

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS DO SERTÃO – DELMIRO GOUVEIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RAFAELA LAURINDO GOMES

ESTUDO DO BLOCO SOLO CIMENTO MODULAR

Delmiro Gouveia – AL

2019

RAFAELA LAURINDO GOMES

ESTUDO DO BLOCO SOLO CIMENTO MODULAR

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como requisito parcial, para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.e Rogério de Jesus Santos.

Delmiro Gouveia – AL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-4/2209

G633e Gomes, Rafaela Laurindo

Estudo do bloco solo cimento modular / Rafaela Laurindo Gomes. -
2019.

61 f. : il.

Orientação: Prof. Me. Rogério de Jesus Santos.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de
Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2019.

1. Bloco. 2. Solo cimento. 3. Resíduo pré-moldado. 4. Análise de via-
bilidade. 5. Sustentabilidade. I. Título

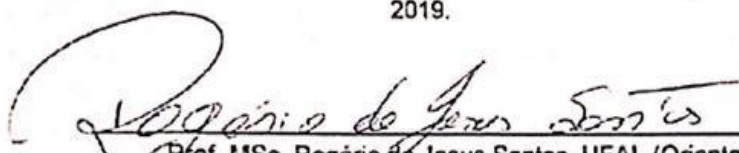
CDU: 624.157.8

Folha de Aprovação

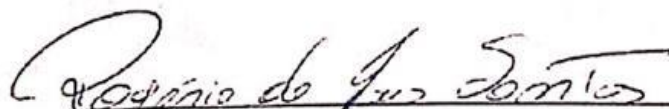
AUTORA: RAFAELA LAURINDO GOMES

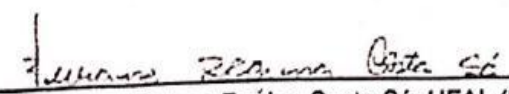
(Estudo do Bloco Solo e Cimento Modular / trabalho de conclusão de curso da Universidade Federal de Alagoas, na forma normatizada e de uso obrigatório)

TCC/Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao corpo docente do curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Alagoas – Campus do Sertão, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil e aprovada em 23 de maio de
2019.


Prof. MSc. Rogério de Jesus Santos, UFAL (Orientador)

Banca examinadora:


Prof. MSc. Rogério de Jesus Santos, UFAL (Examinador Interno)


Prof. Dra. Viviane Régina Costa Sá, UFAL (Examinadora Interna)


Prof. MSc. Vinicius Costa Correia, UFAL (Examinador Interno)

AGRADECIMENTOS

Findando esta longa caminhada de processo de graduação, por mais que muitas vezes me parecesse ser um caminho solitário e incompreensível, nunca estive só; não poderia deixar de agradecer aqueles que puderam me acompanhar, mesmo que por breves momentos; pessoas que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

Quero agradecer primeiro a Deus por ter me dado forças para suportar todos esses longe de casa, por ter me dado sabedoria e ter renovado a minha fé em todos os momentos em que eu pensei que não fosse conseguir;

Aos meus pais, Marinalva Laurindo Gomes e Reginaldo Pereira Gomes por todo o amor, por sempre terem acreditado em mim e por todo suporte e apoio para que eu corresse atrás dos meus sonhos – Devo a vocês a vida e tudo que sou;

Às minhas irmãs, Livia Emanuella, Ravena Larissa e Renata Gabriella pelas palavras de motivação e abdições para sempre me ajudarem em tudo;

Ao meu namorado, Kênio Alves, por ser meu consolo nos momentos de ansiedade, por entender meus momentos difíceis. Acabou privando-se de muitas coisas por conta da dedicação que eu tinha que prestar aos meus estudos nessa reta final e por ter colocado a mão na massa e me ajudado a moldar os corpos de prova no presente trabalho;

Aos meus sobrinhos Mylenna e Gustavo, por serem a alegria que enche meu coração e a distração nos dias tristes. Obrigada por entenderem cada aniversário e dia das crianças que passei longe de vocês;

À minha prima, Laura Angélica, pelos conselhos e todo carinho mesmo à distância;

Às minhas amigas, Luana Melo e Jéssica Deodato por toda a ajuda e amor prestados a mim, vocês foram de fundamental importância para que eu chegasse até aqui;

À minha amiga, Edjane Borges, por todo o amor e confiança, por sempre ter acreditado no meu potencial e me dado os melhores conselhos;

Ao meu primo, Icaro Rafael, por sempre ser meu parceiro e me ajudar com todos os problemas que envolviam computação ao longo da minha vida;

Ao técnico de Laboratório de Materiais, Arnon, pela disponibilidade e boa vontade em me ajudar sempre;

Ao meu Orientador Rogério de Jesus Santos sou extremamente grata pela sua orientação minuciosa, pelos conhecimentos transmitidos, pela sua grande disponibilidade, pelo apoio, encorajamento, sugestões e críticas em todas as etapas, pelo exemplo de seriedade, envolvimento, dedicação e vocação para com as atividades de pesquisa.

Aos meus amigos, James e Ulisses pela prestatividade em sempre me ajudar nas atividades de laboratório;

A todas as pessoas que conheci ao longo da minha vida acadêmica e na cidade de Delmiro Gouveia, incluindo aqueles que não me recordo o nome, pois cada pessoa que encontrei nessa jornada sempre acrescentou de alguma forma.

Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.

Josué 1:9

RESUMO

O estudo do bloco solo cimento para uso de vedação, contempla diversas possibilidades de traços e materiais agregados (como o resíduo de pré-moldado) devido ao grande número de tecnologias e aos diversos fatores que afetam o seu desempenho. Diante dessas alternativas, este trabalho avaliou o desempenho de blocos constituídos por solo e cimento e blocos com solo, cimento e resíduo de pré-moldado, fazendo a adição deste em substituição parcial do cimento. Foram fabricados 12 blocos, destes 6 referenciais com traço 1:2 (solo/cimento) e 6 com resíduo de pré-moldado traço 1:2 (solo/cimento + 10% resíduo em substituição de 10% cimento). Inicialmente foram realizados ensaios para a caracterização do solo, os blocos foram moldados de acordo com as especificações exigidas e, posteriormente, após 28 dias em cura submetidos a testes de viabilidade. Assim, buscou-se comparar os resultados das características físicas e mecânicas como a resistência a compressão e absorção dos blocos. Os resultados revelaram que, em relação à absorção, tanto os blocos referenciais quanto os residuais atenderam os limites exigidos pela NBR 6136:2014, que estabelece absorção $\leq 10\%$ para blocos confeccionados com agregado normal. Em relação à compressão os resultados não foram satisfatórios para os blocos com adição de resíduo, a NBR 15270-1:2017 recomenda 3,0 MPa para os blocos cerâmicos vazados com furos verticais para uso de vedação. Os blocos referenciais apresentaram-se quase no limite 3,48 MPa, enquanto os residuais 1,37 MPa.

Palavras-chave: Bloco solo e cimento; sustentabilidade; construção; blocos para vedação.

ABSTRACT

The study of soil block and cement for use of fence, with multiple possibilities of traces and aggregate materials (such as the precasting process) is due to the large number of technologies and several factors that affect the performance. Considering these alternatives, this paper evaluated the performance of blocks made up of soil and cement and blocks with soil, cement and pre-cast residue, adding the partial cement replacement. A total of 12 blocks, 6 of them with a 1:2 proportion (soil/cement) and 6 with proportion 1:2 preform were used (soil/ cement + 10% residue in substitution of 10% cement). Initially tests were carried out to characterize the soil, the blocks were molded according to the required specifications and, after 28 days in curing, submitted to viability tests. So we sought to compare the results of the physical and mechanical characteristics such as the resistance to compression and absorption of the blocks. The results showed that, in relation to the absorption, both the reference and the residual blocks met the limits required by NBR 6136: 2014, which establishes absorption $\leq 10\%$ for blocks made with normal aggregate. In relation to the compression the results were not satisfactory for the blocks with addition of residue, the NBR 15270-1: 2017 recommends 3.0 MPa for the ceramic blocks cast with vertical holes for use of fence. Reference blocks were almost in the limit 3.48 MPa, while the residual 1.37 MPa.

Keywords: Soil and cement block; sustainability ;construction ; sealing blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Solo utilizado.....	35
Figura 2 - Peneiras utilizadas no ensaio	36
Figura 3 - Peneiras utilizadas no ensaio	37
Figura 4 - Material retido em cada peneira.....	46
Figura 5 - Curva granulométrica.....	47
Figura 6 - Pesagem de solo para ensaio de limite de liquidez	49
Figura 7 - Gráfico limite de liquidez	49
<i>Figura 8 – Percentual de absorção</i>	<i>51</i>
Figura 9 - Blocos Referencias e Residuais	53
<i>Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão.....</i>	<i>54</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência e Absorção aos 28 dias	30
Tabela 2 - Dimensões nominais do bloco	31
Tabela 3 - Relação entre passagem e retenção de grãos.....	37
Tabela 4 - Classificação do agregado	38
Tabela 5 - Absorção Individual e média recomendada	41
Tabela 6 - Resultados de Exame Tátil, Visual e de Plasticidade.....	44
Tabela 7 - Massa retida na peneira	45
Tabela 8 - Relação de peneiras utilizadas e material retido	45
Tabela 9 - Limites granulométricos	47
Tabela 10 - Determinação do limite de liquidez.....	48
Tabela 11 - Ensaio de absorção.....	50
Tabela 12 - Percentual de absorção	51
Tabela 13 - Resistências verificadas no ensaio de compressão	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivos gerais	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Sustentabilidade.....	16
2.2 Solo	18
2.3 Estabilização de solos com cimento.....	20
2.4 Resíduo de pré-moldados	23
2.5 O Solo Cimento	25
2.6 Métodos de dosagem.....	27
2.7.1 DIMENSÕES	30
3. METODOLOGIA	32
3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	32
3.1.1 Exame Visual e Tátil:	32
3.1.2 Teste de sujar as mãos	33
3.1.3 Teste de plasticidade.....	33
3.1.4 Ensaio granulométrico	34
3.1.5 Determinação do limite de liquidez	38
3.2 ENSAIOS DE FUNCIONALIDADE.....	40
3.2.1 ENSAIO DE ABSORÇÃO	40
3.2.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO ..	44
4.1.1 Exame Visual, Tátil e de Plasticidade.....	44
4.1.2 Ensaio Granulométrico	44
4.1.3 Determinação do limite de liquidez	48
4.1.4 Ensaio de Absorção.....	50
4.1.4 Ensaio de Compressão	52
5. CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

A construção com bloco solo cimento pode minimizar danos ambientais, dar mais agilidade e baratear o custo das obras.

A técnica construtiva é resultado da mistura homogênea de solo, cimento e água em proporções previamente determinadas, depois compactada na forma de tijolos, blocos ou paredes monolíticas.

A utilização de blocos de solo-cimento é considerada um método construtivo mais barato do que o convencional (com blocos cerâmicos e de concreto), visto que um dos componentes da matéria-prima é abundante (o solo) e não gera custos de compra na grande maioria dos casos.

A construção civil tem uma importante representação mundial no consumo de recursos naturais, como na geração de impactos ambientais e resíduos. Ela abrange desde a fabricação de cimento e suas emissões de gases na atmosfera até a deposição de resíduos em aterros (ÂNGULO et al., 2001).

A construção civil é uma grande modificadora de espaços, suas grandes obras e necessidade de obra prima crescente gera um grande impacto na economia e no meio ambiente, entre outros. Com o passar dos anos e crescente pesquisas de inovação no âmbito de materiais que possam minimizar os impactos ambientais aliados com a redução de custos, a técnica de bloco solo cimento é um material alternativo de baixo custo e de produção mais limpa que os blocos convencionais.

O setor da Construção Civil vem apresentando mudanças significativas, com vários esforços para a melhoria da qualidade na cadeia produtiva e para o incremento da produtividade através do desenvolvimento de planos organizacionais e inovações tecnológicas, tais como a revisão e a produção de normas técnicas, a redução do desperdício em canteiros de obras, a utilização de sistemas industrializados e a formação de um sistema nacional de certificação (KENYA et al, 2002, p.05)

No que se refere a produção, o bloco feito com solo, não necessita da queima de madeira ou combustíveis e dispensa revestimentos e argamassas, barateando o processo construtivo. Assim como a parede monolítica, são fabricados, normalmente, com o próprio solo do local, o que reduz custos com relação à matéria-prima de

construção e o seu transporte. E, desde que bem executado, o bloco apresenta boa durabilidade e resistência à compressão.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo introdutório, a dissertação é composta pelos capítulos descritos a seguir.

Capítulo 2 – **REFERENCIAL TEÓRICO**. Apresentação e discussão de publicações relacionadas ao tema central do trabalho, organizado de acordo com os seguintes subtemas: sustentabilidade; solo; estabilização solo cimento; utilização de resíduos; o solo cimento; métodos de dosagem; dimensões.

Capítulo 3 - **METODOLOGIA**. Apresentação dos principais procedimentos adotados na realização da etapa experimental do trabalho. São apresentados os seguintes grupos de ensaios de laboratório: caracterização física e mecânica dos materiais (cimento e solo); projeto e execução de molde para produção de corpos de prova de solo-cimento; produção de corpos de prova; caracterização física e mecânica do solo-cimento.

Capítulo 4 - **RESULTADOS E DISCUSSÕES**. Apresentação e discussão dos resultados médios de todos os ensaios realizados, assim como os demais parâmetros estatísticos. O capítulo está organizado de acordo com a mesma estrutura do capítulo "3. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA", com as discussões inseridas logo após cada resultado apresentado.

Capítulo 5 - **CONSIDERAÇÕES FINAIS**. Apresentação de possíveis conclusões do trabalho, assim como considerações sobre eventuais dificuldades enfrentadas durante sua realização e sugestões para aplicação dos resultados e para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS - Lista de todos os trabalhos e documentos citados no corpo do trabalho, apresentado de acordo com as normas pertinentes, da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

1.1 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

Avaliar o desempenho do bloco solo cimento modular na construção civil, assim como sua viabilidade e funcionalidade.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a disponibilidade de matéria prima e facilidade na produção do bloco solo cimento;
- Avaliar o impacto sustentável causado na utilização de bloco solo cimento;
- Avaliar a concentração dos tipos de solo na mistura para maior/menor utilização de cimento;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas do bloco solo cimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

A grande demanda por recursos da natureza na construção civil, assim como a crescente busca por métodos construtivos mais eficazes e seguros, trazem à tona a preocupação com o meio ambiente e com os modelos atuais de construção e também com a desenvoltura física e mecânica dos blocos de vedação utilizados.

O presente trabalho traz o estudo do bloco solo cimento como alternativa a blocos cerâmicos e de concreto. Os blocos mais utilizados na atualidade (cerâmico e de concreto) retiram bastante matéria prima da natureza e carregam no seu processo de fabricação a poluição, pois, no processo de queima emite gás carbônico e outros gases maléficos.

O bloco solo cimento tem um baixo custo; sua execução demanda pouca prática e poucos equipamentos de fácil aquisição.

Essa pesquisa vem para validar a viabilidade do bloco solo cimento como uma alternativa limpa, segura, eficaz e de execução ao alcance de todos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo é feito o embasamento teórico. Inicialmente é feita uma descrição da sustentabilidade e da sua importância para o meio ambiente, depois uma investigação do solo dentro do contexto da engenharia; a estabilização dos solos para a produção dos blocos; utilização de resíduos como material componente do bloco; as características do bloco solo cimento; os métodos de dosagem e por fim as dimensões características do bloco.

2.1 Sustentabilidade

Sustentabilidade é um termo usado para definir ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações. Ou seja, a sustentabilidade está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e material sem agredir o meio ambiente, usando os recursos naturais de forma inteligente para que eles se mantenham no futuro (FERMENTEC, 2017, p.2).

Pode-se definir sustentabilidade por um conceito sistêmico, o qual propõe paradigmas da complexidade, instabilidade e intersubjetividade. De acordo com Bellen: A sustentabilidade é um conceito fundamentalmente normativo, ela implica a manutenção, para cada geração, de um nível socialmente aceitável de desenvolvimento humano (BELLEN, 2005, p.68).

O meio ambiente há um bom tempo começou a dar sinais que não está conseguindo absorver os danos causados e as intervenções feitas pelo homem, com isso, diversas áreas do mercado modificador de espaços, principalmente a engenharia civil, perceberam a importância de se adequarem a essas novas demandas do consumidor; buscando pelo desenvolvimento sustentável. Para Bellen (2005, p.23), o conceito surgiu após um longo processo histórico, no qual houve uma reavaliação sobre a relação entre o meio ambiente e a sociedade.

Segundo Fernando Almeida (2009, p.35) a melhor tradução para a ideia de sustentabilidade está na palavra “sobrevivência”. Seja a do planeta, a da espécie humana, a das sociedades humanas ou a dos empreendimentos econômicos.

A noção de sustentabilidade implica, portanto, uma inter-relação necessária de justiça social, qualidade de vida, equilíbrio ambiental e a ruptura com o atual padrão de desenvolvimento (JACOBI, 1997, p.387).

A noção de sustentabilidade pode ser melhor entendida quando atribuímos um sentido amplo à palavra “sobrevivência”. O desafio da sobrevivência - luta pela vida - sempre dominou o ser humano. Inicialmente, no enfrentamento dos elementos naturais; e, mais tarde, sobretudo agora no século XXI, no enfrentamento das conseqüências trazidas pelo imenso poder de transformação desses elementos acumulado pelo homem (ALMEIDA F., 2002, p. 53)

Nos anos 60, em debate as questões ambientalistas, a ONG Clube de Roma, e alguns estudiosos em várias partes do mundo criavam os primeiros comentários sobre questões que envolviam o tema. Em seu primeiro relatório o Clube de Roma (Limits to Growth de 1972) impactou a comunidade científica ao apresentar cenários bastante catastróficos sobre o futuro do planeta se o padrão de desenvolvimento econômico e social permanecesse nos mesmos moldes. A partir daí surgiram uma gama de outros relatórios, todos com o mesmo fundamento: preservar o meio ambiente. Pode - se, então, citar alguns que são referência como Desenvolvimento Sustentável:

- Relatório do Clube de Roma: Limites do Crescimento (1968);
- Declaração de Estocolmo (1972);
- Relatório de Brundtland: Nosso Futuro Comum (1987);
- Declaração do Rio (1992);
- Agenda 21 (1992).

O principal eixo de atuação da educação ambiental deve buscar, acima de tudo, a solidariedade, a igualdade e o respeito à diferença através de formas democráticas de atuação baseadas em práticas interativas e dialógicas. Isto se consubstancia no objetivo de criar novas atitudes e comportamentos diante do consumo na nossa sociedade e de estimular a mudança de valores individuais e coletivos (JACOBI, 1997, p.25).

Segundo a visão do renomado arquiteto Jaime Pusch: “a sustentabilidade é uma recomendação pró-ativa. Apresenta-se ao agente de desenvolvimento como uma condicionante definitiva de sua ação sobre o meio. O conceito de ação sustentável passa também pela consideração do homem como ser integrante da natureza e propõe a harmonização dos seus interesses peculiares consigo mesmo e seu entorno” (PUSCH, 2010, p.30).

Desde o início da tomada de consciência sobre os problemas ambientais até o momento presente, a discussão da temática ambiental evoluiu muito. A relação sociedade e meio ambiente, tema pouco abordado nas discussões iniciais sobre a polêmica ambiental, começou a ser observada de forma mais crítica e a própria concepção do problema passou para forma mais globalizada e menos localizada (WEIZSACKE et al, 1995).

Essa reflexão sobre a crise ecológica moderno no nível mundial leva ao surgimento de novas alternativas de relacionamento da sociedade contemporânea com seu ambiente, procurando reduzir os impactos que ela produz sobre o meio que a cerca (WEIZSACKE et al, 1995).

Aparentemente, nos últimos séculos, a dependência das sociedades humanas em relação aos recursos naturais vem diminuindo. Esse fato pode ser confirmado pela diminuição da produção e do consumo de recursos energéticos intensivos, pelo aumento de produtos energéticos não-intensivos e pelo crescimento do setor de serviços. Utilizando uma base relativamente baixa na entrada de recursos naturais, os sistemas tecnológicos atuais, mais eficientes, são capazes de criar e operar complexas estruturas com alta produtividade (LOVINS et al, 1995).

O Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB) define a construção sustentável como “o processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica” (CIB, 2002, p.8). A noção de construção sustentável deve estar presente em todas as etapas do empreendimento, desde a sua concepção até a utilização e melhoria.

A adesão à busca da sustentabilidade pressupõe, portanto, uma noção clara da complexidade e das sutilezas do fator tempo. Sobretudo, exige uma postura não imediatista, uma visão de planejamento e de operação capaz de contemplar o curto, o médio e o longo prazo (FERNANDO ALMEIDA, 2009, p. 90).

2.2 Solo

Os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas por desintegração mecânica ou decomposição química. Por desintegração

mecânica, através de agentes como água, temperatura, vegetação e vento, formam-se os pedregulhos e areias (solos de partículas grossas) e até mesmo os siltes (partículas intermediárias) e, somente em condições especiais, as argilas (partículas finas) (...) (CAPUTO, 1988, p.19).

A ABNT (NBR 6502, 1995) define solo como “Material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”, ou simplesmente, produto da decomposição e desintegração da rocha pela ação de agentes atmosféricos. A ação contínua do intemperismo tende a desintegrar e decompor as rochas, dando origem ao solo.

Os solos e lateritas são considerados pela engenharia como materiais de construção e de sustentação das obras. Em rodovias, estes compõem as camadas estruturais do pavimento (subleito, sub-base, base, capa asfáltica). Para tanto, devem apresentar certas propriedades, para que sejam capazes de conferir estabilidade e resistência mecânica aos esforços e cargas a que serão submetidos durante a vida útil da estrada. (AZEVEDO et al., 1998, p. 01).

O solo é um dos materiais cujas propriedades são estudadas ao longo do curso de engenharia civil, assim como, o aço e o concreto. Enquanto estes podem ser considerados materiais homogêneos, em face de um processo de fabricação que permite controlar tanto a qualidade quanto a quantidade de seus componentes, o solo é um material heterogêneo, pois que, nenhum processo de controle ocorre durante a sua formação. (NOGUEIRA, 1995, p.01)

Devido a essa não homogeneidade é que se pode afirmar serem os solos materiais pontualmente diferentes originando disso a importância dos resultados de ensaios, tanto in situ quanto em laboratório, e o reconhecimento de que a mecânica dos solos é uma ciência cujos dados devem ser obtidos, de preferência, experimentalmente (NOGUEIRA, 1995, p.01)

Por decomposição química entende-se o processo em que há modificação química ou mineralógica das rochas de origem. O principal agente é a água e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. As argilas representam o último produto do processo de decomposição. Normalmente esses processos atuam simultaneamente; em

determinados locais e condições climáticas, um deles pode ter predominância sobre o outro (...) (CAPUTO, 1988, p.14).

O solo é, assim, uma função da rocha-master e dos diferentes agentes de alteração. Os que mantêm uma nítida macroestrutura herdada da rocha da origem são designados por solos saprolíticos (CAPUTO, 1988, p.14).

De acordo com Pinto (1998, p. 02), os solos podem ser definidos por um conjunto de partículas sólidas provenientes da desagregação de rochas por ações físicas e químicas, com água (ou outro líquido) e ar, ou ainda ambos, em seus espaços intermediários. Assim, é definido por Blücher (1951), uma estrutura porosa, sendo que as partículas, de maneira geral, se encontram livres para se deslocarem. O comportamento dos solos depende dessa movimentação das partículas sólidas entre si, o que altera as porcentagens em volume das suas fases constituintes.

O solo é um aglomerado de partículas provenientes de decomposição da rocha, chamado de processo de intemperismo. Pode ser escavado com facilidade, sem o emprego de explosivos, o que propicia sua utilização como material de construção ou de suporte para estruturas (ORTIGÃO, 2007, p.11).

Toda e qualquer matéria, orgânica ou não, estranha ao solo deverá ser excluída da amostra. Se esta operação for difícil de ser realizada no campo deve-se informar sobre a existência dessa matéria, para que no laboratório sejam tomadas as providências necessárias (NOGUEIRA, 1995, p.19).

2.3 Estabilização de solos com cimento

Os solos são o mais antigo e complexo material de engenharia e a necessidade de proceder à sua estabilização já remonta a tempos distantes. O melhoramento de solos começou a ser utilizado para a construção de pavimentos rodoviários nas civilizações Mesopotâmica e Romana, mas já outros povos tinham recorrido esporadicamente ao emprego de cal para estabilização de solos (HAMZAH, 1983 apud CRUZ, M., 2004).

O cimento é definido como um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou tempo inicial de “pega”) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento. O clínquer é o resultado da mistura de calcário, argilas e, em menor proporção, minério de ferro

submetido a um processo chamado clinquerização, na qual a matéria-prima é moída, misturada em determinadas proporções e submetida à queima em forno rotativo a elevadas temperaturas (GRANDE, 2003).

Já o solo-cimento teve seus primeiros relatos de utilização no ano de 1915 nos Estados Unidos, quando o engenheiro Bert Reno empregou uma mistura de conchas marinhas, Cimento Portland e areia de praia na pavimentação de uma rua. Entretanto, este material passou a ser estudado apenas em 1935, pela Portland Cement Association (PCA), que deu início a um intenso programa de pesquisa sobre o solo estabilizado com cimento destinado à construção de rodovias, e posteriormente, à construção de casas. (ABIKO 1983 apud GRANDE, 2003, p.27).

O cimento Portland é uma substância alcalina, composta, em sua maior parte, de silicatos e aluminatos de cálcio que, por hidrólise, dão origem a compostos cristalinos hidratados e gel. Os cristais que se formam apresentam formas alongadas, prismáticas, ou formas de agulhas de monossilicatos de cálcio hidratados e de aluminatos hidratados; esses cristais aciculares acabam se entrelaçando à medida que avança o processo de hidratação, criando a estrutura que vai assegurar a resistência típica das pastas, argamassas e concretos (TAYLOR, 1992, p.475).

A estabilização ou melhoramento de solos consiste na utilização de qualquer processo de natureza física, química, físico-química ou mecânica (natural ou artificial), com a finalidade de alterar as propriedades dos solos existentes de maneira a melhorar o seu comportamento quanto à utilização como material de Engenharia, tornando-os capazes de responder de forma satisfatória às solicitações previstas.

O tratamento de solos foi introduzido há mais de 3000 anos para a construção dos templos da antiga Babilônia, constituindo uma das primeiras manifestações da engenharia. Apresenta-se hoje em dia como uma das áreas de maior importância no ramo geotécnico, devido aos terrenos apresentarem cada vez menos qualidade e os seus preços aumentarem exponencialmente dia após dia em particular nos grandes aglomerados urbanos, para além das exigências funcionais serem cada vez maiores e mais complexas e também pela crescente preocupação com o ambiente (FERREIRA, C. et al, 2010).

Os Gregos e Romanos encarregaram-se de desenvolver a técnica de aplicação da cal para a estabilização de solos, uma vez que havia necessidade de obter superfícies rígidas para a circulação dos veículos com rodas, chegando a ser utilizado um outro material, a pozolana (cinza vulcânica), para melhorar a ação de cimentação da cal. Mas, com o passar dos tempos tornou-se evidente a incapacidade destes pavimentos suportarem as velocidades e as cargas dos veículos postos em circulação a partir do início do século passado (CASTRO, 1970 apud Cruz, M., 2004, p. 93).

As alterações das propriedades de um solo podem ser de natureza mecânica, física e química. Contudo, devido à grande variabilidade dos solos nenhum método será bem-sucedido em mais do que alguns tipos de solos. De fato, visto que as características de um solo se alteram em intervalos de alguns metros, a escolha de um método de estabilização é normalmente condicionada pelo número e tipo de solos sobre os quais este provou ter uma ação efectiva (CRISTELO, 2001, p.140).

Deve também ser notado que a estabilização não é necessariamente um processo infalível através do qual toda e qualquer propriedade do solo é alterada para melhor. Uma aplicação correta de qualquer método exige assim a identificação clara de quais as propriedades do solo que se pretendem melhorar (CRISTELO, 2001, p.140)

Dentro da estabilização de solos, existem diferentes tipos. Em termos de duração a estabilização de solos pode ser dividida em três grupos, consoante o método de estabilização utilizado e o período de tempo em que o melhoramento alcançado vai manter-se (VAN IMPE, 1989, p.125).

1. Estabilização temporária que é limitada a um período, que geralmente, é o tempo de construção da obra.
2. Estabilização permanente sem adição de materiais em que o melhoramento do solo natural é conseguido sem a adição de outros materiais.
3. Estabilização permanente com adição de materiais em que o melhoramento do solo natural é obtido à custa da adição de outros materiais.

2.4 Resíduo de pré-moldados

Nos dias atuais, dentre as várias condições essenciais para o crescimento econômico das nações, pode ser citado o desenvolvimento de novas soluções baseadas no conceito de eficiência energética e de proteção do meio ambiente. Nesse contexto, o estudo sobre a utilização de resíduos provenientes de inúmeros meios de produção é fundamental para consolidação de uma matriz produtiva, capaz de consumir essa nova gama de matéria-prima.

Os resíduos podem se constituir em problema que acabará por, mais cedo ou tarde, sufocar o homem moderno em sua própria atividade fabril ou, ao contrário, podem constituir fonte de renda e de solução de problemas, com a simultânea defesa do meio ambiente, se convenientemente manejados e aproveitados (CASANOVA, 2004, p.03).

Grande parte dos resíduos poluentes, produzidos pela sociedade, pode ser reciclada, de modo a gerar novos materiais e atender à crescente demanda por tecnologias alternativas de construção, mais eficientes e econômicas (CORDEIRO, 2006, p. 35).

Segundo a EPA (2000), os resíduos de construção e demolição são materiais provenientes da produção de novas construções, reformas e demolição de edifícios e estruturas de todos os tipos, residenciais e não residenciais, e também estradas e pontes.

Ainda segundo a EPA (2000), os materiais componentes dos resíduos de construção e demolição variam de acordo com as regulamentações locais dos estados americanos, mas de uma forma geral, estão incluídos: concreto, asfalto, madeira, metais, painéis de gesso acartonado, cerâmicas de piso e parede, telhas, plásticos, material elétrico e hidráulico, vidro e, em alguns estados, materiais provenientes de limpeza de terrenos, como madeira de poda de árvores, rochas e terra, dentre outros.

O desenvolvimento de materiais, componentes e elementos destinados às edificações envolve aspectos diretamente relacionados com as suas propriedades e o uso a que se destinam, e a outros aspectos, mais genéricos, tais como: a qualidade do processo de produção e do produto, a utilização dos insumos e o comportamento do produto no contexto ambiental (NEVES, 2003, p. 176).

De acordo com DANTAS Filho (2004, P. 17), resíduo é qualquer material proveniente da sobra de uma ação ou processo produtivo gerados nas fases de extração e transformação de produtos naturais, de fabricação, de utilização de produtos e serviços, podendo ser sólido, líquido ou gasoso.

A construção civil, como agente de produção, é uma grande geradora de resíduos e, dessa forma, deve implementar condições para que os resíduos por ela gerados sejam aproveitados na própria construção. De acordo com HORVATH (2004, p. 28), na Austrália, Finlândia, Alemanha, Holanda e Estados Unidos, dos resíduos sólidos gerados, de 13 a 29% são provenientes de construção e demolição. No Brasil, esse número é em torno de 50% do total de resíduos sólidos gerados (SPOSTO, 2006).

A quantidade de materiais e energia necessários ao processo de reciclagem pode representar um grande impacto para o meio ambiente. Todo processo de reciclagem necessita de energia para transformar o produto ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva. Tal energia dependerá da utilização proposta para o resíduo, e estará diretamente relacionada aos processos de transformações utilizados. Além disso, muitas vezes, apenas a energia não é suficiente para a transformação do resíduo. São necessárias também matérias-primas para modificá-lo física e/ou quimicamente (ÂNGULO et al, 2001, p.03).

A importância do aproveitamento de resíduos para a produção de moradias, sejam estas de interesse social ou não, deve-se basicamente à possibilidade de desenvolvimento de materiais de boa qualidade e baixo custo, a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente, através da investigação de suas potencialidades (BUSON, 2009, p. 04).

Existem muitas oportunidades e desafios no campo da reciclagem de resíduos da construção civil que emergem a partir de um potencial ganho ambiental e econômico e que esses novos materiais podem proporcionar. A tendência pelo uso de materiais reciclados ganha força porque sua utilização não demanda mudança nas práticas de construção antigas e novas tecnologias (HORVATH, 2004, p.45).

Quanto à reciclagem, do ponto de vista econômico, segundo (CALDERONI, 2003, p. 319), não reciclar significa deixar de auferir rendimentos da ordem de bilhões de reais todos os anos. Segundo o mesmo autor, a economia de matéria-prima constitui o principal fator de economia, seguida da economia de energia elétrica.

Resíduos de construção e demolição podem ser aproveitados através da reutilização direta do material ou por meio de reciclagem. Para que os materiais possam ser aproveitados, deve ser feita uma seleção criteriosa nos canteiros de obras, separando os diferentes tipos de entulho. No caso da demolição, além da separação deve-se ter o cuidado de separar peças que possam ser reaproveitadas diretamente (portas, janelas, tubulação, etc.) ou que necessitem de pequenos reparos para serem utilizadas.

Segundo a EPA (2000), dentre os benefícios da utilização de resíduos da construção, pode-se citar:

- Redução do impacto sobre o meio ambiente quanto à extração, transporte e processamento dos materiais;
- Redução no custo de projetos para áreas de disposição dos resíduos e compra de novos materiais;
- Melhora a imagem pública das empresas e organizações que reduzem a geração de resíduos;
- Conservação do espaço que seria destinado à disposição dos resíduos para outro tipo de resíduo que não possa ser reciclado.

Neste contexto, este trabalho propõe a incorporação de resíduo de pré-moldado proveniente da fabricação e reutilização de pré-moldados na produção de um novo componente de solo com cimento. Apresenta-se o estudo, desenvolvimento e análise de desempenho técnico de um novo material, chamado de BTC (bloco de terra compactada) de SCR (solo-cimento-resíduo), para uso em vedações verticais de edificações em geral.

2.5O Solo Cimento

O bloco de terra comprimida (BTC) em estudo é composto por solo, cimento, água e o pó da brita que é resíduo de construção civil. A terra é um material bastante heterogêneo e variável, a composição dela, obtida através de exames laboratoriais e

de campo é que vai ditar a quantidade de cimento, água e pó de brita necessários na mistura.

A disponibilidade de matéria-prima propicia na utilização de solo do próprio local da fabricação é um fator das grandes vantagens do solo-cimento, sendo que, na mistura solo-cimento, o solo é o elemento de maior proporção, devendo ser tal que permita o uso da menor quantidade possível de cimento.

Conforme Milani (2005, p.113), os solos tratados com cimento desenvolvem valores de coesão e atrito interno muito superiores àqueles obtidos a partir do solo original. No entanto, a estabilidade do solo-cimento é conseguida principalmente à custa da hidratação do cimento e não pela coesão e atrito interno dos componentes; daí poder-se utilizar, praticamente, todos os solos e combinações de solos para fins de solo-cimento.

O termo “estabilização do solo” corresponde a qualquer processo, natural ou artificial, pelo qual um solo, sob o efeito de cargas aplicadas, se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento, do que o solo primitivo (MILANI, 2005. p. 113).

Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002) a dosagem de solo-cimento consiste na sequência de ensaios realizados com uma determinada mistura de solo, cimento e água, seguida de uma interpretação dos resultados por meio de critérios pré-estabelecidos.

Ainda segundo a ABCP o resultado final de um estudo de dosagem seria obtido pela fixação de três variáveis: a quantidade de cimento, a quantidade de água e a massa específica aparente seca a ser alcançada após a compactação. As duas últimas, entretanto, sofrem pequenas oscilações, dadas as variações de campo que ocorrem nas características do solo. Assim, essas variáveis passaram a servir apenas como elemento de controle e, com isso, o objetivo da dosagem passou a ser, basicamente, a fixação da quantidade adequada de cimento.

Sendo assim, o solo encontrado na natureza deve ser avaliado e tratado para servir de matéria prima para o BTC. O solo orgânico contém microrganismos que são organismos decompositores, sendo assim este tipo de solo não é apropriado para a construção civil, pois, esses agentes degradam os materiais. Para evitar a presença de matéria orgânica no material, é recomendável retirar a primeira capa do solo e

coletar material para o bloco de camadas menos expostas, numa profundidade razoável e com escavação vertical. Inicialmente é importante observar o solo in natura, ver a cor e diâmetro aproximado dos grãos. Segundo a NBR 10833, item 4.1.1, o solo deve atender as seguintes características:

- a) 100% do material que passa na peneira com abertura de malha 4,75mm, de acordo com a ABNT NBR NM ISO 3310 -1;
- b) 10 a 50% do material que passa na peneira 75 μ m, de acordo com a ABNT NBR NM ISO 3310 -1;
- c) Limite de liquidez menor igual a 45%;
- d) Índice de plasticidade menor igual a 18%.

Depois de colhidas as amostras qualitativas do solo, essas deverão ser encaminhadas para um laboratório de mecânica dos solos, que determinará a proporção de argila, areia e silte existentes no solo. Depois da análise, é feita a dosagem para solo-cimento, procedimento que determinará a quantidade de água, cimento e solo para estabilizar a mistura. O resultado final do estudo de dosagem é apresentado na forma de teor de cimento (relação entre a quantidade de cimento e a de solo seco, em massa). Este teor, muitas vezes de pouca utilidade para fins de obra, pode ser transformado em traço volumétrico, por exemplo: 1 parte de cimento para 12 a 15 partes de solo, em volume.

Dentre as vantagens apresentadas por esta tecnologia está o baixo consumo de energia na produção dos blocos de solo-cimento, no transporte e manutenção e a utilização de mão de obra intensiva, sem exigência de alta qualificação. Por outro lado, a durabilidade é fator de grande importância neste tipo de construção e cuidados especiais devem ser tomados(CORDEIRO et al, 2006, p. 54).

2.6 Métodos de dosagem

Dosagem é o processo de estabelecimento do traço de concreto, com a especificação das quantidades de cimento, agregados, água, adições e eventualmente aditivos (DANTAS, 2004, p.24).

Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland,1986) a dosagem de solo-cimento consiste na sequência de ensaios realizados com uma determinada mistura de solo, cimento e água, seguida de uma interpretação dos resultados por

meio de critérios pré-estabelecidos. O resultado final de um estudo de dosagem seria obtido pela fixação de três variáveis: a quantidade de cimento, a quantidade de água e a massa específica aparente seca a ser alcançada após a compactação. As duas últimas, entretanto, sofrem pequenas oscilações, dadas as variações de campo que ocorrem nas características do solo. Assim, essas variáveis passaram a servir apenas como elemento de controle e, com isso, o objetivo da dosagem passou a ser, basicamente, a fixação da quantidade adequada de cimento.

O mesmo estudo técnico da ABCP traz a completa descrição das normas de dosagem de solocimento propostas pela Portland Cement Association – PCA, sendo uma norma geral e uma norma simplificada para os métodos de dosagem. Seus resultados, desde 1932, têm comprovação em inúmeros serviços executados com solos de diversas origens, em diferentes regiões do mundo, inclusive no Brasil, após 1939.

De acordo com a ABCP (2002), a norma geral de dosagem pode ser resumida nas seguintes operações: identificação e classificação do solo; escolha do teor de cimento para o ensaio de compactação; execução do ensaio de compactação; escolha dos teores de cimento para o ensaio de durabilidade; moldagem de corpos-de-prova para o ensaio de durabilidade; execução do ensaio de durabilidade por molhagem e secagem; e, escolha do teor de cimento adequado em função dos resultados do ensaio.

A dosagem do solo-cimento por esta norma geral apresenta a desvantagem prática de requerer muito tempo para a realização de ensaios, principalmente para os de durabilidade, que requerem cerca de 40 dias. Procurou-se, então, correlacionar os resultados dos ensaios com outros de execução mais rápida.

A PCA também apresenta uma norma simplificada de dosagem, resumida nas seguintes operações: ensaios preliminares do solo; ensaio de compactação do solocimento; determinação da resistência à compressão simples aos 7 dias; e, comparação entre a resistência média obtida aos 7 dias e a resistência admissível para o solo-cimento produzido com o solo em estudo.

Segundo a ABCP (2002), o fundamento deste método, comprovado pelos ensaios realizados, é a constatação de que solos arenosos com determinada

granulometria e massa específica aparente seca máxima, irão requerer, de acordo com o critério de perda de massa no ensaio de durabilidade, o mesmo teor de cimento indicado por este ensaio, desde que alcance resistência à compressão, aos 7 dias, superior a determinado valor mínimo, estabelecido estatisticamente na série de ensaios de comparação realizada. O uso desse método restringe-se aos solos que contenham no máximo 50% de partículas com diâmetro inferior a 0,05 mm (fração silte e argila) e no máximo 20% de partículas com diâmetro inferior a 0,005 mm (fração argila).

Vale ressaltar que o método de dosagem, por mais rigoroso que seja, não implicará necessariamente na obtenção de uma mistura de boa qualidade, uma vez que para isso devem ser observados outros fatores, tais como: teor de umidade da mistura, operações de mistura e compactação, tempo e condições de cura.

Para um traço fixo, a quantidade ótima de água será aquela que proporcionar aos blocos a maior compacidade, que é verificada pesando-os logo após a moldagem. Normalmente a máxima compacidade é obtida com a maior quantidade de água possível, até o limite em que os blocos começam a perder a coesão e a aderir nas paredes das formas (FERREIRA JUNIOR, 1995, p.16)

É possível fabricar blocos de boa aparência com diversos consumos de cimento, desde traços ricos (por exemplo 1:6 em massa) até traços mais pobres (1:10, 1: 15 ou mais). A escolha do traço deverá ser feita em função da resistência desejada, que será, dentro dos padrões normais, tanto maior quanto mais rico for o traço (FERREIRA JUNIOR, 1995, p.16).

O objetivo mais amplo da dosagem do concreto para blocos é a escolha do traço de concreto que, com o equipamento e o processo de produção empregado, resulte na confecção de blocos cujas propriedades no estado endurecido satisfaçam às exigências de uso predeterminadas segundo (TANGO, 1986, apud Dantas, 2004, p.26).

Normalmente as exigências têm-se referido à resistência à compressão e à absorção de água conforme estabelece as normas da NBR 7173 (ABNT, 1982). Em geral fixa-se o traço tendo em vista a resistência à compressão, e simplesmente verifica-se a absorção de água TANGO (1984, apud Dantas, 2004, p.26).

Para o solo-cimento destinado à confecção de blocos, tijolos ou paredes monolíticas, a dosagem está condicionada a obedecer às especificações de valores mínimos de resistência à compressão e absorção de água, prescritos pela NBR 8492 (ABNT, 2012) e descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Resistência e Absorção aos 28 dias

Valores – limite (aos 28 dias)	Média	Individual
Resistência à compressão (Mpa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de água (%)	$\leq 20,0$	$\leq 22,0$

Fonte: NBR 8492 (ABNT, 2012)

Os tijolos solo cimento referenciais em questão tem o traço solo cimento 1:2 e 3,25L de água para cada traço. A medida tomada foi de um balde pequeno, onde este suporta 9577g de areia e 8819,3 g de cimento. O volume requerido para todos os 6 blocos referenciais (que contém apenas: areia, água e cimento) obtido segundo as dimensões da fôrma é de 14,36L de cimento e 28,8L de areia, considerando perdas na produção nesses valores já estão contidos a multiplicação do fator de empolamento 1,3.

Para os tijolos com resíduo foi utilizado o mesmo traço, sendo que 10% da massa de cimento foi substituída pelo resíduo de pré-moldados. O fator água cimento encontrado foi de 0,45L/Kg, obteve-se pela equação a seguir:

$$f_{ac} = \frac{Agua_{Qtda}}{Cimento_{Qtda}} \quad (Equação 01)$$

Onde:

- $Agua_{Qtda}$: Dada em litros;
- $Cimento_{Qtda}$: Dado em kg.

2.6.1 DIMENSÕES

Os blocos devem seguir padrões de tamanho de acordo com a ABNT NBR 6136:2014 e suas especificações. Limita à zona de graduação zero a permissão para uso de agregado na produção de blocos, já que ele geralmente não pode possuir

grãos com diâmetro superior a metade da espessura da menor parede do bloco, e também define que os blocos devem atender as dimensões padronizadas permitindo-se tolerância de + 2 mm para a largura e +3 mm para altura e comprimento.

Segundo a NBR 10834:2012 item 4.2.1 dimensões, o bloco deve possuir a forma externa de um paralelepípedo retangular , sendo suas dimensões definidas a seguir:

- a) Comprimento do bloco (C): maior dimensão da face de assentamento;
- b) Largura do bloco (L): menor dimensão da face de assentamento;
- c) Altura do bloco (H): distância entre as faces de assentamento.

De acordo com o item 4.2.2 da NBR 10834:2012, as dimensões nominais a que os blocos devem atender são as constantes na tabela 2. No entanto, podem apresentar dimensões diferentes das estabelecidas nesta tabela, desde que a altura (H) igual ou superior à sua largura (L).

Tabela 2 - Dimensões nominais do bloco

TIPO	DIMENSÕES NOMINAIS (mm)		
	COMPRIMENTO	LARGURA	ALTURA
A	390	140	200

Fonte: NBR 10834 (2012)

3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste na fabricação de bloco solo cimento com resíduos de pré-moldados e argila expandida. Inicialmente foram feitos ensaios com o solo disponível na UFAL, a descrição de cada experimento é realizada a seguir.

Os seguintes procedimentos metodológicos foram adotados nesse experimento:

3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

3.1.1 Exame Visual e Tátil:

Esse exame consiste em examinar uma amostra de solo em estado seco e observar seus componentes arenosos, argilosos e siltosos da seguinte forma:

Neste ensaio preliminar observa-se a granulometria aproximada do solo assim como a coloração que está associada à presença de matéria orgânica. No entanto o efeito da M.O. (Matéria Orgânica) é influenciado pela textura e pelo tipo de argila. Além da M.O., outros componentes do solo, embora menos comuns, podem favorecer a presença de tonalidades escuras, tais como, óxidos de manganês, composto de ferro, etc . Em geral, solos mais arenosos como são originários de quartzo e silicato que são minerais claros, sendo assim as areias apresentam colorações mais claras puxando para um amarelo rosado.

A identificação de um solo, através de testes rápidos e sem a utilização de equipamentos, é de grande importância para a engenharia geotécnica, pois poderá ser realizada no campo e sem a necessidade das instalações de um laboratório. Ela tem o particular interesse em agrupar solos com características semelhantes permitindo definir o tipo e número de ensaios necessários à sua caracterização de um modo mais correto (NOGUEIRA, 1995, p.41).

Segundo Carvalho (2005, p.15), a areia, Solo não coesivo e não plástico com comportamento predominantemente devido à fração areia, constituída por minerais ou partículas de rochas com diâmetros (Φ) compreendidos entre 0,06 mm e 2 mm. É caracterizado por sua textura, compactidade (estado de maior ou menor concentração de grãos ou partículas de um solo não coesivo em um dado volume) e forma dos grãos. Quanto à textura, as areias podem ser:

- Areias grossas: Φ entre 0,60 mm e 2,0 mm;
- Areias médias: Φ entre 0,20 mm e 0,60 mm;
- Areias finas: Φ entre 0,06 mm e 0,20 mm.

Segundo a Cartilha de produção de tijolos Solo Cimento, UNIMEP (2016, p. 19):

Misturando-se uma pequena quantidade de solo com água, sabe-se que:

- as areias são ásperas ao tato, apresentam partículas visíveis a olho nu e permitem muitas vezes o reconhecimento de minerais;
- o silte é menos áspero do que a areia, mas perceptível ao tato. Entre siltes grossos e areia fina, a distinção é praticamente impossível, a não ser com o auxílio de outros testes;
- as argilas, quando misturadas com água e trabalhadas entre os dedos, apresentam uma semelhança com pasta de sabão escorregadia; quando secas, os grãos finos das argilas proporcionam ao tato a sensação de farinha.

3.1.2 Teste de sujar as mãos

Faz-se uma pasta de solo com água e esfrega-se na palma das mãos, colocando-se, em seguida, sob água corrente:

- o solo mais arenoso lava-se facilmente, isto é, os grãos de areia limpam-se rapidamente das mãos;
- o solo mais siltoso só se limpa depois que bastante água correu sobre as mãos, sendo necessário sempre alguma fricção para a limpeza total;
- o solo mais argiloso distingue-se pela dificuldade de se desprender da palma das mãos, porque os grãos, muito finos, impregnam-se na pele, sendo necessário friccionar vigorosamente para a palma da mão se ver livre da pasta.

3.1.3 Teste de plasticidade

Propriedade dos solos finos que consiste na maior ou menor capacidade de serem moldados sob certas condições de umidade. Segundo a ABNT NBR 7250/82, é a propriedade de solos finos, entre largos limites de umidade, de se submeterem a

grandes deformações permanentes, sem sofrer ruptura, fissuramento ou variação de volume apreciável.

Segundo a DNER 041/94 a amostra de solo deve ser passada na peneira #10 (2mm) e na peneira #40 (0,42mm). Cerca de 50g que resulta dessa separação é utilizada no ensaio de limite de plasticidade.

Dessa forma, adiciona-se água na amostra e rola a massa com os dedos na placa de vidro até que essa atinja o diâmetro de 3mm e comprimento de 100mm. Quando isso ocorrer separa-se a amostra em 6 a 8 partes e amasse com os dedos até atingir a forma de uma elipse. Repete-se novamente esse procedimento até que não seja mais possível formar o cilindro com 3mm de diâmetro. Com isso, o material é colocado num recipiente para pesagem e determinação do teor de umidade.

O ensaio deve ser repetido até que se encontrem 3 valores, sem variar mais do que 5%. Solos em que não são possíveis a formação do cilindro, geralmente solos muito arenosos, são considerados como Solos não plásticos.

3.1.4 Ensaio granulométrico

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras (presumivelmente representativas dos sedimentos) e no tratamento estatístico dessa informação. Basicamente, o que é necessário fazer, é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe.

Nesta classificação os solos são agrupados de acordo com a textura, ou seja, o tamanho das partículas através do ensaio de granulometria. É uma classificação limitada, pois, o comportamento dos solos não depende apenas da granulometria. No entanto, é uma informação essencial para descrições dos solos, principalmente para solos grossos e, por isto, ainda muito utilizada.

Primeiramente foi escolhido o local de retirada do solo (Figura 1), no local escolhido retirou-se a matéria orgânica aparente da parte superficial do solo que foi procedida com a escavação; esta foi feita da forma mais vertical possível para garantir uma boa heterogeneidade do material.

Figura 1 - Solo utilizado



Fonte: A autora (2019)

Depois de colhida a amostra de campo de solo foi colocada para secagem à temperatura ambiente por 3 dias para chegar a umidade higroscópica. Seguindo as recomendações da NBR 6457 : 1986, a amostra de solo coletada teve os torrões desmanchamos e em seguida passou pela peneira 6.3mm e desmanchamos os torrões, depois, seguindo as recomendações da NBR 248:2001 o solo passou pela peneira 4.8mm e desta amostra foram separados 330g (amostra máxima segundo a mesma NBR) para fazer o ensaio granulométrico.

3.2.4.1 Material utilizado:

- Cadinho de porcelana;
- Destorroador de madeira;
- Balança de precisão;
- Escova de cerdas macias;
- Recipiente de vidro;

- Bandejas metálicas
- Peneiras 4,8mm; 2,4mm; 1,4mm; 600µm; 300µm e 150µm

Abaixo tem-se a figura 2, que mostra o conjunto de peneiras utilizado no ensaio granulométrico.

Figura 2 - Peneiras utilizadas no ensaio



Fonte: A autora

A figura 3 abaixo, mostra como foi feito o peneiramento.

Figura 3 – Procedimento com a peneira



Fonte: A autora

De acordo com a NBR NM 248, série normal e série intermediária compreende um conjunto de peneiras sucessivas, que atendam às normas NM-ISO 3310-1 ou 2, com as aberturas de malha estabelecidas na tabela 3 para peneiramento de agregado miúdo.

Tabela 3 - Relação entre passagem e retenção de grãos

Retida em	Passar em
	6,3mm
4,8mm	-
2,4mm	-
1,4mm	-
600µm	-
300µm	-
150µm	-

Fonte: NBR NM 248 (2003)

Com esse material em mãos, foi colocada a amostra de 330g no conjunto de peneiras e após a colocação as peneiras foram agitadas manualmente (uma por vez) com movimentos laterais e circulares alternados tanto no plano horizontal, como no vertical inclinado por dois minutos de agitação contínua conforme a NBR 7217/1987 p. 02 até que os grãos se acomodassem de acordo com sua granulometria.

Tabela 4 - Classificação do agregado

Agregado graúdo	4,75mm(nº4)/ 75mm (3")
Agregado miúdo	0,150(#100)/ 4,75mm
Pedrisco	4,75mm/ 12,5mm (1/2")
Pó de pedra	<6,3mm(1/4")
Filler	<0,150mm

Fonte: NBR 7217 (1987)

Como o material não apresenta quantidade significativa de materiais pulverulentos, não foi necessário ensaiar previamente as amostras conforme prescreve a NBR NM 46.

Como o material não apresenta quantidade significativa de impurezas orgânicas, não foi necessário ensaiar previamente as amostras conforme prescreve a NBR NM 49.

O material retido na peneira foi retirado para uma bandeja identificada com o auxílio de uma colher e uma escova. Foi escovada a tela em ambos os lados para limpar a peneira. O material removido pelo lado interno foi considerado como retido e o desprendido na parte inferior como passante.

3.1.5 Determinação do limite de liquidez

Segundo a NBR 6459 a metodologia para determinação do limite de liquidez do solo assim como a aparelhagem necessária, está descrita a seguir.

Aparelhagem:

- Estufa capaz de manter a temperatura de 60°C a 65°C e de 105°C a 110°C;
- Capsula de porcelana com aproximadamente 120mm de diâmetro;
- Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80mm de comprimento e 20mm de largura;

- d) Aparelho Casa Grande;
- e) Cinzal;
- f) Recipientes adequados (vidro) que evitem a perda de água da amostra;
- g) Balança que permita pesar nominalmente 200g com resolução de 0,01g e sensibilidade compatível;
- h) Gabarito de verificação da altura adequada da concha.

Procedimentos:

- a) Tomar 200g de material que passe na peneira 4.2mm;
- b) Colocar a amostra na capsula de porcelana, adicionar água destilada em pequenos incrementos amassando e resolvendo com o auxilio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea. Com consistência tal que seja necessário na ordem de 15 a 35 golpes para fechar a ranhura;
- c) Transferir parte da mistura para a concha, moldando-a de forma que na parte central a espessura seja da ordem de 10mm;
- d) Dividir a massa de solo em duas partes, passando o cinzal no meio desta, de maneira a abrir uma ranhura em sua parte central, normalmente à articulação da concha;
- e) Com a concha preenchida por solo úmido e ranhurado, golpea-la contra a base do aparelho, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela na razão de 2 voltas por segundo;
- f) Transferir imediatamente uma pequena quantidade do material para junto das bordas que se uniram para um recipiente adequado para determinação da umidade conforme a NBR 6457;
- g) Repetir essas operações, de modo a obter pelo menos mais três pontos de ensaio, cobrindo o intervalo de 15 a 35 golpes;
- h) A cápsula aberta foi levada a uma estufa com temperatura entre 105°C e 110°C durante 24 horas;

Conseguir o limite de liquidez com a precisão de 25 golpes experimentalmente é quase impossível, portanto, o experimento foi realizado cinco vezes a fim de se obter o limite com precisão com o auxilio de um gráfico. Foi obtida uma umidade com o fechamento da ranhura próximo a 25 golpes, duas com número acima e duas abaixo. Os valores da umidade foram obtidos pela equação:

$$T\% = \left(\frac{P_{su} - P_{ss}}{P_{ss}} \right) * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- P_{su} = *Peso da amostra úmida*;
- P_{ss} = *Peso da amostra seca*.

3.2 ENSAIOS DE FUNCIONALIDADE

3.2.1 ENSAIO DE ABSORÇÃO

A absorção de água é obtida pela relação entre a massa total de água absorvida pelo bloco e sua massa seca. Verifica se o bloco é impermeável ou não. Essa característica está diretamente relacionada à segurança das construções que, devido ao acréscimo imprevisto de peso dos blocos sobre as estruturas, podem vir a desabar, colocando em risco a vida dos usuários.

Além desse fator, paredes de blocos de concreto que não possuem impermeabilidade apresentam problemas na aderência da argamassa, pois a água existente na composição do produto é absorvida, resultando em uma massa seca sem poder de fixação. A ABNT NBR 6136:2014 estabelece que blocos confeccionados com agregado normal, tenha absorção $\leq 10\%$.

Foram selecionadas 03 amostras de cada composição de tijolo (Referencial e Com Resíduo), totalizando 6 corpos de ensaio. Para a realização do ensaio de absorção de água.

Aparelhagem

- a) Estufa de secagem: utilizou-se uma estufa com capacidade para manter a temperatura no intervalo de $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$ com o objetivo de redução da umidade do corpo de prova para o ensaio de absorção de água;
- b) Balança digital: a balança utilizada possui resolução de 5g para obtenção dos pesos dos blocos e dos materiais para capeamento.

Procedimentos

Os procedimentos para obtenção dos índices de absorção dos blocos são dados pela NBR 12118, através dos passos a seguir:

- Colocação em estufa por 24 h (110 ± 5) °C obtendo a massa m_1 ;
- Colocação por mais 2 h, obtendo-se o $m_1 + 2h$;
- Colocação na câmara úmida com temperatura de (23 ± 5)°C por 24 h obtendo-se a massa m_2 ;
- Colocação por mais 2 h, obtendo o $m_2 + 2h$;
- Calcula-se o teor de absorção pela seguinte fórmula: onde: A = teor de absorção em porcentagem; m_2 = peso após o ensaio de absorção; m_1 = peso do corpo-de-prova seco.
- Calcula-se o valor de A para cada corpo-de-prova. Consignam-se em seguida os valores individuais e A é a média correspondente.

A tabela 5, mostra os valores de absorção individual e média estabelecidas na NBR 6136 (2014). Sabendo que o agregado utilizado é o normal (areia), tomamos como referência o valor descrito abaixo.

Tabela 5 - Absorção Individual e média recomendada

Classe	Resistência Característica f_{hk} MPa	Absorção média em %		Retração %
		Agregado normal	Agregado leve	
A	$\geq 6,0$	$\leq 10\%$	$\leq 13,0\%$	$\leq 0,065$
B	$\geq 4,0$		(média)	
C	$\geq 3,0$		$\leq 16\%$	
D	$\geq 2,0$		(individual)	

Fonte: NBR 6136 (2014)

A equação 3 abaixo, mostra como deve ser calculada a absorção individual dos blocos.

$$A = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \cdot 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- m_2 : massa de amostra saturada (g);
- m_1 : massa de amostra seca em estufa (g).

3.2.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO

Tomando como parâmetro a resistência característica a compressão (f_{bk}) mínima exigida pela ABNT NBR 15270-1: 2017, para os blocos cerâmicos vazados com furos verticais para uso de vedação o mínimo exigido é de 3,0 MPa. A verificação dessa característica é extremamente importante para determinar a segurança estrutural da edificação, uma vez que verifica a capacidade de carga que os blocos de solo cimento suportam quando submetidos a forças exercidas perpendicularmente sobre suas faces determinando se as amostras oferecem resistência mecânica adequada. Os procedimentos e materiais de ensaio foram feitos de acordo com a NBR 6136:2014.

O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos indica que a parede poderá apresentar problemas estruturais como rachaduras e, conseqüentemente, oferecerá riscos de desabamento à construção.

Aparelhagem

- Prensa hidráulica informatizada: utilizada no ensaio de resistência à compressão para obtenção da carga de ruptura.

Procedimentos

Foram utilizados 12 blocos, sendo 6 retirados da estufa e 6 em condições normais de temperatura, o ensaio procedeu seguindo a sequência abaixo:

- a) Submissão dos blocos à prensa até o rompimento destes;
- b) Anotação das leituras;
- c) Cálculo da área líquida do bloco;
- d) Cálculo da resistência característica.

A resistência característica estimada da amostra é calculada segundo a NBR 6136:2014 para valor de desvio padrão não conhecido, pela seguinte expressão:

$$f_{bk} = 2 \cdot \left(\frac{f_{b1} + f_{b2} + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right) - f_{bi} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$f_{b1}, f_{b2} \dots$ são valores de resistências individuais dos corpos de prova da amostra em ordem crescente;

$i = n/2$, se n for par;

n = quantidade de blocos nas amostras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

4.1.1 Exame Visual, Tátil e de Plasticidade

A tabela abaixo (tabela 6), mostra o resultados obtidos nos exames visual, tátil e de plasticidade empregados na caracterização do solo

Tabela 6 - Resultados de Exame Tátil, Visual e de Plasticidade

Resultados					
Testes realizados	Visual e Tátil	Sujar as mãos	Plasticidade	Presença de matéria orgânica	Conclusão
Resultados	Marrom claro, textura pouco áspera	Foi preciso esfregar pouco	Não moldável	Não	Areia pouco siltosa

Fonte: A autora(2019)

A análise visual foi possível identificar a cor do solo, assim como sua aparente composição granulométrica, solo marrom claro com textura pouca áspera. No teste de sujar as mãos, as amostras ensaiadas mostraram pouca aderência às mãos e facilidade de retirada com água; foi preciso esfregar muito pouco. No ensaio de plasticidade, foi observado que o solo possui muito pouca coesão entre suas partículas, pois não foi possível moldar charuto algum dentro dos limites especificados pela norma. A presença de matéria orgânica não foi identificada no solo em questão, pois ao umedecer a amostra não foi notado o cheiro característico de húmus da matéria orgânica.

Esses testes iniciais indicaram o solo em estudo como areia pouco siltosa, mas serão descritos outros testes a seguir para uma caracterização mais exata.

4.1.2 Ensaio Granulométrico

O material retido em cada peneira como mostra a ftabela 7, teve sua massa determinada por uma balança de precisão.

Tabela 7 - Massa retida na peneira

Peneira de retenção	Massa (g)
4,8mm	3,1
2,4mm	36,6
1,4mm	52,7
600µm	43,6
300µm	43,2
150µm	47,1

Fonte: A autora (2019)

Outros 102g de material passaram pela peneira 150µm e ficaram retidos no fundo suporte.

Com os valores das massas retidas em cada peneira utilizada é possível calcular o percentual do material retido, o acumulado retido e o acumulado passando (Tabela 8).

Tabela 8 - Relação de peneiras utilizadas e material retido

RELAÇÃO DE PENEIRAS UTILIZADAS E MATERIAL RETIDO EM CADA UMA DELAS					
Peneira	Abertura (mm)	Material retido (g)	Material retido (%)	Material acumulado retido (%)	Material acumulado passando (%)
4	4,8	3,1	1	1	99
8	2,4	36,6	11	12	88
16	1,4	52,7	16	28	72
30	0,6	43,6	13	41	59
50	0,3	43,2	13	54	46
100	0,15	47,1	14	69	31
Fundo	-	102	31	100	0
Total	=	328,3			

Fonte: A autora(2019)

Como o percentual de amostra perdida no peneiramento foi inferior a 0,3% a operação foi considerada consistente e foi dado prosseguimento no experimento.

Tabela 9 - Limites granulométricos

Abertura (mm)	Zona 1 (fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5	0	0		0
6,3	0-3	0-7	0-7	0-7
4,8	0-5	0-10	0-11	0-12
2,4	0-5	0-15	0-25	05--40
1,4	0-10	0-25	10--45	30-70
0,6	0-20	21-40	41-65	66-85
0,3	50-85	60-88	70-92	80-95
0,15	85-100	90-100	90-100	90-100

Fonte: NBR 7211 (2005)

De acordo com a Tabela 9, (Limites granulométricos de agregado miúdo), referente à norma NBR 7211-Agregado para concreto, (especificação, 1983) a amostra pode ser classificada na zona 2 (fina).

A figura 4, mostra a quantidade de material retido em cada peneira no ensaio granulométrico.

Figura 4 - Material retido em cada peneira



Fonte: A autora(2019)

MÓDULO DE FINURA

O módulo de finura é a soma de todos os percentuais obtidos nas peneiras da série normal, dividido por 100, quanto maior o módulo de finura, mais grosso será o solo.

$$MF = \frac{\%Retidas\ acumuladas\ em\ massa}{100} \quad (Equação\ 5)$$

$$MF = \frac{1 + 12 + 28 + 41 + 54 + 69}{100}$$

$$MF = 2,05$$

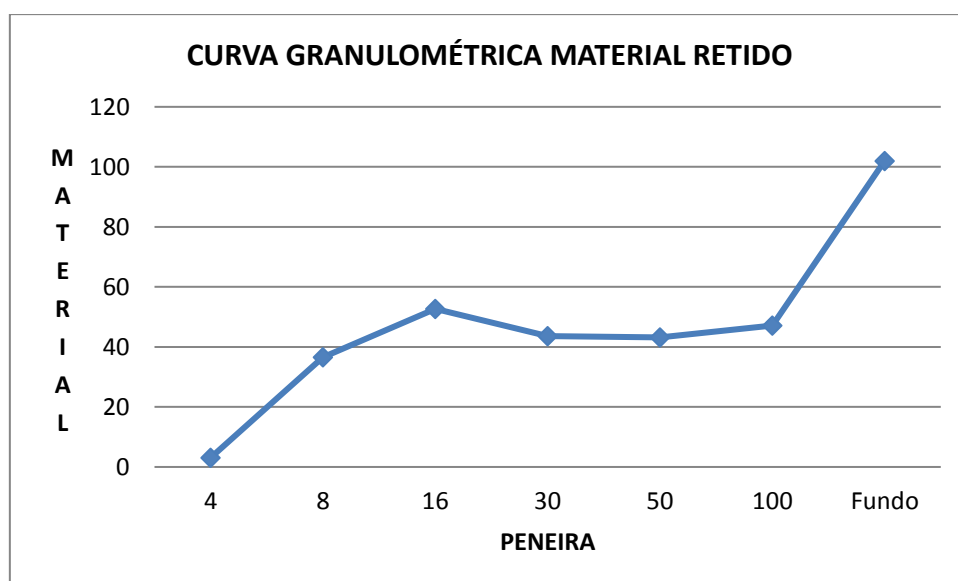
Classificação de Duff-Abrams

- Areia grossa $MF > 3,90$;
- Areia média $3,90 > MF > 2,40$
- Areia fina $MF < 2,40$

Assim, sabendo que a amostra possui módulo de finura igual a 2,05 vide cálculo a cima), a mesma pode ser classificada de acordo com Duff-Abrams em areia fina, pois seu módulo de finura é $< 2,40$.

A figura 5, mostra o gráfico da curva granulométrica, onde é possível observar que grande parte do material ficou retido no fundo suporte das peneiras.

Figura 5 - Curva granulométrica



Fonte: A autora (2019)

Dimensão máxima característica

A dimensão máxima característica está associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura de malha quadrada, em mm, das peneiras listadas acima, à qual corresponde uma percentagem retida acumulada igual a ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Assim, de acordo com os dados apresentados na tabela 8, conforme a NBR 7217:2005, a peneira 04, cujo material acumulado retido corresponde a 1%, determina a dimensão máxima característica do agregado igual a 4,8 mm.

4.1.3 Determinação do limite de liquidez

A tabela 10 mostra os resultados do ensaio de determinação do limite de liquidez. Resultado obtido de 16,70 % foi satisfatório, pois a NBR 10833:2013 estabelece uma liquidez $\leq 45\%$.

Tabela 10 - Determinação do limite de liquidez

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ CONFORME A NBR 6459:1984			SOLO COM SECAGEM PRÉVIA DE 105⁰ C A 110⁰ C		
Cápsula nº	1	2	3	4	5
Nº de golpes	15	26	33	21	23
Peso da cápsula+solo úmido (g)	20,09	27,67	28,8	29,63	26,74
Peso da cápsula+solo seco (g)	17,94	24,67	25,77	26,33	23,92
Peso da cápsula (g)	6,55	6,55	6,55	6,55	6,55
Peso da água (g)	2,15	3	3,03	3,3	2,82
Peso do solo seco (g)	11,39	18,12	19,22	19,78	17,37
Teor de umidade (%)	18,88	16,56	15,76	16,68	16,23

Fonte: A autora (2019)

A figura abaixo (Figura 6), mostra o procedimento de pesagem de solo na balança de precisão para o ensaio de limite de liquidez.

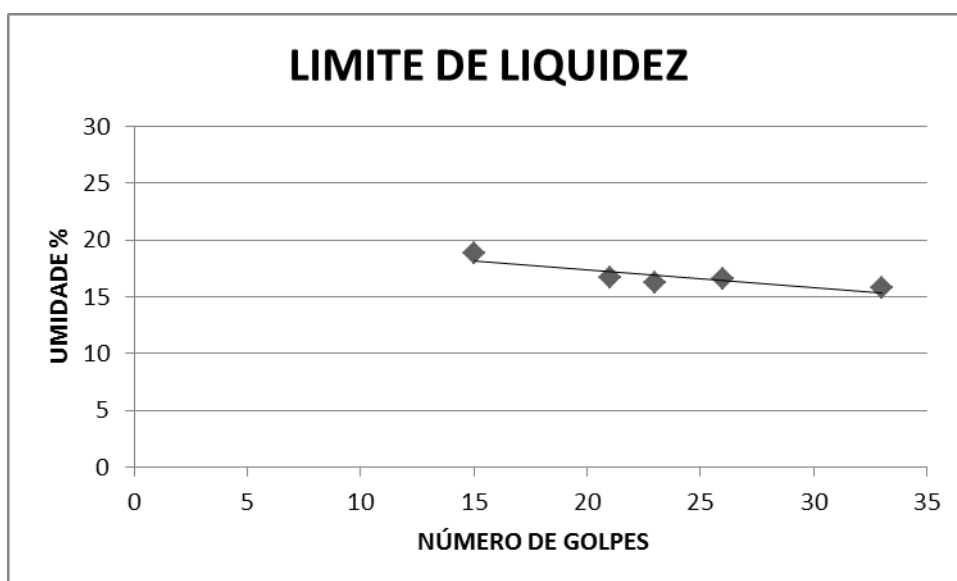
Figura 6 - Pesagem de solo para ensaio de limite de liquidez



Fonte: A autora (2019)

A figura abaixo (Figura 7), mostra o gráfico do limite de liquidez, onde na vertical tem os valores percentuais de umidade, e na horizontal, a quantidade de golpes imprimidos para fechar a ranhura. A NBR 6459:2016, recomenda que a umidade específica seja encontrada traçando uma linha no gráfico onde corresponde a 25 golpes.

Figura 7 - Gráfico limite de liquidez



Fonte: A autora (2019)

4.1.4 Ensaio de Absorção

Segundo a NBR 6136:2014, blocos compostos por areia (agregado normal), devem ter no máximo 10% de absorção. Sendo assim, os resultados obtidos foram satisfatórios como mostram as tabelas 11 e 12. Os blocos referenciais mostraram um percentual de absorção menor, mas nada relevante, pois a diferença é muito pequena.

Tabela 11 - Ensaio de absorção

PESO DAS AMOSTRAS SATURADAS E SECAS				
Amostra	Peso M1 (g)	Peso M2 (g)	Peso M1 + 2h	Peso M2 + 2h
CPRF1	9387	10300	9385	10300
CPRF2	9577	10406	9573	10406
CPRF3	9473	10380	9472	10380
CPRS1	9424	10350	9424	10351
CPRS2	9121	10010	9120	10010
CPRS3	9215	10112	9215	10111

Fonte: A autora (2019)

$$A = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \cdot 100 \text{ (Equação 3)}$$

Aplicando as massas obtidas no corpo de prova 1 temos:

$$A = \left(\frac{10300 - 9387}{9387} \right) \cdot 100$$

$$\boxed{A = 9,73\%}$$

Fazendo de forma análoga para os demais casos, obtemos:

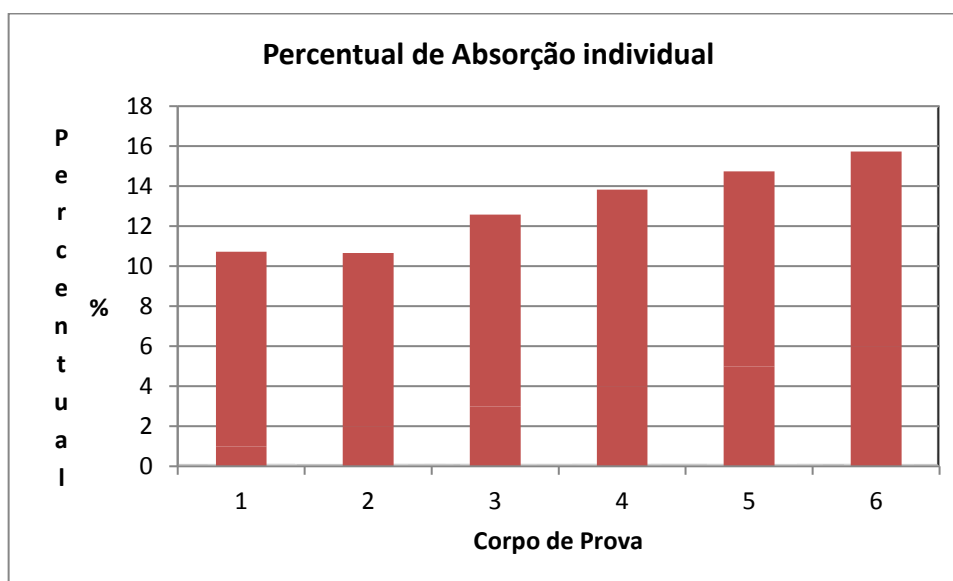
Tabela 12 - Percentual de absorção

Amostra	Absorção % Individual
CPRF1	9,73
CPRF2	8,66
CPRF3	9,57
CPRS1	9,83
CPRS2	9,75
CPRS3	9,73
Média %	9,54

Fonte: A autora (2019)

A figura 8 mostra o gráfico com a desenvoltura de absorção de cada bloco.

Figura 8 – Percentual de absorção



Fonte : A autora (2019)

4.1.5 – Ensaio de Compressão

Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos referenciais e residuais (Figura 9), foram obtidos a partir do rompimento dos corpos de prova confeccionados obtendo valores em tf. A tabela 13 mostra os valores obtidos em tf e as respectivas tensões obtidas através do cálculo com a área bruta.

Tabela 13 – Resistências verificadas no ensaio de compressão

Amostra	Carga de ruptura (ton)	Tensão Área bruta (Mpa)
CPRF1	21,54	3,945
CPRF2	20,07	3,676
CPRF3	18,98	3,476
CPRF4	22,19	4,064
CPRF5	15,5	2,839
CPRF6	15,76	2,886
CPRS1	6,2	1,136
CPRS2	4,05	0,742
CPRS3	7,67	1,405
CPRS4	5,9	1,081
CPRS5	11,68	2,139
CPRS6	4,9	0,897
Média CPRF %		3,48
Média CPRS %		1,37

Fonte: A autora (2019)

Os resultados obtidos através do ensaio de compressão a tensão axial (Figura 10) comprovaram que dos blocos analisados apenas os referenciais estão de acordo com o limite estabelecido pela ABNT NBR 15270-1: 2017 uma vez que os blocos solo cimento com resíduo apresentaram valores de resistência inferiores a 3,0 MPa que é o mínimo exigido para a classe.

Os blocos com 10% de resíduo tiveram uma discrepância em relação aos valores de resistência obtidos nos blocos de referência, a queda de resistência é mais de 50%.

Figura 9 - Blocos Referencias e Residuais



Fonte: A autora (2019)

Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: A autora (2019)

5 CONCLUSÃO

Esse estudo é de grande importância, pois, os impactos ambientais advindos das atividades do setor de construção, uma vez que, este setor responde por 30% das emissões que provocam aquecimento global e por grande parcela da energia utilizada mundialmente a cada ano, onde a maior parte dessas emissões são consumidos no beneficiamento, produção e transporte de materiais, sejam eles matéria-prima ou rejeitos.

Os blocos solo cimento entram nesse contexto de forma benéfica, uma vez que utilizam novos componentes construtivos, principalmente quando são alternativas para o aproveitamento de materiais de descarte, que no contexto das construções seriam despejados inadequadamente.

Nos blocos com adição de resíduo, a resistência à compressão aos 28 dias obtida não foi satisfatória na maioria dos corpos de prova, pois não atenderam aos limites mínimos estabelecidos pela NBR 15270-1: 2017 que para os blocos cerâmicos vazados com furos verticais para uso de vedação é de 3,0 Mpa, o crucial de impedimento da obtenção de resistências mais elevadas foi a insuficiência de energia mecânica de compactação aplicada quando a massa solo, cimento e resíduo ainda estava em estado moldável na fôrma, pois os corpos de prova romperam em linhas tênues, onde foi possível observar uma diferenciação na união da massa em relação ao restante do bloco.

Quanto a absorção, tanto os blocos de referência quanto os blocos com resíduos apresentaram bom desempenho atendendo os limites especificados pela NBR 12118 que estabelece um valor máximo de 10% de absorção para blocos fabricados com agregado normal.

Em termos gerais, com a substituição de parte do solo pelo resíduo de cimento e areia, obteve-se um produto que atendeu aos critérios de absorção, a resistência e durabilidade teriam que ser avaliadas em pesquisas futuras que façam uso da energia mecânica necessária e igualitária para moldar os blocos, pois, estas características são imprescindíveis para um bom desempenho de edificações.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6457:1986 – **Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e caracterização** – Método de ensaio;

ABNT NBR 10833:2012 Versão Corrigida:2013 - **Fabricações de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica** — Procedimento;

ABNT NBR 7181:1984 – **Análise Granulométrica** – Método de ensaio;

ABNT. NBR 10834: 2012 - **Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural**;

ABNT (1980). NBR 7250/82 – **Identificação e Descrição de Amostras de Solo em Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos** – Método de ensaio;

ABNT NM 248:2001- **Agregados Determinação da composição granulométrica** – Método de ensaio;

ABNT NBR 6459: 1984 SOLO – **Determinação do limite de liquidez** – Procedimento;

ABNT NBR 6136: 2014 - **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria**- Requisitos;

ABNT NBR 15270-1 : 2017 - **Blocos ceramicos para alvenaria de vedacao** - Terminologia e requisitos;

ABNT NBR 7181 - 2016 - **Análise Granulométrica de Solos**; D421-58 e D422-63/ASTM; T87-70 e T88- 70/AASHTO; MSL-05/CESP;

ALMEIDA, F. – **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002;

ÂNGULO, S. C. **Determinação dos teores de concreto em argamassa em agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo: IBRACON, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização documento portland**. 7.ed. São Paulo: ABCP, 2002. (BT-106);

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo-cimento**: ensaio de compactação. NBR 12023. Rio de Janeiro, 1992;

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

BELLEN, V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005;

BLUCHER, E. **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários** – volume 1. São Paulo, (1951)

BUSON, M. A. KRAFTTERRA: **Desenvolvimento e Análise Preliminar do Desempenho Técnico de Componentes de Terra com a Incorporação de Fibras de Papel Kraft Provenientes da Reciclagem de Sacos de Cimento para Vedação Vertical**. Tese de doutorado. Brasília - DF: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília - FAU UnB, 2009;

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo: Humanitas, 2003.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Volume 1. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 6a edição, 2011;

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações** – vol. 1. 6ª ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 1988;

CARVALHO, G. P. A – **Caracterização física e caracterização dos solos** – Universidade Federal de Juiz de Fora. Apostila do curso de engenharia. Minas Gerais, 2005;

CASANOVA, F. J. O solo como Material de Construção. 5º ENCONTRO DE ENGENHARIAS DA UENF, 22 a 25 nov. 2004 . 52 VÉRTICES, v. 8, n. 1/3, jan./dez. 2006 CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DA BAHIA (CEPED). **Cartilha para construção de paredes monolíticas em solo-cimento**. 3. ed. Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro: BNH: DEPEA, 1984;

CASANOVA, F. J., O solo como material de construção. **Revista Habitare**, Ano 4, Agosto, 2004. Disponível em

http://www.habitare.org.br/ConteudoGet.aspx?CD_CONTEUDO=262 Acessado em 20 de dezembro de 2018;

CIB, ANDERY, P. R. P.; VIEIRA, M. P. C. **Dificuldades e Estratégias para Sustentação dos Programas de Garantia da Qualidade na Construção Civil Brasileira**. In: Simposio IberoAmericano sobre Calidad y Competitividad en las Construcciones, 2002, Ciudad de Villa Clara, Cuba

CORDEIRO, M. E. V. M.; CONCEIÇÃO, P. M. da; LIMA, T. V. **A Educação Ambiental e o Uso do Solocimento**. Vértices, v.8, n.1/3. Campos dos Goyatacazes - RJ: Editora Essencia, 2006;

CRISTELO, N. M. C. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Guimarães, 2001;

CRUZ, M., – **Novas tecnologias da aplicação de solo-cimento**, Dissertação de Mestrado Departamento de Engenharia Civil Estruturas, Geotecnia e Fundações. Universidade do Minho, Guimarães, 2004.

DANTAS FILHO, P. F. “**Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. ” Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Campinas – 2004;

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – UNITED STATES OF AMERICA (EPA). **Characterization of building – Related Construction and demolition debris United States**. Disponível em : <<http://www.epa.gov.tribalmsw/thirds/recandd.htm>> . Acessado em 10 de fevereiro de 2019;

FERMENTEC - AMORIN, H. V.; LEÃO, R. M. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia**. Piracicaba: 2017.

FERRAZ, A. L. N. **Análise da Adição de Resíduo de Argamassa de Cimento em Tijolos Prensados de Solo-cimento**. Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - UNESP. Ilha Solteira - SP, 2004;

FERREIRA JUNIOR, S. Produção de blocos de concreto para **alvenaria**. Prática recomendada. São Paulo, ABCP 1995 (BT – 107);

Ferreira, Gislaine Z. **Habitações Populares em Madeira e Solo Cimento**. Artigo de graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal do Espírito Santo: Vitória, 2003. Acesso em 10 de dez. 2018;

GRANDE, F. M. Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-cimento por Prensagem Manual Com e Sem Adição de Sílica Ativa. Dissertação de Mestrado. São Carlos – SP: Escola de Engenharia de São Carlos – EECS da Universidade de São Paulo - USP, 2003;

HORVATH, A. **Construction materials and the environmental. Annual Review of Environment and Resources**. California, 2004;

JACOBI, Pedro. **Educação Ambiental e Cidadania**. Disponível em: <[http://scholar.google.com.br/scholar?start=10&q=Importancia+da+Educa%C3%A7%C3%A3o+ Ambiental&hl=pt-BR&as_sdt=0,5](http://scholar.google.com.br/scholar?start=10&q=Importancia+da+Educa%C3%A7%C3%A3o+Ambiental&hl=pt-BR&as_sdt=0,5)> Acesso em 24 de janeiro de 2019;

Kenya, Alex - **Procedimentos de gestão habitacional para população de baixa renda** — Porto Alegre : ANTAC, 2006;

Nogueira, J. B. - **Mecânica dos Solos - Ensaios de Laboratório**. São Carlos, EESC-USP, 1995;

MILANI, A. P. da S. **Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005

NEVES, Celia Maria Martins (2003): **Componentes habitacionais de argamassa celulósica e espuma poliuretano**. In coletânea Habitare, Volume 4 – Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. ANTAC. Porto Alegre;

ORTIGÃO, J. A. R.; PALMEIRA, E. M.; ZIRLIS, A. **Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos**. 3 edição, Editora Terratek. São Paulo, 2007.

PUSCH, Jaime. **Ética e responsabilidade profissional**. Curitiba: CREA-PR 2010;

SPOSTO, R.M. **Os resíduos da construção: Problema ou solução?** Revista Espaço Acadêmico. No 61, ano VI, Junho de 2006;

TANGO, C. E. S. Materiais: **tecnologia e controle**. In: **Manual Técnico de Alvenaria**. Associação Brasileira da Construção Industrializada. São Paulo - SP: ABCI, 1990;

Taylor, H.F.N. 1992. **Cement chemistry**. Academic Press, London.

Van Impe, W. F., **Soil Improviment: Techniques and their Evolution**. Rotterdam: A. A. Balkema Publishers, 1989.

VIEIRA, Liszt. *Cidadania e globalização*. Rio de Janeiro: Record, 1997;

WEIZSACKER, P. D. Avaliação de desenvolvimento territorial em quatro territórios rurais no Brasil. SDT/MDA, 1995.