



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MATEUS LACERDA DUARTE
WESLEY DA SILVA SOUZA**

**FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO
DE RESIDUO INDUSTRIAL**

PUBLICAÇÃO Nº: 14

**GOIANÉSIA / GO
2020**



**MATEUS LACERDA DUARTE
WESLEY DA SILVA SOUZA**

**FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO
DE RESIDUO INDUSTRIAL**

PUBLICAÇÃO N°: 14

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

ORIENTADOR: ROBSON DE OLIVEIRA FELIX

GOIANÉSIA / GO: 2020

**MATEUS LACERDA DUARTE
WESLEY DA SILVA SOUZA**

**FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO
DE RESIDUO INDUSTRIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**ROBSON OLIVEIRA FELIX, Especialista (FACEG)
(ORIENTADOR)**

**IGOR CÉZAR SILVA BRAGA, MESTRE (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**IVANDRO JOSÉ DE FREITAS ROCHA, MESTRE (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 13 de JUNHO de 2020.

Mateus Lacerda Duarte

Dedico este trabalho a todos aqueles que estiveram conosco nessa caminhada: aos meus pais Valdeir, Deise e Denísio, irmão Marcílio, amigos, orientador Robson Félix e professores. Enfim, a todos que nos ajudaram e acreditaram no nosso potencial durante esta jornada.

Wesley da Silva Souza:

*Dedico este trabalho:
aos meus pais, Waldir Batista e Maria Lucimar;
ao meu irmão, Warley;
aos meus familiares que tanto me ajudou nesta conquista e
à minha esposa Silvânia pela paciência e luta na jornada.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por ter nos presenteado com a intelectualidade à vida. Pela fé, determinação e esperança de dias melhores. Aos meus pais, Maria Lucimar e Waldir Batista, pelo incentivo dado sempre a obter formação superior e por toda ajuda financeira e psicológica durante esse período de aprendizado. Meus pais são meus exemplos de moral e desenvolvimento pessoal. Quero agradecer também ao restante de meus familiares mesmo aqueles que já se foram e tenha certeza que estariam torcendo por mim. Ao meu irmão Warley pelo incentivo e exemplo de pessoa. A minha esposa Silvânia pela paciência das horas e dias dedicados ao estudo. Por toda força que me deu a obter o diploma de graduação. Tenho a agradecer a todos que me incentivam e apoiam nessa caminhada que não se encerra aqui e sim é o primeiro passo para maiores conquistas.

Quero agradecer também ao meu professor orientador Me. Robson Felix que muito me apoiou e cooperou no desenvolvimento deste trabalho, horas e dias a fio para eu saísse o melhor de nós. Quero agradecer também pelas dicas e dúvidas resolvidas que foram muito gratificantes.

Muito obrigado pelas amizades desenvolvida durante a graduação que tenho certeza que algumas serão para vida. Todo o apoio dos colegas e amigos durante essa trajetória que se concretiza agora.

“Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo. Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta.”

Chico Xavier

RESUMO

O desenvolvimento de alternativas de consumo para matérias primas que estão em abundância na natureza é de bom proveito quando se alcança bons resultados durante as pesquisas e se obtém produtos ideais insertes no mercado de consumo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar e desenvolver tijolos de solo cimento compostos por argila, cimento e escória nas proporções em porcentagem para a escória de aciaria em 0%, 15%, 30%, 45% e 60% substituindo a argila durante o acréscimo. Foram 13 ensaios, para cada proporção e sendo executados ensaios em amostras individuais para se obter desvios padrões. A caracterização dos materiais se dá pelos ensaios de granulometria que foi executado nos agregados argila e escória; picnometria líquida para argila, escória e cimento; e pelo ensaio de absorção de umidade nos corpos de prova de referente proporção à adição de escória de aciaria. A produção dos tijolos se deu após a definição de traço em volume e massa dos elementos envolvidos no projeto, efetuando assim a dosagem dos materiais para posterior cura durante o período de 14 dias em estufa de umidade. Para realização de ensaios de dureza, utilizou-se o método de ensaio à compressão para tijolos de solo-cimento em prensa hidráulica devidamente calibrada. Na idade de 14 dias, a avaliação dos tijolos quanto ao ensaio de resistência, se deu com a média entre os resultados obtidos de 2,30MPa com respectivamente 0% de escória de aciaria; 2,32MPa com 15% de escória de aciaria; 4,08MPa com 30% de escória de aciaria; 2,14MPa com 45% de escória de aciaria; e 1,88MPa com 60% de escória de aciaria, único percentual avaliado que não atingiu os limites estabelecidos por norma de 2MPa.

Palavras-chave: Tijolos de solo cimento, Compostos de argila, cimento e escória, Desenvolvimento de alternativas.

ABSTRACT

The development of consumption alternatives for raw materials that are abundant in nature is of great benefit when good results are achieved during research and ideal products are inserted in the consumer market. The objective of this work was to characterize and develop cement soil bricks composed of clay, cement and slag in percentages for steelmaking slag in 0%, 15%, 30%, 45% and 60% replacing the clay during the addition. There were 13 tests, for each proportion, and tests were performed on individual samples to obtain standard deviations. The characterization of the materials occurs through the granulometry tests that were performed on the clay and slag aggregates; liquid pycnometry for clay, slag and cement; and by the moisture absorption test in the specimens of relative proportion to the addition of steel slag. The production of the bricks took place after defining the trace in volume and mass of the elements involved in the project, thus carrying out the dosage of the materials for subsequent curing during the period of 14 days in a humidity oven. To perform hardness tests, the compression test method for soil-cement bricks was used in a duly calibrated hydraulic press. At the age of 14 days, the evaluation of the bricks regarding the resistance test, occurred with the average between the results obtained of 2.30MPa with respectively 0% of steel slag; 2.32MPa with 15% steel slag; 4.08MPa with 30% steel slag; 2.14MPa with 45% steel slag; and 1.88MPa with 60% steel slag, the only percentage evaluated that did not reach the limits established by the 2MPa norm.

Keywords: Cement soil bricks, Clay, cement and slag compounds, Development of alternatives.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Máquina utilizada para compactação dos corpos de prova.....	17
Figura 2 – Tijolo de solo cimento.....	18
Figura 3 - Curva Granulométrica das amostras de argila.	21
Figura 4 - Curva Granulométrica das amostras de escória de aciaria.	22
Figura 5 - Ensaios de densidade por picnometria líquida.....	22
Figura 6 - Corpos de prova sendo medidos para posterior preparo de ruptura.	25
Figura 7 - Prensa utilizada durante os ensaios	26

LISTA DE TABELA

Tabela 1 -Classificação das composições de cimento Portland.	8
Tabela 2 - Classificação dos solos segundo a granulometria.	9
Tabela 3 - Índice de plasticidade do solo em relação a quantidade de cimento para obter a resistência à compressão do bloco de solo cimento saturado.	10
Tabela 4 - Composições Típicas de Escória.	11
Tabela 5 - Composição do traço.	15
Tabela 6 -Volume de traço para um bloco.	16
Tabela 7 -Massa de traço para um bloco.	16
Tabela 8 -Tipos e dimensões nominais de tijolos solo-cimento segundo NBR 8491.	17
Tabela 9 - Ensaio Granulométrico Geral - Argila.	20
Tabela 10 - Ensaio Granulométrico Geral – Escória de aciaria.	21
Tabela 11 - Ensaio por picnometria líquida – Escória e cimento.	23
Tabela 12 - Desvio padrão na densidade dos materiais: areia, escória e cimento.	23
Tabela 13 - Ensaio por picnometria líquida da argila.	23
Tabela 14 - Desvio padrão na densidade da argila.	24
Tabela 15 - Características dos argilo-minerais.	24
Tabela 16 - Resistência à compressão de tijolos de solo cimento aos 14 dias de cura.	25
Tabela 17 - Taxa de absorção de umidade aos 14 dias em tijolos de solo cimento com adição de escória.	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

DMC – Dimensão Máxima Característica.

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia.

NBR – Norma Brasileira.

MF – Módulo de Finura.

S.I. – Sistema Internacional.

LL – Limite de Liquidez.

LP – Limite de Plasticidade.

LC – Limite de Contração.

IP – Índice de Plasticidade.

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Área de seção transversal (m^2).

m – Massa da amostra / material (kg).

V – volume da amostra / material (m^3).

ρ – Densidade específica (kg/m^3).

DP – Desvio padrão.

x_i – Valor individual.

$M_{média}$ – Média dos valores.

n – Número de valores.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo Geral.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3. METODOLOGIA.....	3
1.3.1. Ensaio Granulométrico	4
1.3.2. Ensaio Picnométrico	4
1.3.3. Ensaio de Absorção D'água	4
1.3.4 Composição da mistura	5
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO CIVIL.....	7
2.2 CIMENTO E SUAS PROPRIEDADES	7
2.3 ARGILA E SUAS PROPRIEDADES.....	9
2.4 ESCÓRIA DE ACIARIA E SUAS PROPRIEDADES.....	10
3 ARRANJO EXPERIMENTAL	12
3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA: ARGILA E ESCÓRIA.....	12
3.2 PICNOMETRIA LÍQUIDA: ARGILA, ESCÓRIA E CIMENTO	13
3.3 LIMITES DE ATTERBERG PARA ARGILA.....	14
3.4 DOSAGEM DOS MATERIAIS E CÁLCULO DE VOLUMES.....	15
3.5 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA	16
3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	18
3.7 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE: NBR 8492/2012.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA: ARGILA, ESCÓRIA E AREIA	20
4.2 DENSIDADE POR PICNOMETRIA LÍQUIDA.....	22
4.3 LIMITES DE ATTERBERG PARA ARGILA.....	24
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	24
4.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE	27
5 CONCLUSÕES.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

INTRODUÇÃO

Um dos setores básicos da economia do país é a mineração, contribuindo de forma decisiva para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime. O desenvolvimento de pesquisas científicas é cada vez mais necessário, para que de tal forma, possa ser alcançado uma sociedade equânime, com o intuito também de minimizar os impactos gerados por empresas de mineração e de mesmo modo para que possa gerar empregos com o desenvolver dessas pesquisas e ampliação de setores (FARIAS, 2002).

A presença de indústrias fomenta a atividade econômica de uma região, e com a mineração não é diferente, sendo uma das atividades que mais se tem crescimento no país, e que muito se dá à construção civil e ao mercado internacional. Apesar de ser uma atividade causadora de relativos impactos ambientais, as mineradoras são necessárias para a evolução tecnológica e de infraestrutura coletiva (NOBRE FILHO, 2012).

É notável a evolução de blocos de barro secos ao ambiente, conhecidos primordialmente por adobe. Tais blocos cerâmicos possuem considerável participação na evolução científica e empírica de métodos construtivos desde os tempos antigos até os atuais. Tijolos produzidos em prensas hidráulicas ou manuais visam a redução de impactos ao meio ambiente pela exclusão do processo de cura forçado por meio da queima, a fim de enrijecer os componentes cerâmicos. Apesar do baixo custo de produção e a alta funcionalidade deste processo, o método é pouco utilizado no Brasil, fator este que está possivelmente relacionado ao desenvolvimento cultural que caiu em desuso desde a década de 90 (GRANDE, 2003).

Blocos maciços de solo-cimento são elementos de alvenaria cujo volume deve ser superior a 85% de seu volume total aparente, e no qual é constituinte por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e eventualmente aditivos que atendem a norma NBR 10833 (ABNT, 2013).

Para atender as condições gerais de fabricação de tijolos de solo cimento, alguns conceitos básicos são exigidos por normas brasileiras, no qual o cimento deverá atender à: NBR 5732; NBR 5733; NBR 5735 e NBR 5736. A água deverá ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento. Se empregado o uso de aditivos, estes devem ser verificados em laboratório seu desempenho quanto a produção da mistura em cada caso. Para a caracterização do solo deve se obedecer às normas NBR 6457; NBR 6459; NBR 7180 e NBR 7181 (ABNT, 2016).

1.1 JUSTIFICATIVA

Os tijolos de solo-cimento, em sua maioria, são compostos por argila, cimento e água, porém muitos estudos são realizados para a substituição parcial ou total de alguns desses compostos por resíduos de diferentes origens. Este trabalho visa realizar a aplicação de escória na mistura afim de substituir parcialmente a argila e atingir resistências à compressão ideal por norma e conseqüentemente redução de custos para produção. O cenário brasileiro de construção civil depende severamente da extração de recursos minerais para fornecimento a obras de infraestrutura, tal como a escória, entre outros.

A Reforma da Constituição Brasileira de 1988 define que, aquele que explorar recursos minerais, fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, conforme decreto federal nº 97.632. Desse modo, empresas de exploração de minerais buscam desenvolver metodologias de trabalho que minimizem os impactos, evitando assim um custo excessivo para recuperação das áreas afetadas.

A escória pode ser uma grande aliada na fabricação de tijolos prensados de solo cimento, uma vez que grandes indústrias de exploração de minério não veem finalidade econômica para tal material, tornando-o alvo de constantes pesquisas que buscam formas sustentáveis e econômicas para sua utilização. Dessa forma tem-se o objetivo de chegar a conclusões metodológicas sobre a fabricação de tijolos ecológicos com adição de escória de aciaria.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é desenvolver uma proporção ideal para utilização de escória de aciaria no processo de fabricação de tijolos ecológicos de solo cimento, substituindo parcialmente a argila.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a viabilidade da escória de aciaria como substituinte parcial da argila na fabricação de tijolos ecológicos prensados de solo cimento;

- Substituir o agregado miúdo presente na argila por escória em proporções já estabelecidas e citadas posteriormente;
- Modelar corpos de prova com os componentes argila, escória, cimento e água, em dosagem a ser obtida experimentalmente;
- Realizar ensaios nas peças para se obter resultados finais de resistência mecânica à compressão juntamente com os ensaios de absorção de umidade.

1.3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo, algumas normas são necessárias, tais como:

- ABNT NBR 5732 – Cimento Portland comum – Especificação;
- ABNT NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial - Especificação;
- ABNT NBR NM 3310-2 – Peneiras para ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada;
- ABNT NBR 6457 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio;
- ABNT NBR 6459, Solo – Determinação do limite de liquidez (2016);
- ABNT NBR 6502, Rochas e Solos (1995);
- ABNT NBR 7180, Solo – Determinação do limite de plasticidade (2016);
- ABNT NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio;
- ABNT NBR 7217, Agregados - determinação da composição granulométrica (1987);
- ABNT NBR 8491 – Tijolo Maciço de solo-cimento – Especificação;
- ABNT NBR 10833 – Fabricação de Tijolo Maciço e Bloco Vazado de solo-cimento com Utilização de Prensa Hidráulica;
- ABNT NBR 8492 – Tijolo Maciço de Solo Cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio;

- ABNT NBR 12023, Solo cimento – Ensaio de compactação (2012);
- ABNT NBR 13555, Determinação da absorção d'água (1996);
- ABNT NBR 6508, Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm – Determinação de massa específica.

- ABNT NBR 8916, Adesivos e selantes - Determinação da massa específica - Método picnômetro, que revisa a norma ABNT NBR 8916:2008, elaborada pelo Comitê Brasileiro de Química (ABNT/CB-10) – 2015.

1.3.1. Ensaio Granulométrico

Balança com resolução de 0,1% da massa da amostra de ensaio (0,001 g à 10 kg ou equivalente); estufa para secagem; peneiras das séries normal, tampa e fundo; agitador mecânico de peneiras (opcional); bandejas; escova, pincel e cerdas macias; fundo avulso de peneiras ou encerado de lona.

Este ensaio é realizado peneirando o material de acordo com a série estabelecida por norma ou o mais próximo possível desde que este descreva as características das peneiras utilizadas durante o processo de caracterização, obtendo a dimensão máxima característica (DMC) e módulo de finura do material (MF), conforme NBR 7181 (ABNT, 2016).

1.3.2. Ensaio Picnométrico

Peneira 2mm; estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C; balança com capacidade de 200g e com precisão de 0,01g; picnômetro com capacidade mínima de 50ml; funil de 5cm de diâmetro; recipientes de plástico próximo de 200 à 500ml; água destilada; óleo querosene.

O ensaio desenvolvido por picnometria visa obter a densidade específica de determinado material através de métodos estabelecidos por norma, comumente a unidade de medida a ser trabalhado é em gramas por centímetros cúbicos. Onde se coloca o fluido no picnômetro em que se tem a densidade específica deste, água destilada ou um óleo conhecido, então pesa-se, adicionando o material no qual não se conhece a densidade específica e pesa-se novamente, obtendo a relação e podendo assim determinar seu valor de densidade, conforme NBR 6508 (ABNT, 1984).

1.3.3. Ensaio de Absorção D'água

Tanque ou recipiente destinado para imersão dos corpos de prova; estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C à 110°C; balança de precisão.

O ensaio de absorção de umidade ou de água consiste basicamente em secar os corpos de prova em estufa por 24 horas e medir seu peso, após mergulhar os corpos de prova em água destilada por 24 horas, então retirar e pesar novamente os mesmos, obtendo o teor de saturação, conforme NBR 13555 (ABNT, 1996).

1.3.4 Composição da mistura

O solo em questão a ser utilizado no experimento foi recolhido nas proximidades do Município de Goianésia, setor rural. Dotado um solo argiloso e relativamente limpo de impurezas. Posteriormente foi realizado o processo de limpeza do solo, removendo partículas superficiais ainda existentes.

A composição que objetiva a produção de um tijolo solo-cimento com parâmetros satisfatórios às normas NBR 8491/2012 e NBR 8492/2012, bem como viáveis economicamente, é a composição de um tijolo no traço 7:1, ou seja, sete quantidades de solo, composto por argila e escória, para cada quantidade de cimento.

Os tratamentos definidos para a incorporação da escória à composição foram:

- Tratamento 1: Escória 0%, Argila 100%;
- Tratamento 2: Escória 15%, Argila 85%;
- Tratamento 3: Escória 30%, Argila 70%;
- Tratamento 4: Escória 45%, Argila 55%;
- Tratamento 5: Escória 60%, Argila 40%.

Para cada tratamento mencionado, foi produzido um total de 13 tijolos, totalizando 65 unidades amostrais, sendo 10 destinados, para cada tratamento, ao ensaio de compressão em prensa aos 14 dias e outros 3 destinados ao ensaio de absorção de água no mesmo período.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este material didático está composto em cinco capítulos. No Capítulo 1 se encontra a introdução ao tema sugerido, seguido da justificativa ao tema, objetivos e metodologias utilizadas no decorrer deste trabalho. No Capítulo 2, logo a seguir, está apresentado a revisão bibliográfica do trabalho, onde se descreve as principais características dos materiais cimento, argila e escória tal como o processo de fabricação de tijolos ecológicos. Também a

sustentabilidade desse mercado na construção civil de modo a apresentar os dados históricos e complementares do processo de fabricação do composto de solo-cimento. No Capítulo 3 está descrito o arranjo experimental onde se define a análise granulométrica no item 3.1, realizada nos materiais argila e escoria; 3.2 tem-se informações para o ensaio de picnometria líquida; 3.3 os limites de Atterberg para argila; 3.4 dosagem dos materiais e cálculos básicos de volume útil; Processo de produção de corpos de prova e tabelas experimentais com traços pré-definidos; posteriormente nos itens 3.6 e 3.7 são realizados ensaios de resistência mecânica e de absorção de umidade segundo normas vigentes que se fazem direito. No Capítulo 4 se encontra os resultados da pesquisa e discussão sobre o tema e objetivos alcançados, com a conclusão apresentada no Capítulo 5.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO CIVIL

Para Mikhailova (2004), sustentabilidade está ligada a habilidade de sustento permanente. Sendo, atividade sustentável aquela que não se cessará ao longo do tempo, pois a exploração do recurso natural é realizada de forma responsável e consciente. O desenvolvimento, expressa a capacidade de evolução na qualidade de vida dentro deste parâmetro de sustentabilidade.

É importante ressaltar, que atividades do setor da construção civil realizadas de forma irresponsável e inconsciente, afetam não apenas os recursos naturais, como também os ambientes artificiais e a própria qualidade desses ambientes, dessa forma, uma importante contribuição da engenharia nesse processo de conscientização ambiental através das práticas das atividades realizadas no campo da construção civil, parte do princípio de levantamento de problema, indagações e inquietações sob como as atividades são realizadas (MACÊDO, 2019).

Nesta perspectiva, há muitos levantamentos e pesquisas a respeito de conceitos e práticas que devem ser adotadas para um desenvolvimento sustentável no setor. No entanto, ainda se faz necessário que estas informações sejam abordadas e sejam melhoradas a ponto de integrá-las dentro da comunidade acadêmica e principalmente no ramo profissional (MOTTA, 2019).

Araújo (2014), esclarece que na prática, isso se demonstra por meio de uma busca de autossuficiência e auto sustentabilidade no setor da construção. Que só é possível através do estabelecimento de uma série de critérios desde a escolha de produtos até a origem da matéria prima, que os permite classificá-las como sustentáveis, abrindo conseqüentemente a possibilidade de elevação do padrão da obra e proporcionando uma melhora na qualidade de vida dos indivíduos.

2.2 CIMENTO E SUAS PROPRIEDADES

O cimento é um material que tem a capacidade de preencher os poros de rochas sedimentares e promove a junção entre os fragmentos ou detritos, consolidando-os, conforme NBR 6502 (ABNT, 1995). Uma palavra de origem latina, na antiga Roma, que designava a palavra à pedras e ou rochedos naturais não esquadrejados. Apenas no século dezenove que

Joseph Aspdin patenteou o processo de fabricação de uma mistura ligante calcinada que resultava de proporções certas das misturas de calcário e argila. A união do cimento com outros materiais pode fornecer uma composição muito rígida com alto teor de resistência a compressão. Este material aglomerante possui propriedades de se unir a outros materiais devido principalmente sua baixa granulometria e hidratação a base de água que reage ganhando características de rocha artificial (SEQUEIRA, 2014).

Há relatos do uso de pasta calcinada, cimento, a quatro mil e quinhentos anos, quando os Egípcios já utilizavam uma liga constituída de gesso calcinado, porém apenas em 1881, Préau, em 1881, apresentou formalmente um método de dosagem das argamassas e concreto. Quando o mesmo propôs que seria necessário determinar o volume de vazios dos agregados miúdos, areias, e que o volume da pasta aglomerante deveria ser 5% superior ao volume de vazios encontrados. A seguir deve-se determinar o volume de vazios dos agregados graúdos de forma que o volume da pasta aglomerante seja 10% superior ao volume de vazios encontrados (COUTINHO, 1973).

A Tabela 1 demonstra os principais tipos de cimento Portland e sua composição.

Tabela 1 - Classificação das composições de cimento Portland.

Cimento Portland	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I - S	Comum	95 - 99	1 - 5	1 - 5	1 - 5
CP II - E	Composto	56 - 94	6 - 34	-	0 - 10
CP II - Z	Composto	76 - 94	-	6 - 14	0 - 10
CP II - F	Composto	90 - 94	-	-	6 - 10
CP III	Alto-forno	25 - 65	35 - 70	-	0 - 5
CP IV	Pozolânico	45 - 85	-	15 - 50	0 - 5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95 - 100	-	-	0 - 5

Fonte: LANGARO, 2019.

Para o desenvolvimento deste relatório, utilizou-se do cimento Portland CP II – Z 32 RS, por ser facilmente encontra na região, preço acessível e por atender as necessidades que temos para estabilizar o traço de tijolos solo-cimento com adição de escória de aciaria.

2.3 ARGILA E SUAS PROPRIEDADES

Os solos de natureza argilosa normalmente apresentam características de plasticidade, diferente das encontradas em outros solos arenosos, ou seja, ao ser misturado à água, este tipo de solo pode sofrer alterações físicas relativamente permanentes após secagem e cura.

Tabela 2 - Classificação dos solos segundo a granulometria.

Fração	Diâmetro das partículas (mm)
Areia	De 0,05 a 4,8
Silte	De 0,005 a 0,05
Argila	Inferior a 0,005

Fonte: SANTOS, 1989.

A argila amolece facilmente quando se adiciona água, e se a mesma quantidade for acrescentada gradualmente ao ponto de se tornar excessiva, esta, se comporta como um líquido viscoso com resistência ao cisalhamento praticamente nula, estado líquido. Ao reduzir o volume de água, obtém um estado intermediário, chamado de estado plástico, onde o material pode ser facilmente moldado sem grandes variações de volume. Quando o produto entra no processo de secagem, por sua vez, há evaporação de água e a argila sofre alterações em relação ao volume de compactação, diminuindo e aumentando sua rigidez, sendo este o estado semissólido. Quando ocorrer a secagem ideal e cura da argila, o seu volume final será mínimo para o tipo de solo, tornando-o duro e homogêneo, em seu estado sólido (TEODORO, 2013).

Para atender às condições gerais de fabricação de tijolos, segundo NBR 10833, este solo deve conter as características: 100% de massa passante na peneira de 4,8mm (nº 4; NBR 5734/1989); de 10% a 50% de massa passante na peneira de 0,075mm (nº 200; NBR 5734/1989); um limite de liquidez inferior ou igual à 45%; um índice de plasticidade inferior ou igual a 18% (ABNT, NBR 13553 de 2013).

A Tabela 3 apresenta a relação entre o índice de plasticidade determinado do solo e a quantidade de cimento recomendada para que a resistência a compressão dos blocos de solo-cimento sejam correspondem aos valores de 1, 2 ou 3 MPa.

Tabela 3 - Índice de plasticidade do solo em relação a quantidade de cimento para obter a resistência à compressão do bloco de solo cimento saturado.

Índice de plasticidade do solo	Quantidade de cimento recomendada (% em volume) para obter a resistência à compressão do bloco de solo-cimento saturado		
	1MPa	2MPa	3MPa
<15	5%	7%	10%
15-20	5%	10%	Inadequado
20-25	6,50%	Inadequado	
25-30	8,50%		
30-35	10%		
>35	Inadequado		

Fonte: SANTOS, 1989.

2.4 ESCÓRIA DE ACIARIA E SUAS PROPRIEDADES

A princípio, escória é um composto, resultado da fusão de impurezas e fundentes de metais e minérios durante processos metalúrgicos. A designação do nome aciaria refere-se à unidade de uma usina siderúrgica onde máquinas e equipamentos transformam o ferro gusa em diferentes tipos de aço (FERRARO, 2014).

De modo que para a produção de ferro-gusa utilizam-se de unidades chamadas de Altos-Fornos, fornos metalúrgicos onde os óxidos contidos no minério de ferro são reduzidos gerando um subproduto. A produção de aço consiste, de modo simplificado, no refino deste ferro-gusa produzido no Alto-Forno e posteriormente levado para a aciaria, unidade metalúrgica destinada a este fim, sendo dos métodos principais: Convertedor a Oxigênio LD (Linz-Donawitz) e o Forno de Arco Elétrico (EAF Eletric ArcFurnace). Para ambos os processos, devido a remoção de impurezas, é gerado a Escória de Aciaria (FERRARO, 2014).

Sobre a composição da escória de aciaria: são compostas basicamente de CaO , SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , FeO e alguns outros elementos traço. A diferença entre escória de aciaria e de alto forno é o teor de ferro contido e seu índice de basicidade (Tabela 4).

Tabela 4 - Composições Típicas de Escória.

Composição	Escória (% Mássica)		
	Alto Forno	EAF - Forno Elétrico	LD - Linz-Donawitz
<i>CaO</i>	42	32 - 46	6 - 45
<i>SiO₂</i>	34	11 - 25	7 - 16
<i>MgO</i>	6	4 - 10	1 - 9
<i>Al₂O₃</i>	14	4 - 8	1 - 4
<i>FeO</i>	0,35	-	8 - 30
<i>MnO</i>	-	4 - 7	3 - 7
<i>TiO₂</i>	0,5	-	-
<i>Fe₂O₃</i>	-	18 - 31	-
<i>CaO (livre)</i>	-	-	0 - 8
<i>P₂O₅</i>	-	0,6 - 1,4	1,6
<i>S</i>	-	0,1 - 0,2	0,13
<i>Cr₂O₂</i>	-	-	0,35
<i>BI = CaO/SiO₂</i>	1,23	1,84 - 2,91	0,86 - 2,8

Fonte: FERRARO, 2014.

Segundo Ferraro (2014), nos processos de produção siderúrgicos atuais, buscam-se gerar subprodutos no lugar de resíduos, buscando assim agregar valores em materiais usualmente destinados ao descarte, promovendo de tal forma a reciclagem de componentes valiosos. Tais indústrias se caracterizam pelo seu potencial poluidor, gerando aproximadamente 700 quilos de emissões, efluentes e resíduos. Uma diversidade de resíduos de suas atividades pode conter subprodutos de grande interesse para outros setores, como é o caso da Construção Civil.

3 ARRANJO EXPERIMENTAL

3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA: ARGILA E ESCÓRIA

Análise granulométrica de um solo se trata de um ensaio geotécnico, regido pela norma: ABNT 7217, Agregados - determinação da composição granulométrica (1987); prescreve métodos para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto. Tal procedimento tem como princípio de estudo, a análise de distribuição granulométrica das partículas constituintes em determinado solo, podendo ser de natureza orgânica ou mineral, conforme NBR 7181 (ABNT, 2016).

É necessário conhecer as peneiras para execução dos ensaios, NBR NM-ISO 3310 – Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação. Amostras de solo no qual se realizou os estudos foram secos em estufa propriamente adequada, por aproximadamente 24 horas à temperatura de 105-110°C, após, deixou as amostras esfriar em temperatura ambiente. A massa mínima da amostra de ensaio para DMC igual ou inferior a 4,8 é de 500 gramas, utilizamos quatro amostras de 1 kg cada tanto para o ensaio da argila quanto para o de escória. É de grande importância desfazer blocos maciços por umidade se houver nas amostras em estudo antes de colocá-las para secagem, o que foi realizado neste ensaio. Neste experimento não utilizou agregados graúdos, pois se trata de desenvolvimento de tijolos ecológicos de solo cimento, logo, apenas peneiras da série normal serão utilizadas. A série normal de peneiras para determinação granulométrica dos agregados miúdos é sequencialmente: 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,60; 0,30; 0,15mm e fundo ou prato de fundo, segundo NBR 7181 (ABNT, 2016).

As peneiras foram dispostas uma por cima a outra, de baixo para cima: o prato de fundo será o primeiro material, logo as peneiras devem ser distribuídas da menor abertura para a maior em mesma ordem e sentido especificado. Neste utilizou se das peneiras 9,5 μmm ; 4,75 μmm ; 2,36 μmm . 1,18 μmm ; 600 μmm ; 300 μmm ; 150 μmm . O peneiramento foi realizado nas amostras e então anotado o peso passante em cada peneira e por fim o prato de fundo. Com os dados acima obtidos, montou se tabelas afim de organização de informações para então expressar a dimensão máxima característica (DMC) e o Módulo de finura do solo (MF) de cada amostra, de acordo com NBR 7181 (ABNT, 2016).

3.2 PICNOMETRIA LÍQUIDA: ARGILA, ESCÓRIA E CIMENTO

Os estados da matéria que podem ser, na atualidade, facilmente estudados pelo homem são agrupados em sólidos, líquidos e gasosos. Picnometria líquida é um processo de ensaio que tem como objetivo, caracterizar a densidade relativa de sólidos e líquidos. Este ensaio foi realizado após a secagem e peneiramento de todo o material solicitado que consiste basicamente em preencher o picnômetro com o material sólido na forma de pequenas partículas; adicionar água conforme instruções de uso do aparelho a fim de que não fique bolhas, conforme NBR 8916 (ABNT, 2015).

Para tal experimento, utilizou-se de um picnômetro de 100 ml calibrado e água destilada para o material argila, já para o cimento e escória, por conta de reações químicas, utilizou-se de óleo querosene. Foi pesado a amostra em forma de pó (m_1); o picnômetro cheio com o fluido, ideal para cada amostra (m_2), com sua tampa e devidamente seco; retirou-se a tampa e colocou a amostra dentro do picnômetro, o ideal é que se remova um pouco do fluido antes de se adicionar o material sólido e logo após preencha-o novamente até transbordar com o mesmo fluido, como foi feito; tampe o picnômetro e seque-o devidamente; por fim com o material sólido, acrescido o líquido, tem-se (m_3). A massa de água deslocada pela amostra (m) é dada pela equação 1.

$$m = (m_1 + m_2) - m_3 \quad (1)$$

Onde m_1 é a massa da amostra sólida; m_2 é a massa do picnômetro + água; e m_3 é a massa do picnômetro + amostra + água.

O volume da amostra é igual ao volume da água deslocada, conforme equação 2.

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{água}}} \quad (2)$$

Onde m é a massa de água deslocada pela amostra; e $\rho_{\text{água}}$ é o valor conhecido de $13.595,10 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ (S.I.). Por fim a densidade de um sólido é expresso pela equação 3.

$$\rho = \frac{m_1}{V} \quad (3)$$

Portanto pode-se reduzir as equações, adotando uma associação entre tais, de forma a ser expressa pela equação 4 abaixo.

$$\rho = m_1 * \frac{\rho_{\text{água}}}{(m_1 + m_2) - m_3} \quad (4)$$

3.3 LIMITES DE ATTERBERG PARA ARGILA

O limite de Atterberg, também conhecido como limite de consistência, é um procedimento que avalia por meio de testes e ensaios e defini os Limites de Liquidez, Limites de Plasticidade e Limites de Contração (LL, LP e LC, respectivamente). Estes ensaios permitem determinar os limites de consistência do solo. Dessa forma, é possível que se determine o Índice de Plasticidade (IP) de um solo qualquer. O estado elástico de um solo é quando este se encontra com um elevado nível de água, que o faz ser facilmente moldado e na medida que vai evaporando, ele chega ao limite de liquidez, perdendo sua capacidade de fluir mas podendo ser moldado. Já no estado plástico, de acordo com NBR 6459, o solo perde mais água, portanto, quando se trabalha é facilmente deformado. Este é chamado de estado semissólido. O limite entre os dois estados é um teor de umidade igual ao limite de contração (ABNT, 2016).

Limite de Liquidez é definido no aparelho de Casagrande, quando o teor de umidade de um solo passa do estado líquido para plástico, aonde duas verificações são feitas com golpes superiores a 25 e duas com golpes inferiores a 25, de forma que uma rachadura é realizada nele ao centro e requerer tal número de golpes para se fechar. Limite de Plasticidade, é quando se obtém o menor teor de umidade no qual se pode moldar um corpo de solo cilíndrico com 3mm de diâmetro na palma das mãos, passando de um estado plástico para semissólido. A diferença entre os valores de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade é o índice de plasticidade do material, faixa na qual o solo ainda se apresenta características plásticas, mediante NBR 6459 (ABNT, 2016).

3.4 DOSAGEM DOS MATERIAIS E CÁLCULO DE VOLUMES

Existem alguns cuidados especiais, mas a dosagem de solo-cimento é realizada através de ensaios dos materiais e por meio experimental, afim de se obter a melhor relação em função dos resultados alcançados de resistência à compressão dos corpos de prova.

Para tanto, a ABCP (Associação brasileira de Cimento Portland) recomenda, para a fabricação de tijolos ecológicos de solo cimento, que sejam moldados para análise os traços de 1:10; 1:12 e 1:14 de cimento: solo, e recomenda que seja escolhido o traço que utiliza a menor quantidade cimento desde que sejam atendidos os requisitos de resistência à compressão da norma NBR 8491/2012. Portanto estima-se que para estabilização do traço a ser fabricado, seja necessário pelo menos 10% de teor de cimento em massa, sendo empregado para o trabalho, um traço de 1:12 conforme exemplificado na metodologia (Tabela 5).

Tabela 5 - Composição do traço.

Composição	Cimento (%)	Argila (%)	Escória (%)
C1 (Escória 0%)	12,0	100	0
C2 (Escória 15%)	12,0	85	15
C3 (Escória 30%)	12,0	70	30
C4 (Escória 45%)	12,0	55	45
C5 (Escória 60%)	12,0	40	60

Fonte: AUTORES, 2019.

Na volumetria para fabricação dos corpos de prova, adota-se a especificação do volume total do local, onde se designa o solo para posterior manuseio quanto ao processo de adensamento mecânico. Avaliando a prensa utilizada e em acordo com a NBR 8491/2012, temos a confecção de blocos Tipo II, nas dimensões externas de 23cm de comprimento, 11cm de largura e 5cm de profundidade, totalizando um volume maciço de 1265cm³ (Tabela 6).

Tabela 6 -Volume de traço para um bloco.

Composição	Argila (cm ³)	Escória (cm ³)
C1 (Escória 0%)	1.265,00	0
C2 (Escória 15%)	1.075,25	189,75
C3 (Escória 30%)	885,50	379,50
C4 (Escória 45%)	695,75	569,25
C5 (Escória 60%)	506,00	759,00

Fonte: AUTORES, 2019.

Tomando como embasamento as tabelas posteriores de densidade, define-se a quantidade aproximada em massa (gramas) de cada material associado a determinada amostra, conforme Tabela 7. Considerando assim um adensamento perfeito onde praticamente não há presença de ar nos corpos de prova, afim de posterior inserção de água para que os materiais possam plastificar.

Para o ensaio de compactação, utiliza-se de apoio a norma NBR 12023 (ABNT, 2012), onde determina que a quantidade ótima de água para a compactação varia conforme a composição, porém a quantidade ideal de água para compactação, para composições conhecidas, é de aproximadamente 10% em massa, no ponto máximo da curva.

Tabela 7 -Massa de traço para um bloco.

Composição	Cimento (g)	Argila (g)	Escória (g)
C1 (Escória 0%)	475,74	3.964,51	0
C2 (Escória 15%)	468,14	3.369,83	531,30
C3 (Escória 30%)	460,53	2.775,16	1.062,60
C4 (Escória 45%)	452,93	2.180,48	1.593,90
C5 (Escória 60%)	445,32	1.585,80	2.125,20

Fonte: AUTORES, 2019.

3.5 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA

Para a produção dos corpos de prova, foi utilizada uma prensa mecânica do tipo tijolos ecológicos de solo-cimento, de marca indefinida pelo tempo de uso do aparelho (Figura 1).

Figura 1 – Máquina utilizada para compactação dos corpos de prova.



Fonte: AUTORES, 2020.

A NBR 10833 (ABNT, 2013) define que tijolos maciços de solo cimento são tijolos cujo volume seja igual ou superior a 85% de seu volume aparente e estes devem obedecer às dimensões nominais conforme indicado pelo fabricante e de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 -Tipos e dimensões nominais de tijolos solo-cimento segundo NBR 8491.

Designação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Meio Bloco (mm)
I	200	90,5	140	50
II	230	110	140	50

Fonte: ABNT, 2012.

Os tijolos solo-cimento fabricados foram do Tipo II, conforme Figura 2.

Figura 2 – Tijolo de solo cimento.



Fonte: AUTORES, 2020.

As medidas dos tijolos devem possuir precisão de 1mm e tolerância permitida de $\pm 3mm$. Os tijolos de solo-cimento devem ser aceitos quando a amostra estabelecida satisfazer as exigências de dimensionamento nominal; as amostras ensaiadas não devem apresentar a média dos valores de resistência à compressão inferior a 2,0MPa (20 kgf/cm²), nem valores individuais inferiores a 1,7MPa (17 kgf/cm²) com idade mínima de sete dias; a média das amostras não devem apresentar absorção de água maior que 20%, nem valores individuais superiores a 22%. Cabe ao comprador, nos casos de comércio do produto, verificar se os tijolos satisfazem às condições gerais.

3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

A máquina de ensaio à compressão pode ser de qualquer tipo, desde que contenha um dispositivo para controle da velocidade de aplicação de carga, que possibilite a distribuição uniforme desta carga e a aplicação dos esforços à peça ensaiada de modo progressivo e sem choque. A leitura das cargas aplicadas deve possuir uma sensibilidade de 100N (10Kgf). Para cada traço executado, deve-se retirar um total de treze tijolos por lote. Cada tijolo deve ser medido de acordo com as especificações anteriormente definidas na tabela 8. Das treze amostras, três serão submetidas ao ensaio de absorção de umidade e as demais sob o ensaio de resistência à compressão que é especificado sua execução na NBR 8492/2012.

Os desvios padrões nas amostras em análise, sob resistência à compressão nos 14 dias de cura após fabricação dos mesmos, se dá pela equação 5.

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_{média})^2}{n}} \quad (5)$$

Onde:

DP – Desvio padrão.

x_i – Valor individual.

$M_{média}$ – Média dos valores.

n – Número de valores.

3.7 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE: NBR 8492/2012

De acordo com a resolução da norma NBR 8492 (ABNT, 2012), devem ser moldados pelo menos três corpos de prova para o ensaio de absorção de umidade. O ensaio consiste em manter ambos os corpos de prova em câmara úmida durante o período de cura de sete dias. Após este período de cura os materiais para ensaio devem ser levados à estufa até atingir massa constante, obtendo assim a massa m_1 , em gramas. Na temperatura de 105°C à 110°C por aproximadamente vinte e quatro horas. Deve-se imergir os corpos de prova no tanque de auxílio durante o período de vinte e quatro horas. Após retirá-los da imersão é necessário enxugá-los superficialmente com um pano úmido e pesá-los antes de 3 minutos decorridos, obtendo m_2 , massa do corpo de prova úmido em gramas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA: ARGILA, ESCÓRIA E AREIA

Para melhores precisões quanto aos ensaios e realização dos corpos de prova durante sua execução, utilizou-se de material peneirado sob a abertura de $\varnothing 2mm$. A argila e escória de aciaria não sofreu o processo de limpeza por fluido ou outro qualquer, apenas remoção superficial de outros possíveis elementos presentes nas amostras.

Para a caracterização dos solos e determinação da composição granulométrica, faz-se necessário a utilização das normas NBR 6502/1995, de modo que a dimensão máxima característica (DMC) se trata da grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal da malha da peneira no qual a porcentagem retida acumulada é igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Já o módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado em porcentagem para as peneiras de série normal.

Conseqüentemente as Tabelas 9 e 10 expressam os resultados obtidos nos ensaios granulométricos da argila e escória de aciaria, apresentados nesta ordem. Para cada material, foram realizados quatro ensaios obedecendo a quantidade mínima em quilogramas para cada amostra, identificadas por tabelas.

Para o ensaio granulométrico da argila, por possuir um número elevado de grãos compactados devido à umidade encontrada em ambiente antes da secagem em estufa, foi necessário, após a evaporação completa da umidade, destorroar o solo.

Tabela 9 - Ensaio Granulométrico Geral - Argila.

PENEIRA	ABERTURA (mm)	AMOSTRAS DE ARGILA				AMOSTRAS DE ARGILA				
		(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)	
		MASSA RETIDA (g)				% ACUMULADA				
3/8"	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	4,75	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	2,36	32,9	28,8	35,6	21,5	3,3	2,9	3,6	2,2	
16	1,18	44,6	33,5	41,8	38,7	7,8	6,2	7,7	6,0	
30	0,60	176,5	155,0	146,2	158,9	25,4	21,7	22,4	21,9	
50	0,30	598,8	543,0	619,9	598,2	85,3	76,0	84,4	81,7	
100	0,15	119,2	189,9	131,6	162,6	97,2	95,0	97,5	98,0	
Fundo	-	25,9	46,7	23,6	18,9	-	-	-	-	
TOTAL		997,9	996,9	998,8	998,8	-	-	-	-	
						DMC	2,36	2,36	2,36	2,36
						MF	2,2	2,0	2,2	2,1

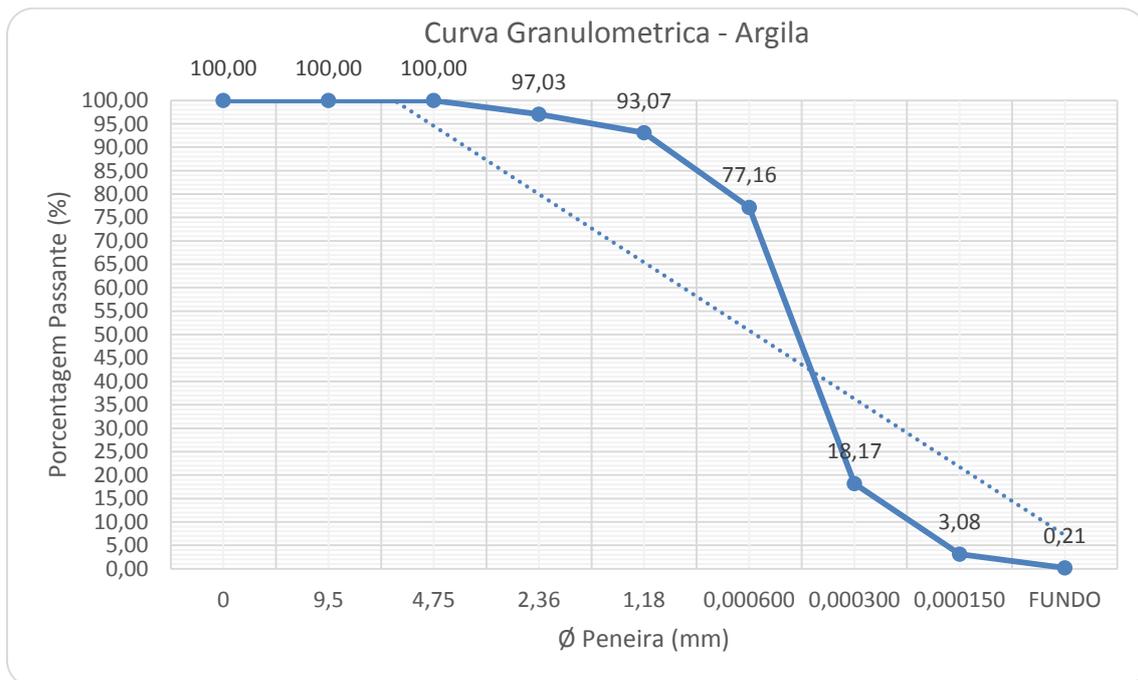
Fonte: AUTORES, 2020.

Tabela 10 - Ensaio Granulométrico Geral – Escória de aciaria.

PENEIRA	ABERTURA (mm)	AMOSTRAS DE ARGILA				AMOSTRAS DE ARGILA			
		(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
		MASSA RETIDA (g)				% ACUMULADA			
3/8"	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-
4	4,75	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2,36	8,1	7,7	6	4,8	0,8	0,8	0,6	0,5
16	1,18	461,5	454,2	453,8	425,7	47,0	46,2	46,0	43,1
30	0,60	403,8	423,7	417,5	411,7	87,3	88,6	87,7	84,2
50	0,30	87,2	81,4	92	85,2	96,1	96,7	96,9	92,7
100	0,15	30,3	26,1	19	66,6	99,1	99,3	98,8	99,4
Fundo	-	9	6,5	11	5,2	-	-	-	-
TOTAL		997,9	996,9	998,8	998,8	-	-	-	-
		DMC	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36
		MF	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2

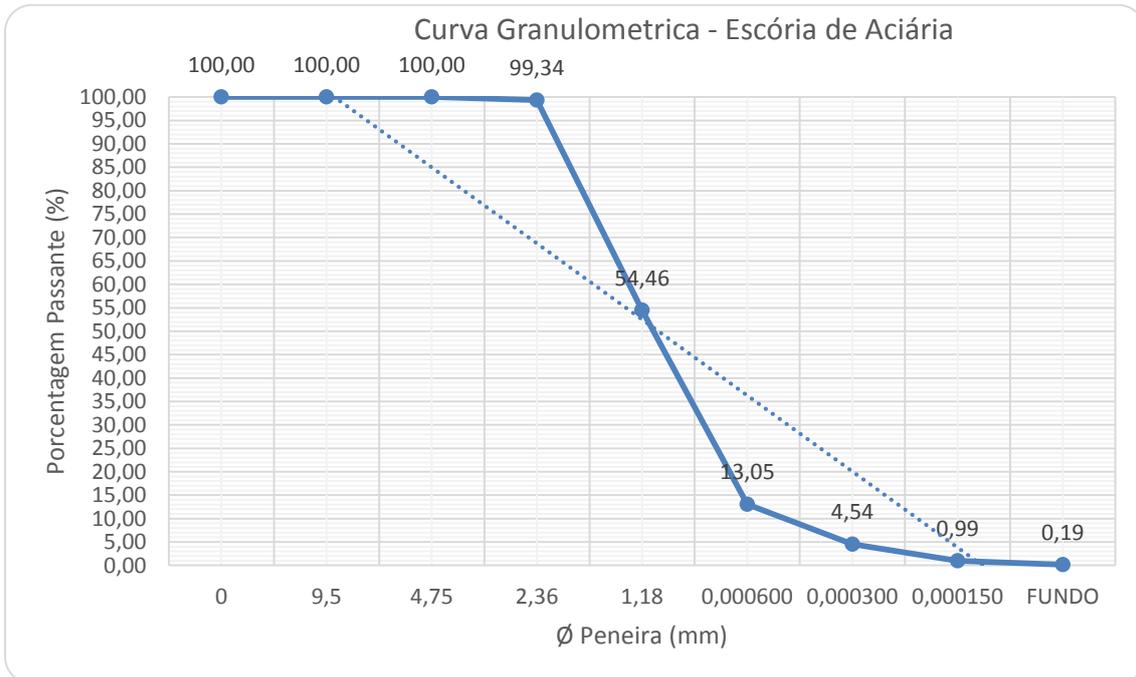
Fonte: AUTORES, 2020.

Com o estudo granulométrico acima, pode-se desenvolver curvas granulométricas referente a porcentagem retida em função da peneira utilizada durante o peneiramento, e para isso, foi realizada uma média entre as quatro amostras analisadas da argila e da escória de aciaria, demonstrado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Curva Granulométrica das amostras de argila.

Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 4 - Curva Granulométrica das amostras de escória de aciária.

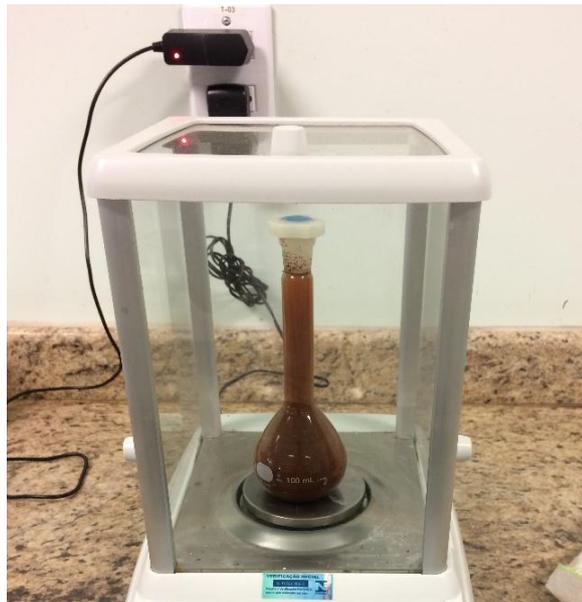


Fonte: AUTORES, 2020.

4.2 DENSIDADE POR PICNOMETRIA LÍQUIDA

Para posterior avaliação dos resultados, tomou-se como referência os valores relativos de densidade para escória de alto forno: $2,7\text{g/cm}^3$; e Cimento CP II à CP V: $2,82\text{g/cm}^3$ à $3,12\text{g/cm}^3$.

Figura 5- Ensaio de densidade por picnometria líquida.



Fonte: AUTORES, 2020.

Os ensaios de densidade por picnometria líquida foram realizados conforme a metodologia abordada para este experimento, citados anteriormente em arranjo experimental. Adotando $0,997\text{g/cm}^3$ para a densidade da água; para o ar $1,293(10^{-3})\text{g/cm}^3$; e os óleos podem sofrer variações entre $0,700$ e $0,950\text{g/cm}^3$. Conforme os estudos levantados, tem-se a Tabela 11.

Tabela 11 - Ensaio por picnometria líquida – Escória e cimento.

	ESCÓRIA	CIMENTO	ESCÓRIA	CIMENTO
Amostra em pó	20,022	20,010	2,795	2,952
Picnômetro vazio	61,547	59,315	-	-
Picnômetro c/ Amostra	81,569	79,325	-	-
Picnômetro c/ fluido	149,638	161,105	-	-
Picnômetro c/ fluido + Amostra	162,518	174,356	-	-

Fonte: AUTORES, 2020.

Tabela 12 - Desvio padrão na densidade dos materiais: areia, escória e cimento.

Material	Densidade média (g/cm^3)	Desvio padrão (g/cm^3)
Escória de aciaria	2,80	0,02
Cimento CP II-Z-32 RS	2,95	0,02

Fonte: AUTORES, 2020.

O ensaio de densidade por picnometria líquida da argila foi realizado após análise de força para compressão na prensa hidráulica e para chegar aos resultados mais precisos, este ensaio foi desenvolvido separadamente, com os resultados apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 -Ensaio por picnometria líquida da argila.

	AMOSTRAS (g)			Densidade – ρ (g/cm^3)		
	I	II	III	I	II	III
Amostra em pó	20,036	20,027	20,036	3,199	3,213	2,989
Picnômetro vazio	61,030	58,073	59,108			
Picnômetro c/ Amostra	81,066	78,100	79,144			
Picnômetro c/ fluido	166,057	164,093	170,967			
Picnômetro c/ fluido + Amostra	179,849	177,906	184,319			

Fonte: AUTORES, 2020.

Tabela 14 - Desvio padrão na densidade da argila.

Material	Densidade média (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)
Argila	3,134	0,02

Fonte: AUTORES, 2020.

4.3 LIMITES DE ATTERBERG PARA ARGILA

Os estados de consistência dos solos são definidos basicamente em quatro fases, que são estado líquido, plástico, semissólido e estado sólido, portanto, a unidade que se define entre estes estados são nomeadas de estado de Limite de Liquidez, estado de Limite de Plasticidade e estado de Limite de Contração. Cada tipo de solo possui uma unidade definida destes limites.

Tabela 15 - Características dos argilominerais.

Argilominerais	C.T.C. (meq/100g)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Caulinita	3 a 15	65	36	29
Ilita	10 a 40	-	-	-
Montmorillonita	80 a 150	170 a 475	47 a 50	428

Fonte: AZAMBUJA (1979) e SABBAG (1980).

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

Por fim, deve-se ensaiar os corpos de prova de acordo com as instruções da NBR 8492/2012 e NBR 10836/2013, escolhendo então o traço mais econômico que atenda as exigências estabelecidas em norma: NBR 8491/2012.

Figura 6 - Corpos de prova sendo medidos para posterior preparo de ruptura.



Fonte: AUTORES, 2020.

Na Figura 6, vê-se a preparação dos corpos de prova afim de iniciar os procedimentos para realização dos testes mecânicos nas peças. Após medições e unir os blocos de forma a persistir a resistência mecânica uniformemente.

Aos 14 dias de cura, 3 amostras de cada traço foram mergulhadas em bacias com água, estas amostras foram separadas para realização dos ensaios de absorção de umidade e os demais corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência mecânica. De acordo com a norma para ensaios mecânicos em tijolos de solo cimento, obteve-se as seguintes médias como resultados para cada proporção de adição de escória de aciaria em suas composições. Para tal, foram utilizadas a média de valores para dez ensaios individuais.

Tabela 16- Resistência à compressão de tijolos de solo cimento aos 14 dias de cura.

Composição	Área de influência (mm ²)	Força aplicada (Tf)	Resistência à Compressão aos 14 dias (MPa)	Desvio padrão - DP
C1 (Escória 0%)	1680,00	3,87	2,30	0,074
C2 (Escória 15%)	1680,00	3,89	2,32	0,474
C3 (Escória 30%)	1680,00	6,86	4,08	0,451
C4 (Escória 45%)	1680,00	3,60	2,14	0,217
C5 (Escória 60%)	1680,00	3,16	1,88	0,152

Fonte: AUTORES, 2020.

Como demonstrada na Tabela 16, com a adição de escória de aciaria nos blocos de solo cimento houve um significativo aumento de resistência mecânica nas composições C2 e C3. Em contrapartida as composições que tiveram adição igual ou superior a 45% de escória não obteve bons resultados uma vez que ao moldar os blocos tiveram alta característica quebradiça e esfarinhada. Alguns quebraram na própria máquina onde foram moldados os blocos de solo cimento.

Esta já se encontra calculada e informada anteriormente, na Tabela 16, onde os valores de desvio padrão se encontram elevados devido à fragilidade na precisão de análise imposta pela máquina disponível.

A prensa utilizada durante os ensaios é fornecida pela empresa Pavitest (fabricada em junho de 2012) com capacidade para até 100 toneladas, com indicador digital micro processado Contenco, também distribuído pela empresa Pavitest. O equipamento se encontra no laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia. A Figura 7 ilustra o equipamento utilizado, sendo este com dispositivo de ativação manual.

Figura 7 - Prensa utilizada durante os ensaios



Fonte: AUTORES, 2020.

4.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE

Para tal ensaio é importante que se tenha conhecimento da seguinte equação no qual possa se determinar o valor da absorção de água de cada corpo de prova, expresso em porcentagem pela equação 6.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad (6)$$

Onde A é o teor de umidade dado em porcentagem; m₂ é a massa do tijolo saturado; e m₁ é a massa do tijolo seco em estufa. Para tal, os corpos de prova foram submersos em água por um período de 24 horas e após secados em estufa na temperatura de 105-110°C pelo mesmo período.

Assim, pode se determinar o valor médio de absorção de água pelos corpos de prova ensaiados, como demonstrado na tabela a seguir, utilizando se da média entre os valores de 3 ensaios para os corpos de prova em cada composição de tijolo solo cimento.

Tabela 17 - Taxa de absorção de umidade aos 14 dias em tijolos de solo cimento com adição de escória.

Composição	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Teor de absorção de Umidade (%)
C1 (Escória 0%)	2068,28	1751,05	18,12
C2 (Escória 15%)	1965,83	1676,56	17,25
C3 (Escória 30%)	1996,99	1726,80	15,65
C4 (Escória 45%)	2317,85	2065,33	12,23
C5 (Escória 60%)	2291,26	2032,31	12,74

Fonte: AUTORES, 2020.

Os ensaios de absorção de água para as amostras individuais foram todas inferiores à 22% como determina a norma NBR 8491/2012; e as respectivas médias para o mesmo ensaio foram também abaixo de 20% como determina a mesma norma. Com a adição de escória nas composições era esperado um decréscimo pequeno na taxa de absorção de umidade, porém notou-se que no último bloco houve um ligeiro aumento talvez por conta das características esfarinhada dos blocos avaliados causando tais variações de peso.

5 CONCLUSÕES

Portanto, pode-se concluir que para as cinco composições realizadas com adição de escória de aciaria nas porcentagens de: 0%, 15%, 30%, 45% e 60%; apenas 4 obedeceram às normas para fabricação de tijolos maciço de solo cimento com utilização de prensa hidráulica, NBR 10833/2013.

Portanto verificou-se que a resistência à compressão foi atingida nas composições C1 à C4, 0% a 45% de adição de escória respectivamente. Como determina a norma NBR 8491/2012 e NBR 8492/2012 para ensaios de resistência à compressão em blocos maciços de solo cimento. Esta exige que a média dos valores de resistência à compressão não deve ser inferior a 2,0 MPa (20 kgf/cm²), e nem valores individuais inferiores à 1,7 MPa (17 kgf/cm²). O que foi observado durante os ensaios de resistência mecânica à compressão nos tijolos de solo cimento e são respectivamente a média de 2,30 MPa para composição C1; 2,32 MPa para composição C2; 4,08 MPa para composição C3; 2,14 MPa para composição C4; e 1,88 MPa para composição C5. No entanto a composição C5 não atingiu o esperado e não cumpre com as normas mínimas para tijolo de solo cimento maciço.

Contudo a composição que obteve melhor resultado durante os ensaios à compressão foi a de traço C3 com 30% de adição de escória de aciaria, atingindo 15,65% de absorção de umidade e 4,08MPa de resistência mecânica. Avaliação positiva, uma vez que atende os requisitos básicos das normas de tijolos prensados e dessa forma é possível adicionar a escória como substituinte da matéria prima argila e tendo em contrapartida um aumento significativo no ganho de resistência mecânica. Porém com o aumento na adição de escória, os tijolos ao desenformar se tornam mais quebradiços prejudicando a perfeita geometria dos blocos, sendo necessário mais estudos quanto a esta característica.

Uma proporção ideal ainda pode ser alcançada em novas análises substituindo a adição de escória dentro da margem “positiva” no qual se obteve os melhores resultados, ou seja, entre 0% e 45% de adição de escória para que assim se tenha a melhor proporção de substituição, levando em conta que o teor granulométrico da argila utilizada também influenciará nos resultados, uma vez que a plastificação desta matéria prima é maior, proporcional ao teor de vazios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNIBELLI, Mariana Baggio. **Mineração de areia e seus impactos sócio-econômico-ambientais**. In: Congresso Nacional do Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito - CONPEDI. Manaus: p.4205-4217, 2006.

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção sustentável**. Disponível em: http://www.idhea.com.br/artigos_entrevistas.asp. Acesso em: 26 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 10833 - **Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica**. Procedimento. Rio de Janeiro, 2013. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 6502 - **Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 6508 - **Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm** – Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 7181 - **Solo - Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 8491 - **Tijolo de solo-cimento - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 8492 - **Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

COUTINHO, A. S. **“Fabrico e Propriedades do Betão.”** v. 1, Lisboa: LNEC, 1973.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Relatório Preparatório para o CCGE/ Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento PNUD.

2002. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf>. Acesso em: 28 set. 2019.

FERRARO, B. B. “**Estudo das Propriedades Termofísicas de Escória Metalúrgica e de Escórias Sintéticas de $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$.**” Trabalho de conclusão de curso Universidade de São Paulo, Escola Politécnica de Engenharia Química, 2014. Disponível em: < <http://sites.poli.usp.br/p/augusto.neiva/TCC/TCCs-finais-2014/2014-07.pdf>>. Acesso em: 05 de Out. de 2019.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** 2003. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LANGARO, Eloise Aparecida. **Cimento Álcali Ativado a partir da Valorização da Escória de Alto Forno a Carvão Vegetal.** Dissertação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – Paraná, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1891/1/CT_PPGEC_M_Langaro%2c%20Eloise%20Aparecida_2016.pdf>. Acesso em 30 de jun. 2020.

MACÊDO, Arlan Teodódio. MARTINS, Maria De Fátima. **A sustentabilidade urbana sob a ótica da construção civil: um estudo nas empresas construtoras de Campina Grande-PB.** Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS, 2015, vol. 04. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4716/471647050010.pdf>>. Acesso em 30 de jun. 2020.

MIKHAILOVA, I. **Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática.** Revista Economia e Desenvolvimento, 2004.

MOTTA, Silvio Romero Fonseca. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos.** Dissertação de pós-graduação, Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ISMS-842G7C>>. Acesso em 30 de jun. 2020.

NOBRE FILHO, Pedro Aguiar et al. **Sustentabilidade ambiental da extração de áridos: a lavra de areia no canal atvo do Rio Canindé – Paramot, Ceará.** Revista de Geociências. São Paulo: v. 31, n. 1, p. 5-12, 2012. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/download/7238/6682>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

SANTOS, P. S. **“Ciência e Tecnologia de Argilas.”** Volume 2, 2ªed. São Paulo - SP:Ed. Edgard BlucherLtda, 1989.

SEQUEIRA, Luis Frederico Tokumoto. **Análise dos Impactos Ambientais da Utilização de Resíduos Classe 1 na Produção do Cimento em Uma Fábrica na Região da Campanha.** Bagé – Rio Grande do Sul. 2014. Universidade Federal do Pampa. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/667/1/TCC%20Luis%20Frederico.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do Uso da Areia de Britagem na Composição do Concreto Estrutural.** 2013. Faculdade de Engenharia da UFJF, Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2013. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC-AVALIA%C3%87%C3%83O-DO-USO-DA-AREIA-DE-BRITAGEM-NA-COMPOSI%C3%87%C3%83O-DO-.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

NORMAS TÉCNICAS

ABNT NBR 5732 – Cimento Portland comum – Especificação;

ABNT NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial - Especificação;

ABNT NBR NM 3310-2 – Peneiras para ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada;

ABNT NBR 6457 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio;

ABNT NBR 6459, Solo – Determinação do limite de liquidez (2016);

ABNT NBR 6502, Rochas e Solos (1995);

ABNT NBR 7180, Solo – Determinação do limite de plasticidade (2016);

ABNT NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio;

ABNT NBR 7217, Agregados - determinação da composição granulométrica (1987);

ABNT NBR 8491 – Tijolo Maciço de solo-cimento – Especificação;

ABNT NBR 10833 – Fabricação de Tijolo Maciço e Bloco Vazado de solo-cimento com Utilização de Prensa Hidráulica;

ABNT NBR 8492 – Tijolo Maciço de Solo Cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio;

ABNT NBR 12023, Solo cimento – Ensaio de compactação (2012);

ABNT NBR 13555, Determinação da absorção d'água (1996);

ABNT NBR 6508, Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm – Determinação de massa específica.

ABNT NBR 8916, Adesivos e selantes - Determinação da massa específica - Método picnômetro, que revisa a norma ABNT NBR 8916:2008, elaborada pelo Comitê Brasileiro de Química (ABNT/CB-10) – 2015.