof. José Daniel, pelo suporte e apoio fundamentais durante a realização deste trabalho.

RESUMO

O setor da construção civil aumenta a cada ano que passa por conta do desenvolvimento da sociedade interligado aos avanços tecnológicos, e a grande adversidade a ser enfrentada no presente e futuro é justamente o controle da geração de resíduos e sua correta reutilização. O resíduo de cerâmica vermelha (RCV) é composto por fragmentos de tijolos e telhas quebradas no processo de produção, no qual conforme a associação nacional da indústria cerâmica (ANICER) são fabricados cerca de 8.157.602.000 de peças como bloco de tijolos e telhas por ano. A grande produção em face com o montante que não há uma finalidade correta, acaba promovendo danos direto ao meio ambiente, como a sobrecarga do grande volume de resíduos destinando-se a encostas florestais, manguezais e baías, que também provocam a erosão e a instabilidade dos solos. Nesse contexto, este trabalho objetivou realizar uma caracterização geotécnica do resíduo de cerâmica vermelha coletado em três olarias do Alto Oeste Potiguar e interior do Ceará, visando fornecer informações para sua aplicação em técnicas de reaproveitamento e melhoramento do solo. Para isso, foram executados ensaios de massa específica dos grãos, análise granulométrica, limites de liquidez, limite de plasticidade e ensaio de compactação para cada amostra coletada. Os resultados mostraram que o resíduo apresenta características de um material não plástico (NP), com pouca coesão, que possivelmente se deu por conta do processo de sinterização; na análise granulométrica, as três amostras foram classificadas como *Sand Poorly graded* (SP) ou areia mal graduada; nos ensaios de compactação os valores de teor de umidade ficaram em torno de 17%, na qual essa similaridade dá-se possivelmente pela mesma origem geológica, bem como vale salientar também que essa faixa de teor é considerada ideal para compactação do solo.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Propriedades. Mecânicas. Olarias. Reutilização. Materiais.

ABSTRACT

The civil construction sector increases with each passing year due to the development of society linked to technological advances, and the great adversity to be faced in the present and future is precisely the control of waste generation and its correct reuse. Red ceramic waste (RCV) is made up of fragments of bricks and tiles broken in the production process, in which, according to the national association of the ceramic industry (ANICER), around 8,157,602,000 pieces such as blocks of bricks and tiles are manufactured per year. The large production in the face of the amount that there is no correct purpose, ends up causing direct damage to the environment, such as the overload of the large volume of waste destined for forest slopes, mangroves and bays, which also causes erosion and instability of the soils. In this context, this work aimed to carry out a geotechnical characterization of red ceramic waste collected in three brickworks in Alto Oeste Potiguar and the interior of Ceará, aiming to provide information for its application in soil reuse and improvement techniques. To this end, grain specific mass tests, granulometric analysis, liquidity limits, plasticity limits and compaction tests were carried out for each sample collected. The results showed that the residue presents characteristics of a non-plastic material (NP), with little cohesion, which was possibly due to the sintering process; in particle size analysis, the three samples were classified as Sand Poorly graded (SP) or poorly graded sand; In the compaction tests, the moisture content values were around 17%, in which this similarity is possibly due to the same geological origin, and it is also worth noting that this content range is considered ideal for soil compaction.

Keywords: Sustainability. Mechanical properties. Potteries. Reuse. Materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Etapas do ensaio	19
Figura 2	– Cacos cerâmicos na olaria Moura.....	20
Figura 3	– Restos de tijolos na olaria dos Nogueira	20
Figura 4	– Olaria das Melancias.....	21
Figura 5	– Imagem da olaria Moura.....	22
Figura 6	– Etapa de secagem.....	23
Figura 7	– Peneiramento na malha 19mm.....	24
Figura 8	– Etapa antes de levar para o abrasão.....	24
Figura 9	– Abrasão Los Angeles	24
Figura 10	– Peneiramento na malha 4,8mm após o moinho.....	25
Figura 11	– Picnômetro com água e solo.	26
Figura 12	– Preenchimento do picnômetro.	26
Figura 13	– Peneiras usadas	27
Figura 14	– Gráfico da composição granulometrica da olaria Moura.....	33
Figura 15	– Gráfico da composição granulometrica da olaria Melancia.....	33
Figura 16	– Gráfico da composição granulometrica da olaria vieirense....	34
Figura 17	– Curva de compactação com a umidade ótima da olaria Moura.....	37
Figura 18	– Curva de compactação com a umidade ótima da olaria Melancia.....	37
Figura 19	– Curva de compactação com a umidade ótima da olaria Vierense.....	38
Figura 20	– Limite de liquidez com teor de umidade da olaria Moura.....	39
Figura 21	– Limite de liquidez com teor de umidade da olaria Melancia.....	40
Figura 22	– Limite de liquidez com teor de umidade da olaria Vierense.....	40
Figura 23	– Tentativa de moldagem da amostra.....	41
Figura 24	– Amostra com fissuras após tentativas.....	41
Figura 25	– Amostra sem nenhuma coesão.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Coeficiente CNU.....	29
Quadro 2	–	Coeficiente CC.....	29
Quadro 3	–	Classificação dos solos de acordo com o LL	30
Quadro 4	–	Valores de CNU, CC, D10, D30 E D60:.....	32
Quadro 5	–	Teores de umidade ótima e massa específica.....	35
Quadro 6	–	Teores de frações.	36
Quadro 7	–	Teores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RCV	Resíduo de Cerâmica vermelha
Dr	Doutor
CNU	Coeficiente de não uniformidade
CC	Coeficiente de curvatura
D10	Diâmetro efetivo
D50	Diamêtro médio dos grãos
D30	Diâmetro mediano de 30%
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
SP	Sand poorly
SUCS	Sistema unificado de classificações do solo

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Densidade real do solo	27
Equação 2 - Peso total da amostra.....	28
Equação 3 - Percentagem passante.....	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROBLEMATIZAÇÃO	13
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 Geral.....	14
3.1 Específicos	14
4 JUSTIFICATIVA	15
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
5.1 Indústria de cerâmica vermelha	16
5.2 RCV.....	16
5.3 Melhoramento do solo com RCV	17
5.4 Propriedades geotécnicas do RCV	18
6 METODOLOGIA	19
6.1 Materiais e métodos	19
6.2 Coleta e verificação do processo de produção	21
6.3 Preparação das amostras	23
6.4 Massa específica.....	25
6.5 Granulometria	27
6.6 Compactação	29
6.7 Limites de consistências	30
6.7.1 Limite de liquidez.....	30
6.7.2 Limite de plasticidade.....	31
7 RESULTADOS E DISCURSSÕES	32
7.1 Massa específica	32
7.2 Granulometria	33
7.3 Compactação.....	36
7.4 Limites de consistências	39
7.4.1 Limite de liquidez	39
7.4.2. Limite de plasticidade.....	41
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento urbano tem impulsionado a demanda por infraestruturas, resultando em um crescimento de novas edificações, refletindo a necessidade de expansão e renovação constantes para atender à demanda da população e aos requisitos da urbanização. Esse ciclo, embora essencial para o progresso das cidades, também está intrinsecamente ligado à geração contínua de resíduos na construção civil, gerando impactos sobre o meio ambiente e acompanhado de crescentes preocupações ambientais. No cenário contemporâneo, torna-se crucial conciliar o desenvolvimento na construção e produção de resíduos com a sustentabilidade ambiental, estabelecendo práticas que minimizem o impacto ambiental e otimizem o uso de recursos naturais conforme aborda Grigoletti e Sattler (2003) garantindo um equilíbrio sustentável para as gerações presentes e futuras.

Essa assertiva evidencia a persistência e os desafios intrínsecos à relação entre a atividade construtiva e os impactos à natureza, realçando a busca por soluções mais conscientes e sustentáveis, viabilizando a concepção e execução de obras. A geração excessiva de resíduos da construção civil afeta a qualidade do solo, a biodiversidade, a qualidade do ar e da água (Oliveira, 2020), enfatizando-se a necessidade de alternativas que minimizem tais impactos.

Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2015), o Brasil gera, aproximadamente, 84 milhões de metros cúbicos de resíduos da construção civil e demolição por ano. Desse montante, a indústria de cerâmica vermelha é responsável por uma parcela significativa, possuindo um montante equivalente de 4,0 a 6,5 milhões de toneladas de materiais descartados.

O descarte inadequado do resíduo de cerâmica vermelha (RCV) tem implicações significativas no ambiente em diversos níveis. Quanto à ocupação espacial, a disposição inadequada desses resíduos em manguezais, baías e encostas florestais, além de sobrecarregar os aterros com seu grande volume, contribui para o desencadeamento de processos erosivos, levando à degradação do solo e comprometendo a estabilidade das encostas. (Lima, 2008).

A composição mineralógica do RCV conforme o trabalho de Garcia et al (2014) é composta por sílica e alumina. O mineral alumina pode acidificar ou contaminar as águas subterrâneas, impactando negativamente a qualidade da água e ameaçando ecossistemas aquáticos sensíveis. Em ambientes costeiros, como manguezais e baías, a presença de RCV intensifica os riscos, afetando diretamente a fauna marinha e os processos ecossistêmicos. Além disso, a contaminação do solo e das águas pluviais por elementos tóxicos provenientes

do RCV acarreta consequências amplas, incluindo a deterioração da qualidade do solo para atividades agrícolas e a potencial contaminação de corpos d'água, prejudicando toda a cadeia alimentar aquática. Frente a esses desafios, é imperativo adotar práticas de gestão sustentável para reduzir os impactos adversos do descarte inadequado de resíduos de cerâmica vermelha, visando a preservação efetiva dos ecossistemas e a promoção de um ambiente saudável.

Reutilizar o resíduo na produção de novos materiais. Esse processo traz como necessidade um estudo amplo sobre as características do RCV e sua influência nas propriedades dos solos. As características do RCV, tais como: massa específica, granulometria, plasticidade e composição variam de acordo com os métodos empregados de fabricação, assim como a composição das argilas, a temperatura de queima e o tipo de forno utilizado (Vieira, Teixeira, Monteiro, 2009).

A granulometria do RCV na literatura tem variado entre a granulometria das argilas e areias finas em função do processo de preparação do material. Enquanto isso, a massa específica varia de acordo com a origem do material. Portanto, é proposto compreender as características geotécnicas do resíduo de cerâmica vermelha com intuito de servir de base para a incorporação desse material em solo visando melhorar as características físicas e mecânicas do solo. O estudo se baseia na avaliação de três tipos distintos de amostras de resíduo, contendo fragmentos de telhas e tijolos moídos, com o propósito de empregá-las no processo de melhoramento do solo. Para tal, será realizado um estudo abrangente de caracterização geotécnica, visando elucidar quais propriedades do resíduo tem maior variabilidade

Essa caracterização fornece informações detalhadas sobre as propriedades geotécnicas dos resíduos, abrindo caminho para sua aplicação em projetos de construção civil, pavimentação, estabilização de taludes e outras aplicações relevantes. Espera-se que essa iniciativa não apenas beneficie a indústria da cerâmica vermelha, ao reduzir o descarte inadequado de resíduos, mas também contribua para a promoção da sustentabilidade ambiental e o avanço tecnológico desse setor.

2 PROBLEMATIZAÇÃO

O desafio global da geração demasiada de resíduos junto com a necessidade de reduzir os impactos ambientais inerentes ao avanço no setor de construção civil são pautas que precisam ser debatidas e solucionadas. O crescimento de atividades construtivas e urbanização dos municípios tem provocado um desdobramento substancial na geração de resíduos sólidos, das quais são comumente destinados a aterros, provocando um impacto negativo relevante para o meio ambiente. Diante dessa problemática, segundo o sistema nacional de informações sobre saneamento (Snis, 2021) nos municípios brasileiros os resíduos da construção e demolição (RCD) correspondem a cerca de 51% a 70% dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Nesse montante estão inseridos os resíduos de cerâmica vermelha que podem ocasionar impactos significativos no meio ambiente quando dispostos de maneira inadequada. Uma aplicação possível é utilizar os resíduos de cerâmica vermelha (RCV) como aditivo para o melhoramento das propriedades físicas e mecânicas no solo. No entanto, os estudos têm mostrado uma variabilidade expressiva nas propriedades desse material, o que influencia no impacto de sua incorporação em materiais geotécnicos.

Todavia, a contribuição científica almejada por este estudo reside na análise das propriedades geotécnicas do RCV para incorporação em solo. Ao investigar de maneira sistemática como essa técnica pode aprimorar a resistência, permeabilidade, capacidade de suporte e outras características do solo, este trabalho busca atribuir uma base de conhecimento sólida para a utilização sustentável dos resíduos cerâmicos na construção civil.

O estudo busca então atribuir uma base de conhecimento sólida para a utilização sustentável do RCV em pesquisas que avaliam características tais como a granulometria, massa específica, índice de plasticidade, e parâmetros de compactação.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Este trabalho tem por objetivo realizar uma caracterização geoécnica do resíduo de cerâmica vermelha proveniente de diferentes olarias para fins de utilização em técnicas de melhoramento de solo.

3.2 Específicos

- Avaliar a variabilidade das propriedades geotécnicas do RCV coletado em diferentes olarias da região do Alto Oeste Potiguar.
- Classificar de forma geotécnica o resíduo.

4 JUSTIFICATIVA

De acordo com os dados presentes na Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2021), é produzido um contingente de 8.157.602.000 peças por ano de cerâmica e blocos na qual provoca um impacto significativo ao meio ambiente. Todavia, isso se dá devido à falta de pesquisa e manejo adequado por parte do presente material.

Sobretudo, é compreendido a necessidade de um melhor destino ao descarte de restos cerâmicos no âmbito da construção civil. Desse modo, busca-se ter esse olhar de resolução ao dano gerado para com o meio ambiente em conjunto com o desenvolvimento dessa propriedade mecânica do material, acarretando melhoria e eficiência no processo de construção.

Diversos trabalhos já foram conduzidos no âmbito da reutilização do RCV em materiais geotécnicos, dentre eles o uso desse resíduo em solo para execução de obras de pavimentação (Silva E Varcvalho, 2017), em mistura com solo cimento (Oliveira, 2019) ou até mesmo em blocos intertravados coloridos (Alcantara, 2019), tendo sido obtidos resultados positivos nesses estudos. Entretanto, poucos pesquisadores avaliaram de maneira consistente a variabilidade nas características geotécnicas do RCV e seus impactos nas propriedades do solo melhorado, demonstrando a importância desse trabalho.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Indústria de Cerâmica Vermelha

O setor de cerâmica vermelha desempenha um papel de destaque na economia brasileira, ocupando o terceiro lugar no mercado global de revestimentos cerâmicos. De acordo com dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER), esse setor representa aproximadamente 6% do Produto Interno Bruto (PIB) da indústria de construção civil no Brasil. Além de sua relevância econômica, a cadeia produtiva da cerâmica vermelha é uma poderosa geradora de empregos, contribuindo com cerca de 300 mil empregos diretos e um significativo número de empregos informais. No entanto, é importante destacar que o setor enfrenta desafios relacionados à desqualificação da mão de obra, o que pode impactar negativamente a qualidade dos produtos e a competitividade do mercado.

Vale ressaltar que o Brasil abriga uma grande quantidade de empresas de olarias, totalizando aproximadamente mais de 6000, segundo a associação brasileira de cerâmica (ABCERAM). Essas empresas operam em diversas regiões do país, contribuindo para a diversificação da produção de cerâmica vermelha. A variedade de produtos fabricados por essas empresas inclui tijolos, telhas, blocos cerâmicos e outros materiais de construção.

É compreendido que há uma variabilidade entre estudos sobre a massa específica do RCV, como por exemplo essa propriedade física no intervalo de 1,77 a 1,87 g/cm³ (Torquato, 2016), entre a faixa de 1,35 a 1,53 g/cm³ (Santos, Souza e Ribeiro 2023) e inclusive 2,44 a 2,74 g/cm³ (Silva, Carvalho, 2021).

Percebe-se então, a grande variabilidade das propriedades desse resíduo, sendo então necessário entender os fatores que causam essa mudança e buscar padronizar um processo de beneficiamento do resíduo para técnicas de melhoramento.

5.2 RCV

Atualmente, o RCV tornou-se um material com variáveis aplicações, podendo ser utilizado como agregados em: solo-cimento, concreto e revestimentos. Tem como benefício sua sustentabilidade, pois trata-se de um subproduto da indústria cerâmica vermelha, que com o aumento da produção de cerâmica vermelha tem essa destinação como medida resolutiva.

Contudo, estudos correlatos têm abordado temas semelhantes, para tanto Augusto Junior (2020) investigou a reciclagem e caracterização de resíduos cerâmicos de construção, e concluiu que o RCV pode ser matéria-prima para compor o clínquer e substituir a argila natural, pois apresentou atividade pozolânica, sendo a capacidade de apresentar propriedades cimentícias a partir da combinação do material silicoso ou aluminoso com hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) além do que, ainda mostrou uma melhoria de 4% de resistência à compressão.

Já Hondo et al (2022) nortearam sua pesquisa para o melhoramento do solo para pavimentação com a técnica de estabilização por uso de RCV e cal como aditivo químico obtiveram resultados satisfatórios, como por exemplo redução do peso específico aparente seco e um aumento da umidade ótima de compactação, visto que o material cerâmico possui maior absorção de água quando comparado com o solo.

Oliveira (2019) estudou tempos diferentes de moagens do RCV e sua potencialidade quando incorporada em solo cimento, e a partir da conclusão tomada com base nos ensaios, foi esclarecido que houve um aumento de resistência para os três tempos de moagens de 9, 12 e 15 minutos, sendo respectivamente: SCR9 com 53,4%, SCR12 com 59,2% e 60% para SCR15. Portanto, foi proporcionado um melhoramento nas características com a adição química. No entanto, a aplicação específica de RCV como um material para estabilização de solo constitui um tema promissor que ainda carece de exploração abrangente.

5.3 Melhoramento do solo com RCV

Diversos trabalhos estudaram o uso do RCV em técnicas de melhoramento de solo. Silva e Carvalho (2017) verificaram que o uso de RCV, em misturas com 50% de resíduo e outros 50% de solo, e utilizado em camada de base de pavimentos de baixo tráfego possui resultados satisfatórios. Ao analisar o material como agregado nas amostras o valor da densidade específica dos grãos teve um aumento em relação ao solo original, o que resultou em um bom índice de umidade ótima, pois, nesse estudo, foi demonstrado que materiais cerâmicos possuem uma alta absorção de umidade.

Além disso, na análise granulométrica foi verificado que as partículas possuíam uma distribuição de acordo com a faixa de base, granulometria regulamentada pelo DNIT (2006), assim como notou-se uma queda no índice de curvatura (CC) e de não uniformidade (CNU). Por fim, a aplicação teve como descoberta importante a obtenção de uma boa resistência do

solo, e no ensaio de compactação as amostras se localizavam na parte inferior da curva de saturação. Então, o estudo abordado é fundamental, e fornece uma base sólida e inovadora para utilização de materiais cerâmicos na construção de rodovias de baixo tráfego, enfatizando um melhoramento na densidade do solo, granulometria e resistência, contribuindo para o avanço da infraestrutura viária.

Assim como a pesquisa mencionada, o estudo de Souza, (2020) tem o cerne da sua aplicação voltada a camadas de pavimentação, na qual buscou-se substituir o cimento Portland por resíduo cerâmico em mistura de solo-cimento, visto que devido ao alto custo de manutenção das malhas rodoviárias e a necessidade de substituição do aglomerante por conta dos índices de dióxido de carbono lançados a atmosfera foi proposta uma resolução para o mesmo, onde nos resultados com percentagens de 20% e 30% com material cerâmico consta redução da massa específica, uma boa capacidade de carga, como também a expansão para fins de sub-base para pavimentos.

5.4 Propriedades geotécnicas do RCV

A implementação do material em estudo para melhoramento do solo é uma técnica inovadora e promissora, no entanto com vantagens pertinentes. No projeto foi desenvolvido ensaios como o de granulometria, que possibilita a partir disso a determinação da curva granulométrica do material, sendo importante para entender a capacidade de compactação e de drenagem.

Em concordância com o estudo de Hansen (2016), o RCV apresenta maiores quantidades mineralógicas de sílica e alumina, na qual esse último mineral em maior composição determina ao resíduo uma maior atividade pozzolânica, ao qual é intimamente ligada a propriedade cimentícia, sendo essa combinação resultante contribui para aumento na resistência, melhora da durabilidade e diminuição de rachaduras.

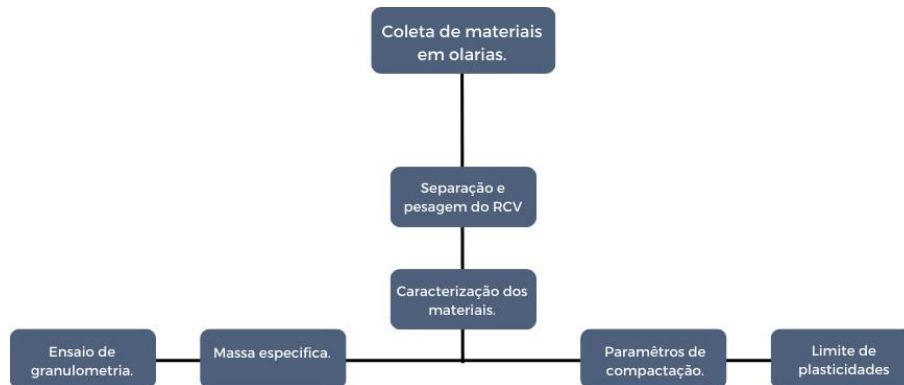
Em relação a granulometria da pozzolana, é um material granular e apresenta faixa de distribuições semelhantes. Todavia, outra característica geotécnica do resíduo, quando incorporado em mistura com cimento composto, é o de melhorar ou aumentar a resistência a compressão, bem como apresenta maior finura associada a uma elevada área superficial específica, que em alguns casos diminui o tempo de pega do cimento de acordo com Castro et al (2019).

6 METODOLOGIA

O presente trabalho se fundamentou em avaliar a variabilidade dos parâmetros geotécnicos do resíduo de cerâmica vermelha coletado em diferentes olarias do Alto Oeste Potiguar, como base para a reutilização deste material em processos de melhoramento de solo com uso de resíduos. Para tal, o trabalho foi dividido em três etapas, de acordo com o esquema apresentado na Figura 1. Inicialmente, foi realizado coletas do RCV, bem como aferição dos processos de fabricação dos artigos cerâmicos no intuito de identificar a influência desses processos nas características do resíduo.

Na segunda etapa, os materiais coletados foram catalogados e caracterizados no Laboratório de Geologia, Pavimentação e Mecânica dos Solos da UFERSA Campus Pau dos Ferros por meio de ensaios de caracterização geotécnica, a saber ensaios físicos de umidade, tâteis visuais, massa específica, granulometria por peneiramento, limites de liquidez e plasticidade e compactação do RCV.

Figura 1: Etapas dos ensaios.

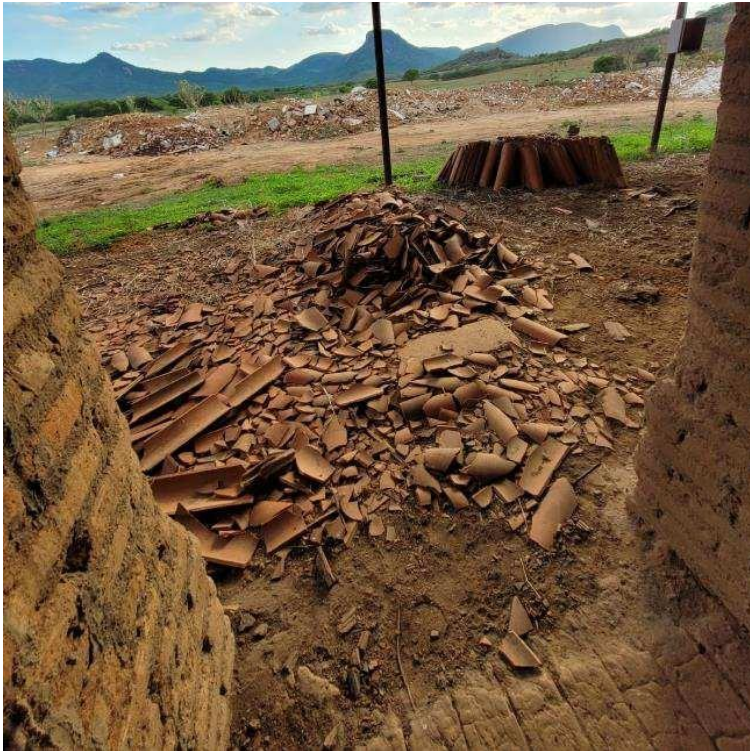


Fonte: Autoria própria, (2023).

6.1 Materiais e Métodos

O RCV foi coletado em olarias do Alto Oeste Potiguar, Olaria dos Mouras na zona urbana e na zona rural da cidade do Ererê, Olaria dos Nogueira, Marcelino Vieira e em Pilões. Foi obtido os fragmentos em uma quantidade suficiente para realização dos procedimentos de ensaio, contendo cerca de 20kg de cada amostra. As figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, os cacos cerâmicos e de tijolos.

Figura 2: Cacos cerâmicos na olaria Moura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 3: Restos de tijolos na olaria dos Nogueira



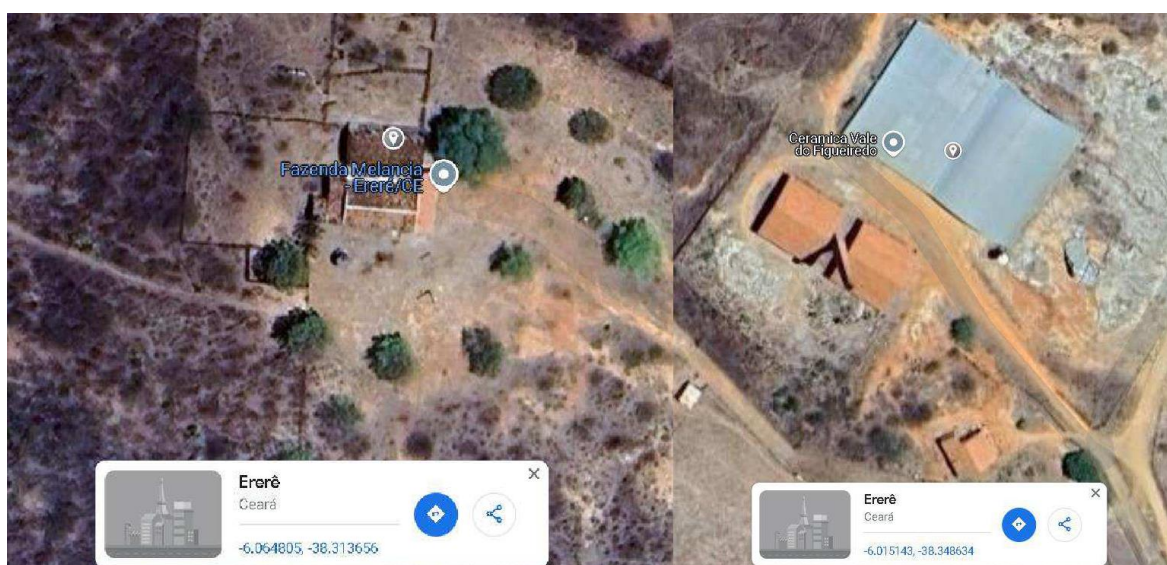
Fonte: Autoria própria (2023).

Para isso, foi feito uma coleta manual do material para que não houvesse uma contaminação com solo, lixos ou outros resíduos. Essa coleta foi feita com o uso de luvas e o resíduo foi armazenado em um saco, onde posteriormente foi analisado e caracterizado. Todavia, antes dos seguintes ensaios, foi executado a preparação das amostras conforme NBR 6457 (2016).

6.2 Coleta e Verificação dos Processos de Fabricação

A primeira coleta realizada foi na olaria das Melancias, onde estima-se que produza por dia cerca de 35 milheiros de tijolos. A fabrica é situada na zona rural do municio do Ereré/CE e conta com outra fábrica em Parnamirim/RN. Além disso, foi verificado que os materiais utilizados para os fins de fabricação são coletados nas jazidas e em regiões próximas ao centro da empresa, o que facilita no processo. O segundo material analisado é da olaria dos Moura, em que se encontra na zona urbana do Ererê e está desativada, no entanto ainda possui material armazenado, e que foi adquirido para estudo. O terceiro material para estudo foi obtido da olaria Vieirense localizada na cidade de Marcelino Vieira-RN. Na figura 4 tem a localização das olarias.

Figura 4: Olaria das Melancias e olaria Moura (zona rural e urbana, respectivamente).

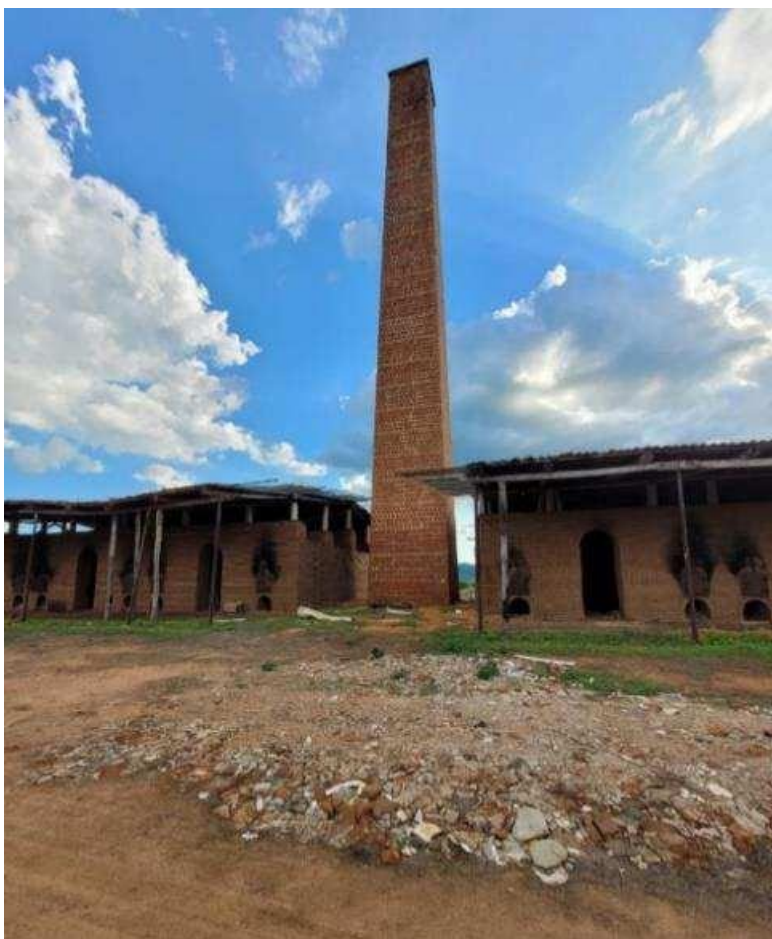


Fonte: Google maps, (2023).

Os tijolos e telhas cerâmicas são fabricadas com argila e água, e conta com auxílio dos moldes para obtenção das formas desejadas. Tal qual, são arrumados em fileiras para perderem a umidade naturalmente. Depois de seco, vão para a queima em altas temperaturas, com média acima de 900°C, essa queima possui como objetivo tornar os tijolos mais resistentes e duráveis. Nesse processo, a argila passa por transformação química, na qual desenvolvem uma estrutura sólida em consequência da fusão dos materiais.

Finalizado essa etapa, os tijolos são retirados e resfriados cuidadosamente para não haver rachaduras devido a mudança de temperatura, então passam por uma inspeção para verificação da qualidade. Por fim, os tijolos são empilhados e prontos para serem comercializados. Em seguida, a figura 5 mostra olaria Moura e a 6 consta a etapa de secagem logo após ser feito a queima.

Figura 5: Imagem da olaria dos Moura na zona urbana do município de Ererê-CE.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 6: Etapa de secagem após a queima dos tijolos na olaria das Melancias.



Fonte: Autoria própria, (2023)

6.3 Preparação das Amostras

Após ser feito a coleta em campo nas olarias, os materiais foram quebrados manualmente com auxílio de um martelo até passarem na peneira 19mm, o mesmo foi levado para o Abrasão Los Angeles para moagem. Finalizando esse processo em dois dias de preparação, o RCV foi novamente peneiramento na peneira 4,8mm, pois o objetivo é caracterizar como areia, ou seja dimensões próxima do agregado miúdo. dessa vez, resultando no tamanho adequado para início dos estudos de caracterização. Seguindo as figuras 7,8,9 e 10 verificamos esse processo:

Figura 7: peneiramento na malha 19mm.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 8: Etapa antes de levar para o Abrasão.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 9: Abrasão Los Angeles (moinho)



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 10: Peneiramento na malha 4,8mm após o moinho.



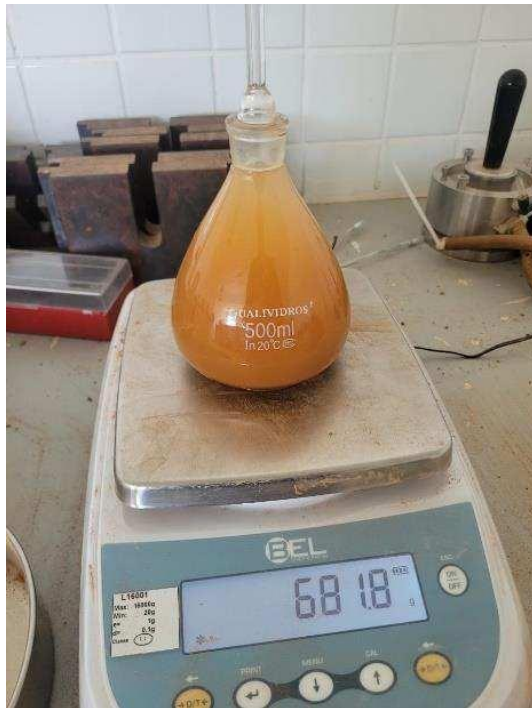
Fonte: Autoria própria, (2023).

6.4 Massa Específica

Esse ensaio é estabelecido pela norma NBR 6508 (2014) e tem por objetivo definir a densidade dos grãos do solo. A massa específica pode ser dividida em dois tipos, a aparente na qual será a massa que o material inclui os poros e os vazios, e a real que despreza esses dois pontos, representando apenas o material sólido em si. Com isso, esse estudo irá encontrar o valor da massa específica real.

Para preparação da amostra, faz-se o destorroamento e em seguida o peneiramento para pesagem da amostra em 200g, que será em seguida adicionada em um Becker com água por um intervalo de 24h para homogeneização e remoção das bolhas de ar. Será separado um picnômetro para que depois seja preenchido por água. Após o esvaziamento adiciona a amostra no picnômetro sendo coberto por água, será tampado e levado para bomba a vácuo para retirada do ar por 15 minutos. Em sequência, é retirado a mangueira e adicionado mais água no interior do recipiente até completar, para que seja repetido o processo de 15 minutos na bomba. Por final, faz a pesagem do picnômetro com a amostra composta por água e solo. A figura 11 demonstra esse processo de pesagem e a 12 o preenchimento do picnômetro com o resíduo.

Figura 11: Picnômetro com água e solo



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 12: Preenchimento do picnômetro



Fonte: Autoria própria, (2023).

A densidade real do solo é encontrada pela equação 1:

Equação 1: Densidade real do solo

$$Pd = \frac{p2 - p1}{(p4 - p1)(p3 - p2)}$$

Fonte: Pinto, (2009).

Onde:

P1= peso do picnômetro vazio e seco, em gramas

P2= peso do picnômetro mais amostra, em gramas

P3= peso do picnômetro mais amostra, mais água, em gramas.

P4= peso do picnômetro mais água, em gramas

6.5 Ensaio de Granulometria

O estudo da composição granulométrica foi fundamentado de acordo com a norma NBR 7181 (2016), e teve como finalidade determinar a distribuição de variados tamanhos do resíduo, de modo que isso é representado por uma curva granulométrica. Contudo, as amostras foram preparadas, e colocadas na estufa para secagem, que aconteceu por 24 horas.

O procedimento seguinte é o peneiramento utilizando peneiras com as aberturas: 4,98mm – 4,00mm – 2,80mm- 1,18mm- 600um- 425um- 300um- 150um-75um de diâmetro; mais adiante, é anotado todo material retido em cada peneira em relação ao peso da amostra total seca. Em face do exposto, na figura na figura 13 apresenta as peneiras usadas.

Figura 13: Peneiras usadas.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Será determinado o peso total da amostra pela seguinte equação:

Equação 2: Peso total da amostra

$$ps = \frac{(pt - pg)}{100 + h} 100 + pg$$

Fonte: Pinto, (2009).

Onde:

Ps = Peso total da amostra seca;

Pt = Peso total da amostra seca ao ar;

Pg = Peso do material retido na peneira N° 10;

H = Umidade higroscópica do material passado na peneira N° 10

Em relação a percentagem de material passante é calculado por:

Equação 3: percentagem passante

$$Qg = \frac{ps - pt}{ps} 100$$

Fonte: Pinto, 2009.

Onde:

Qg = Percentagem do material passado em cada peneira; Ps = Peso total da amostra seca;

Pt = Peso do material retido acumulado.

Para encontrar os coeficientes de curvatura (CC) e o coeficiente de não uniformidade (CNU) é necessário obter os valores de D10, D30 e D60. Com isso, é possível afirmar se o solo é muito ou pouco uniforme, e se possui uma curva granulométrica contínua, suave ou descontínua. Os quadros 1 e 2 definem o que foi citado.

Quadro 1: Coeficiente CNU.

COEFICIENTE DE NÃO UNIFORMIDADE	
Uniformidade	CNU
Muito Uniforme	Menor que 5,0
Uniformidade Média	Entre 5,0 e 15,0
Desuniforme	Maior que 15,0

Fonte: Pinto, (2009). Quadro

2: Coeficiente CC.

COEFICIENTE DE CURVATURA	
Curva	CC
Descontínua	Menor que 1,0
Suave	Entre 1,0 e 3,0
Muito Uniforme na Parte Central	Maior que 3,0

Fonte: Pinto, (2009).

6.6 Ensaio de Compactação

A norma que fundamenta os procedimentos para esse ensaio é a NBR 7182 (2016), a qual tem por objetivo estudar a capacidade do solo em ser compactado para realização do ensaio, é preciso fazer o destorroamento da certa quantidade de amostra na quantidade de 15kg e em seguida passar pela peneira de abertura 4,8mm e obter a umidade higroscópica.

Após isso, adiciona-se água até se atingir uma umidade esperada e boa, e é feita a homogeneização para ser colocado no molde cilíndrico em 3 camadas possuindo 9928,88 de volume total; nesse momento, a cada 1/3 do molde são aplicados 21 golpes com o soquete médio, ou seja é exercido a energia por impacto.

Com isso, faz-se a pesagem do conjunto cilindro mais solo úmido, e coleta-se uma amostra do solo compactado para determinação da umidade. Esse processo será repetido 5 vezes para teores crescentes de umidade; assim, é possível determinar a umidade ótima, e traçar a curva de compactação.

6.7 Limites de Consistência

6.7.1 Limite de liquidez.

O ensaio de limite de liquidez é fundamentado pela NBR 6459 (2016) e está interligado com a capacidade do solo passar do estado plástico para o estado líquido do solo; separado 200g desse material foi disposto na concha do aparelho de Casagrande e colocado em uma vasilha para ir fazendo a mistura com água.

Os valores são encontrados quando há uma união das bordas inferiores da canelura, ao qual obtém-se o teor de umidade é o limite de liquidez (LL) da amostra; Portanto, tal limite é o teor de umidade encontrado no solo, e esse valor é encontrado a partir da pesagem de amostras coletadas antes e depois do ensaio a 25 golpes. Com os valores de LL, o solo pode ser classificado de acordo com o quadro 3 como:

Quadro 3: Classificação dos solos de acordo com o LL:

Plasticidade Alta: $LL > 25\%$
Plasticidade Média: $15\% < LL < 25\%$
Plasticidade Baixa: $LL < 15\%$

6.7.2 Limite de plasticidade.

Para encontrar o limite de plasticidade (LP) normalizado pela NBR 7180 (2016) a amostra é homogeneizada com água em um recipiente, depois molda-se em um formato elipsoidal, onde é rolado em uma placa de vidro até que se encontre um formato de cilindro; o ensaio é realizado até atingir o comprimento de 100mm e o diâmetro de 3mm, que será coletado para obtenção da umidade; por conseguinte, o LP é encontrado pelo método das médias. Com isso, sabe-se que o índice de plasticidade será determinado pela seguinte expressão composta com os valores dos limites de consistência encontrados:

Equação 4: Limite de plasticidade

$$LP = IP - LL$$

Fonte: Pinto, 200

7 RESULTADOS E DISCURSÕES

7.1 Massa Específica

Os valores encontrados para a massa específica real do material encontram-se apresentadas no quadro 4 a seguir:

Quadro 4: Massa específica das olarias.

Olarias	Massa específica dos grãos do solo (g/cm ³)
Moura	2,259
Melancia	2,11
Vieirense	1,976

Fonte: Autoria própria, (2023).

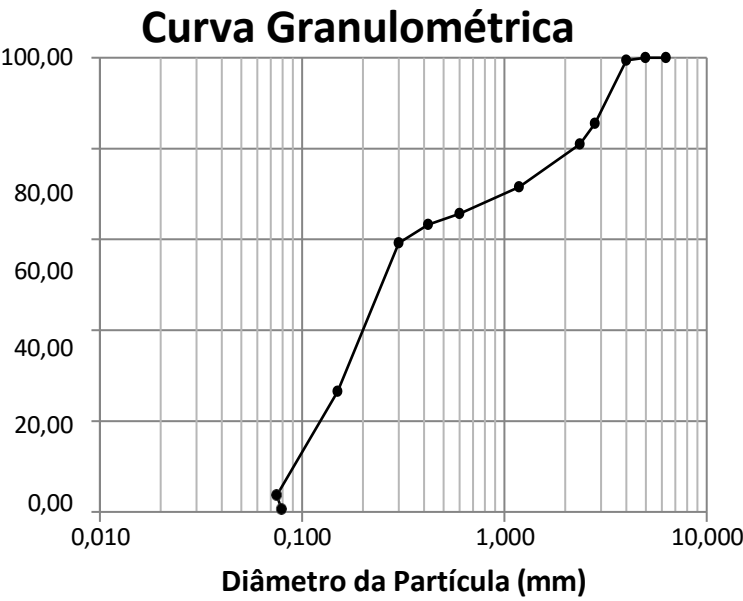
Conforme os valores obtidos no quadro 4, os resultados ficaram abaixo do esperado, possivelmente, pela própria propriedade do material ou por erros experimentais, como a falta de vedação da mangueira utilizada na bomba a vácuo. Todavia, os valores permaneceram próximo ao trabalho de Fastofski et al (2014), que obteve 2,31g/cm; tal qual foi relatado que para fazer o emprego do resíduo de cerâmica vermelha na pasta cimento, por estar com valor abaixo da massa específica do cimento de 3,11g/cm, se faz necessário haver uma compensação de massa.

Com isso, o emprego do RCV em matrizes cimentícias é uma das possibilidades de reutilização, e conforme a pesquisa citada, necessita de outros estudos para concluir o comportamento mecânico da pozolana.

7.2 Granulometria

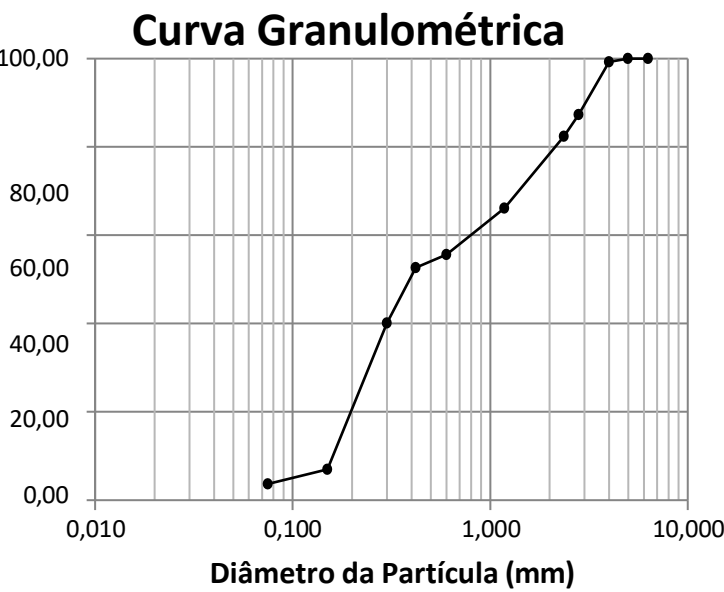
Nas figuras 14,15 e 16 é apresentada a curva granulométrica do RCV coletado na olarias dos Moura- CE, Melancia-CE e Vierense-RN, respectivamente.

Figura 14: Gráfico da composição granulométrica do RCV na olaria dos Moura/ Ererê-CE



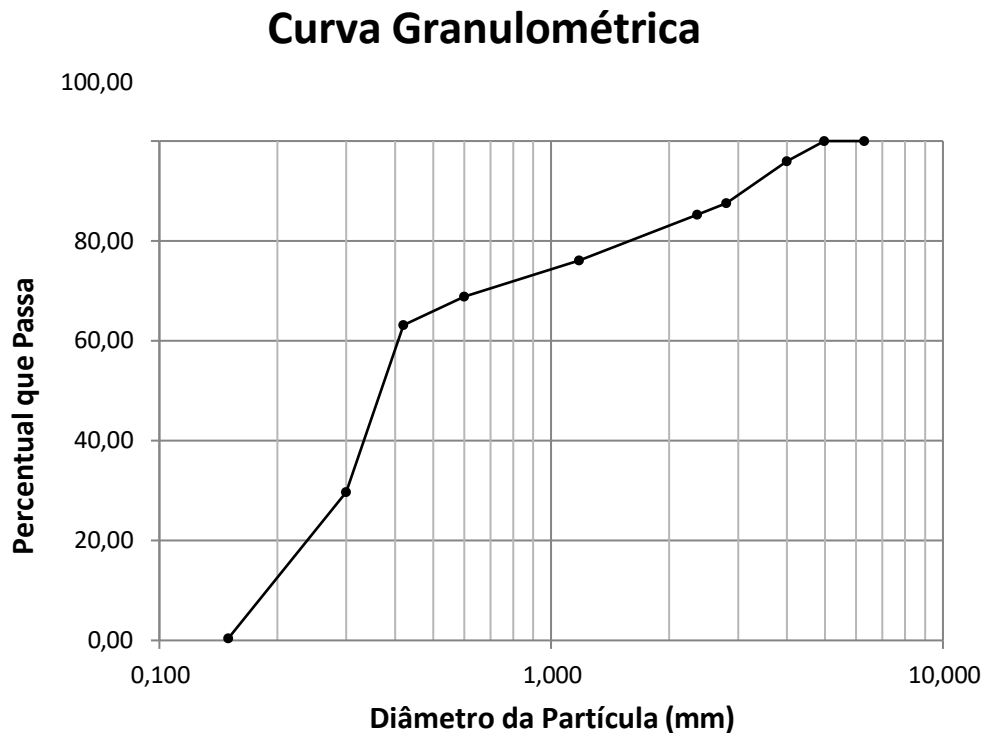
Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 15: Gráfico da composição granulométrica do RCV na olaria das Melancias/Ererê



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 16: Gráfico da composição granulométrica na olaria Vierense/Marcelino Vieira-RN.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Por meio do Sistema Unificado de Classificações (SUCS) foi possível caracterizar esses resíduos, ao qual foi obtido a percentagem P passante na peneira de número 200 de cada um, como também com o auxílio dos valores de CNU e CC; através disso foi evidenciado que as amostras tratam-se de areias mal graduadas

Entretanto, na primeira amostra, o solo Moura, é um resíduo muito uniforme, o que significa que as partículas do solo são de tamanhos relativamente similares, e uma curva descontínua. O solo Melancia assim como o anterior, também é verificado um material muito uniforme e uma curva descontínua; já o solo Vierense, é muito uniforme e com uma curva suave. Em continuidade, no quadro 5 possui os valores de CNU, CC, D10, D30 E D50.

Quadro 5: Valores de CNU, CC, D10, D30 E D60:

	Olarias		
	Moura	Melancia	Vieirense
CNU	3,376	5,138	2,054
CC	0,89	0,47	1,114
D10	0,096	0,164	0,199
D30	0,166	0,254	0,301
D50	0,255	0,388	0,354

Fonte: Autoria própria, (2023).

CNU (coeficiente de não uniformidade) é a variação da distribuição granulométrica das partículas do resíduo. As duas amostras Moura e Vieirense obtiveram resultados abaixo de 5 mostrando ser muito uniforme, e apenas a olaria Melancia com valor acima de 5,0 com uniformidade média.

Já o D10 diâmetro das partículas no qual 10% da massa total é mais fina e 90% mais grossa; Moura apresentou 0,096mm de D10 indicando partículas mais finas, o que ocasiona maior dificuldade na compactação e maior erosividade; a olaria Melancia com D10 de 0,164mm é um tamanho mediano, e o vieirense com D10 de 0,199 demonstrando ser partículas mais grossas, ao contrário das amostras anteriores essa tem melhor permeabilidade, compactação e menor erosividade.

Os valores de D30 confirmam essas características supracitadas, assim como o diâmetro médio dos resíduos sendo analisados com todos esses valores granulométricos revela que o Moura com D50 igual a 0,255mm realmente corresponde à partículas finas, o D50 de 0,388 da olaria

Melancia caracteriza tamanhos medianos, e por último, a Vierende, com tamanhos relativamente mais grossos. Ou seja, os resultados apresentaram certas diferenças nas caracterizações, de acordo com o quadro 6.

Quadro 6: Teores de frações.

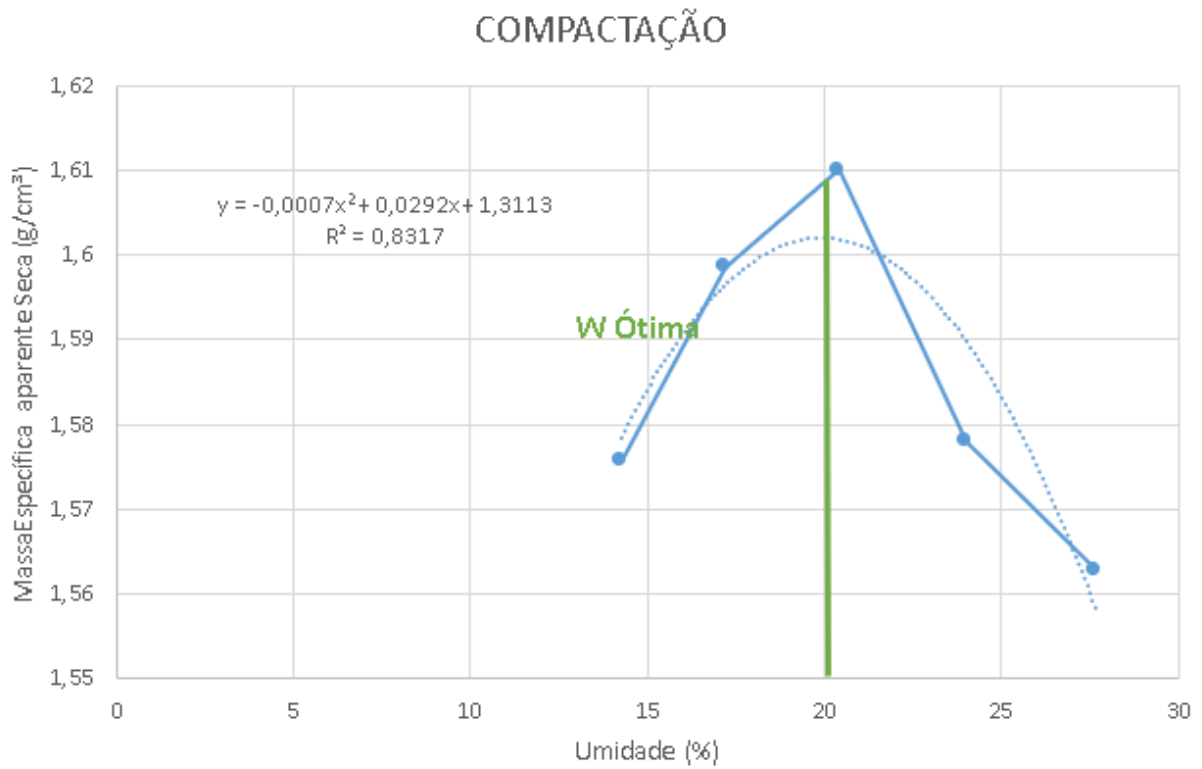
Frações %	Vierende	Moura	Melancia
Silte e argila	0,38	0,36	0,36
Areia fina	9,82	37,06	17,66
Areia média	58,65	28,27	37,60
Areia grossa	16,39	15,27	26,76
Pedregulho	14,76	19,04	17,62

Fonte: Autoria própria, (2023).

7.3 Compactação

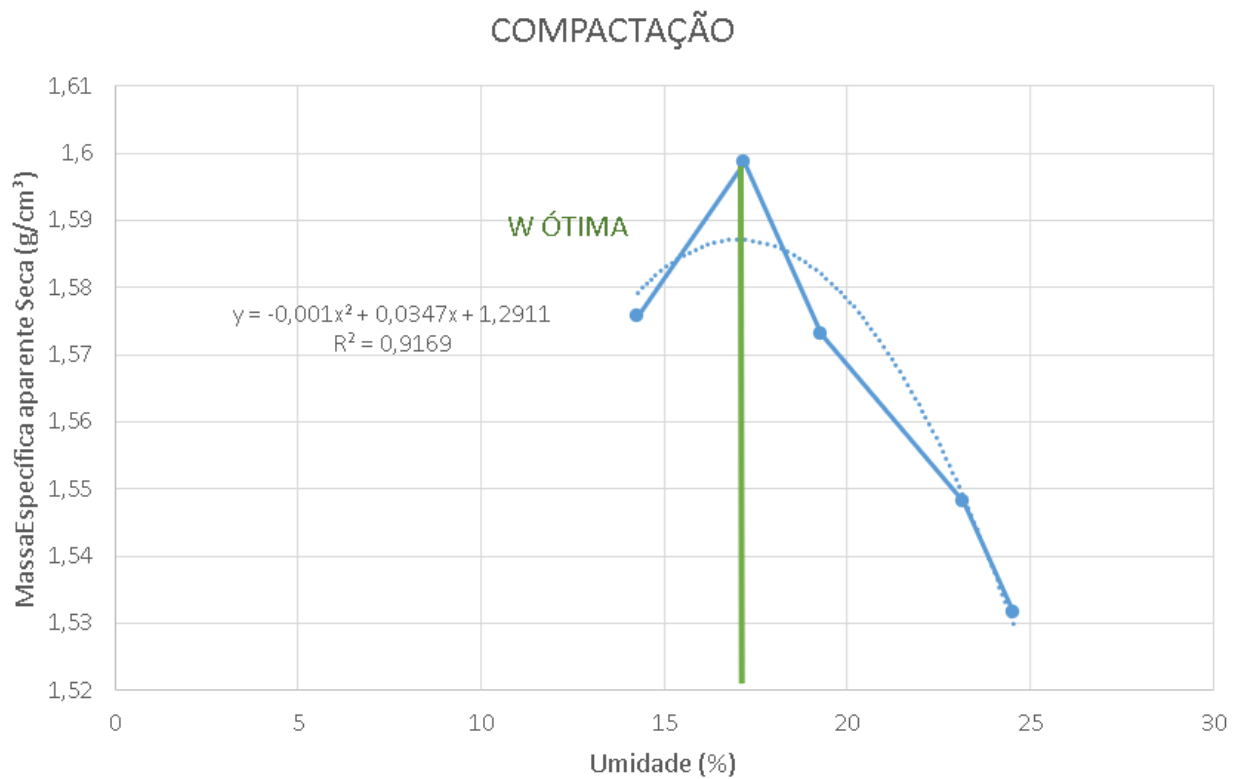
As figuras 17,18 e 19 tem como objetivo analisar os três tipos de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) provenientes de olarias distintas, de forma para caracterizar suas propriedades.

Figura 17: Curva com a umidade ótima da olaria Moura/ Ererê, CE.



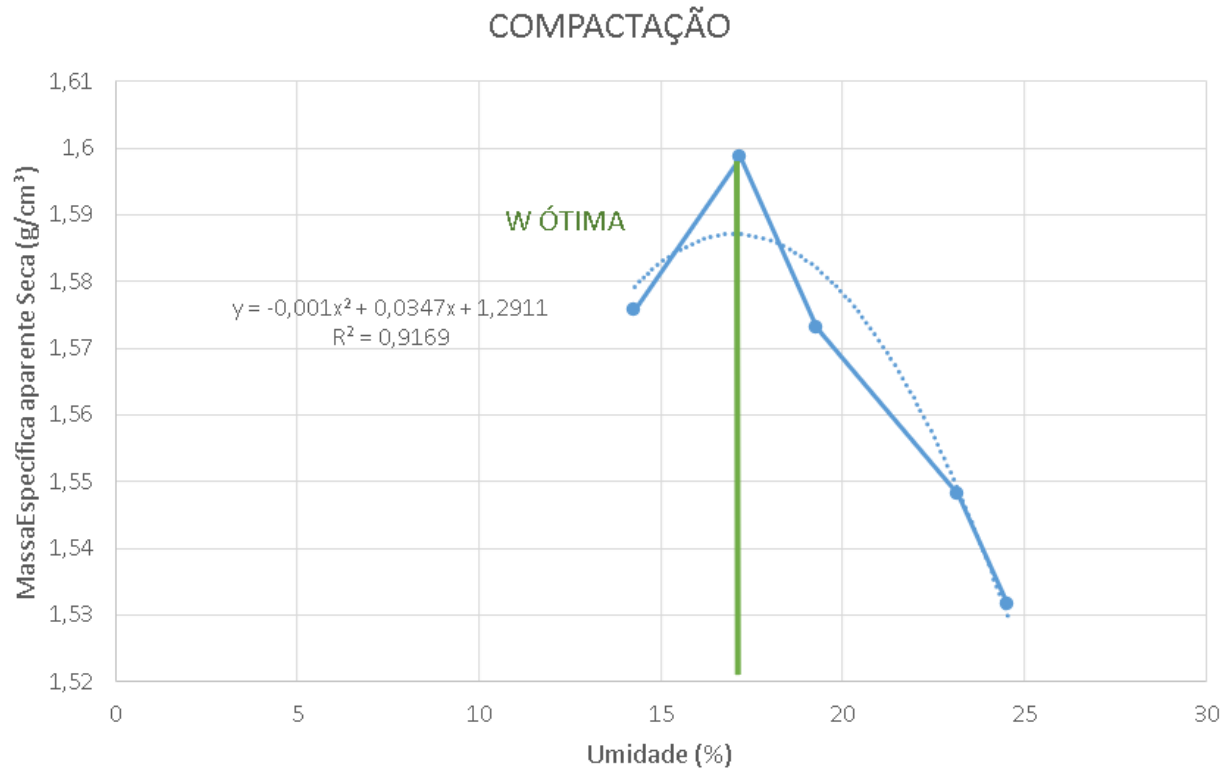
Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 18: Curva de compactação com a umidade ótima da olaria Melancia/ Ererê-CE.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 19: Curva de compactação com a umidade ótima da olaria Vierense/Marcelino Vieira-RN.



Fonte: Autoria própria, (2023).

No quadro 7 é possível verificar os valores de umidade e massa específica aparente seca máxima dos resíduos.

Quadro 7: Teores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima.

Olarias	Umidade ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (KN/m³)
Moura	17%	15,99
Melancia	16%	16,22
Vieireense	20%	15,88

Fonte: Autoria própria, (2023).

Esses três gráficos mostram os resultados de compactação, são feitos a partir de regressões quadráticas, no entanto possuem umidade ótima próxima ao valor de 17% na olaria Vieireense e das Melancias, já a Vierense com cerca de 20%; a similaridade da umidade ótima é atribuída aos processos de produção e a origem geológica da matéria-prima utilizada. Para isso, essa faixa é considerada ideal para compactação do solo, já que é possível obter a máxima densidade seca com menor esforço de compactação. Sobretudo, os resultados não estão similares ao trabalho de

Manrich et al (2022), provavelmente pelo fato de possuir teores de frações de solos diferentes, caracterizando propriedades como massa específica aparente seca máxima com valores divergentes.

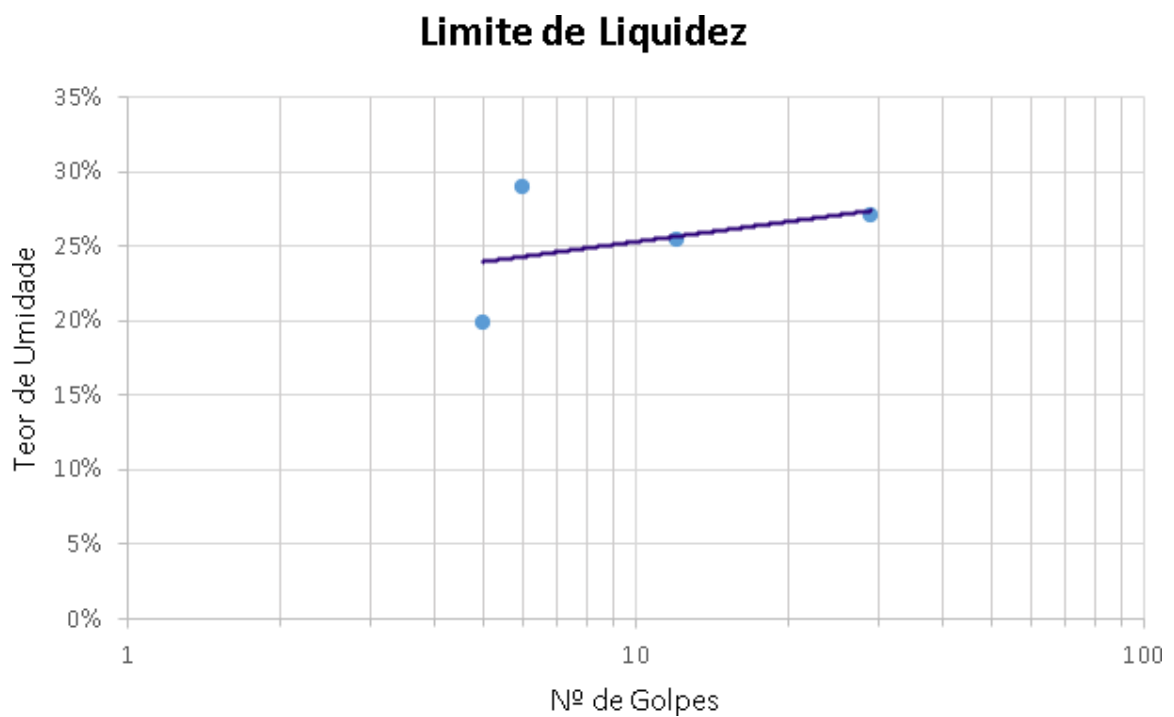
7.4 Limite de consistência

O gráfico do Limite de Liquidez (LL) é uma ferramenta importante para a indústria cerâmica, pois fornece informações precisas sobre o comportamento da argila e o teor de umidade.

7.4.1 Limite de liquidez

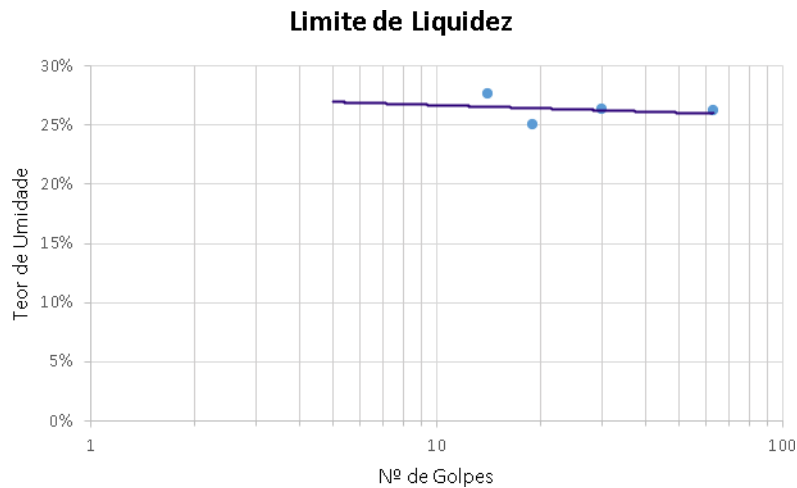
Os gráficos das figuras 20,21 e 22 dos resíduos mostram a tentativa de elaboração do LL:

Figura 20: Limite de liquidez com teor de umidade da olaria Moura/Ereré-CE.



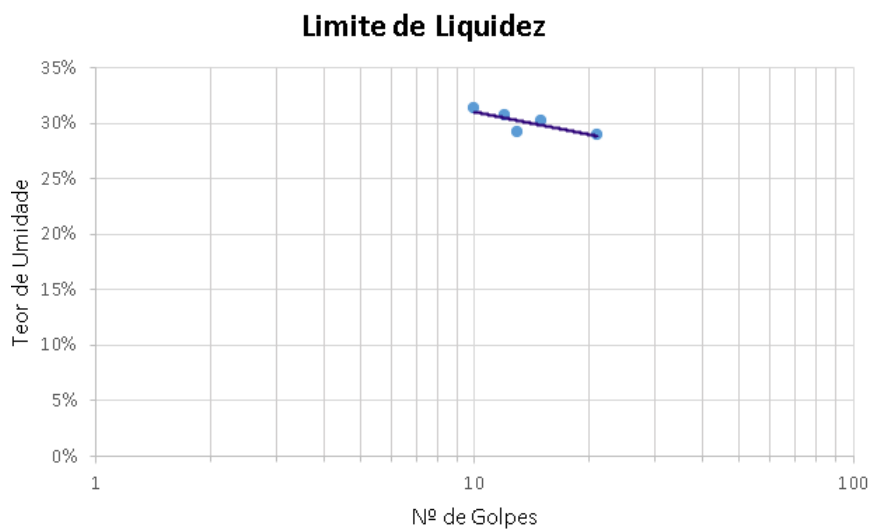
Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 21: Limite de liquidez com teor de umidade da olaria Melancia/Ereré-CE.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 22: Limite de liquidez com teor de umidade da olaria Vierense/Marcelino Vieira-RN



Fonte: Autoria própria, (2023).

O comportamento dos gráficos apresenta inconsistências, uma vez que o solo reage da maneira que quanto mais úmido, menos golpes seriam necessários. Outro fato, é que os pontos estão dispersos, fato que é evidenciado na realização do ensaio, onde as caneluras arrasadas facilmente se quebravam, impossibilitando ser executado coerentemente, visto que o procedimento do ensaio solicita que contenha faixas superiores a 25 golpes, e houve dificuldade.

7.4.2 Limite de plasticidade

No ensaio de limite de plasticidade não atendeu as expectativas do ensaio de LL, pois nenhum dos três materiais foi possível fazer a moldagem no diametro estabelecido por norma. Fato esse, que os solos logo ficavam quebradiços, demonstrando baixa coesão e plasticidade para o objetivo procurado. É evidenciado esse fato nas figuras 23, 24 e 25.

Figura 23: tentativa de moldagem da amostra.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 24: amostra com fissuras após tentativas.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 25: amostra sem nenhuma coesão.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Nesse ensaio, foi separado 200g do solo para tentativa da moldagem na forma de cilindro, no entanto não foi possível obter o formato buscado. Como não foi concebível encontrar os valores para o limite de plasticidade, as três amostras estudadas se caracterizam como materiais não plásticos; possivelmente, pelo fato advindo do processo de sinterização da cerâmica, onde ocorre a alteração química do material, que passa a possuir um comportamento diferente em relação a matéria-prima, a argila.

A falta de plasticidade da cerâmica vermelha ao uso de melhoramento de solo interfere em suas propriedades mecânicas, como: falta de coesão, já que as partículas do solo não conseguem se ligar entre si, o que pode levar a uma baixa resistência a erosão; não se compacta bem, o que pode gerar adensamentos no solo e problemas de drenagens; sendo constatado também que torna-se um material frágil e apresentou fissuras. De acordo com o trabalho de Fagundes (2019) concluiu-se que possui características de um resíduo com baixa plasticidade.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho abordou a caracterização do resíduo de cerâmica vermelha em consonância com a questão da sustentabilidade no contexto da crescente demanda por recursos naturais e do avanço tecnológico. A análise crítica do cenário atual evidenciou a necessidade de repensar os modelos de produção e descartes dos materiais para garantir a preservação ambiental e o bem-estar das gerações presentes e futuras.

As amostras Vieirense, Moura e Melancias tiveram valores de massa específica próximo de $2,0 \text{ g/cm}^3$, resultado análogo ao encontrado por Fastofski et al (2014), que obteve $2,31 \text{ g/cm}^3$. De acordo com os valores de granulometria, os três resíduos são classificados como areia mal graduada (SP), portanto vão apresentar boa trabalhabilidade com materiais de construções, tal qual apresenta ainda uma boa resistência quando compactada. O resultado do solo Moura foi caracterizado como muito uniforme, sendo de tamanhos parecidos; O segundo solo, o das melancias, com as informações tem-se obtido uma uniformidade média e curva descontínua, ou seja, possui um espaço ou ausência de determinada faixa de grãos; O vieirense em contrapartida, é qualificado como muito uniforme e curva suave, portanto é bem graduado com uma distribuição homogênea das partículas.

A partir do ensaio de plasticidade nas três amostras foi possível determinar que trata-se de materiais não plásticos (NP) pois ao realizar o procedimento experimental se fragmentava e fissurava, fato decorrente do processo de sinterização que muda as propriedades químicas do resíduo, ou seja sem coesão, podendo sofrer por erosão mais facilmente. No entanto, no ensaio de limite de liquidez também não houve resultados satisfatórios, pois não foi concebível chegar aos 25 golpes, além do material apresentar a mesma falta de coesão ao se desprender da concha e impossibilitar a realização do mesmo. Os três resíduos apresentaram umidade ótima próxima ao valor de 17%, possivelmente, por possuir processos de fabricações semelhantes e a origem geológica da matéria-prima utilizada.

Apesar disso, é satisfatório que exista caracterizações em uma quantidade maior de olarias, assim como também a realização de outros ensaios como a determinação da atividade pozolânica e o da composição morfológica.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTO JUNIOR, José. Caracterização e reciclagem de resíduos cerâmicos de construção civil para aplicação como adição pozolânica e como componente de clínqueres visando novos cimentos. 2020.

CASTRO, Alessandra Lorenzetti de et al. Caracterização de cimentos compostos com resíduo da indústria de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, v. 63, p. 65-76, 2017.

DOS REIS, Alessandra Savazzini; DELLA-SAGRILLO, Viviana Possamai; VALENZUELA-DIAZ, Francisco Rolando. Caracterização de resíduo de massa cerâmica crua para aproveitamento em cerâmica vermelha. 2015.

FAGUNDES, Luiza Perroni. Utilização de resíduo de cerâmica proveniente de olarias para estabilização de solo laterítico. 2019.

FASTOFSKI, Daniela Chiarello et al. Metodologia de caracterização de resíduo de cerâmica vermelha para emprego como material pozolânico em pasta de cimento. 5th Fórum Mundial de Resíduos Sólidos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2014.

MANRICH, Claudiney et al. Avaliação do comportamento geotécnico de um solo estabilizado com resíduo de cerâmica vermelha. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 14, n. 3, 2022.

OLIVEIRA, Maria Alanya da Costa de. Influência do tempo de moagem na potencialidade de incorporação do resíduo de cerâmica vermelha em solo cimento. 2019.

SOUSA, André Albino de. Potencial de substituição do cimento Portland por resíduo cerâmico em mistura de solo-cimento para aplicação em camada de pavimentação. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso.

VIEIRA, C. M. F.; TEIXEIRA, S. S.; MONTEIRO, S. N. Efeito da temperatura de queima nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha contendo chamote. *Cerâmica*, v. 55, p. 332-336, 2009

HONDO, Kalebe de Almeida; MANDIRA, Tiago. Melhoramento de solos para pavimentação através da técnica de estabilização por aditivos químicos: resíduo de cerâmica vermelha e cal. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LIMA, João Henrique Camelo. Utilização de Resíduos de Construção e Demolição para pavimentos urbanos da Região Metropolitana de Fortaleza. 2008.

GARCIA, Eduardo et al. Resíduo de cerâmica vermelha (RCV): uma alternativa como material pozolânico. *Cerâmica Industrial*, v. 19, n. 4, p. 31-38, 2014.

GRIGOLETTI, Giane de Campos; SATTLER, Miguel Aloysio. Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. Ambiente construído: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, RS. Vol. 3, n. 3 (jul./set. 2003), p. 19-32, 2003.

HANSEN, Débora Magali. Avaliação das propriedades pozolânicas de um resíduo de cerâmica vermelha para emprego como material cimentício suplementar. 2016.