

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RÂNFLER JOSÉ LUAN RODRIGUES SOLER

**TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIETILENO**

Barra do Garças - MT

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RÂNFLER JOSÉ LUAN RODRIGUES SOLER

**TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIETILENO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário do Araguaia, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Orientador: Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira.

Barra do Garças - MT

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R696t Soler, Rânfler José Luan Rodrigues.

Tijolos de adobe de solo-cimento com adição de resíduo de poliestireno expandido reforçados com fibras de polietileno / Rânfler José Luan Rodrigues Soler. -- 2021

111 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Raul Tadeu Lobato Ferreira.

TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2021.

Inclui bibliografia.

1. adobe. 2. solo-cimento. 3. resíduo. 4. polietileno. 5. poliestireno expandido. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO

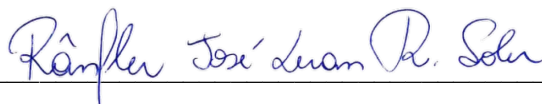
TRABALHO DE CURSO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ALUNO(A): RANFLER JOSE LUAN RODRIGUES SOLER

Aos quatorze dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e um, às dezesseis horas, foi realizada virtualmente a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) **RANFLER JOSE LUAN RODRIGUES SOLER**. A banca foi composta pelos seguintes professores: orientador **Prof. Me. RAUL TADEU LOBATO FERREIRA**, Prof. Ma. **MARIANA CORRÊA POSTERLLI** e Prof. Me. **WALLAS ALVES PIRES DOS SANTOS**. O Trabalho de Curso tem como título: **TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIETILENO**. Após explanação no prazo regulamentar o(a) aluno(a) foi interrogado pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros, de forma confidencial avaliaram o(a) aluno(a) e conferiram o(a) mesmo(a) o seguinte resultado **APROVADO**, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo(a) aluno(a).

Barra do Garças, 14 de maio de 2021.

Aluno(a):



Banca:



Prof. Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira (orientador)
Universidade Federal de Mato Grosso



Prof. Ma. Mariana Corrêa Posterlli (membro)
Universidade Federal de Mato Grosso



Prof. Me. Wallas Alves Pires dos Santos (membro)
Universidade Federal de Mato Grosso

RESUMO

A geração e o descarte inadequado de resíduos, somados aos padrões de consumo insustentáveis, geram acúmulos e impactos negativos ao meio ambiente. A indústria da construção civil é um setor que gera resíduos em todas as fases de seu processo produtivo, e tais resíduos quando não são tratados corretamente podem causar problemas ambientais como a contaminação do solo, ar e águas superficiais ou subterrâneas. Neste cenário, o desenvolvimento e o estudo de materiais e técnicas construtivas sustentáveis, se tornam relevantes. O resgate e o aperfeiçoamento das técnicas de construção com terra se apresentam como uma alternativa interessante para o desenvolvimento sustentável do setor construtivo, não só por reduzir a geração de resíduos durante o processo construtivo, mas também por possibilitar o reaproveitamento dos resíduos gerados pela própria indústria da construção e de outros setores. Dentro desse contexto, o presente trabalho propõe a avaliação de tijolos de adobe de solo-cimento com adição de resíduo de poliestireno expandido e reforçado com fibras de polietileno, pela verificação da resistência à compressão, retração e fissuração dos blocos, para um período de cura de 7 dias. Para tanto, foram avaliados blocos produzidos com a incorporação de 0,5%, 0,75% e 1% de resíduo de polietileno, e blocos com a incorporação de 0,125%, 0,25% e 0,50% de resíduo de poliestireno expandido, com o propósito de analisar o efeito de cada adição relacionando os resultados obtidos com as características físicas dos materiais propostos. A incorporação de resíduo de poliestireno expandido na matriz de solo-cimento promoveu perdas significativas de resistência à compressão simples, enquanto que a incorporação de fibras de polietileno além de promover ganhos significativos de resistência, foi capaz de neutralizar a retração e a fissuração da mistura solo-cimento. A incorporação dos dois resíduos de forma simultânea se mostrou vantajosa por resultar em um bloco mais leve, mais resistente e com menor potencial de retração.

Palavras-chave: adobe; solo-cimento; resíduo; polietileno; poliestireno expandido.

ABSTRACT

The generation and inadequate disposal of waste, added to unsustainable consumption patterns, generate accumulations and negative impacts on the environment. The construction industry is a sector that generates waste at all stages of its production process, and such waste when not properly treated can cause environmental problems such as contamination of soil, air and surface or underground water. In this scenario, the development and study of materials and sustainable construction techniques become relevant. The rescue and the improvement of the construction techniques with the land are presented as an interesting alternative for the sustainable development of the construction sector, not only for reducing the generation of residues during the construction process, but also for making possible the reuse of the residues generated by the own construction industry and other sectors. Within this context, the present work proposes an evaluation of soil-cement adobe bricks with the addition of expanded polystyrene residue and reinforced with polyethylene fibers, by checking the compressive strength, shrinkage and cracking of the blocks, for a curing period 7 days. For that, blocks obtained with an incorporation of 0.5%, 0.75% and 1% of polyethylene residue and blocks with an incorporation of 0.125%, 0.25% and 0.50% of expanded polyethylene residue were obtained, with the purpose of analyzing the effect of each addition, relating the results obtained to the physical characteristics of the proposed materials. An incorporation of expanded polystyrene residue in the soil-cement matrix promoted losses of resistance to simple compression, while an incorporation of polyethylene fibers in addition to promoting strength gains obtained, was able to neutralize the retraction and cracking of the soil-cement mixture. A simultaneous incorporation of the two residues is shown to be advantageous as a result of a lighter, more resistant block with less potential for shrinkage.

Keywords: adobe; soil-cement; residue; polyethylene; expanded polystyrene.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado sabedoria, força e discernimento para escrever este trabalho. Em segundo lugar, a minha família, que me apoiou e incentivou sempre à continuar, em especial, agradeço a minha vó, que infelizmente não está mais neste plano, mas sei que olha por mim lá de cima.

Agradeço imensamente ao meu orientador Professor Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira pela paciência, dedicação, esforço e ajuda na parte prática e teórica da pesquisa. Obrigado por estar sempre disponível quando precisei e me ajudando no que fosse possível. Gratidão por ser o melhor orientador que já tive.

Um agradecimento especial aos meus amigos Rogério, Victória, Camila, Evanice e João Victor, que me apoiaram na pesquisa e na vida acadêmica, não me deixaram desistir e tornaram minha jornada mais leve.

E por fim, agradeço todos meus amigos que fizeram parte da minha jornada até aqui e aguentaram todos meus momentos de estresse e loucura com a faculdade.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos básicos de cada categoria de resíduos sólidos urbanos.	21
Tabela 2 - Classificação de resíduos por classes.	28
Tabela 3 - Classificação das partículas.	33
Tabela 4 - Tipos de Cimento Portland Básicos.	53
Tabela 5 - Parâmetros para classificação do solo.	60
Tabela 6 - Teor de cimento para o ensaio de compactação.	61
Tabela 7 - Misturas para confecções dos blocos	63
Tabela 8 - Retração da mistura com adição de fibras de polietileno.	78
Tabela 9 - Retração da mistura com adição de fibras de polietileno e EPS.	83
Tabela 10 - Resumo dos resultados obtidos	84
Tabela 11 - Dados do ensaio granulométrico.	100
Tabela 12 - Resistência a compressão simples (EPS - 0,125%)	100
Tabela 13 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra E-0,125	101
Tabela 14 - Resistência a compressão simples (EPS - 0,25%)	101
Tabela 15 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra E-0,25	101
Tabela 16 - Resistência a compressão simples (EPS - 0,5%)	102
Tabela 17 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra E-0,50	102
Tabela 18 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de EPS sobre a variável resistência à compressão simples com blocos secos.	102
Tabela 19 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de EPS sobre a variável resistência à compressão simples com blocos molhados.	103
Tabela 20 - Retração das misturas com EPS	103
Tabela 21 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de EPS sobre a variável resistência com blocos secos	103
Tabela 22 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de EPS sobre a variável resistência com blocos saturados	104
Tabela 23 - Resistência a compressão simples (Polietileno - 0,5%)	105
Tabela 24 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra P-0,50	105
Tabela 25 - Resistência a compressão simples (Polietileno - 0,75%)	106
Tabela 26 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra P-0,75	106
Tabela 27 - Resistência a compressão simples (Polietileno - 1,0%)	106
Tabela 28 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra P-1,0	107

Tabela 29 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de polietileno sobre a variável resistência à compressão simples com blocos secos.	107
Tabela 30 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de polietileno sobre a variável resistência à compressão simples com blocos molhados.	107
Tabela 31 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de polietileno sobre a variável resistência com blocos secos	108
Tabela 32 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de polietileno sobre a variável resistência com blocos saturados	108
Tabela 33 - Resistência dos blocos com polietileno e EPS.....	109
Tabela 34 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra PE- teor ótimo	109
Tabela 35 - Resultado do Teste T Student para resistência, comparando a amostra PE- teor ótimo com a amostra de solo cimento no estado seco	110
Tabela 36 - Resultado do Teste T Student para resistência, comparando a amostra PE- teor ótimo com a amostra de solo cimento no estado saturado	110
Tabela 37 - Resistência dos blocos de solo-cimento	111
Tabela 38 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra solo-cimento	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O destino do polímero.....	24
Figura 2 - Processo de reciclagem do plástico.....	26
Figura 3 - Impactos ambientais da cadeia da construção civil.	30
Figura 4 - Camadas do solo.	33
Figura 5 - Exemplo de Curva Granulométrica.	35
Figura 6 -Triângulo Textural e explicação.	36
Figura 7 - Sistema de classificação AASHTO.	38
Figura 8 - Construção em taipa de mão.....	41
Figura 9 - Construção em taipa de pilão.	42
Figura 10 - Blocos de BTC.....	44
Figura 11 - Construção e produção de adobe.....	46
Figura 12 - Tijolo solo-cimento.	55
Figura 13 - Passagem de tubulações.....	56
Figura 14 - Local aproximado da extração do solo.	59
Figura 15 - Abertura realizada para extração da amostra.....	60
Figura 16 - Fibras de polietileno.....	61
Figura 17 - Resíduo de poliestireno expandido processado.	62
Figura 18 – Preparo da mistura e moldagem.....	64
Figura 19 - Cura dos blocos.....	65
Figura 20 - Ensaio de Resistência à Compressão.....	66
Figura 21 - Mistura disposta na caixa para análise de retração.....	68
Figura 22 - Partículas do resíduo de poliestireno expandido retidas em cada peneira.	69
Figura 23 – Curva granulométrica do resíduo de poliestireno expandido (EPS).....	70
Figura 24 - Resistência à compressão simples média aos 7 dias dos blocos com EPS.	71
Figura 25 - Resistência à compressão simples média dos blocos com poliestireno expandido após 24 horas de imersão em água.	72
Figura 26 - Ensaio de retração: fibras de poliestireno expandido.	73
Figura 27 – Densidade média dos blocos com EPS após 7 dias de cura.....	74
Figura 28 - Resistência à compressão simples média aos 7 dias dos blocos com polietileno.....	75

Figura 29 - Resistência à compressão simples média dos blocos com polietileno após 24 horas de imersão em água.....	76
Figura 30 - Bloco no estado de deformação limite	77
Figura 31 - Ensaio de retração: fibras de polietileno	78
Figura 32 – Densidade média dos blocos com polietileno após 7 dias de cura.	79
Figura 33 - Resistência à compressão simples média dos blocos com polietileno e EPS.	81
Figura 34 - Ensaio de retração: fibras de polietileno e adição de EPS	82
Figura 35 – Densidade média dos blocos com polietileno e EPS após 7 dias de cura.	84

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Official*

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA – Análise de Variância

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BTC – Bloco de Terra Comprimida

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

CFC – Clorofluorocarboneto

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento *Portland*

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EPS – Poliestireno Expandido

IG – Índice de Grupo

LC – Limite de Contração

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

NBR – Norma Brasileira

PAST – *Paleontological Statistics*

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PET – Politereftalato de Etila

PIB – Produto Interno Bruto

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCC – Resíduos da Construção Civil

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

WWF – *World Wildlife Fund*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO	15
1.2	JUSTIFICATIVA	17
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	Objetivo Geral	18
1.3.1.1	Objetivos Específicos	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	20
2.1.1	Resíduos de plástico	23
2.1.2	Resíduos de poliestireno expandido	26
2.1.3	Resíduos da construção civil	27
2.2	TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA	31
2.2.1	Solo	31
2.2.2	Solo como material construtivo	39
2.3	TÉCNICAS DE MELHORAMENTO DE SOLOS	49
2.3.1	Solo-cimento	52
2.3.2	Melhoramento de solos com uso de resíduos	56
3	METODOLOGIA	59
3.1	MATERIAIS	59
3.1.1	Solo	59
3.1.2	Cimento Portland	60
3.1.3	Fibras de Polietileno	61
3.1.4	Resíduo de Poliestireno Expandido	62
3.2	CONFEÇÃO DOS BLOCOS DE ADOBE	62
3.2.1	Preparo da mistura	63
3.2.2	Moldagem dos blocos	63
3.2.3	Cura dos blocos	64
3.3	MÉTODOS	65
3.3.1	Ensaio de Resistência à Compressão simples	65
3.3.2	Análise estatística	66
3.3.3	Ensaio de Retração	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1	ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO E POLIESTIRENO EXPANDIDO	69
4.1.1	Caracterização do resíduo de poliestireno expandido	69
4.1.2	Análise da resistência à compressão simples	70

4.1.3	Teste de retração	73
4.1.4	Densidade dos blocos com poliestireno expandido	74
4.2	ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO ACRESCIDO COM FIBRAS DE POLIETILENO	75
4.2.1	Análise da resistência à compressão simples.....	75
4.2.2	Teste de retração	78
4.2.3	Densidade dos blocos com polietileno	79
4.3	ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO E REFORÇADO COM FIBRAS DE POLIETILENO	80
4.3.1	Análise da resistência à compressão simples.....	80
4.3.2	Ensaio de retração	82
4.3.3	Densidade dos blocos com polietileno e poliestireno expandido ..	83
4.4	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS	84
5	CONCLUSÃO	85
6	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	87
	APÊNDICE A – TABELAS DE GRANULOMETRIA, RESISTÊNCIA E RETRAÇÃO – POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	100
	APÊNDICE B – TABELAS DE RESISTÊNCIA – POLIETILENO	105
	APÊNDICE C – TABELAS DE RESISTÊNCIA – POLIETILENO E POLIESTIRENO EXPANDIDO	109
	APÊNDICE D – TABELAS DE RESISTÊNCIA – SOLO CIMENTO	111

1 INTRODUÇÃO

O macrocomplexo da indústria da construção civil é o principal gerador de resíduos da sociedade. De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019) no ano de 2018 foram coletadas cerca de 122.012 toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) no Brasil, por dia. Mesmo com grande parte desses materiais sendo reciclados, uma boa parte se encontra em degradação no meio ambiente, liberando gás carbônico (CO₂), poluindo rios e mares, ocupando espaços em lixões e aterros sanitários, além do fato de que alguns resíduos liberam substâncias nocivas à saúde humana (PIOVEZAN JUNIOR, 2007).

Além disso, o setor construtivo é um grande consumidor de matérias-primas naturais. Estima-se que do total de recursos naturais consumidos pela sociedade, 20% a 50% são utilizados pela construção civil. Esse significativo impacto ambiental tem levado diversos países a adotarem políticas ambientais específicas para o setor. Dentre essas políticas destaca-se a reutilização de recursos, utilização de recursos renováveis, redução do consumo de recursos e proteção do meio ambiente. A incorporação de resíduos na produção de materiais pode reduzir o consumo de energia e ainda reduzir distâncias de transporte de matérias-primas. Além do mais, a incorporação de resíduos pode permitir a produção de materiais com melhores características técnicas em diversas áreas (JOHN, 2001; SJÖSTRÖM, 1992; KILBERT, 1994).

A destinação final dos resíduos é um dos grandes problemas enfrentados pelo mundo atualmente. Por esse motivo, é interessante encontrar maneiras de incorporar os resíduos no processo construtivo, visando não só minimizar os impactos gerados pela construção civil, mas também minimizar os problemas relacionados à geração de resíduos sólidos de um modo geral.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Desde a revolução industrial, em meados do século XVIII, o consumo material tem aumentado significativamente e trouxe consigo a produção excessiva de resíduos, que por sua vez, reflete em problemas de âmbito social e ambiental (NAIME; FIGUEIREDO, 2012).

A globalização é um dos fatores que mais influencia os consumidores a comprar demasiadamente. A cada compra uma nova embalagem é colocada em circulação, seja ela de plástico, isopor ou papel, que se descartada incorretamente gera acúmulos e impactos negativos no meio ambiente. As sacolas plásticas, se espalham facilmente pelo meio ambiente, causando uma série de problemas. O fato da rede de drenagem (sarjetas, bocas-de-lobo, galerias, etc.) ser uma das principais formas de veiculação de resíduos, somado aos padrões de consumo insustentáveis, favorece o acúmulo das sacolas nos dispositivos de drenagem, o que posteriormente, pode favorecer a ocorrência de alagamentos, trazendo problemas à sociedade e à paisagem urbana (CORDOBA *et al.*, 2013; GAVA, 2012; ALVES; RIBEIRO; RICCI, 2011).

A quantidade de resíduos plásticos encontrada nos resíduos sólidos urbanos pode variar de 7 a 30%. Apesar dos índices brasileiros de reciclagem de plásticos terem aumentado, uma pequena parcela dos municípios brasileiros possui qualquer programa de coleta seletiva. Uma pesquisa realizada pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem, em 2016, apontou que apenas 18% dos municípios brasileiros possuíam sistema de coleta seletiva implementado, sendo que a maioria destes municípios se concentravam na região sul e sudeste. Os resíduos plásticos, nos aterros e no meio ambiente, além do impacto visual podem liberar substâncias tóxicas como plastificantes e outros aditivos. Após seu descarte, a disposição em aterros é a opção menos favorável, sendo o reuso, reciclagem e incineração exemplos de possibilidades adequadas de destinação (OLIVEIRA, 2012; SARIS, 2018).

A incineração consiste na queima e descaracterização dos resíduos permitindo uma redução significativa de volume. Porém, é um processo que além de demandar elevados investimentos, produz gases oriundos da combustão dos resíduos (ROLIM, 2000). Segundo Calderoni (1997 *apud* ROLIM, 2000), a queima de resíduos plásticos produz gases tóxicos e cancerígenos. De acordo com Rolim (2000), a forma mais adequada de reaproveitamento dos plásticos é a reciclagem, sendo a reciclagem mecânica a mais utilizada no mundo.

O poliestireno expandido (EPS), conhecido popularmente como Isopor® (marca registrada da Knauf Isopor Ltda), apesar de não conter clorofluorocarboneto (composto baseado em carbono, responsável pela redução da camada de ozônio) em sua composição, não é um material biodegradável. Devido estas características, o EPS não contamina quimicamente o meio ambiente, entretanto, ocasiona grandes

problemas em lixões e aterros sanitários por ocupar muito espaço. Mesmo sendo um produto reciclável, é necessário utilizar de 60 a 70% de matéria-prima virgem para efetivar a união entre as partículas dos resíduos (GROTE; SILVEIRA, 2002). Sendo assim, torna-se interessante a reutilização do EPS, pensando-se em uma redução de insumos (energia, matéria-prima e outros).

1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento sustentável consiste no atendimento das necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (SANTOS *et al.*, 2012). Entretanto, não é possível atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, o suporte da sociedade, passe por transformações. O setor construtivo gera impactos ambientais em função do alto consumo de recursos naturais e de energia na produção e no transporte de materiais, além do descarte de resíduos e embalagens em canteiros de obras, que na maioria dos casos acontece de forma inadequada (JOHN, 2001).

A quantidade de resíduos gerada pelos processos da construção civil é uma preocupação diária, tendo em vista o vasto número de problemas ocasionados pelo acúmulo de detritos. Objetivando o desenvolvimento sustentável, uma técnica que vem sendo empregada para minimizar os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil é o uso de técnicas construtivas sustentáveis. Neste âmbito, as construções com terra, mais especificamente os adobes, possibilitam o reaproveitamento desses materiais, e em um olhar econômico verifica-se ainda significativas reduções de custo devido à matéria-prima de baixo valor e grande abundância. Haja vista que os blocos possuem uma produção simplificada, e por não necessitarem do processo de queima, o preço se torna mais acessível tanto para a produção quanto para o consumidor final. Além disso, proporcionam bom conforto térmico e acústico nas edificações (WEBER; CAMPOS; BORGA, 2017).

Os adobes possuem uma grande versatilidade quanto a sua constituição. Essencialmente, são produzidos a partir de terra crua, podendo ser incorporados outros materiais para particularidades específicas, objetivando ganho de resistência, menor peso específico, menor retração, entre outras. Diversos estudos têm sido

realizados neste campo, avaliando a capacidade de adaptação aos materiais adicionados, como dissertado por Santos (2009)¹, Schweig (2017)² e Barroso (2019)³.

Com o propósito de controlar a retração e o trincamento em tijolos ecológicos de solo-cimento, este trabalho buscará acrescentar fibras de polietileno de alta densidade à composição. Este material, comumente utilizado em embalagens que requerem alta resistência ao fissuramento sob tensão (COUTINHO *et al.*, 2003), será obtido a partir do recorte de sacolas plásticas que são distribuídas em supermercados, e que geralmente são descartadas na natureza de forma inadequada.

Para obtenção de adobes com menor peso específico, a pesquisa almeja a adição de partículas de EPS, obtidas através da coleta e processamento de resíduos desse material. Como o EPS é formado por aproximadamente 95% a 98% de ar, ele funciona praticamente como um incorporador de vazios, conferindo assim, um menor peso para o bloco (CARVALHO; MOTTA, 2019). Além disso, o uso de elementos construtivos de vedação com a incorporação de EPS pode contribuir na redução do consumo de energia para condicionamento térmico das edificações (TESSARI, 2006).

Portanto através do reaproveitamento desses materiais, pretende-se obter um tijolo resistente, com peso aparente baixo e com baixa tendência à retração e fissuração, o que traria melhorias significativas para a edificação de obras com técnicas de construção com terra, justificando-se assim o presente trabalho.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é produzir tijolos de adobe de solo-cimento com a incorporação de resíduos de polietileno e poliestireno expandido.

¹ Fabricação de solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes da construção civil.

² Tijolos de adobe de solo-cimento reforçados com fibras de papel *kraft* reciclado.

³ Tijolos de adobe de solo-cimento com adição de resíduo de serragem de madeira e cinza da casca de arroz.

1.3.1.1 Objetivos Específicos

A fim de atingir o propósito estabelecido, objetiva-se especificamente:

- Verificar a resistência à compressão e retração dos compósitos produzidos a partir da mistura de solo-cimento com os teores de 0,5%, 0,75% e 1,0% de fibras de polietileno, com um tempo de cura de 7 dias;
- Avaliar a resistência à compressão e retração dos compósitos produzidos a partir da mistura de solo-cimento com os teores de 0,125%, 0,25% e 0,50% de resíduo de poliestireno expandido, com um tempo de cura de 7 dias;
- Definir o teor ótimo de fibras de polietileno considerando as composições propostas;
- Estabelecer o teor ótimo de poliestireno expandido considerando as composições propostas;
- Analisar a viabilidade técnica da inserção do poliestireno expandido junto às fibras de polietileno;
- Relacionar os resultados obtidos, visando estabelecer uma correspondência com as características físicas dos materiais propostos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Com o avanço tecnológico, industrial e econômico, além do elevado crescimento populacional, as questões ambientais precisaram de maior atenção, ganhando maior visibilidade em conferências que debatem sobre o assunto. Uma delas, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio-92, gerou maior reflexão nas pessoas, dando destaque à necessidade de se pensar em novas políticas sustentáveis. Posteriormente, com a realização da Rio+20, mais uma vez foram discutidas estratégias para conciliar o desenvolvimento com a conservação e a proteção dos ecossistemas brasileiros (GOUVEIA, 2012).

A princípio, quando se pensa em reduzir a poluição, a primeira ideia é reduzir a geração de resíduos. Resíduo é todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante das atividades humanas em sociedade. O descarte não significa que o produto não possui mais valor, apenas não é necessário para quem o descartou. Já os rejeitos são os resíduos que não tem possibilidade economicamente viável de tratamento e recuperação (PROTEGEER, 2017).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece parâmetros quanto a classificação dos resíduos na Norma Brasileira 10004 (ABNT, 2004), sendo classificados através de suas características em:

- a) **Resíduos classe I – Perigosos:** aqueles que apresentam periculosidade ou características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade (presença de algum vírus ou organismo transmissor de doenças);
- b) **Resíduos classe II – Não perigosos:**
 - resíduos classe II A – Não inertes: contém propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
 - resíduos classe II B – Inertes: qualquer resíduo que se submetido a um contato dinâmico e estático com a água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiver nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excluindo-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Também é possível classificar os resíduos quanto à sua origem, podendo ser de origem urbana, hospitalar ou industrial. Dentre estes, o maior volume de desperdício advém dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que compreende os materiais descartados resultantes da atividade doméstica e comercial das populações (RUSSO, 2003). A Tabela 1 exemplifica os tipos de materiais que constituem o RSU, separados em categorias.

Tabela 1 - Exemplos básicos de cada categoria de resíduos sólidos urbanos.

Categoria	Exemplos
Matéria orgânica putrescível	Restos alimentares, flores, podas de árvores.
Plástico	Sacos, sacolas, embalagens de refrigerantes, recipientes de produtos de limpeza, esponjas, isopor, látex, sacos de ráfia.
Papel e papelão	Caixas, revistas, jornais, cartões, livros, papel, pastas.
Vidro	Copos, pratos, espelhos, garrafas de bebidas, embalagens de produtos de beleza.
Contaminante químico	Pilhas, medicamentos, lâmpadas, inseticidas, colas em geral, cosméticos, latas de óleo de motor, latas com tintas, canetas com carga.
Contaminante biológico	Papel higiênico, cotonetes, algodão, curativos, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, pelos, lâminas de barbear.
Construção e demolição	Restos de tijolos, concreto, madeira, cerâmica, gesso, telhas, cimento, argamassa, pedra, areia.

Fonte: Adaptado Pessin *et al.* (2002) *apud* Zanta e Ferreira (2016)

No Brasil, em 2018, foram geradas 79 milhões de toneladas de RSU, o que representa um aumento de 1% em relação ao ano anterior. Deste total, 92% (72,7 milhões) foram coletados, tendo então, um total de 6,3 milhões de toneladas de resíduos não recolhidos. A destinação adequada desses resíduos, em aterros

sanitários, aconteceu com apenas 43,3 milhões de toneladas, o que representa 59,5% do total de RSU, fazendo com que 29,5 milhões de toneladas fossem descartadas incorretamente, em lixões ou aterros controlados que não possuem as medidas necessárias para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente. Ainda no ano de 2018, os Resíduos da Construção Civil (RCC) – tais como resíduos de tijolos, concreto, argamassa, madeira, gesso, aço, telhas, etc. – recolhidos de vias e logradouros públicos representaram um montante de 122.012 toneladas/dia, mostrando um pequeno recuo em relação ao ano anterior (2017), quando foi recolhido 123.421 toneladas/dia deste tipo de resíduo no país (ABRELPE, 2019).

A fim de evitar o grande acúmulo na natureza, existem algumas estratégias de gerenciamento dos resíduos, para assim destinar ou reaproveitar o material, promovendo um devido descarte. De acordo com Mota (2009), essas estratégias são:

- a) **Coleta seletiva:** consiste em um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, recolhidos na fonte geradora, que posteriormente são vendidos à indústrias de reciclagem ou sucateiros;
- b) **Lixão ou vazadouro:** é uma área a céu aberto que recebe os resíduos sólidos, sendo depositados ou descarregados sem nenhum tratamento prévio ou qualquer critério de separação;
- c) **Aterros sanitários:** é um local determinado, onde são aplicados métodos e técnicas sanitárias (impermeabilização do solo, tratamento de gases, tratamento de chorume) para evitar os aspectos negativos da deposição final dos resíduos;
- d) **Usinas de compostagem:** composta por um conjunto de máquinas e equipamentos que permitem a decomposição biológica dos materiais orgânicos contidos no descarte, resultando em um composto orgânico;
- e) **Incineração:** é um processo de combustão que tem custo elevado e necessita de controle da emissão dos gases poluentes produzidos na queima;
- f) **Reciclagem:** tem como finalidade o reaproveitamento de materiais beneficiados como matéria-prima para a produção de um novo produto;
- g) **Biogaseificação ou metanização:** é um tratamento de resíduos orgânicos por decomposição ou digestão anaeróbica, que gera biogás e pode ser queimado ou utilizado como combustível.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei nº 12.305/10, é um documento que contém instrumentos indispensáveis para enfrentar

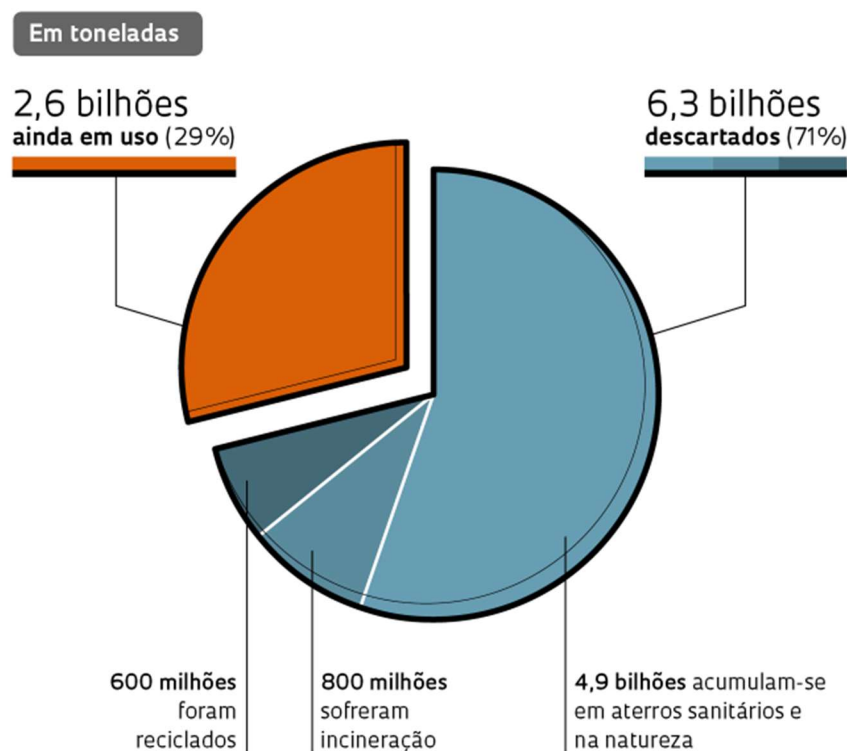
os principais problemas ambientais e socioeconômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. Por exemplo, nela está previsto que lixões sejam substituídos por aterros sanitários e que sejam recebidos apenas rejeitos nos aterros, visando a diminuição de resíduos descartados incorretamente que serviriam para um outro uso (AZEVEDO, 2020). Neste contexto, o RSU teria maior reaproveitamento e apenas os rejeitos seriam descartados, diminuindo o acúmulo de lixo no meio ambiente.

2.1.1 Resíduos de plástico

Em 1860, Alexander Parkes deu início aos estudos com nitrato de celulosa, material que continha características como flexibilidade, resistência a água, cor opaca e de fácil pintura. Dois anos mais tarde, Parkes criou a parkesina, o primeiro plástico propriamente dito, mas os plásticos mais conhecidos atualmente (poliestireno, poliéster, silicone, entre outros polímeros) tiveram crescimento na produção apenas durante a Segunda Guerra Mundial, por volta de 1945. Já o polietileno, descoberto em 1933, teve seu crescimento difundido na década de 1950, devido possuir alto ponto de fusão este material pode ser utilizado onde outros plásticos não podiam, como recipientes para o armazenamento de produtos químicos (MIRANDA, 2010). Desde então, a sociedade passou a fazer diferentes usos destes polímeros, seja em embalagens, brinquedos, calçados e utilidades domésticas, o material se tornou popular e bastante versátil.

Entretanto, o uso desenfreado do plástico acarretou problemas que foram sendo deixados de lado. A cada ano foram sendo produzidos mais e mais toneladas do produto, e após o uso, não recebiam uma destinação correta. Desde meados do século XX, estima-se que foram produzidas 8,9 bilhões de toneladas de plásticos primários (virgens) e secundários (material reciclado), sendo grande parte deste total já descartada na natureza (VASCONCELOS, 2019). A Figura 1 mostra a distribuição dos descartes do plástico primário (virgem) e secundário (reciclado), de acordo com dados da revista *Science Advances* (2017).

Figura 1 - O destino do plástico.



Fonte: *Science Advances* (2017) *apud* Affonso (2019)

Como visto na Figura 1, bilhões de toneladas de plástico foram descartadas e se encontram na natureza. São inúmeros impactos ambientais que este material traz ao ambiente, entre eles, entupimento de dispositivos de drenagem ocasionando enchentes, funciona como depósito de água que ajuda na proliferação de insetos vetores de doenças, morte de animais, poluição visual, além do longo tempo de decomposição, que gira em torno de 100 a 450 anos (ALVES; RIBEIRO; RICCI, 2011).

O polietileno serve de base para vários produtos, dentre estas ramificações é possível citar o polietileno de alta densidade (PEAD), matéria-prima das sacolas plásticas, que comumente são distribuídas nos comércios. Entre as vantagens do PEAD pode-se destacar sua leveza, baixo custo, flexibilidade, assepsia⁴ e boa resistência no transporte de peso. Por outro lado, há desvantagens preocupantes quando ocorre o descarte incorreto, como a baixa degradabilidade das sacolas, podendo demorar de 100 a 400 anos para degradar-se no ambiente, efeito

⁴ Ausência de infecção ou de agentes infecciosos ou causadores de doença (MICHAELIS, 2021).

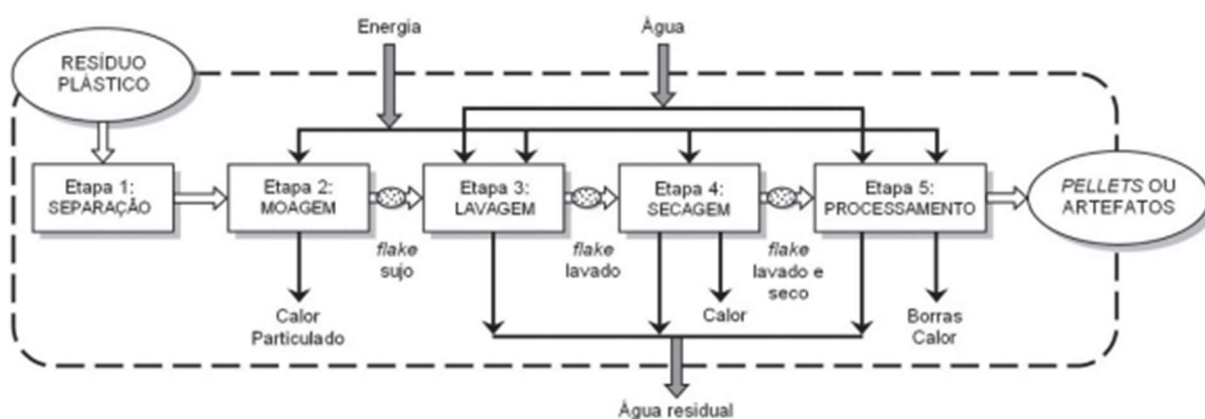
cumulativo, poluição visual e entupimento das vias públicas de drenagem (SANTOS *et al.*, 2012).

Para contornar os problemas ambientais, a reciclagem (método de conversão de materiais descartados em produtos de potencial utilidade) vem sendo empregada no mundo todo, mas não alcança os resultados esperados. Segundo dados da *World Wide Fund for Nature* (WWF, 2019) o Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico, de um total de mais de 11,3 milhões de toneladas geradas em 2019, apenas 145 mil toneladas foram recicladas, o que representa 1,28% do total descartado. Objetivando torneir os obstáculos causados pelo descarte incorreto, a WWF-Brasil ainda aponta algumas possíveis soluções:

- I) Cada produtor ser consciente dos efeitos negativos existentes na produção de plástico, buscando formas de reaproveitamento do material;
- II) Engajamento das empresas produtoras de plástico com o descarte correto;
- III) Reuso e reciclagem serem base para o uso do plástico;
- IV) Substituir o uso de plástico virgem por materiais reciclados.

No processo de reciclagem do plástico, como mostra a Figura 2, a separação entre os resíduos é fundamental para garantir que somente aquele escolhido irá alimentar o processo de reciclagem. Geralmente, a separação ocorre por cor, separando o plástico branco para dar origem a produtos claros e o plástico colorido para base de produtos escuros. Após isso, o material segue para parte de moagem, sendo fragmentado em partes menores, chamadas de *flakes*. Na fase de moagem, ou posteriormente, o plástico é limpo com água pura ou adicionando-se algum aditivo dependendo do grau de impureza dos resíduos. Após lavados e secos, os *flakes* seguem para processamento na extrusora, onde o material é amolecido e homogeneizado com algum outro material, como fibra de vidro, pigmento, talco ou serragem de madeira, para formação de artefatos compósitos. Tem-se ainda o processo de injeção, onde há enchimento do molde fechado com material fundido e posterior resfriamento (MANO *et al.*, 2005; MANRICH, 2005; PIRES, 2008).

Figura 2 - Processo de reciclagem do plástico.



Fonte: Faria (2011)

Além da reciclagem, é necessário reforçar os outros métodos para melhor destinação do plástico descartado, como o reuso e a redução no dia a dia. O plástico leva centenas de anos para se degradar na natureza, então uma simples sacola pode causar vários danos durante sua permanência no meio ambiente (ORSO; VASCONCELOS; FRANZOI, 2014).

2.1.2 Resíduos de poliestireno expandido

O poliestireno expandido (EPS) é um material composto por 98% de ar e apenas 2% de carbono e hidrogênio. O ciclo de produção começa com um plástico celular rígido, resultado da polimerização do estireno em água, dando origem à pequenas pérolas de 3 milímetros de diâmetro. No processo de transformação, essas pérolas expandem seu tamanho em até 50 vezes, fundindo-se e moldando-se em formas diversas. O processo produtivo do EPS não utiliza gás CFC, o que o torna um produto inerte, 100% reaproveitável e reciclável, podendo voltar à condição de matéria-prima (Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM, Comissão Setorial de EPS, 2014).

A reciclagem do EPS, apesar de não ser muito conhecida, tem bastante diversidade e seu processo depende da utilização final do produto. Os resíduos podem ser processados e moldados novamente em formas de blocos ou injetados para formar peças para embalagens. Seu uso também se dá como substrato para melhoramento de solo, na aeração de substâncias para melhoria da decomposição ou na drenagem. Além disso, pode ser reutilizado na construção civil, na geração de

energia elétrica ou calorífica por combustão direta e até mesmo ser reutilizado para fundição no ramo industrial (GROTE, 1999).

Apesar de não ser um material poluente, o EPS leva em torno de 150 anos para se decompor e por ser muito volumoso, acaba ocupando grandes espaços em aterros sanitários e lixões por muitos anos. Algumas empresas, ainda, realizam a queima do material, a fim de realizar o descarte do produto, o que agrava o aquecimento global e a poluição do ar, devido a liberação de gás carbônico no meio ambiente (BALBO; TOSTA, 2012). Neste âmbito, o reaproveitamento do poliestireno se torna uma alternativa sustentável de grande valia.

O setor construtivo é o principal campo reaproveitador do EPS, fazendo uso do material em diversas finalidades, como: enchimento de lajes e fôrmas para concreto, enchimento de elementos estruturais, componente de lajes, isolante térmico, concreto leve, agregado em tijolos, forros isolantes e decorativos, isolante acústico, juntas de dilatação, fundações para estradas, entre outros. A reutilização interrompe a cadeia de produção de novos produtos, o que traz não só benefícios econômicos, mas também vantagens ao meio ambiente (TESSARI, 2006).

2.1.3 Resíduos da construção civil

Desde o processo de fabricação de materiais, até o fim da vida útil, como demolições e reformas, o setor da construção civil é um grande poluidor do meio ambiente. Durante uma reforma, vários tipos de resíduos são gerados, como restos de tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, madeiras e compensados, argamassa, gesso, entre outros. As disposições irregulares e aterros clandestinos destes materiais, ocasionados pela falta de gerenciamento, tornou-se então uma realidade nacional, o que gera grandes problemas à natureza (ÂNGULO *et al.*, 2011).

O erro das administrações públicas foi não prever em seus planejamentos urbanos que com o aumento populacional, também haveria aumento na demanda de habitações e infraestrutura, o que conseqüentemente leva à um aumento significativo de resíduos de construção e demolição. Devido a isto, as prefeituras não se prepararam para gerenciar, de forma sustentável, o aumento de entulho, formas de tratamento e disposição final dos resíduos (MARTINS NETO, 2009).

A indústria da construção civil é uma grande responsável pela lucratividade do país, movimenta aproximadamente 15% do produto interno bruto (PIB) e ainda gera

muitas vagas de trabalho, diretas e indiretas. Com um papel tão representativo na economia nacional, naturalmente se torna uma grande vilã ambiental. O setor é o maior consumidor de matéria-prima, chegando a consumir metade do total de recursos que a sociedade utiliza; consome grandes quantidades de energia; gera poluição em quase todos os processos, emitindo gases durante a produção de materiais e ainda continua poluindo durante o uso dos edifícios, devido às manutenções (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Os resíduos produzidos a partir da construção, manutenção e demolição têm valores estimados muito variáveis. Todavia, é possível estimar que seja produzido de 400 a 500kg/hab.ano, valor que supera a massa de lixo urbano. Grande parte destes resíduos são descartados de maneira incorreta, em vias urbanas, causando problemas de tráfego e favorecendo a ocorrência de alagamentos por causarem a obstrução dos dispositivos de drenagem. De modo geral, estima-se que o setor construtivo seja responsável por 40% dos resíduos gerados na sociedade (JOHN, 2001).

De acordo com a Resolução nº 307 do Conama de 05 de julho de 2002, os resíduos que são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições da construção civil, além daqueles resultantes da preparação e escavação de terrenos, como concreto em geral, solos, rochas, blocos cerâmicos, tijolos, metais, tintas, madeiras, plásticos, fiação elétrica, entre outros, são definidos como Resíduos da Construção Civil (RCC). Esta resolução visa estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão destes resíduos, que podem ser classificados assim como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de resíduos por classes.

CLASSE	DESCRIÇÃO
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassas, concretos, tubos, meio-fio, solos de terraplanagem, etc.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel/papelão, metais, madeiras, vidros, gessos, etc.

-
- | | |
|----------|--|
| C | Resíduos ainda sem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para a sua reciclagem/recuperação. |
|----------|--|
-
- | | |
|----------|---|
| D | Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições e reformas. |
|----------|---|
-

Fonte: Adaptado da Resolução Conama 307/2002

Os resíduos de classe A devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados à áreas de aterros de RCC, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura. Os resíduos de classe B possuem a mesma destinação da classe A, porém devem ser encaminhados a áreas de armazenamento temporário. Já os das classes C e D devem ser armazenados, transportados e destinados conforme as normas técnicas específicas (ANAPRE, 2011).

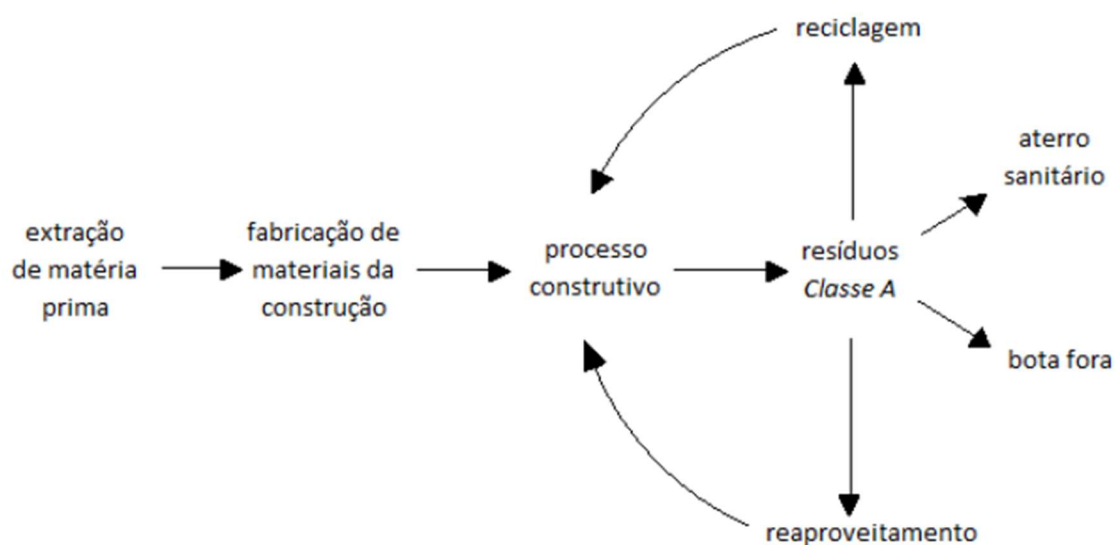
A destinação final e procedimentos técnicos a serem seguidos no descarte de resíduos construtivos são regulamentados pela ABNT em normas especificadas:

- NBR 10004/2004 - Resíduos sólidos - Classificação;
- NBR 15112/2004 - Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos - Área de Transbordo e Triagem: Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação;
- NBR 15113/2004 - Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes – Aterros: Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação;
- NBR 15114/2004 - Resíduos Sólidos da Construção Civil - Áreas de Reciclagem: Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação;
- NBR 15115/2004 - Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Execução de Camadas de Pavimentação: Procedimentos;
- NBR 15116/2004 - Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural: Requisitos.

Com a resolução Conama 307/2002 houve a proibição de disposições ilegais de RCC em aterros de resíduos sólidos urbanos, áreas de bota-fora, encostas, corpos d'água, lotes vagos e áreas protegidas por lei, contribuindo para um melhor

gerenciamento e descarte adequado. Ademais, com diretrizes para destinação final correta dos resíduos, possibilitou que houvesse maior reaproveitamento de RCC da classe A, determinando a reciclagem ou reutilização em forma de agregados ou ainda a reservação em aterro exclusivo para a devida classe, visando o uso futuro (SANCHO, 2015). A Figura 3 mostra um esquema representativo que abrange desde a produção até a destinação final dos resíduos da classe A.

Figura 3 - Impactos ambientais da cadeia da construção civil.



Fonte: Sacho (2015)

Como a resolução do Conama não especifica os fins para resíduos de classe B, C e D, Cabral e Moreira (2011) indicam algumas sugestões para gerenciamento dos componentes da obra:

- I) A madeira, se estiver em bom estado de reutilização, pode ser aproveitada na obra, caso contrário, pode ser triturada e usada na fabricação de papel e papelão ou como combustível;
- II) Papel, papelão e plástico de embalagens podem ser destinados para cooperativas e usinas de reciclagem;
- III) O vidro pode ser transformado em vidro novo, telha, bloco de pavimentação ou ainda adicionado na fabricação de asfalto;
- IV) As embalagens de cimento devem ser retornadas para a fábrica para servir de combustível na produção de cimento;

- V) O gesso pode virar gesso novamente após ser transformado em pó, ou ainda ser usado como corretivo de solo;
- VI) Resíduos perigosos devem seguir descartes específicos de acordo com o material, mas alguns como óleo de tintas e solventes, agentes abrasivos e baterias podem ser reciclados.

A construção civil apresenta alto potencial para reaproveitar os resíduos sólidos. A partir da reciclagem de RCC diversas possibilidades se abrem, como camadas de base e sub-base para pavimentação, coberturas primárias de vias, fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, fabricação de concretos, fabricação de pré-moldados, camadas drenantes, entre outros fins (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Todavia, é necessário que as políticas de reciclagem e reaproveitamento sejam incentivadas, para que os descartes, mesmo que em locais apropriados, não se tornem a primeira ou única opção.

2.2 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA

2.2.1 Solo

Material antigo e com muitas formas de aplicação, o solo está presente em diversas áreas, possuindo diferentes definições. Na agronomia, o solo é a parte agricultável da crosta terrestre. Já na geotecnia, solo é o material natural que forma a crosta terrestre, sendo de fácil desmonte. A ABNT:NBR 6502 (1995) define o solo como material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica. Sendo também muito comum a atribuição dos conceitos “chão” ou “terra” (SANTOS NETO, 2018).

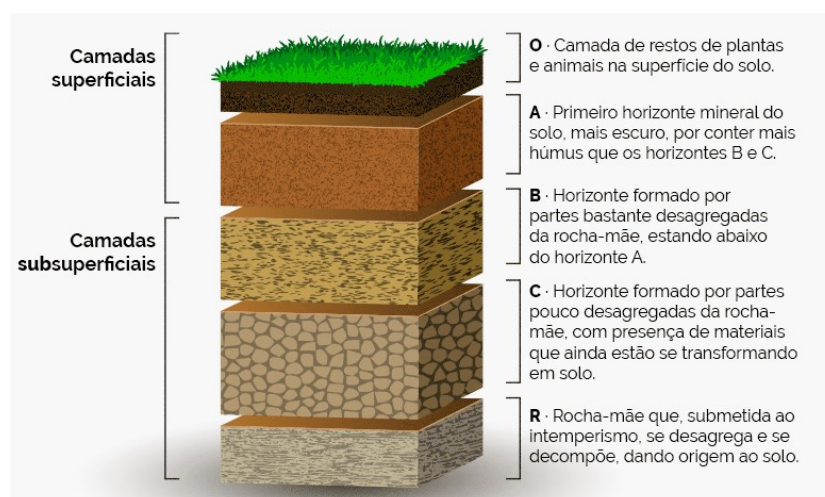
Desde muito tempo o homem utiliza o solo como material de construção, haja visto grandes construções representadas pelas pirâmides do Egito, os templos da Babilônia, a grande muralha da China e os aquedutos e estradas do Império Romano. Entretanto, os estudos com este material datam apenas a partir do século XVII, onde lhe é atribuído propriedades homogêneas e observado mais de um ponto de vista matemático do que físico. A partir daí foram desenvolvidas as teorias clássicas que desempenharam importante papel no desenvolvimento dos estudos dos maciços de terra (CAPUTO, 1988).

Uma massa de solo pode ser caracterizada por um conjunto de partículas sólidas, assumindo diversas formas e tamanhos variados, acompanhada de vazios que podem ser preenchidos por ar, água ou ambos. Pode ainda ser descrita através de suas propriedades físicas, como teor de umidade, peso específico, índice de vazios, entre outras, e também, através de suas propriedades mecânicas, como a coesão entre as partículas, ângulo de atrito interno e a resistência ao cisalhamento (FIORI, 2015).

A formação do solo se dá devido a um processo de ruptura das rochas em pedaços menores, por meio de processos mecânicos e químicos, chamado de intemperismo. Para que este processo ocorra, alguns agentes físicos como o gelo de geleiras, o vento e a água das chuvas, dos rios ou mesmo dos oceanos, promovem a desintegração das rochas e o transporte das partículas. Quando o solo é formado pelo intemperismo no seu local de origem, recebe o nome de solo residual, que tem como principal característica a gradação do tamanho das partículas, ou seja, o tamanho dos grãos aumenta com a profundidade. Se o solo for formado devido ao transporte das partículas, então ele terá características e será designado de acordo com o seu agente de transporte e ambiente de deposição, podendo ser: solos glaciais (formado por transporte e deposição de geleiras), solos aluviais (transportado por água corrente e depositado ao longo do percurso), solos marinhos (formados por depósitos em mares) e solos eólicos (transportados e depositados pelo vento) (DAS, 2007).

Em um corte vertical é possível visualizar o perfil do solo, assim como mostra a Figura 4. A camada superior é comumente mais escura, apresentando maior concentração de matéria orgânica. Na camada abaixo a matéria orgânica é mais esparsa, onde há formação de pequenas tiras de mineiras. Por fim, nas camadas inferiores encontra-se o substrato rochoso, levemente alterado, fragmentado e decomposto. Geralmente, as transições entre os horizontes no solo são indistintas (GROTZINGER; JORDAN, 2013).

Figura 4 - Camadas do solo.



Fonte: Ramiro (2019)

A primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas constituintes, tendo uma fração grossa formada por partículas de areia e pedregulhos e uma fração fina constituída por partículas de silte e argila. Os pedregulhos são pedaços de rochas com partículas de quartzo, feldspato e alguns outros minerais. Já os grãos de areia são predominantemente compostos por quartzo e feldspato. As partículas de silte são microscópicas e consistem em grãos muito finos de quartzo e algumas placas resultantes de fragmentos de vários minerais. Por fim, a argila é, na sua maioria, laminar e composta por partículas microscópicas de mica, argilominerais e outros minerais (DAS, 2007). As dimensões de classificação das partículas de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995) são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação das partículas.

FRAÇÃO	LIMITES (mm)
Matacão	1000 – 200
Pedra de Mão	200 – 60
Pedregulho	60 – 2
Areia Grossa	2,0 – 0,6
Areia Média	0,6 – 0,2
Areia Fina	0,2 – 0,06
Silte	0,06 – 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: Adaptado da NBR 6502/1995

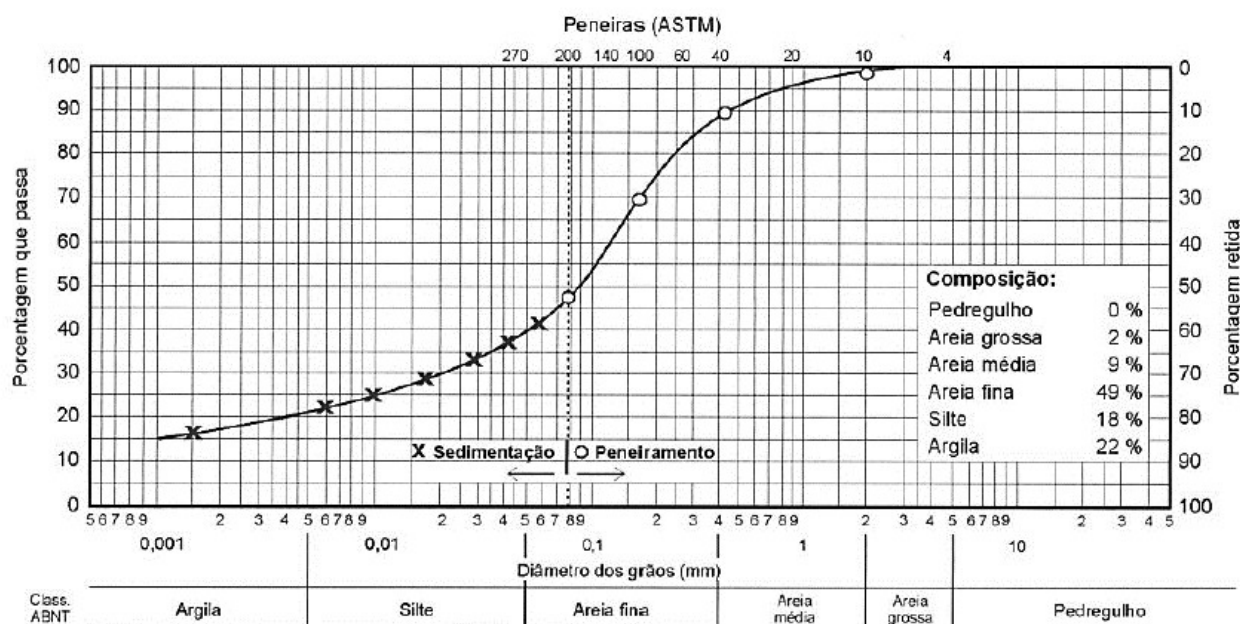
É muito difícil fazer distinção entre os grãos a olho nu, porque grãos de areias podem estar envoltos de partículas argilosas finíssimas, por isso a classificação é feita através da análise granulométrica, fundamentada em duas fases: peneiramento e sedimentação. A análise por peneiramento consiste em passar o solo por peneiras com aberturas diferentes, verificando o percentual retido em cada peneira, sendo a menor peneira costumeiramente empregada de nº 200 de abertura 0,075 mm. Quando o interesse se baseia nas porções mais finas do solo utiliza-se a técnica de sedimentação, onde é analisado a velocidade com que as partículas caem quando estão suspensas em uma quantidade de água, conseguindo assim distinguir as partículas de silte e argila através dos diâmetros obtidos na fórmula de *Stokes* (PINTO, 2006).

Em posse das frações constituintes da amostra é possível realizar a análise granulométrica, que consiste na determinação das dimensões das partículas do solo e suas proporções relativas, sendo representada graficamente pela curva granulométrica. Esta curva é apresentada em um gráfico com escala logarítmica no eixo das abscissas e no eixo das ordenadas se encontra as porcentagens passantes em escala aritmética (CAPUTO, 1988). A forma da curva distingue os diferentes tipos de granulometria, podendo ser:

- **Contínua ou bem graduada:** apresenta todas as frações em sua curva de distribuição sem mudança de curvatura, formando uma curva suave;
- **Mal graduada ou aberta:** apresenta falta de partículas na sua curva de distribuição, mostrando trechos quase horizontais;
- **Uniforme:** a maioria dos grãos possui a mesma forma, apresentando um formato de curva que se aproxima da vertical.

A Figura 5 mostra um exemplo de curva granulométrica, do tipo bem graduada. Ainda é possível verificar a quantidade de fração fina e fração grossa presente no solo, de acordo com a classificação da ABNT.

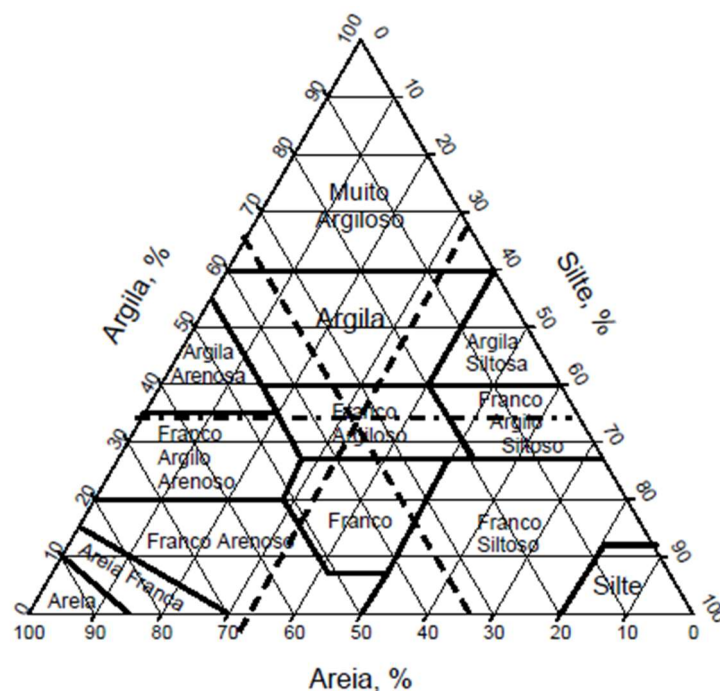
Figura 5 - Exemplo de Curva Granulométrica.



Fonte: Pinto (2006)

Em uma única amostra de solo podem existir várias frações em diferentes granulometrias, por isso, surge um outro fator importante para se conhecer sobre o material: a classe textural. Para esta classificação desconsidera-se a presença de matérias orgânicas e de partículas maiores que 2 mm, sendo assim, a somatória das proporções de silte, argila e areia totalizam 100% da amostragem. Para realizar essa separação das frações do solo utiliza-se os ensaios de peneiramento e sedimentação em laboratório, determinando-se exatamente a quantidade de areia e argila e, por diferença, a porção de silte. O sistema é composto por três triângulos sobrepostos, onde cada um representa a porção de fração de finos presentes na amostra, como pode ser visto na Figura 6. (REINERT, REICHERT, 2006).

Figura 6 -Triângulo Textural e explicação.



Fonte: Reinert, Reichert (2006)

Somente a distribuição granulométrica não é suficiente para caracterizar um solo, visto que seu comportamento também é muito influenciado pelos minerais presentes na amostra. Uma forma indireta de estudar o comportamento dos minerais-argila presentes na composição de um solo é verificar o comportamento deste na presença de água. Partindo dessa ideia, o engenheiro químico Atterberg, propôs procedimentos para a caracterização dos estados de consistência em que o solo transita e limites que determinam a mudança de comportamento do solo de acordo com seu teor de umidade, que posteriormente foram padronizados pelo professor de Mecânica dos solos, Arthur Casagrande (PINTO, 2006).

De acordo com Das (2007) os teores de umidade correspondentes às mudanças de estado são definidos como:

- **Limite de Contração (LC):** Consiste no teor de umidade cujo volume da massa de solo para de mudar (contrair), e neste ponto, a perda de umidade não resultará mais em perda de volume. Separa os estados de consistência sólido e semissólido;
- **Limite de Plasticidade (LP):** É definido como o teor de umidade no qual o solo se esbaroa, quando enrolado em fios de 3,2 mm de diâmetro. É o limite mais

baixo do intervalo plástico do solo. Separa os estados de consistência semissólido e plástico;

- Limite de Liquidez (LL): É o teor de umidade necessário para fechar uma distância de 12,7 mm ao longo da parte inferior de um sulco na amostra de solo, após 25 golpes no aparelho de Casagrande. Separa os estados de consistência plástico e líquido.

À medida que a água é acrescentada ao solo seco, primeiramente o ar será deslocado, e após um certo teor, de duro e sólido no estado seco, ele passa a comportar-se como um semissólido friável⁵, atingindo seu limite de contração (LC). Com adição de mais água o limite de plasticidade (LP) é alcançado, o que torna o solo plástico e moldável. Este estado plástico permanece até que o limite de liquidez (LL) seja atingido, fazendo com que o solo se comporte como um líquido viscoso. A diferença entre LL e LP é chamado de Índice de plasticidade (IP) e indica a faixa de conteúdo de água na qual o solo possui propriedades plásticas (COOPER, OTTO, 2017).

Com estes limites definidos é possível classificar o solo no sistema rodoviário, determinado pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), sendo comumente empregado para análise da viabilidade de um solo para subleito de rodovia. É necessário ainda mais um parâmetro para a classificação neste sistema, o índice de grupo (IG), que representa a “capacidade de suporte” do terreno de fundação de um pavimento, representado por uma escala de 0 a 20, variando em números inteiros, onde a capacidade de suporte é inversamente proporcional ao IG, sendo um IG=0 um material bom e um IG=20 um material deficiente para subleito de rodovia (NUNES, 2010). A classificação é feita através de uma tabela onde intercala-se os valores dos limites encontrados e a granulometria do material, resultando em uma categorização do solo, apresentado na Figura 7.

⁵ Que pode facilmente reduzir-se a fragmentos ou pó (MICHAELIS, 2021).

Figura 7 - Sistema de classificação AASHTO.

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: Adaptado de Manual de Técnicas de Pavimentação – DNIT (2006)

Apesar do sistema de classificação da AASHTO ser muito usado no mundo todo, no Brasil o sistema contradiz as experiências regionais de classificação, devido ao fato do país apresentar solos residuais ou lateríticos, inviabilizando o uso dos índices de consistências apresentados anteriormente. Todavia, tem-se adotado um método diferente para classificar os solos brasileiros, baseados em ensaios de compactação com energias diferentes, a fim de propiciar resultados mais precisos para subleitos de estradas (PINTO, 2006).

Este método brasileiro baseia-se na obtenção de propriedades de corpos de provas com dimensões reduzidas e compactados, dando assim origem ao nome do método: MCT (Miniatura, Compactados, Tropicais). A classificação é feita através da separação em duas grandes classes, sendo uma classe de solos de comportamento laterítico e outra de comportamento não-laterítico, para então enquadrar os solos tropicais em 7 grupos: NA, LA, NS', NA', NG' e LG', onde L significa laterítico, N = não-laterítico, A = areia, A' = arenoso, G' = argiloso e S' = siltoso. As propriedades usadas para classificação são provenientes de ensaios mecânicos e hidráulicos simplificados, tendo como limitação a baixa representatividade estatística e não-aplicação em solos granulares por não serem compactáveis (NUNES, 2010).

É necessário salientar que nenhuma classificação substitui ou torna dispensável os ensaios laboratoriais para determinação das propriedades mecânicas e hidráulicas do solo. A utilização de classificações geotécnicas e geológicas devem se ater aos estudos preliminares dos maciços de terra, servindo de base e orientação

para um caminho a ser traçado, que posteriormente deve ser aprofundado com ensaios precisos e especificados para cada tipo de solo (SANTOS NETO, 2018).

2.2.2 Solo como material construtivo

As construções em terra demonstram grande versatilidade e durabilidade, o que pode ser comprovado com obras que já existem há milhares de anos. Motivados pela questão da sustentabilidade e aspecto estético que estas obras oferecem, arquitetos e engenheiros têm-se interessado cada vez mais por este modelo construtivo. Por ser um material salubre, ou seja, não apresenta toxinas em sua composição, além da economia energética oferecida, as construções com terra se mostram como uma boa opção sustentável nos dias atuais (EIRES, 2012).

O sistema construtivo de terra crua apresenta grandes potencialidades, começando pela eficiência térmica (associado à inércia térmica que propicia e também às propriedades naturais da argila) e acústica (associado à sua massa e espessura dos elementos construtivos), não consome energias não renováveis (construções realizadas com prensas manuais ou apenas força humana), não necessita de transporte, utiliza pouca água, não produz subprodutos e tem a vantagem de ser reciclável. Tem-se ainda a vantagem de requerer equipamento simples para a produção e aplicação, tornando acessível a pedreiros e construtores. A limitada resistência mecânica e sensibilidade à água pode ser contornada pelas técnicas de melhoramento e estabilização de solos, que podem melhorar a característica do solo disponível para a construção. Por tantas vantagens, esta tecnologia mostra-se como uma boa solução para democratização e direito de habitação à indivíduos de baixa renda (RODRIGUES, 2005).

Com o aparecimento de novas tecnologias na construção, como o aço e o concreto, a construção em terra foi sendo esquecida e sofreu uma interrupção em sua evolução. A falta de investimento nessa técnica causou desinformação na população, o que gerou um certo preconceito com o modo construtivo. Muitas casas construídas em taipa (técnica de construção com terra) não são rebocadas, propiciando o aninhamento de insetos e proliferação de doenças, o que acaba sendo atribuído ao material e não à falta de informação das pessoas, fazendo assim com que o uso desta técnica se restringisse a população de baixa renda (SANTOS, 2015).

É de extrema importância que se conheça o solo antes da construção, o local onde será realizado e o tipo de técnica que será empregado. Estes são fatores determinantes para a economia na realização da obra e devem ser estudados pelo construtor a fim de realizar um projeto eficiente e durável (SANTIAGO, 2001).

As técnicas baseadas em terra crua utilizam-se de conhecimentos e materiais disponíveis no local onde está sendo construído. Por tal motivo, as construções variam de região para região, podendo haver, até mesmo, diferenças em terrenos próximos. Contudo, é possível realizar uma classificação genérica dos principais sistemas construtivos (GONÇALVES; GOMES, 2014).

Uma técnica construtiva bem antiga é a taipa de mão, também conhecida por taipa de sebe, pau a pique, taipa de pescoção, taipa de sopapo ou tapona, nomes advindos desde o período colonial no Brasil. A origem do nome se deu devido ao processo de fabricação, que consistia em arremessar a mistura de solo e água na trama montada, ficando dois trabalhadores taapeiros, um de cada lado, prensando energicamente a mistura contra a trama (CANTEIRO; PISANI, 2015).

Esta técnica é caracterizada por uma estrutura de madeira composta por esteios⁶ cravados no solo, que são interligados formando vigas baldrames⁷ e vigas superiores, normalmente são de secção quadrada. Isto forma um sistema rígido, que é amarrado com cipós, de fora para dentro, criando assim um painel quadriculado vazado, onde os vãos medem de 5 a 20 cm de lado, que serão preenchidos com o com uma mistura de solo e água com consistência plástica, o que pode ser visto na Figura 8. A fundação é formada por um tronco, conhecido como nabo, e para retardar o apodrecimento da madeira, é crestado⁸ ao fogo. Próximo ao piso, os esteios (madeiras que sustentam a trama) recebem encaixes para fixação nas vigas baldrames, que devem ficar acima do nível do solo, evitando, assim, a penetração de água. (CARVALHO; MIRANDA, 2015).

⁶ Peça que, feita em madeira, ferro, metal ou outro material, serve para segurar ou escorar alguma coisa (MICHAELIS, 2021).

⁷ São os elementos estruturais que dividem a fundação da supraestrutura (estruturas acima do solo, em geral) e podem ou não estar abaixo do nível do terreno (PEREIRA, 2018).

⁸ Tostado ou queimado superficialmente (MICHAELIS, 2021).

Figura 8 - Construção em taipa de mão.



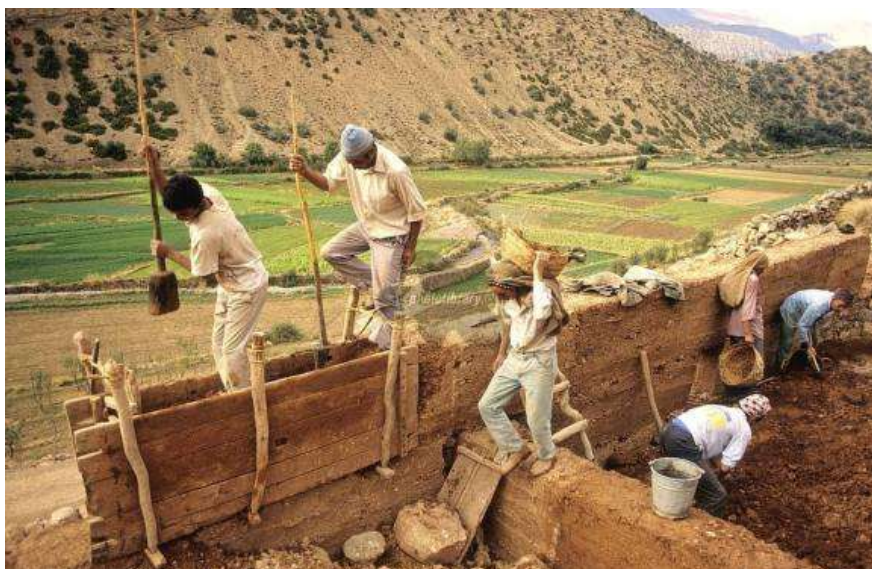
Fonte: Centro Integrado de Ações Comunitárias (2019)

As possibilidades abrangentes tornam a taipa de mão muito versátil, podendo construir com os materiais disponíveis na região. A madeira pode ser de alguma mata próxima, ou até mesmo de matas de reflorestamento, que estão em processo de expansão. As amarrações podem ser feitas de sisal, cipó, tiras de couro ou prego e arame, mostrando assim grande adaptabilidade aos locais (LOPES, 1998).

Os solos utilizados preferencialmente são os de boa trabalhabilidade e coesão entre as partículas, devendo estar livres de matéria orgânica, areia, pedregulho ou húmus. Em alguns casos, ainda pode-se acrescentar alguns aditivos à massa de solo e água, como a cal, fibra vegetal e até mesmo estrume de animais, principalmente de bovinos e equinos, com intuito de propiciar melhor resistência pela presença de fibras (SCHMIDT, 1946; CANTEIRO, PISANI, 2015).

Outra variante da técnica taipa é a taipa de pilão, que consiste em apiloar manualmente ou mecanicamente dentro de formas, geralmente executadas em madeira, mostrado na Figura 9. Cada faixa da parede, após pronta, tem em torno de 40 a 80 cm de espessura, compactadas em camadas de 15 a 20 cm de altura (SANTIAGO, 2001).

Figura 9 - Construção em taipa de pilão.



Fonte: Paula (2012)

No Brasil, no período colonial, as paredes das construções chegavam ter 1 metro de espessura. Na Babilônia a técnica costumava ser utilizada na construção de muros cuja espessura girava em torno de 3 a 4 metros. Com o aperfeiçoamento da técnica, novos estudos e testes, é possível obter paredes de taipa com espessura de 20 cm, utilizando aditivos, porém dependendo da resistência que o solo utilizado oferece e também dos esforços que serão submetidos (SATO, 2011).

O solo mais indicado para esta técnica é o solo arenoso (cerca de 70% de areia e 30% de argila) e deve estar livre de impurezas como materiais orgânicos que podem afetar a resistência final da construção. O solo arenoso diminui a necessidade de aditivos à mistura e ainda é mais fácil extraí-lo do local desejado. A terra é retirada de uma certa profundidade para evitar as impurezas e também por conter um grau maior de umidade, diminuindo então a quantidade de água adicionada ao material. A massa é preparada a partir do esfrelamento do solo e pulverização de água, seguido de compactação até que se obtenha uma massa homogênea (PISANI, 2004; HOFFMANN, MINTO, HEISE, 2011).

Assim como a construção de taipa de mão, a taipa de pilão deve ser edificada sobre uma fundação que irá absorver os esforços provenientes das paredes e também impedir a absorção de água por capilaridade. Após o preparo da fundação, ergue-se uma estrutura que serve de fôrma para as paredes, onde será lançado o solo e compactado. No método tradicional, é utilizado um pilão para realizar o

apiloamento, mas atualmente já se encontram disponíveis pilões pneumáticos ou elétricos, que garantem maior resistência e durabilidade às paredes (SATO, 2011).

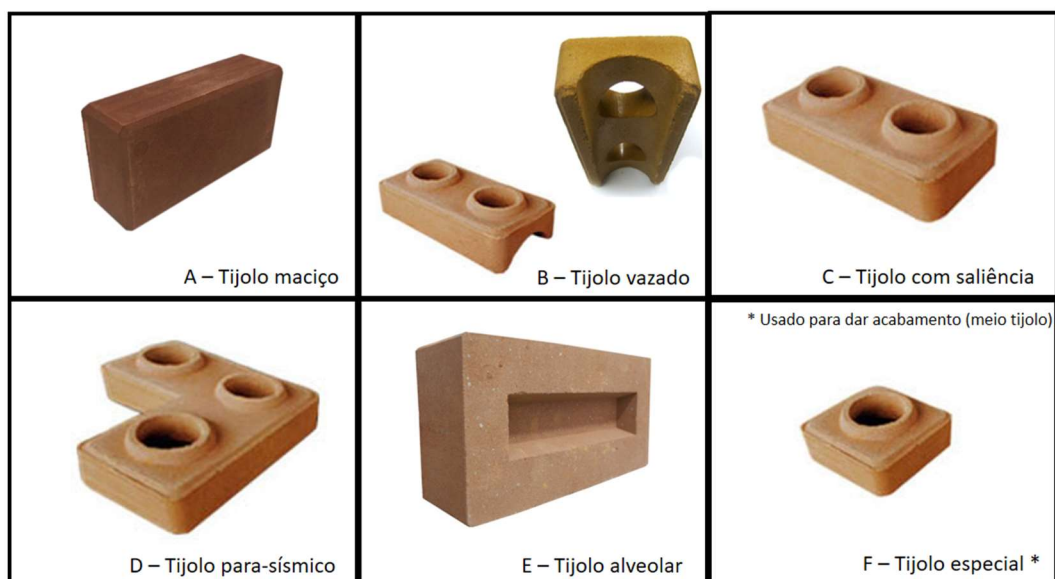
Um dos maiores problemas com a construção em taipa é a erosão, causada pelo contato com água, seja por capilaridade ou pela chuva. Todavia, estes problemas podem ser contornados com adição de fibras ou impermeabilizantes na massa, além de que a construção com terra pode passar por processos impermeabilizantes após finalizada e também recoberta com reboco, deixando-a bem protegida contra intempéries, e assim a taipa pode apresentar ótima durabilidade, chegando a durar por séculos (PISANI, 2004).

Mais uma técnica de construção com terra, a ser destacada, é o bloco de terra comprimida (BTC). As primeiras utilizações desse tipo de bloco ocorreram na Europa, no início do século XIX, onde sua fabricação foi realizada a partir da moldagem do solo umedecido em formas de madeira e compactado com os pés. Os BTC atuais são constituídos por solo, estabilizado quimicamente ou não, que após ser umedecido é colocado em um molde e compactado com prensa mecânica ou manual (RIBEIRO, 2016).

É possível encontrar variados tipos de BTC, como observa-se na Figura 10, apresentando diferentes formatos e com diferentes características, como (SANTIAGO, 2001):

- Maciços (figura A);
- Vazados: possuem maior aderência e menor peso (figura B);
- Com reentrâncias ou saliências: necessitam de uma quantidade mínima de argamassa, podendo até mesmo ser dispensável (figura C);
- Para-sísmicos: estes blocos apresentam orifícios onde são passadas peças estruturais que travam a estrutura, conferindo maior estabilidade onde são implantados (figura D);
- Alveolares: mais leves, moldados em formas especiais e exigem maior pressão na prensa (figura E);
- Especiais: usos específicos (figura F).

Figura 10 - Blocos de BTC.



Fonte: Compilação do autor⁹ (2021)

O BTC também é conhecido pelo nome “tijolo ecológico”, porque não exige queima no seu processo de fabricação. Os formatos e os encaixes facilitam a manter o prumo durante a construção, além de que, em alguns casos, os blocos ecológicos dispensam o revestimento, gerando economia à obra. Devido à praticidade, essa tecnologia tem sido amplamente utilizada em habitações de interesse social (SANTOS, 2015).

Para obter sucesso na construção com terra é fundamental a escolha certa da matéria-prima. Para tanto, é necessário conhecer o solo com o qual se deseja construir e sua composição granulométrica. Para práticas de compactação, como o BTC e a taipa de pilão, os solos arenosos se mostram como melhores materiais, pois o consumo de estabilizante depende fundamentalmente do tamanho dos grãos e da uniformidade, logo, a granulometria irregular dos solos arenosos apresenta menor consumo de aglomerante. Solos argilosos e mais plásticos são mais adequados para construção em adobe ou terra moldada, devido sua coesão, este tipo de solo consegue acomodar melhor as partículas sem necessidade de compactação ou estabilizante (EIRES, 2012; LIMA, VARUM, SALES, 2011).

⁹ Montagem a partir de imagens coletadas pelo autor. Disponível em: <<http://lapintijolos.com.br/index.php/modelos/>> e <<https://www.leroymerlin.com.br/tijolos-ecologicos>>. Acesso em 23 de abril de 2020.

A estabilização através da inserção de fibras retarda a retração da terra, criando uma malha estrutural de esforço que aumenta a coesão entre as partículas e confere maior flexibilidade ao solo. Já a estabilização com cal diminui a plasticidade e expansibilidade do solo, lhe confere maior trabalhabilidade e maior coesão. Por fim, a estabilização com cimento permite aumentar a resistência devido à ação aglutinante deste aditivo, que cimenta as partículas do solo. Estes processos permitem viabilizar a grande maioria de solos para a fabricação de BTC, e ainda, aliado ao baixo custo de produção e possibilidade de utilizar o próprio solo do local da construção, tornam o BTC uma técnica construtiva sustentável muito vantajosa (RIBEIRO, 2016; TORGAL, EIRES, JALALI, 2009).

Similar aos blocos de terra comprimida, o adobe – do árabe “*atob*” que significa pasta grudenta – é uma técnica antiga que antecede os tijolos ecológicos e é utilizada desde o período colonial no Brasil (TAMAGORI; CAVALLARO, 2011). São tijolos de barro¹⁰, secos ao sol ou sombra, sem que sejam submetidos à queima. Apresentam formas e dimensões variadas, podendo ser executados manualmente ou com auxílio de aparelhos mecânicos, podem ser moldados em fôrmas de plástico, madeira, metal ou até mesmo sem moldes (SANTIAGO, 2001).

Para a produção é recomendado que se utilize solo areno-argiloso, atentando-se ao fato de que se a terra escolhida tiver alto teor de argila, o risco de fissuração no adobe, após a secagem, é alto. Recomenda-se manter um teor de areia entre 55% e 70%, 10% a 20% de argila e 15% a 25% de silte. A granulometria e a mineralogia do solo influenciam em aspectos finais, como a expansibilidade, capacidade de estabilização e resistência à compressão. Pode-se ainda adicionar algumas fibras, na mistura base do bloco, para controlar as fissuras, tais como fibras vegetais, esterco ou pelos de animais. A produção tem influência significativa sobre a qualidade final do adobe, portanto, se faz necessário a otimização da qualidade do produto, redução de custos e diminuição de complexidade no processo de fabricação (SANTIAGO, 2001; ROTONDARO, 2011).

No Brasil, a ABNT regulamentou a produção de adobe e execução da alvenaria, além dos métodos de ensaios para caracterização física e mecânica do bloco, através da NBR 16814: 2020 – Adobe – Requisitos e métodos de ensaio, elaborada pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil.

¹⁰ Mistura de solo e água, que apresenta consistência plástica.

A produção do bloco de adobe inicia-se pela limpeza da terra, retirando pedras, lixo e vegetais com uma peneira de 5 mm. Para destorroar a terra pode-se utilizar um rolo ou um destorroador mecânico. Se forem adicionadas fibras à mistura, elas devem ser cortadas em pedaços de 5 cm a 10 cm de comprimento e armazenadas. Após os primeiros preparos, mistura-se então a terra e os aditivos com água em uma superfície plana ou em um recipiente com 30 a 40 cm de profundidade. Deixar a pasta formada em repouso e ir misturando uma a duas vezes por dia durante alguns dias. Este processo, denominado como “dormir” ou “amolentar” o barro, tem como objetivo hidratar as argilas, dissolver os torrões de terra e misturar os materiais constituintes, conseguindo assim um material plástico e uniforme, ou seja, o barro. Na moldagem dos blocos, a forma deve ser umedecida com água para evitar a aderência do barro e o molde então é preenchido manualmente com a mistura, regularizando a superfície com uma régua ao final. O desmolde é feito imediatamente e os adobes são colocados para secar, com uma distância suficiente para que haja circulação de ar entre os blocos. Os adobes secam por vários dias ao ar livre e depois são virados de lado para completar a secagem, por mais alguns dias, como mostra a Figura 11. Por fim, são empilhados e cobertos para evitar que se desagreguem com água das chuvas (ROTONDARO, 2011).

Figura 11 - Construção e produção de adobe.



Fonte: Site Museu de Caculé (2016)

O adobe é uma técnica construtiva com bom desempenho térmico devido à dois fatores: 1) como o barro é uma matéria micro-fina e porosa, permite a passagem de ar, deixando o material “respirar”; 2) o barro consegue regular a umidade do ar, armazenando quando há muita umidade presente e liberando quando há pouca, sendo que essa capacidade absorção é 30 vezes superior àquela verificada em tijolos cozidos (BOUTH, 2005).

Com as mudanças climáticas e a crise energética em meados do século XX, surgiu a necessidade de se repensar as fontes de energias renováveis e não renováveis, a forma com que o homem utiliza os recursos naturais e desenvolver modos construtivos mais sustentáveis. Neste âmbito, as construções com adobe mostram o seu potencial, ficando frias no verão e fáceis de aquecer no inverno, conferindo ao material um caráter ecologicamente correto (MARQUES, 2018; ALVES FILHO, SCHUMACHER, 2012).

Assim como outras técnicas construtivas, o adobe apresenta vantagens e desvantagens, que podem ser destacadas (ROTONDARO, 2011):

- Vantagens:
 - a) Fácil de fabricar, secar e empilhar;
 - b) Isolante térmico, devido a porosidade;
 - c) Diversidade de formas e dimensões;
 - d) Produto 100% reciclável;
 - e) Não requer mão de obra especializada e os moldes de fabricação são de baixo custo;
 - f) Apresenta diversos usos, como construção de paredes, arcos, abóbodas e cúpulas;
 - g) Matéria-prima abundante.
- Desvantagens:
 - a) Baixa resistência à tração e flexão, se comparado a outros métodos de alvenaria convencionais;
 - b) A fabricação manual requer esforço humano e ampla área para secagem;
 - c) Necessidade de muita água na fabricação;
 - d) A qualidade é condicionada à mistura e ao repouso para hidratação do barro (processo necessário para hidratar a argila, destorroar o solo e misturar os materiais constituintes);

- e) Em zonas afetadas por sismos é necessário reforço estrutural e contrafortes apropriados;
- f) Absorve muita água devido a porosidade.

Enquanto no Brasil o uso do adobe se restringe às habitações de baixo padrão, em outros países, o uso já está difundido para construções de habitações de classes mais abastadas, nos Estados Unidos este tipo de técnica é utilizado em construções de padrão elevado, sendo símbolo de *status* possuir uma casa com este material. Logo, o adobe apresenta grande potencial para ser uma das técnicas de construção do futuro (SANTIAGO, 2001).

Para resgatar as técnicas de construções em terra, novas tecnologias adaptadas às exigências atuais podem desfazer os preconceitos existentes com este tipo de construção, além de promover a utilização dessas tecnologias no mercado construtivo. De acordo com Jalali e Eires (2008), dentre essas técnicas podem ser citadas:

- **Estabilização do solo:** pode ser realizada mecanicamente, através de prensagem do solo, ou quimicamente, adicionando cimento, cal, pozolanas e outros aditivos químicos, visando um solo mais estável, durável e resistente;
- **Adobe mecanizado:** utiliza-se de máquinas para acelerar a produção de adobes em grande escala;
- **Taipa mecanizada:** semelhante à taipa tradicional, diferindo-se pela compactação realizada através de um compactador pneumático e pelas fôrmas de maiores dimensões, podendo ser de madeira ou metal;
- **BTC em prensa hidráulica:** a compressão dos blocos é realizada através de prensa hidráulica, sem força manual, tornando os BTC mais resistentes;
- **“Adobeton”:** consiste na fabricação de adobe com revestimento de concreto, protegendo-os das intempéries. Os pré-moldados que revestem o adobe tem formato de “L” invertido, aumentam a durabilidade da construção e confere aspecto industrial;
- **BTC Eco-eficiente sem adição de cimento:** são utilizados componentes que utilizam menos energia em sua fabricação, como a cal e a pozolana, conferindo maior resistência ao bloco;

- **Tijolos e placas extrudidas:** são peças de argila não cozida, fabricadas a partir da extrusão¹¹ com um processo idêntico ao processo de argila cozida, mas sem secagem e altas temperaturas.

Como pode ser observado, a construção em terra é extremamente versátil e desfruta de material abundante. Inúmeras técnicas foram desenvolvidas para aproveitamento do solo, cada qual possuindo características que tornam mais ou menos adequadas ao contexto em que se encontram. Contudo, novas técnicas ainda são estudadas para que novas gerações também possam desfrutar do solo como material construtivo (SANTOS, 2015).

2.3 TÉCNICAS DE MELHORAMENTO DE SOLOS

O melhoramento ou a estabilização de um solo consiste no processo de realizar modificações nas propriedades de um solo, visando conseguir melhorias de suas características. Este procedimento é realizado através da alteração da estrutura e/ou da textura da terra, com o objetivo de adequar o solo à uma determinada aplicação (SANTIAGO, 2001).

A estabilização da terra para utilização como material de construção é uma técnica antiga, que tem, de modo geral, objetivos como: melhorar comportamento mecânico e coesão do solo, reduzir a porosidade e variação de volume, melhorar a resistência à erosão e chuva, reduzir a abrasão da superfície e impermeabilizar. Os procedimentos de estabilização podem ser mecânicos, físicos ou químicos (LOURENÇO, BRITO, BRANCO, 2015).

A estabilização mecânica é um processo no qual não se adiciona nenhum material estranho ao solo, aumenta sua densidade, melhora sua resistência mecânica e durabilidade. Para obter estes resultados há uma redução do volume de vazios do solo através de uma energia imposta externamente, que reduz a percolação de água no material, o que ocasiona uma maior durabilidade. Há ainda o aumento da compacidade do solo, tendo-se então um acréscimo de resistência mecânica. Pode-se também realizar a drenagem ou a mistura de dois solos diferentes, visando corrigir o teor de umidade ou a granulometria. Em geral, estas técnicas são combinadas com

¹¹ Ato ou efeito de forçar ou empurrar para fora (MICHAELIS, 2021).

a compactação, que é o principal método para se obter a estabilização mecânica do solo (SANTOS, 2012).

O processo de estabilização física é feito através da incorporação de fibras ou através do tratamento térmico. Na utilização de fibras, a mais utilizada é a palha, mas também se utiliza fibras de vidro ou aço. Em alguns casos utiliza-se armaduras de bambu, sendo uma estrutura portante em bambu e a terra é utilizada como material de enchimento. A utilização de fibras permite diminuir e evitar a fissuração durante o processo de secagem do solo e distribuir a tensão de retração por toda a massa, apresentando em alguns casos o aumento de resistência mecânica. Os blocos estabilizados com fibras suportam grandes deformações, possibilitando absorver quantidades de energia bastante elevadas (LOURENÇO, BRITO, BRANCO, 2015).

Já a estabilização química muda a estrutura do solo, conferindo a ele maior estabilidade, menor permeabilidade e compressibilidade. Este processo é realizado com a adição de estabilizantes ao solo natural, que proporcionam o preenchimento dos poros e garantindo a melhoria das propriedades físicas. Os resultados obtidos dependem das reações ocasionadas entre o estabilizante e os minerais presentes no solo, podendo ser utilizado como estabilizante neste processo o betume, cimento Portland, cal, pozolanas ou resíduos industriais (MAKUSA, 2013; MEDINA, 1987).

De acordo com Santiago (2001) os métodos mais utilizados para estabilização são:

- **Densificação:** elimina o máximo de vazios existentes no solo, podendo ser realizada através de duas maneiras: por manipulação mecânica (densificação por compressão) ou por gradação (modificação na granulometria do solo);
- **Armação com fibras:** criação de uma matriz independente da argila, que é formada pela associação da fibra (servindo como estabilizante) com a fração arenosa do solo. São esperados resultados como aumento de resistência à tração, redução da massa unitária do material tornando-o mais leve, impedimento da fissuração e secagem mais rápida. No que se refere às técnicas de construção com terra as fibras podem ser aplicadas em adobes, BTC e taipa de pilão;
- **Estabilização com cimento:** é obtida através do preenchimento dos vazios por um ligante insolúvel, capaz de envolver as partículas em uma matriz inerte. Os fatores que mais influenciam nos resultados são o teor de cimento,

compacidade e natureza do solo. Quando o teor de cimento utilizado na mistura é alto (entre 5% e 10%), tem-se o solo-cimento propriamente dito, por outro lado, quando esse teor é baixo (menor que 5%) tem-se um solo melhorado com cimento, sendo que o teor adicionado deve ser definido em função do objetivo final da mistura;

- **Estabilização com cal:** com a hidratação da cal, ocorrem processos químicos que alteram a textura e estrutura do solo, acontecendo a carbonatação e reações pozolânicas. A manutenção do pH alto favorece a dissolução dos minerais argilosos e a reação de estabilização então se efetiva. Pode ser utilizado todo tipo de cal neste processo, mas a cal hidratada é a mais recomendada, bastando não ser muito fina. Quando o teor de cal utilizado na mistura é alto (recomenda-se entre 3% e 8% para estabilização), tem-se o solo-cal propriamente dito, por outro lado, quando esse teor é baixo (menor que 3%) tem-se um solo melhorado com cal, sendo que o teor de cal incorporado deve ser definido em relação ao objetivo final da mistura. Os resultados obtidos neste processo são: alteração na massa unitária, redução da variação volumétrica e variação da resistência à compressão. Para este tipo de estabilização recomenda-se uma cura úmida com temperaturas elevadas, sendo que temperaturas superiores a 60°C geram resultados melhores. Ainda é possível associar a estabilização com cal a outro processo de estabilização, como, por exemplo, a densificação;
- **Estabilização com betume:** tem o intuito de impermeabilizar o solo, reduzindo a erosão à água e as variações volumétricas decorrentes do contato constante com a umidade. É recomendada tanto para solos arenosos (volumetricamente estáveis) como para solos argilosos e siltosos, sendo que estes últimos requerem mais estabilizante por terem maior superfície específica. O betume é um estabilizante indicado quando a técnica requerer uma grande quantidade de água, como o adobe. O percentual de estabilizante utilizado é de 2 a 3%, para não afetar a coloração final do produto e não produzir odor na mistura. A cura deve ser a seco, longa e em temperatura elevada, porém em temperaturas menores que 40°C, produzindo efeitos benéficos sobre a absorção e expansão do produto final.

Dentre os métodos citados, o cimento é o estabilizante mais utilizado atualmente. A adição desse material à terra torna a aglomeração das partículas estável e reage com a argila tornando-a mais estável. Normalmente, se obtém bons resultados com um teor de 6% a 12% de cimento, sendo mais eficaz através da compressão no estado úmido (LOURENÇO, BRITO, BRANCO, 2015).

2.3.1 Solo-cimento

O solo-cimento consiste em um material obtido a partir da mistura homogênea entre solo, cimento Portland e água, nas devidas proporções, que após ser compactado e passar por cura úmida, resulta em um produto com características de durabilidade e resistências mecânicas definidas (FERREIRA FILHO, 2019?).

O aumento da resistência mecânica deve-se à ação aglutinante do cimento, que solidifica as partículas do solo. Isto ocorre quando os teores do aditivo são mais elevados, fazendo com que o cimento forme núcleos interligados distribuídos pela massa do solo. Em teores mais baixos, tem-se um solo melhorado com cimento (diferente do solo-cimento por conter menor teor do aditivo), onde percebe-se uma modificação da fração argilosa do solo, diminuindo sua plasticidade, podendo conferir, ou não, o aumento da resistência mecânica, devido ao fato do cimento formar núcleos independentes na massa de solo, neste caso (TORGAL; EIRES; JALALI, 2009).

O cimento Portland trata-se de um pó fino composto principalmente do clínquer (uma mistura de calcário, argila e componentes químicos), com propriedades aglomerantes que endurece sob a ação da água, e depois de endurecido não se decompõe facilmente, mesmo na presença de líquidos. No Brasil, existem cinco tipos de cimento Portland básicos, e cada tipo se diferencia conforme a adição de outros materiais, como gesso, escória de alto-forno, argila pozolânica e calcário, cada qual conferindo uma característica específica. As diferenças entre cada tipo estão na composição do material, que impacta nas características, propriedades de resistência, durabilidade, trabalhabilidade e impermeabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2018). As principais características dos cimentos fabricados no Brasil estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Tipos de Cimento Portland Básicos.

TIPO	DESCRIÇÃO
CP-I ou Cimento Portland Comum	Não possui nenhum tipo de aditivo, apenas o gesso, que tem a função de retardar o início de pega do cimento para possibilitar mais tempo na aplicação.
CP-II ou Cimento Portland Composto	Possui outros materiais em sua composição, que conferem menor calor de hidratação. Possui três variantes: CP-II E – com adição de escória de alto forno (6% a 34%); CP-II Z – com adição de material pozzolânico (6% a 14%) e CP-II F – com adição de fíler (6% a 10%).
CP-III ou Cimento Portland de Alto-forno	Tem em sua composição de 35% a 70% de escória de alto forno. Apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação.
CP-IV ou Cimento Portland Pozzolânico	Tem em sua composição de 15% a 50% de material pozzolânico. Proporciona estabilidade no uso com agregados reativos e em ambientes de ataque ácido, possui baixo calor de hidratação.
CP-V ARI ou Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Tem alta reatividade nas primeiras horas de aplicação, fazendo com que atinja resistências elevadas em curto intervalo de tempo.

Fonte: Adaptado de ABCP (2018)

Para a produção de solo-cimento pode ser utilizado o cimento Portland comum (CP-I) de acordo com a NBR 5732 (ABNT, 1991) ou cimento Portland pozzolânico (CP-IV) de acordo com a NBR 5736 (ABNT, 1980). Há variações no uso do estabilizante de acordo com o objetivo que se pretende alcançar com a estabilização e também de acordo com a disponibilidade na região, o que pode ser observado consultando diferentes autores. Grande (2003) em sua pesquisa para produção de tijolos modulares de solo-cimento optou por usar dois tipos de cimento, sendo o CP II E-32, devido a sua maior disponibilidade na região e desenvolvimento de resistência mais lento, propiciando avaliações dos tijolos produzidos em diferentes idades e utilizou também o CP V ARI *Plus* para verificação de maior compacidade do material, pelo

fato deste aglomerante conter maior saturação de cal, além do maior ganho de resistência inicial. Já Dias (2012) optou por utilizar em sua pesquisa o cimento Portland IV, justificando sua adição com o alto ganho de resistência e propiciação de maior durabilidade ao solo-cimento produzido. O CP IV é especialmente indicado para pavimentos rodoviários, betonagens em meios agressivos, ambientes marítimos e misturas de solo-cimento. Logo, a escolha do tipo de cimento fica a critério do objetivo da pesquisa ou da aplicação final que se pretende, e da disponibilidade do aglomerante na região, devido à questão econômica e sustentabilidade na estabilização de solos.

A granulometria do solo é um fator de influência decisivo para a estabilização do produto final. Em solos granulares, a quantidade de cimento não é suficiente para preencher os vazios existentes, então neste caso, o cimento irá ligar as áreas de contato das partículas de solo. Em solos bem graduados, o número de pontos de contato é maximizado, e consequentemente, o teor de cimento, necessário para atingir certa resistência, é menor. Nos solos coesivos, durante as reações iniciais de hidratação do cimento são liberados íons cálcio, que reagem com os íons presentes nas partículas de argila, levando à uma atração mútua das partículas causando o efeito de floculação, com isso as partículas de argila adquirem maiores dimensões e perdem plasticidade e coesão. O processo de estabilização do solo com cimento é fortemente prejudicado pela existência de matéria orgânica, que inibe ou retarda a ação aglutinante do cimento e impede a liberação dos íons cálcio (TORGAL, EIRES, JALALI, 2009).

A estabilização com solo cimento propicia melhores resultados, no que diz respeito à resistência mecânica, em solos arenosos (entre 50% e 70% de areia na composição) com argila em baixo teor, apesar de que quase todos os tipos de solos podem ser submetidos a este tipo de técnica. Deve-se atentar ao teor de matéria orgânica presente na amostra, dado que, teores acima de 2% inviabilizam o processo (SANTIAGO, 2001; FRAGA *et al.*, 2016).

Outro fator que influencia a estabilização de solo-cimento é a adição de água, que deve ser realizada de forma gradativa, para não exceder ou ausentar na mistura. Além da quantidade, é necessário que a água esteja livre de impurezas (matéria orgânica, sais, ácidos, álcalis ou substâncias prejudiciais) que possam prejudicar a hidratação do cimento (FRANÇA, SIMÕES, GOMES, 2018).

A mistura de solo-cimento pode ser utilizada na construção de camadas de base e sub-base de pavimentos de rodovias e aeródromos, como revestimento alternativo em estradas de baixo tráfego e núcleos de barragens de terra. Serve também como base para tijolos que são feitos em prensa manual ou automatizada, como mostra a Figura 12, e depois passam pelo processo de cura e secagem, dispensando a queima. A produção é variável de acordo com o uso e processo a ser utilizado, diversificando cores, texturas, formatos, pesos e componentes (FRAGA *et al.*, 2016; PEREIRA, 1970).

Figura 12 - Tijolo solo-cimento.



Fonte: Agência Brasileira de Cooperação – ABC (2012)

Após a preparação da mistura solo-cimento e moldagem dos tijolos, alguns cuidados são necessários para a realização da cura. Nos três primeiros dias deve ser pulverizada água sobre os blocos, de duas a quatro vezes no dia, mantendo-os umedecidos. Podem ser cobertos com lonas plásticas ou impermeáveis durante os três primeiros dias, para minimizar a perda de água. Após 28 dias, o tijolo já apresenta aproximadamente 95% da resistência de cálculo, podendo ser utilizado ou transportado (PISANI, 2005).

Para a produção dos tijolos recomenda-se que o solo apresente plasticidade e que seu limite de liquidez não seja excessivo, menor que 45%. Além disso, aconselha-se também que o solo tenha 10% a 20% de argila, 10% a 20% de silte e 50% a 70% de areia (FRAGA *et al.*, 2016).

A dosagem do cimento é dependente do tipo de solo utilizado e da forma que é preparado. Estudos mostram resultados satisfatórios com 3% de cimento, porém critérios de resistência impõem teores mais altos, variando entre 6% e 12%

(SANTIAGO, 2001). A NBR 12253 (ABNT, 1992) traz valores de dosagem de cimento para o uso em camadas de pavimento, sendo que os teores variam de acordo com a classificação do solo segundo a AASHTO. Solos com bom desempenho para subleito de rodovia requerem um menor teor de cimento, como por exemplo, para um solo classificado como A-1-a recomenda-se um teor de 5% de cimento para estabilização, enquanto um solo não tão adequado para subleito de rodovia requer um maior teor de cimento, como é o caso de um solo A-4, que necessita de 10% de cimento para estabilização, sendo este o maior teor empregado nas dosagens para camadas de pavimento.

O uso do tijolo solo-cimento pode proporcionar economia e melhoria na qualidade de vida das habitações, devido ao seu conforto térmico. Proporciona aceleração na construção, devido aos dutos de passagem elétrica e hidrossanitária, já existentes no bloco, como exemplifica a Figura 13, reduzindo a quebra da alvenaria para realizar esta etapa construtiva, o que também reduz a quantidade de entulho gerada no canteiro de obra. Frisa-se ainda a viabilidade econômica oferecida, devido à matéria-prima em abundância, se mostrando como grande contribuinte da sustentabilidade na construção civil (SILVA; SANTOS; SAVARIS, 2018).

Figura 13 - Passagem de tubulações.



Fonte: Eco máquinas (2019)

2.3.2 Melhoria de solos com uso de resíduos

A construção com terra estabilizada apresenta menos impacto ambiental do que o sistema construtivo com materiais convencionais (blocos de concreto, tijolos

cerâmicos, entre outros), e ainda, há a possibilidade de adição de resíduos neste processo, podendo diminuir o teor de ligante necessário para a estabilização, sendo possível até reciclar o solo desde que sejam utilizados estabilizantes e resíduos biodegradáveis (EIRES, 2012).

A inserção de resíduos na matriz de solo tem por objetivo estabilizar e trazer melhorias físicas e mecânicas ao material. Dentre inúmeras formas de estabilização com resíduos existentes, Santiago (2001) cita algumas que podem ser feitas:

- **Estabilização com resinas (em forma de polímeros):** possui pega rápida e fácil incorporação ao solo devido à sua viscosidade, trazendo impermeabilização ao solo e maior coesão em alguns casos, porém pode apresentar toxicidade e manipulação delicada. Exemplos: goma-arábica, lignina, goma-laca, resinas epoxídicas e resinas à base de álcool polivinílico ou acetato polivinílico;
- **Estabilização com produtos de origem animal:** pode ser feita com excrementos, sangue, ossos, cascos e peles ou até mesmo urina. Possivelmente pela presença de fibras, ácido fosfórico e potassa (KOH), elimina a fissuração e aumenta a resistência à erosão, além de proteger contra intempéries;
- **Estabilização com produtos de origem vegetal:** pode-se utilizar cinzas, óleos e gorduras secativos, propiciando melhor resistência à compressão, menor permeabilidade e destorroamento mais fácil;
- **Estabilização com gesso:** é interessante para terras arenosas sem coesão, podendo ser combinado com a cal para obter melhores resultados.

Outro tipo de material que pode ser incorporado ao solo para melhorias e estabilização são os resíduos da construção civil. Tais resíduos, quando estão em partículas finas após moagem, possuem propriedades cimentantes, o que viabiliza sua incorporação em tijolos de solo-cal e de solo-cimento, por exemplo, baixando o teor necessário de aglomerante na mistura. Como o RCC representa grande parte dos resíduos sólidos urbanos, o seu aproveitamento em novas técnicas construtivas contribui para a sustentabilidade na construção civil (FIGUEIREDO, SILVA, NEVES, 2011).

Os RCC também são muito utilizados como agregado na constituição das camadas de base, sub-base e revestimento primário de pavimentação, tendo estudos

consolidados sobre bons resultados da inserção deste resíduo no melhoramento do solo. Este processo utiliza uma quantia significativa de resíduo na forma graúda e miúda, o que melhora a granulometria do solo e ainda poupa energia na reciclagem do RCC devido a utilização do material em fração grossa (CABRAL, MOREIRA, 2011).

Pesquisas acadêmicas têm mostrado resultados satisfatórios quanto à inserção de resíduos orgânicos em construções de terra. Um exemplo é o estudo realizado por Ferreira, Gobo e Cunha (2008) que analisou a incorporação de casca de arroz e braquiária em tijolos de solo-cimento. A pesquisa observou que a absorção de água atendeu aos parâmetros normativos e que a substituição parcial do teor de cimento por resíduo pode ser realizada em tratamentos com 10% de casca de arroz e braquiária, diminuindo o teor de ligante necessário.

O plástico também ganhou espaço nas pesquisas e passou a ser material de diversos estudos, como é o caso da pesquisa feita por Galvão *et al.* (2018) que analisou a retração de tijolos adobe confeccionados com adição de resíduos picotados de garrafa PET. O trabalho teve como base 3 traços, sendo que o traço com 10% de resíduo apresentou retração volumétrica 8% a menos que o traço de referência (mistura sem a adição de resíduo). É um valor bastante significativo, que resulta em um material estruturalmente mais leve, maior regularidade nas dimensões, menos vazios e menos danos estéticos. Resultando, assim, em um material construtivo sustentável, econômico e eficiente, facilitando a aquisição pela sociedade.

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Solo

O presente trabalho fez uso do solo extraído, no ano de 2017, de um local próximo às margens do contorno viário que liga as rodovias BR-070 e BR-158, e também próximo à rodovia MT-100, localizado no município Pontal do Araguaia - MT, assim como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Local aproximado da extração do solo.



Fonte: Google Earth (2019)

O uso deste solo para a pesquisa se deu devido à disponibilidade deste material no laboratório de Mecânica dos Solos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário do Araguaia. Além disso, o uso do mesmo solo que Schweig (2017), Barroso (2019) e Novato (2019) utilizaram no desenvolvimento de suas pesquisas, possibilita uma comparação de forma direta com os resultados obtidos.

Para a extração do material, com o auxílio de uma retroescavadeira, realizou-se uma abertura de cerca de 2,5 metros de profundidade e 3 metros de comprimento, como mostra a Figura 15. Após o descarte da camada superficial de 50 cm, obteve-se a amostra (SCHWEIG, 2017).

Figura 15 - Abertura realizada para extração da amostra.



Fonte: Schweig (2017)

Após a coleta, o solo foi levado ao laboratório de mecânica dos solos da Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário do Araguaia, sendo destorroado, peneirado e armazenado protegido de intempéries. Schweig (2017), utilizando a metodologia da AASHTO, classificou o solo como material granular de classe A-2-4 (0), sendo caracterizado como areia siltosa ou argilosa (DAS, 2011). Os resultados dos ensaios de caracterização estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros para classificação do solo.

Composição	33,63% - silte + argila
	66,37% - areia fina
Limite de Plasticidade (LP)	12%
Limite de Liquidez (LL)	18%
Índice de Plasticidade (IP)	6%
Índice de Grupo (IG)	0

Fonte: Adaptado de Schweig (2017)

3.1.2 Cimento Portland

O aglomerante utilizado nesta pesquisa, para estabilizar e melhorar o solo escolhido, foi o Cimento Portland composto com pozolana (CP II-Z 32), devido a sua disponibilidade em lojas de materiais de construção civil do município de Barra do Garças – MT. Tendo em vista a classificação do solo apresentada por Schweig (2017) e seguindo os teores recomendados pela ABCP (2004), apresentados na Tabela 6, o teor de cimento adotado para as misturas é de 7% em relação a massa seca de solo. No total, utilizou-se cerca de 17 kg de cimento para a produção dos adobes.

Tabela 6 - Teor de cimento para o ensaio de compactação.

Classificação do solo segundo a AASHTO (M 145)	Teor de cimento em massa (%)
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fonte: ABCP (2004)

3.1.3 Fibras de Polietileno

As fibras de polietileno foram advindas do recorte de sacolas plásticas fornecidas por estabelecimentos comerciais, que seriam descartadas incorretamente. O material foi recolhido, higienizado e separado por semelhança de matéria-prima, visto que nem todas as sacolas plásticas são produzidas do mesmo tipo de polietileno. Para esta pesquisa escolheu-se as sacolas do tipo PEAD – Classe 2, por ser o mais comum entre as sacolas disponibilizadas nos estabelecimentos comerciais. No total, foi utilizado cerca de 1,1kg de polietileno processado. As fibras produzidas possuíam dimensões de 3 cm de largura por 10 cm de comprimento, como pode se observar na Figura 16. Estas medidas são indicadas na literatura, assim como observado por Rotondaro (2011), e são descritas como um tamanho ideal para a incorporação na mistura de solo-cimento.

Figura 16 - Fibras de polietileno.



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

3.1.4 Resíduo de Poliestireno Expandido

O resíduo de poliestireno expandido foi obtido através da coleta de embalagens de eletrodomésticos, que seriam descartadas incorretamente. As embalagens foram coletadas, higienizadas e processadas utilizando um liquidificador. A fim de obter uma boa dispersão das partículas, o processamento do resíduo foi feito em várias etapas com pequenas quantidades, resultando no material mostrado na Figura 17. No total, foi utilizado cerca de 350g de poliestireno expandido processado. Para caracterização do material obtido foi feita a análise granulométrica pela lavagem do resíduo processado nas peneiras de abertura de 19,00, 9,50, 4,75, 2,36, 2,00, 1,40 e 0,30 mm.

Figura 17 - Resíduo de poliestireno expandido processado.



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

3.2 CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE ADOBE

Foram confeccionados quatro grupos de blocos de adobe, sendo o primeiro grupo de blocos de solo-cimento, o segundo grupo de blocos de solo-cimento com adição de fibras de polietileno, e o terceiro grupo de blocos de solo-cimento com resíduo de poliestireno expandido. O quarto grupo foi produzido a partir do teor de cada material (polietileno e EPS) que apresentou o melhor desempenho isoladamente no segundo e no terceiro grupo, sendo combinados e produzindo assim um grupo de blocos de solo-cimento com adição de resíduo de poliestireno expandido e reforçados

com fibras de polietileno. As misturas produzidas foram submetidas à ensaios de resistência à compressão e ensaios de retração.

3.2.1 Preparo da mistura

O processo de produção dos blocos foi adaptado do roteiro de Buson (2009), onde primeiramente umidifica-se as paredes da betoneira com água, adiciona-se a mistura de solo com cimento e resíduo (realizada previamente), e por último, acrescenta-se água à mistura, em pequenas quantidades, até que se atinja uma consistência plástica. Ressalta-se que a quantidade de água utilizada na produção de uma mistura foi replicada nas produções seguintes, visando garantir a mesma umidade para todos blocos de um mesmo traço. Todos os teores de resíduo e de cimento foram considerados em relação a massa de solo seco, sendo usado aproximadamente 3kg de terra para cada adobe. No total, utilizou-se 240 kg de solo para a produção de 80 blocos de adobe. As misturas produzidas e suas respectivas composições são demonstradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Misturas para confecções dos blocos

Nomenclaturas	Combinações			
	Solo(%)	Teor de Cimento(%)	Teor de EPS(%)	Teor de Fibras de Polietileno(%)
solo-cimento	100	7,0	-	-
E-0,125	100	7,0	0,125	-
E-0,25	100	7,0	0,25	-
E-0,50	100	7,0	0,50	-
P-0,50	100	7,0	-	0,50
P-0,75	100	7,0	-	0,75
P-1,00	100	7,0	-	1,00
PE-teor ótimo	100	7,0	teor ótimo	teor ótimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

3.2.2 Moldagem dos blocos

Para a moldagem dos blocos utilizou-se o chão recoberto com uma lona e um molde vazado com dimensões de 12 cm de largura, 24 cm de comprimento e 7 cm de

altura, tendo capacidade de confecção de dois blocos simultaneamente. O processo de moldagem consiste na colocação de pequenas quantidades da massa preparada, conforme Figura 18 (a), no molde que deve estar previamente revestido com óleo lubrificante para facilitar o desenforme, com o devido cuidado para que não haja formação de espaços vazios (espaços não ocupados pela massa), como mostra a Figura 18 (b). Após preencher a fôrma completamente, é realizado o nivelamento, retirando o excesso de massa e garantindo que a face superior do bloco fique lisa. Em seguida, o molde é levantado verticalmente para realização do desmolde dos blocos.

Figura 18 – Preparo da mistura e moldagem.



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

3.2.3 Cura dos blocos

A cura foi realizada ao ar, à temperatura ambiente, em local protegido das intempéries, por um período de sete dias. Os blocos foram dispostos sobre uma lona, mostrado na Figura 20, para evitar a troca de umidade com o piso. Ao final do período de cura a massa e o volume dos corpos de prova foram aferidos, para se analisar a densidade dos blocos, posteriormente. A densidade dos blocos foi calculada dividindo a massa pelo volume.

Figura 19 - Cura dos blocos.



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Ensaio de Resistência à Compressão simples

O ensaio de resistência à compressão simples foi conduzido com o objetivo de verificar o efeito que a adição dos resíduos tem na resistência à compressão do bloco em relação aos blocos de adobe de solo-cimento sem nenhum tipo de adição. A preparação dos corpos de prova para o ensaio se deu pelo capeamento da face superior do tijolo com argamassa de cimento após o período de cura de 7 dias. Conforme proposto por Silva (2015) e Schweig (2017), a argamassa produzida para este fim possui traço de 1:2, com umidade de 25%, e aplicada com espessura máxima de 3 mm. Este procedimento teve como objetivo garantir o paralelismo das faces comprimidas.

Após um período de 24 horas, para a cura da argamassa, colocou-se o bloco de forma centralizada no prato da máquina de ensaio de compressão. Duas placas metálicas foram utilizadas para transferir a carga ao corpo de prova de modo uniforme, conforme mostra a Figura 20. As amostras foram submetidas à verificação da resistência à compressão, com uma velocidade de carregamento de 50 mm/min. Nesse procedimento foram avaliados 5 blocos de cada mistura após um período de cura de 7 dias.

Figura 20 - Ensaio de Resistência à Compressão.



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

A resistência à compressão dos blocos também foi avaliada em uma condição crítica. Aos 7 dias de cura, cinco blocos de cada mistura, foram capeados e submetidos à 24 horas de imersão em água à temperatura ambiente após a cura da argamassa. Após o período de imersão em água os blocos foram enxutos superficialmente e submetidos ao teste de resistência. Nesse procedimento também foram utilizadas placas metálicas para transferência uniforme da carga aplicada pela máquina de ensaio, e a velocidade de carregamento também foi de 50 mm/min. Nas duas situações, a resistência à compressão média dos blocos de cada grupo foi definida pela média simples de cinco determinações.

3.3.2 Análise estatística

Os valores de resistência foram tratados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA), teste de comparações múltiplas de médias (teste Tukey), e teste T Student utilizando o software gratuito Paleontological Statistics (PAST) versão 3.22. Dentro de um mesmo grupo de blocos, a ANOVA foi feita com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre as misturas com diferentes

teores de resíduo, e o teste Tukey foi aplicado com o intuito de identificar quais composições apresentaram diferença significativa.

O teste T Student, que foi conduzindo presumindo variâncias diferentes entre as misturas, foi aplicado para verificar a existência de diferença significativa entre a resistência à compressão média dos blocos submetidos e não submetidos ao período de imersão em água. Como a hipótese tem como base a diferença de médias, a análise dos dados por esse tratamento foi feita considerando um teste bicaudal.

Na análise da existência de diferenças significativas entre as composições foram levantadas duas hipóteses: a hipótese nula, que considera não haver diferença entre as médias, e a hipótese alternativa, em que nem todas as médias são iguais. Em todas as análises foi considerado satisfatório o nível de significância (p) de 5%. Se $p \leq 5\%$, a hipótese nula é rejeitada, indicando a existência de diferença significativa entre as médias, e se $p > 5\%$, não existem diferenças significativas.

3.3.3 Ensaio de Retração

O ensaio de retração tem por objetivo detectar, na composição dos solos, a presença de argilas expansivas que tendem a comprometer o desempenho do material em razão da retração na secagem. Esse procedimento foi realizado com as misturas contendo resíduo em sua composição, conforme os procedimentos propostos por Buson (2009), sendo adaptados da metodologia proposta pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED, 1999 *apud* BUSON, 2009). Nesse ensaio, a mistura é considerada adequada quando, na análise dos resultados, não apresentar trincas nem retração superior à 2 centímetros. O procedimento consiste no preparo de uma massa de consistência plástica, similar ao barro, que deve ser acondicionada na caixa de ensaio, que apresenta dimensões internas de 3,5 cm de altura, 8,5 cm de largura e 60 cm de comprimento, assim como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Mistura disposta na caixa para análise de retração.



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Após acondicionar a mistura na caixa de ensaio, o material fica em repouso, protegido das intempéries, por um período de cura de 7 dias. Findado esse período, se verifica a existência de fissuras e trincas, e é feita a medição da retração do material na direção de maior dimensão da caixa, com precisão de 1 mm. Nesse procedimento foram consideradas trincas fraturas com abertura superior à 0,6 mm e fissuras, fraturas com abertura inferior à 0,6 mm (ABNT NBR:15575-2, 2013). O valor da retração é obtido a partir da soma das médias feitas com três medições no lado direito e esquerdo da caixa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

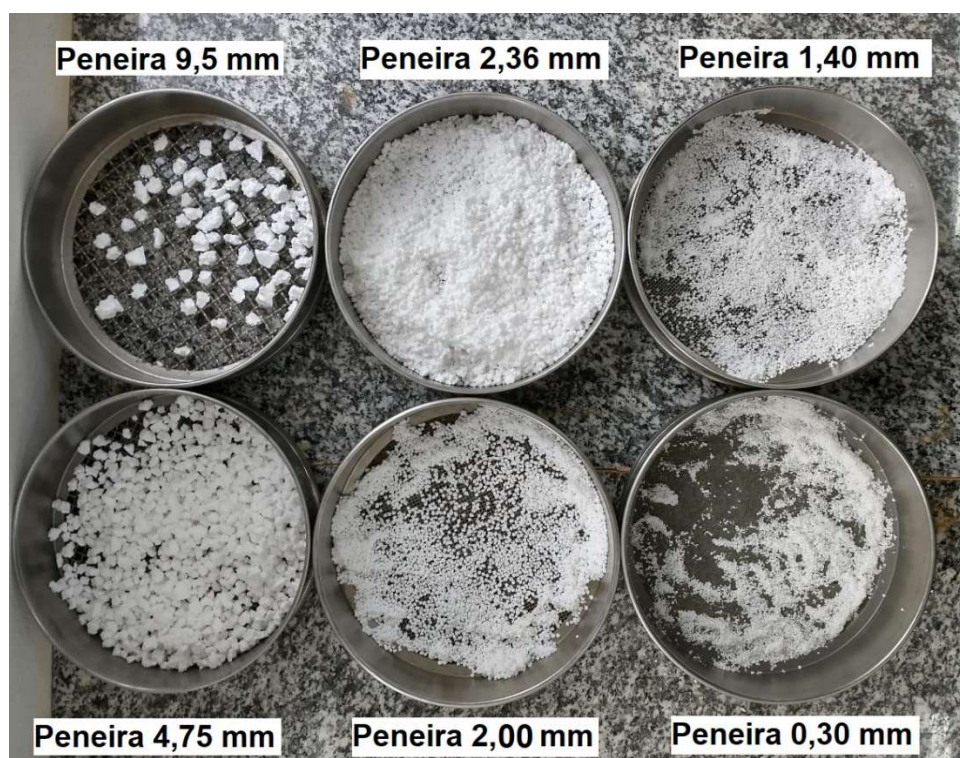
Esta seção apresenta a média dos resultados obtidos para os ensaios de resistência à compressão simples, retração e densidade dos blocos. Os resultados com maiores detalhes são apresentados nos apêndices A, B, C e D, juntamente com os resultados dos testes estatísticos usados para análise das amostras.

4.1 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO E POLIESTIRENO EXPANDIDO

4.1.1 Caracterização do resíduo de poliestireno expandido

Ao processar o poliestireno expandido foi possível notar uma variação no tamanho das partículas. Essa variação nas dimensões das partículas foi avaliada através da análise granulométrica por lavagem. As partículas retidas em cada peneira são mostradas na Figura 22.

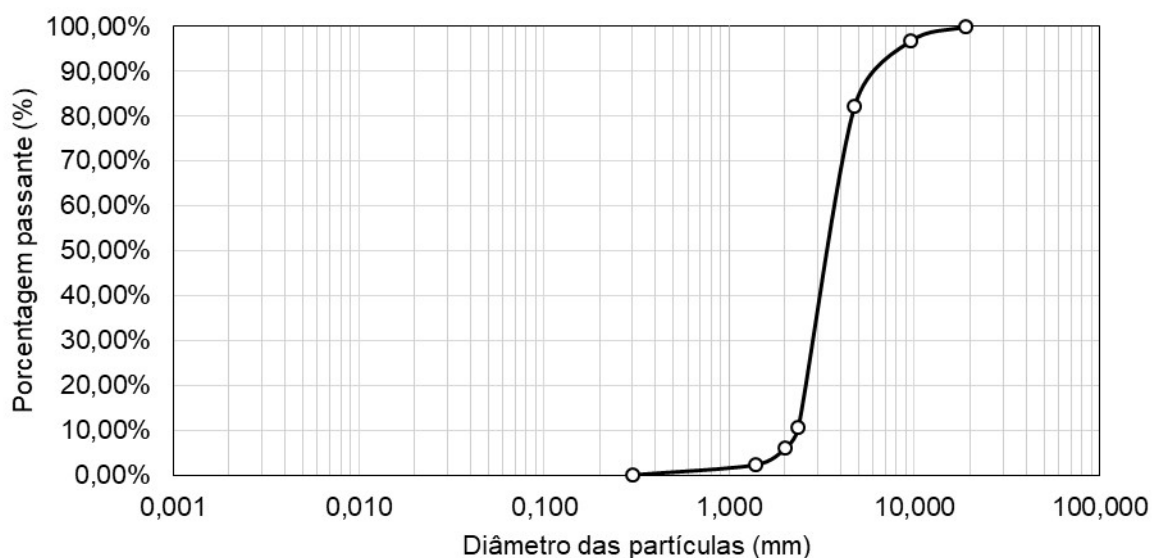
Figura 22 - Partículas do resíduo de poliestireno expandido retidas em cada peneira.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A partir da pesagem da fração de partículas retidas em cada peneira, é possível traçar a curva granulométrica do resíduo, que pode ser observada na Figura 23. Nota-se que há um desenvolvimento quase vertical da curva, indicando desta forma, uma graduação uniforme.

Figura 23 – Curva granulométrica do resíduo de poliestireno expandido (EPS).

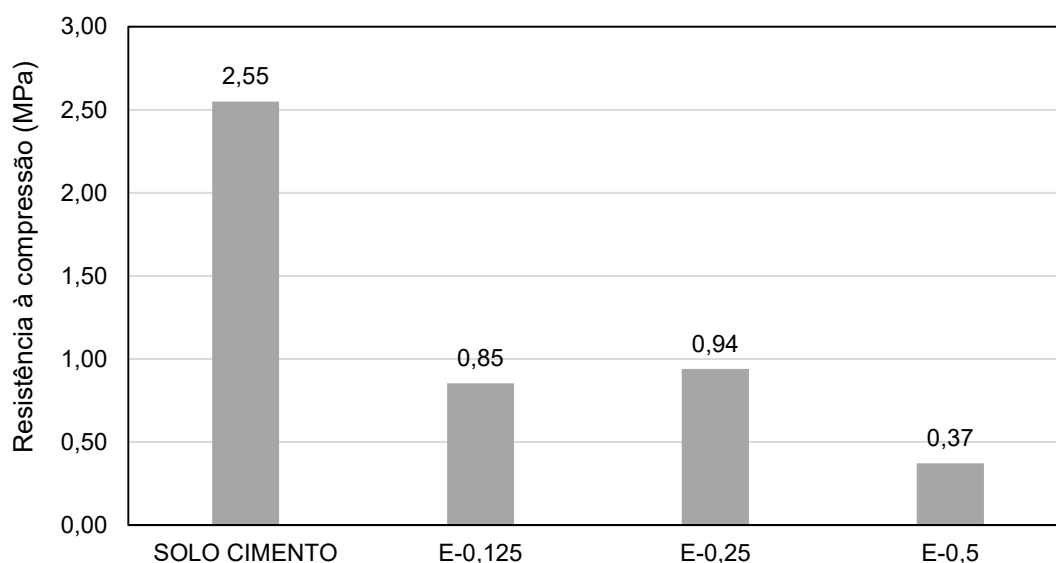


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.1.2 Análise da resistência à compressão simples

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão simples estão apresentados na Figura 24. De modo geral, no que diz respeito à resistência à compressão, a incorporação do resíduo de EPS não foi satisfatória. A resistência de todas as composições contendo resíduo em sua composição ficou abaixo da resistência da mistura de referência. Após os 7 dias de cura, as misturas E-0,125, E-0,25 e E-0,50 apresentaram, respectivamente, uma queda de resistência de 67%, 63% e 86% comparadas com a resistência do adobe de solo-cimento.

Figura 24 - Resistência à compressão simples média aos 7 dias dos blocos com EPS.

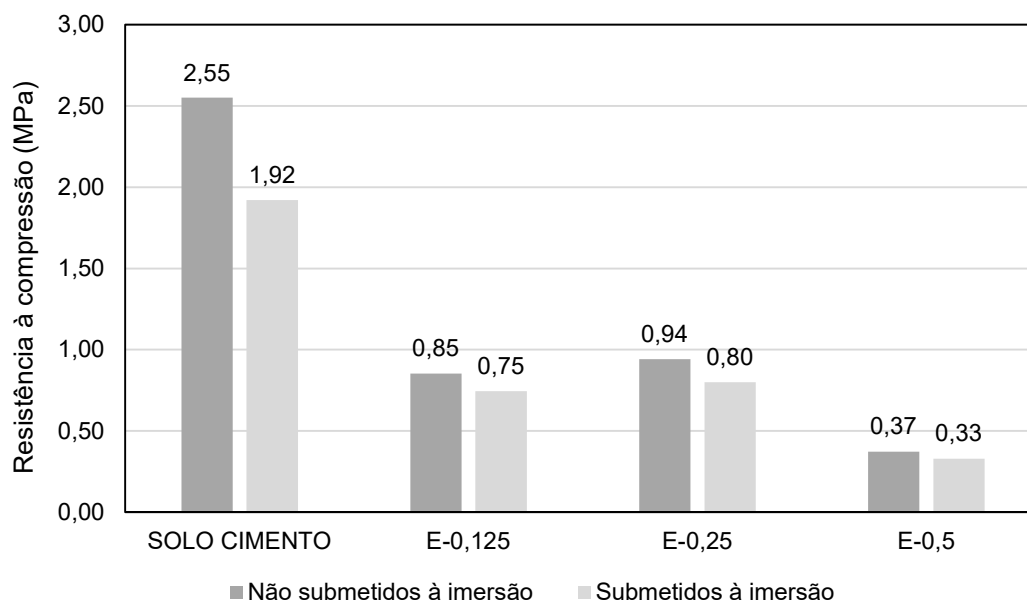


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Utilizando a ANOVA, foi possível observar que existe diferença significativa entre as quatro misturas analisando a resistência à compressão simples dos blocos ($p < 0,05$). Com o teste Tukey, observa-se que todas as misturas com poliestireno expandido diferem-se significativamente da mistura de referência. Sendo que, ainda nesta análise, verifica-se que as misturas E-0,125 e E-0,25 não possuem diferenças significativas entre si, enquanto a mistura E-0,50 se difere significativamente de todas demais.

A resistência à compressão dos blocos também foi avaliada após 24 horas de imersão em água. Os blocos submetidos à esse processo foram rompidos logo após serem retirados da água, sendo possível observar o decréscimo de resistência que ocorre pela imersão. A Figura 25 apresenta os valores médios de resistência à compressão dos blocos submetidos à imersão em água em comparação aos blocos não submetidos à esse processo.

Figura 25 - Resistência à compressão simples média dos blocos com poliestireno expandido após 24 horas de imersão em água.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tomando como base a mistura de referência (solo-cimento), nota-se que as misturas com resíduo de poliestireno expandido apresentaram baixa redução na resistência após a imersão em água durante 24 horas. Enquanto a mistura de referência perdeu 25% de resistência à compressão simples nesta análise, as misturas E-0,125, E-0,25 e E-0,50 apresentaram uma redução de 13%, 15% e 11%, respectivamente.

Aplicando o teste T, constatou-se que todas as perdas de resistência à compressão simples após 24 horas de imersão são significativas ($p < 0,05$). Através da ANOVA percebeu-se que há diferença significativa entre as quatro composições analisando a resistência à compressão simples após 24 horas de imersão em água, sendo que, com o teste Tukey verifica-se diferença significativa da mistura de referência com todas demais e também diferença significativa da mistura E-0,50 com todas demais, enquanto as misturas E-0,125 e E-0,25 não apresentaram divergência significativa entre si.

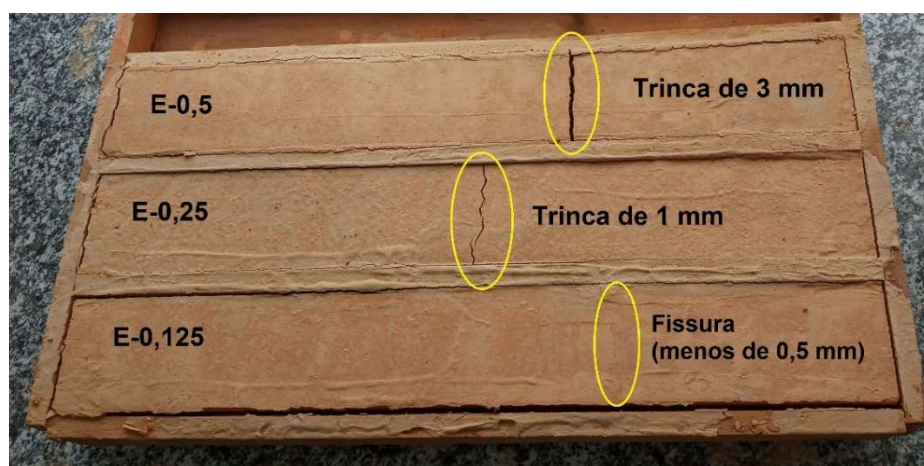
De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a adição de resíduo de EPS afetou a resistência à compressão dos blocos. A composição contendo o maior teor de poliestireno expandido (0,50%) apresentou o menor valor de resistência e as maiores perdas de resistência em relação à mistura de referência. Os blocos da

mistura E-0,50 submetidos e não submetidos ao processo de imersão em água apresentaram uma perda de resistência em relação à mistura de referência de 83% e 86%, respectivamente.

4.1.3 Teste de retração

O ensaio de retração pelo método da caixa não apresentou resultados satisfatórios em todos os casos, sendo que, a mistura E-0,50 apresentou uma trinca com abertura de aproximadamente 3 mm, enquanto a mistura E-0,25 apresentou também uma trinca, com abertura da ordem de 1 mm e, por fim, a mistura E-0,125 apresentou uma fissura em sua extensão, não sendo possível determinar sua abertura. A Figura 26 mostra o aspecto das misturas ao fim do período de 7 dias de cura.

Figura 26 - Ensaio de retração: fibras de poliestireno expandido.



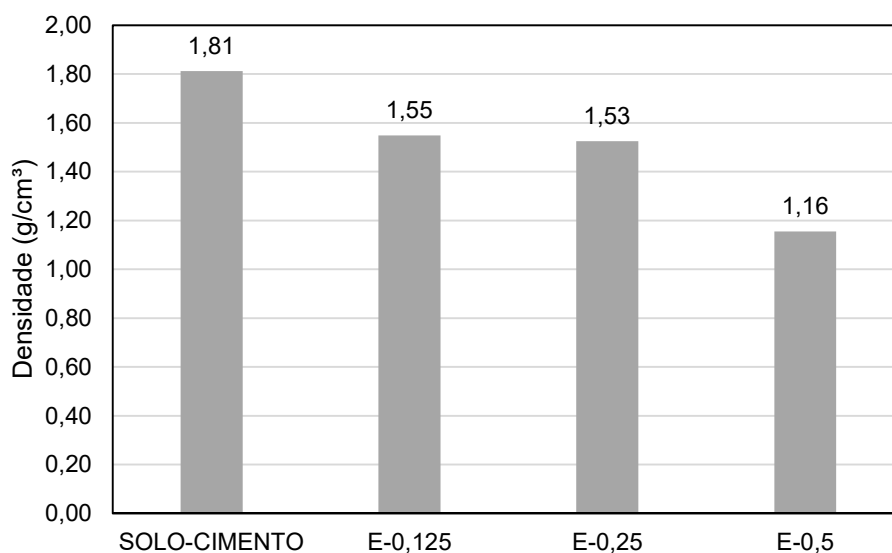
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Por terem apresentado trincas, as misturas E-0,25 e E-0,50 são consideradas inadequadas para o uso em elementos construtivos, de acordo com o CEPED (1999 apud BUSON, 2009). Por apresentar uma retração média (6 mm) inferior ao valor máximo admissível recomendado pela literatura (20 mm), apesar da fissuração, somente a mistura E-0,125 apresenta potencial de utilização em elementos construtivos. Como o resíduo de poliestireno expandido é um tipo de agregado, não era esperado que ele conseguisse conter as fissuras provenientes da perda de água para o ambiente.

4.1.4 Densidade dos blocos com poliestireno expandido

A inserção do resíduo de poliestireno expandido tinha como principal hipótese a diminuição do peso dos blocos, sendo este um fator de grande valia para seu uso em construções, pois quanto menor a carga proveniente de alvenaria, menor é o custo com estrutura. Para tal, avaliou-se a densidade dos blocos de referência em comparação com os blocos das misturas E-0,125, E-0,25 e E-0,50. A Figura 27 mostra o comparativo entre os blocos, onde pode-se observar uma redução na densidade dos blocos com o aumento do teor de resíduo, chegando à uma redução de 36% para o maior teor de poliestireno expandido.

Figura 27 – Densidade média dos blocos com EPS após 7 dias de cura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A redução da densidade nos blocos deve-se ao fato de o poliestireno expandido ser constituído por 98% de ar, fazendo com que a densidade dos compósitos diminua à medida que o teor de EPS na composição aumenta. Este fato beneficia não só a redução de carregamentos na estrutura das edificações como também aspectos relacionados ao conforto térmico e acústico. Por outro lado, esta incorporação de ar através do EPS nas misturas de solo-cimento, trouxe consequências negativas relacionadas ao desempenho mecânico dos blocos, reduzindo a resistência à compressão simples com o aumento do teor de resíduo na mistura.

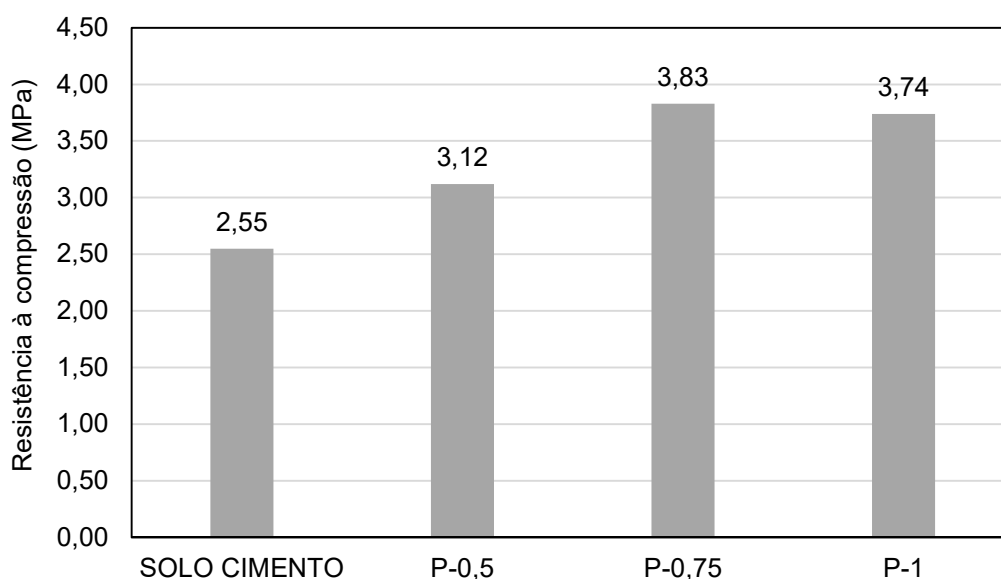
Analisando todos os fatores, define-se o teor de 0,125% de poliestireno expandido como o teor ótimo para confecção dos blocos com a associação de EPS e fibras de polietileno. Esta decisão leva em consideração o efeito da adição de EPS na matriz de solo-cimento, considerando que não existem diferenças significativas entre as misturas E-0,125 e E-0,25. Além disso, os blocos da mistura E-0,125 possuem uma densidade 15% menor que os blocos de referência, e no ensaio de retração, esta mistura apresentou o melhor desempenho.

4.2 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO ACRESCIDO COM FIBRAS DE POLIETILENO

4.2.1 Análise da resistência à compressão simples

O ensaio de resistência à compressão simples apresentou, de modo geral, bons resultados para os blocos confeccionados com solo-cimento e acrescido de fibras de polietileno. Os valores médios obtidos neste ensaio são apresentados na Figura 28. É possível observar que de modo geral, com o acréscimo de fibras, houve um aumento na resistência à compressão dos blocos.

Figura 28 - Resistência à compressão simples média aos 7 dias dos blocos com polietileno.

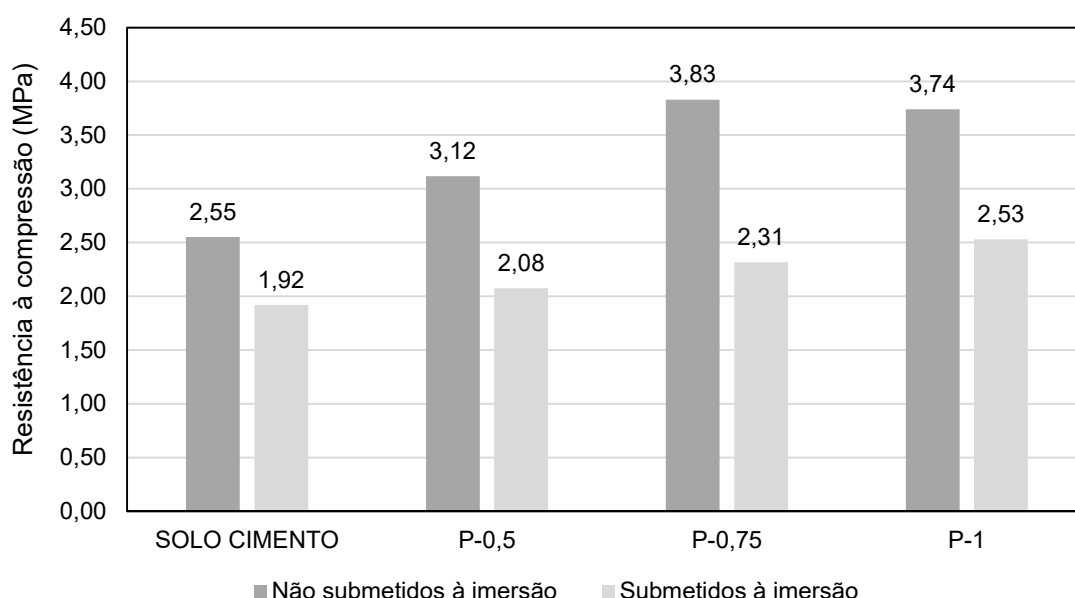


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Com a análise de variância (ANOVA), constata-se que existe diferença significativa entre as quatro composições analisando a resistência à compressão simples dos blocos ($p < 0,05$). Já com o teste Tukey, observa-se que todas as misturas com fibra de polietileno apresentam diferença significativa em relação à mistura de solo-cimento, usada como referência. E ainda, com esta mesma análise, nota-se que as misturas P-0,75 e P-1 não divergem significativamente entre si, porém a mistura P-0,50 apresenta diferença significativa em relação à essas duas misturas.

A Figura 29 apresenta os valores médios de resistência à compressão simples dos blocos após 24 horas de imersão em água, fazendo um comparativo com a resistência dos blocos não submetidos à este processo.

Figura 29 - Resistência à compressão simples média dos blocos com polietileno após 24 horas de imersão em água.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Verificando os resultados obtidos para este ensaio com os blocos submetidos à imersão em água, observou um decréscimo de resistência à compressão de 33% para a mistura P-0,50; 40% para a mistura P-0,75 e 32% para a mistura P-1. O teste T mostra que todas essas perdas de resistência à compressão são significativas ($p < 0,05$), e ainda, com a ANOVA, é possível observar que há diferença significativa entre as quatro misturas no que diz respeito à resistência à compressão simples após 24 horas de imersão em água. O teste Tukey mostra que as misturas P-0,75 e P-1 se diferenciam da mistura de referência de modo significativo, enquanto a mistura

P-0,50 não apresentou uma divergência significativa com a mistura de referência. Além disso, as misturas P-0,50 e P-0,75 não divergem entre si, assim como as misturas P-0,75 e P-1,0 também não divergem entre si, entretanto, as misturas P-0,50 e P-1,0 apresentam uma divergência significativa entre si.

Durante a realização do ensaio, não foram observados picos de resistência para as misturas contendo fibras de polietileno. Durante o ensaio, mesmo com o percurso máximo do prato da máquina de ensaio à compressão (25 mm) não se observou queda na resistência dos blocos. Portanto, os valores de resistência obtidos para as misturas contendo fibras de polietileno refere-se à resistência oferecida pelo bloco no momento em que se atingiu a deformação limite, conforme mostra a Figura 30. Este mesmo comportamento também foi observado por Schweig (2017) em seu trabalho com a inserção de fibras de papel kraft na matriz de solo-cimento. De acordo com Veiga (2008), enquanto a fratura de um adobe comum é do tipo frágil, a fratura do adobe com adição de fibras é do tipo dúctil, o que condiz com o que foi observado na realização do ensaio de resistência à compressão.

Figura 30 - Bloco no estado de deformação limite.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.2.2 Teste de retração

Nos teores avaliados, a inserção de fibras de polietileno na matriz de solo-cimento teve efeito satisfatório. As amostras ensaiadas não mostraram trincas ou fissuras em sua extensão, como pode ser visto na Figura 31.

Durante a aferição das retrações na caixa, não foi possível medir retrações longitudinais nas misturas P-0,75 e P-1, logo, considera-se que estas misturas não retraíram de forma significativa. Os valores obtidos através do método da caixa para a mistura P-0,50 são apresentados na Tabela 8.

Por não apresentarem trincas e por apresentarem retração menor que 2 cm, todas as misturas contendo polietileno tem comportamento adequado, no que diz respeito à retração, para componentes e elementos construtivos, de acordo com o CEPED (1999 *apud* BUSON, 2009).

Figura 31 - Ensaio de retração: fibras de polietileno



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 8 - Retração da mistura com adição de fibras de polietileno.

Mistura	Medição Lado Esquerdo	Medição Lado Direito	Retração total
P-0,50	0,5 mm	1,0 mm	2,0 mm
	0,5 mm	1,5 mm	
	1,0 mm	1,5 mm	

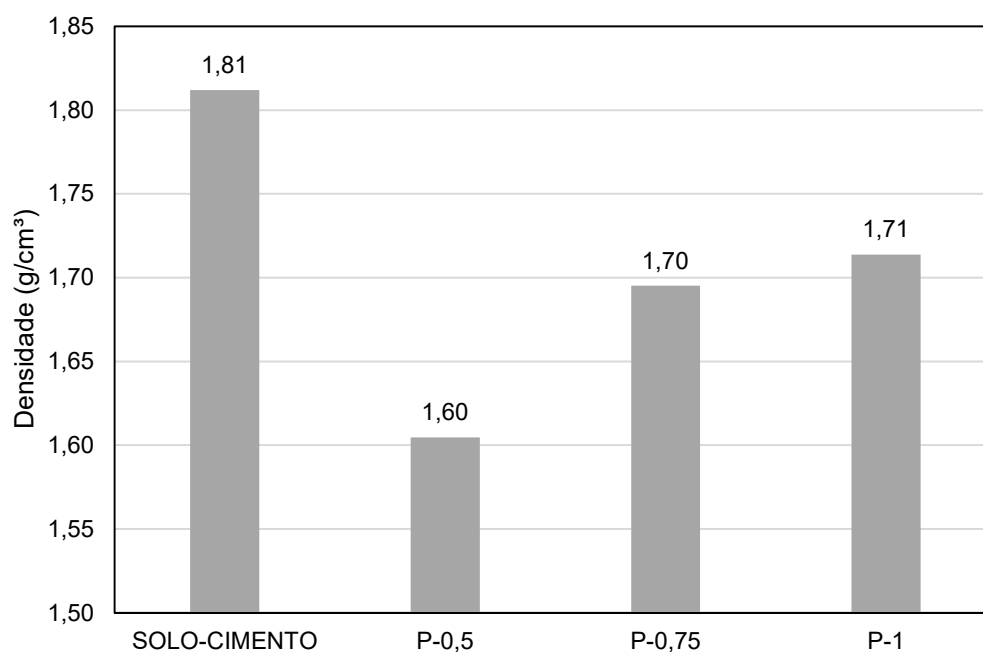
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

De acordo com Morett (2003), em técnicas de construção com terra a incorporação de fibras tem como objetivo armar o barro com uma trama interna, aumentando sua resistência e distribuindo os efeitos de retração e expansão. O que de fato foi observado com os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e de retração.

4.2.3 Densidade dos blocos com polietileno

Os valores médios de densidade para os blocos com fibras de polietileno estão apresentados na Figura 32, em comparação com a densidade média dos blocos de referência.

Figura 32 – Densidade média dos blocos com polietileno após 7 dias de cura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Em linhas gerais, observando a densidade média dos blocos pode-se inferir que a incorporação de fibras aumenta a porosidade do material. Schweig (2017) e Barroso (2019) observaram que o aumento do teor de fibras na composição aumenta a capacidade de absorção de água dos blocos, que se relaciona diretamente com a porosidade do material.

Apesar dos blocos da mistura P-0,50 apresentarem uma densidade 11% menor que a densidade dos blocos de referência, nota-se que há um aumento na densidade das misturas P-0,75 e P-1 em comparação à mistura com 0,5% de fibra de polietileno. Esse fato pode estar associado com o aumento do teor de umidade dos blocos ao final do período de cura, conforme aumenta o teor de fibra de polietileno na composição.

Barroso (2019), em seu estudo sobre os efeitos da adição de fibras de madeira em matriz de solo-cimento, observou que quanto maior o teor de fibra incorporado maior é o teor de umidade do compósito ao final do período de cura. Infere-se, então, que a fibra de polietileno pode favorecer a retenção de água na matriz por mais tempo. Essa retenção pode favorecer as reações de hidratação do cimento elevando assim a resistência final dos blocos.

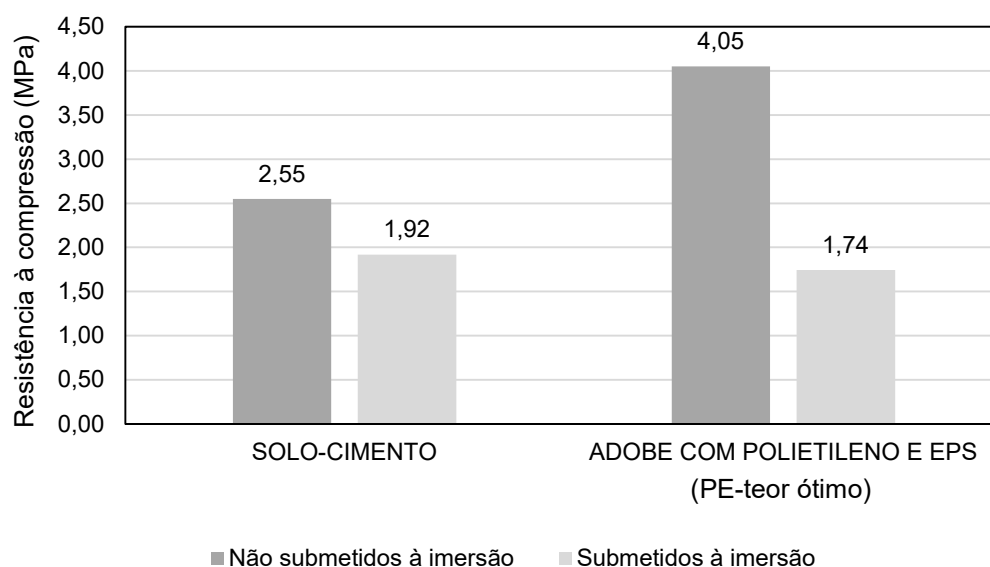
Com base nos teores estudados e nos resultados apresentados, define-se que o melhor teor para a confecção dos blocos com os dois resíduos seja de 1,0% de polietileno e 0,125% de poliestireno expandido. Esta decisão leva em consideração que, dentre as misturas contendo resíduos plásticos, os blocos contendo 1,0% de fibras de polietileno apresentaram a menor perda de resistência após imersão em água. Além disso, o desempenho da mistura no ensaio de retração foi satisfatório, apresentando retração desprezível.

4.3 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO E REFORÇADO COM FIBRAS DE POLIETILENO

4.3.1 Análise da resistência à compressão simples

Os valores médios de resistência à compressão simples dos blocos imersos e não imersos em água estão apresentados na Figura 33.

Figura 33 - Resistência à compressão simples média dos blocos com polietileno e EPS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Comparando os valores de resistência média dos blocos não submetidos ao período de imersão em água, se observa que a incorporação simultânea dos resíduos na matriz, promoveu um aumento de resistência de 59% em relação à mistura de referência, aos 7 dias de cura. Quando se compara os valores de resistência média dos blocos submetidos à imersão em água, se observa que os blocos da mistura PE-teor ótimo, apresentaram uma resistência 9% inferior à mistura de referência.

Ressalta-se que os blocos de adobe com polietileno e EPS apresentaram o mesmo comportamento que os blocos de adobe com polietileno ao serem rompidos, ou seja, o percurso máximo do prato da máquina de ensaio à compressão (25 mm) foi atingido sem que fosse verificado perda de resistência, fazendo com que o bloco atingisse sua deformação limite.

Através do teste T, é possível observar que existe diferença significativa entre os resultados dos blocos não imersos em água, comparando o adobe de solo-cimento e o adobe com polietileno e EPS. Por outro lado, o teste T mostra que não há diferença significativa quando compara-se os resultados dos blocos imersos em água. Todavia, ainda utilizando o teste T, percebe-se que há uma diferença significativa comparando a resistência do bloco de adobe com polietileno e EPS no estado imerso com o bloco no estado sem imersão. Após a imersão em água a resistência média dos blocos da mistura PE-teor ótimo apresentou uma redução de 57%.

Os valores obtidos com o ensaio de resistência à compressão simples, mostram que a incorporação das fibras de polietileno e do agregado EPS, beneficiaram o bloco no seu desempenho mecânico, aumentando 1,5 MPa de resistência. Por outro lado, quando os blocos são submetidos à imersão, nota-se uma perda de resistência significativa, que pode ser atribuída ao aumento de porosidade causado pela incorporação dos resíduos, deixando o compósito suscetível à saturação.

4.3.2 Ensaio de retração

Um problema observado nas misturas com poliestireno expandido foi o aparecimento de trincas, logo, esperava-se que a inserção de fibras de polietileno resolvesse esse problema, visto que as misturas com esse tipo adição apresentaram retrações desprezíveis. De fato, a mistura com polietileno e EPS não apresentou fissuras ou trincas, e a retração longitudinal não foi crítica, como pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 - Ensaio de retração: fibras de polietileno e adição de EPS



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A mistura em questão apresentou uma retração de 1,7 mm, logo, sendo menor que o máximo admitido pelo CEPED (1999), e como não apresentou fissuras, no que diz respeito à retração, a mistura tem comportamento adequado para componentes e elementos construtivos. A Tabela 9 apresenta os valores obtidos nas aferições, sendo que o valor da retração é obtido a partir da soma das médias feitas com as três medições no lado direito e esquerdo da caixa.

Tabela 9 - Retração da mistura com adição de fibras de polietileno e EPS.

Mistura	Medição Lado Esquerdo	Medição Lado Direito	Retração total
Polietileno e EPS	0,5 mm	0,5 mm	1,7 mm
	1,0 mm	1,0 mm	
	1,0 mm	1,0 mm	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

No estudo desenvolvido por Schweig (2017), a autora observou que a incorporação de fibras de papel kraft neutralizou a retração da mistura solo-cimento. Na mistura de referência, sem adição de fibras, a autora não observou a presença de trincas e a retração (4 mm) não ultrapassou o valor limite recomendado pela literatura (20 mm). Novato (2019), apesar de também ter observado retrações admissíveis, observou a formação de trincas na mistura solo-cimento sem adição de fibras. A mesma autora ainda observou que apesar da incorporação de fibras de borracha ter diminuído a resistência à compressão do compósito, todas as misturas contendo esse tipo de adição apresentaram retrações admissíveis sem a formação de trincas.

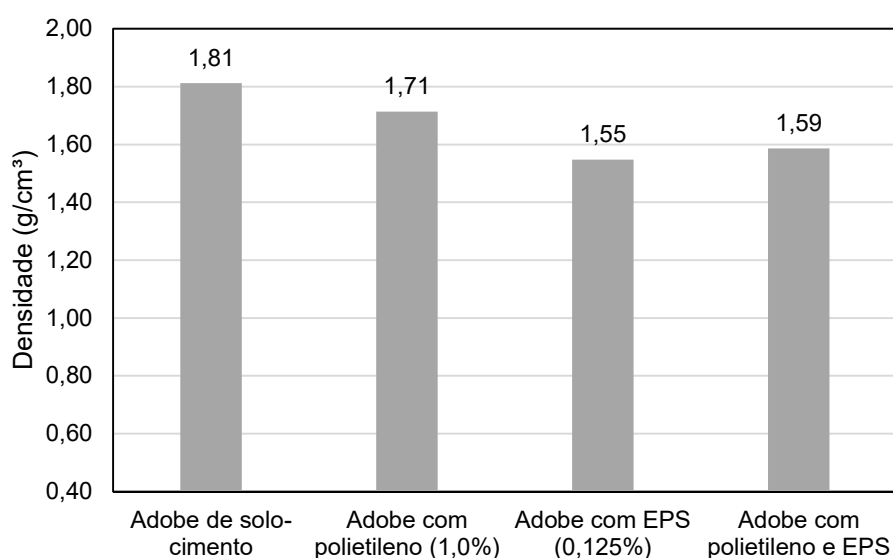
Da mesma forma, Barroso (2019) observou que a incorporação de fibras de madeira diminui a retração da mistura solo-cimento. Nesse sentido, destaca-se o desempenho das fibras de polietileno em relação às fibras avaliadas pelos autores citados, pois, de forma isolada ou associada ao resíduo de EPS, reduz a retração e o surgimento de fissuras sem prejudicar a resistência à compressão dos blocos.

4.3.3 Densidade dos blocos com polietileno e poliestireno expandido

A densidade média dos blocos com polietileno e EPS é apresentada na Figura 35, em comparação com a densidade da mistura de referência, da mistura de teor ótimo de EPS e da mistura de teor ótimo de polietileno (PE-teor ótimo). É possível perceber que, de fato, o poliestireno expandido ajudou a diminuir a densidade dos blocos, fazendo com que a combinação dos dois resíduos resultasse em um bloco mais resistente e 12% mais leve que os blocos de referência.

Comparando a densidade dos blocos com fibras de polietileno com a densidade dos blocos contendo os dois resíduos, ainda é possível observar o efeito da incorporação de EPS que promoveu uma redução na densidade de aproximadamente 7%.

Figura 35 – Densidade média dos blocos com polietileno e EPS após 7 dias de cura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.4 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

Resumidamente, os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resumo dos resultados obtidos

Amostra	Resistência à compressão simples		Resistência à compressão simples após imersão		Análise de retração	
	Decréscimo significativo*	Acréscimo significativo*	Decréscimo significativo*	Acréscimo significativo*	Presença de trincas	Retração < 2 cm
E-0,125	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim
E-0,25	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim
E-0,50	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim
P-0,50	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim
P-0,75	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
P-1,00	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
PE-teor ótimo	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim

*Comparado à mistura de referência de solo-cimento.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

5 CONCLUSÃO

A incorporação de fibras de polietileno foi feita com o objetivo principal de conter a fissuração na matriz de solo-cimento durante o ensaio de retração. As fibras de polietileno, além de conterem a retração da mistura, conseguiram aumentar a resistência à compressão dos blocos moldados. Já o resíduo de poliestireno expandido foi incorporado com o objetivo de diminuir o peso dos blocos de adobe, o que de fato foi verificado, entretanto, essa incorporação resultou em uma perda de resistência à compressão de até 86% para a mistura E-0,50, além de trincas no ensaio de retração.

Todas as misturas moldadas com fibras de polietileno apresentaram resistência à compressão acima da mistura de referência, enquanto todas as misturas moldadas com adição de poliestireno expandido apresentaram resistência à compressão inferior. Logo, o critério de escolha para o teor ótimo, para ambos os resíduos, se deu a partir da menor perda de resistência do bloco quando submetido à imersão em água.

A partir dos ensaios realizados com o adobe de solo-cimento com adição de poliestireno expandido e reforçado com fibras de polietileno pode-se observar que o bloco apresentou um bom desempenho no que se refere à resistência mecânica e retração. É notável um aumento considerável na resistência à compressão simples, sendo 1,5 MPa mais resistente que o bloco de solo-cimento utilizado como referência, além de não ter apresentado fissuras no ensaio de retração.

A incorporação do EPS em conjunto com a fibra de polietileno proporcionou uma redução na densidade dos blocos, porém os deixaram mais suscetíveis à absorção de água, o que foi notado através da queda de resistência do bloco quando saturado. Deste modo, por este fator e por não apresentar bons resultados quando adicionado ao bloco de forma isolada, o poliestireno não se mostrou uma alternativa viável de resíduo para produção de blocos de adobe de solo-cimento.

As fibras de polietileno, em todos os casos estudados, mostraram bons resultados quanto à resistência à compressão simples e retração. Além disso, pode-se inferir que quando adicionada à matriz de solo-cimento, as fibras de polietileno favorecem a retenção de água, beneficiando as reações de hidratação do cimento no bloco, gerando assim um bloco mais resistente ao fim da cura. Deste modo, as fibras

de polietileno apresentaram-se como um potencial resíduo para a produção de blocos de adobe de solo-cimento.

As construções em terra se mostram como uma boa opção sustentável nos dias atuais, por apresentar grande versatilidade e durabilidade, além de ser um material em grande abundância na natureza. Associado à isto, tem-se o resíduo de polietileno, que demora muitos anos para degradar-se no ambiente, portanto, seu reuso deve ser pensado, pois é um material que apresenta vantagens como baixo custo, flexibilidade e boa resistência no transporte de peso. A associação deste resíduo com as técnicas construtivas em terra apresenta vantagens para o setor da construção civil, que se expande cada vez mais e necessita de uma forma de construção sustentável para não esgotar os recursos do meio ambiente.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABRELPE, 2019. **Panorama dos resíduos sólidos no brasil**. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download/3274>>. Acesso em: 06 de Abril de 2020.

AFFONSO, A. **Infográfico**. Revista Pesquisa Fapesp. 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE COOPERAÇÃO. **Tijolo de solo-cimento**. ABC. 2012. Disponível em: <<http://www.abc.gov.br/imprensa/mostrarconteudo/763>>. Acesso em 10 de maio de 2020.

ALVES FILHO, L. A.; SCHUMACHER, S. **Técnica de Adobe: Construção Sustentável como Evidência de Grupo Social, Religião e Cultura no Novo México**. Iniciação Científica: Cesumar, v. 15, n. 1, 2012.

ALVES, A. A. N.; RIBEIRO, M. F.; RICCI, V. S. **O uso de sacolas plásticas pelos clientes de supermercados e seu impacto sobre a natureza**. Revista Ciências do Ambiente On-Line, v. 7, n. 1, 2011.

ANAPRE. **Resíduos sólidos na construção civil**. Boletim técnico. 2011. Disponível em: <http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/edicao35.asp>. Acesso em 26 de abril de 2020.

ANGULO, S. C. et al. **Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, n. 3, p. 299-306, 2011.

ASSEPSIA. In: **MICHAELIS, Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2021. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/ASSEPSIA/>>. Acesso em 25 de abril de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. **O que é EPS?** Poliestireno Expandido. 2014. Disponível em: <<http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>>. Acesso em 24 de abril de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento: diferentes tipos e aplicações.** Artigos. 2018. Disponível em: <<https://abcp.org.br/imprensa/artigos/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>>. Acesso em 07 de maio de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento; Normas de dosagem e métodos de ensaios.** 3.ed. atual Revisada pelo Eng. Márcio Rocha Pitta. São Paulo, 2004. 57 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-2:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro – RJ, 2013.

_____. **ABNT NBR 10004:** Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

_____. **ABNT NBR 12253:** Solo cimento – Dosagem para pavimento. Rio de Janeiro – RJ, 1992.

_____. **ABNT NBR 15112:** Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos - Área de Transbordo e Triagem: Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

_____. **ABNT NBR 15113:** Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes – Aterros: Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

_____. **ABNT NBR 15114:** Resíduos Sólidos da Construção Civil - Áreas de Reciclagem: Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

_____. **ABNT NBR 15115:** Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Execução de Camadas de Pavimentação: Procedimentos. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

_____. **ABNT NBR 15116:** Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural: Requisitos. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

_____. **ABNT NBR 16814:** Adobe – Requisitos e métodos de ensaio, elaborada pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil. Rio de Janeiro – RJ, 2020.

_____. **ABNT NBR 5732:** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro – RJ, 1991.

_____. **ABNT NBR 5736:** Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro – RJ, 1991.

_____. **ABNT NBR 6502:** Rochas e solos. Rio de Janeiro – RJ, 1995.

AZEVEDO, J. **Você sabe a diferença entre resíduo e rejeito?** Ecycle. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/1499-residuo-e-rejeito.html>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

BALBO, T. D.; TOSTA, Y. F. **Análise da opinião do consumidor em relação ao descarte de EPS e seus impactos ambientais.** Revista Ciências do Ambiente on-line, v. 8, n. 1, 2012.

BARROSO, K. O. **Tijolos de adobe de solo-cimento com adição de resíduo de serragem e cinza da casca de arroz.** Dissertação – Universidade Federal de Mato Grosso. Barra do Garças. 2019.

BOUTH, J. A. C. **Estudo da potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais: uma alternativa de baixo custo para a construção civil.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015.

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. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009.

CABRAL, A. E. B.; MOREIRA, K. M. de V. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil.** Sinduscon/CE. Fortaleza, 2011.

CAMPOS, R. F. F.; WEBER, E.; BORGA, T. **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil.** Ignis: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação, 2017.

CANTEIRO, F.; PISANI, M. A. J. **Taipa de mão: História e Contemporaneidade.** Seminário Arquitetura, 2015.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações:** v. 1. 6. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988.

CARVALHO, C. H. R.; MOTTA, L. A. C. **Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 12, n. 6, p. 1390-1407, 2019.

CARVALHO, R. N. F. M.; MIRANDA, C. S. **A taipa como patrimônio cultural: a preservação do saber fazer.** RCT-Revista de Ciência e Tecnologia, v. 1, n. 1, 2015.

CEMPRE. **Ciclosoft.** 2008. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2008.php>. Acesso em 15 de abril de 2021.

CEMPRE. **Fichas Técnicas: Plástico.** 2010. Disponível em <http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_plastico.php>. Acesso em 15 de abril de 2021.

CENTRO INTEGRADO DE AÇÕES COMUNITÁRIAS. **Taipa de mão.** 2019. Disponível em: <<http://ciac.org.br/taipa-de-mao-2/>>. Acesso em 30 de abril de 2020.

CORDOBA, R. E. et al. **Avaliação dos impactos de resíduos sólidos em sistemas de micro drenagem urbana—estudo de caso em campus universitário.** ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1-10, 2013.

CORRÊA, A. A. R. et al. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua)**. Ciência e agrotecnologia, v. 30, n. 3, p. 503-515, 2006.

COUTINHO, F. et al. **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações**. Polímeros, v. 13, n. 1, p. 01-13, 2003.

CRESTADO. In: **MICHAELIS, Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2021. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/CRESTADO/>>. Acesso em 30 de abril de 2020.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson, 2007.

DIAS, J. J. F. M. S. **Tratamento de solos com cimento para obtenção de melhores características mecânicas**. Dissertação – Universidade Nova de Lisboa. 2012.

DNIT. **Manual de pavimentação**. Publicação IPR – 179. Ministério dos transportes. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes. 2006.

ECO MÁQUINAS. **Tijolo ecológico**. 2019. Disponível em: <<https://www.ecomaquinas.com.br/tijolo-ecologico-modelos>>. Acesso em 12 de maio de 2020.

EIRES, R. **Construção em Terra: Desempenho melhorado com incorporação de biopolímeros**. Tese de Doutorado – Universidade do Minho. 2012.

ESTEIO. In: **MICHAELIS, Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2021. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/esteio/>>. Acesso em 30 de abril de 2020.

EXTRUSÃO. In: **MICHAELIS, Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2021. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/EXTRUSAO/>>. Acesso em 05 de maio de 2020.

FARIA, F. P.; PACHECO, E. B. A. V. **A reciclagem de plástico a partir de conceitos de Produção Mais Limpa**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, n. 3, p. 93, 2011.

FERREIRA FILHO, F. **Construção com solo-cimento**. 2019?. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo7.htm>>. Acesso em 25 de maio de 2020.

FERREIRA, R. de C.; GOBO, J. C. da C.; CUNHA, A. H. N. **Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento**. Engenharia Agrícola, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2008.

FIGUEIREDO, S. S.; SILVA, C. G.; NEVES, G. A. **Durabilidade de tijolos solo-cal incorporados com resíduos de demolição da construção civil**. Rem: Revista Escola de Minas, v. 64, n. 3, p. 273-279, 2011.

FIORI, A. P. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes / Alberto Pio Fiori, Luigi Carmignani. - São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FRAGA, Y. S. B. et al. **Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIT - Sergipe, v. 3, n. 3, p. 11, 2016.

FRANÇA, D. A.; SIMÕES, M. T.; GOMES, K. N. A. E. S. **Tijolo Solo-Cimento: Processo produtivo e suas vantagens econômicas e ambientais**. Revista científica de engenharia civil. 2018.

FRIÁVEL. In: **MICHAELIS, Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2021. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/fri%C3%A1vel/>>. Acesso em 30 de abril de 2020.

GALVÃO, J. K. L. et al. **Análise da retração de tijolos de adobe confeccionados em Santarém - Pará com adição de resíduos picotados de garrafas pet**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.1, p.1-11, jan./mar. 2018.

GAVA, T. **Análise das características que influenciam no surgimento dos resíduos sólidos urbanos na rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio do meio, município de Florianópolis/SC**. Dissertação. Florianópolis. 2012.

GODECKE, M. V.; NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. **O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Revista Eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental, v. 8, n. 8, p. 1700-1712, 2012.

GONÇALVES, T. D.; GOMES, M. I. **Construção de terra crua: potencialidades e questões em aberto**. Jornadas LNEC, Lisboa, v. 18, 2014.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/> Acesso em 17 de junho de 2019.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação – Universidade de São Paulo. São Carlos. 2003.

GROTE, Z. C. V. Estudo do uso do EPS na construção civil: uma opção para a conservação de energia. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica). Guaratinguetá: Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 1999.

GROTE, Z. V.; SILVEIRA, J. L. **Análise energética e exergética de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor)**. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, v. 3, n. 3, 2002.

GROTZINGER, J. P.; JORDAN, T. H. **Para entender a terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HOFFMANN, M. V.; MINTO, F. C. N.; HEISE, A. F. **Taipa de Pilão**. Célia Neves Obede Borges Faria, p. 46, 2011.

JALALI, S.; EIRES, R. **Inovações científicas de construção em terra crua**. 2008.

JOHN, V. M. **Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção**. Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção: Projeto entulho bom, p. 26-45, 2001.

KILBERT, C. **Establishing principles and a model for sustainable construction.** In: CIB TG 16 SUSTAINABLE CONSTRUCTION, 1994, Tampa, Florida. Proceedings. Tampa, Florida, 1994. p. 3-12.

LIMA, S. A.; VARUM, H.; SALES, A. **Análise da resistência mecânica e absorção de blocos de terra comprimida feitos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar.** In: 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. 2011.

LOPES, W. G. R. **Taipa de mão no Brasil: levantamento e análise de construções.** Dissertação – Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998.

LOURENÇO, P.; BRITO, J.; BRANCO, F. **Técnicas de Estabilização da Terra para a Construção com Terra Crua.** 2015. Regions Magazine. 22-26.

MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review.** Sweden: Lulea° University of Technology, 2013.

MANO, E.B.; PACHECO, E.B.A.V; BONELLI, C.M.C. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem.** Rio de Janeiro: Editora Edgard Blücher Ltda, 200p, 2005.

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos.** São Paulo: Ed. Artliber, 431p, 2005.

MARQUES NETO; J. da C. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15).** 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MARQUES, L. S. A. **Investigação sobre o comportamento térmico do adobe para as necessidades climáticas e normativas brasileiras.** Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2018.

MEDINA, J. **Apostila de estabilização de solos – COPPE/UFRJ,** Rio de Janeiro, 1987.

MIRANDA, J. G. **Era do Plástico.** 2010. 29 f. Monografia, (Comunicação Social com habilitação em Publicidade e Propaganda). Faculdades Integradas Hélio Alonso. Rio de Janeiro, 2010.

MORETT, H. T. **A importância da inserção dos sistemas construtivos de solo-cimento no processo de industrialização da construção**. Dissertação – FAU/UFRJ. Rio de Janeiro. 2003.

MOTA, J. C. *et al.* **Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual**. Águas Subterrâneas, v. 1, 2009.

MUSEU DE CACULÉ. **Construção em adobe**. 2016. Disponível em: <<https://museudecacule.wordpress.com/2016/03/01/construcao-em-adobe/>> . Acesso em 05 de maio de 2020.

NOVATO, F. G. C. A. **Tijolos de adobe de solo-cimento com adição de resíduo de recapagem de pneus**. Dissertação – Universidade Federal de Mato Grosso. Barra do Garças. 2019.

NUNES, M. C. **Apostila Fundamentos de mecânica dos solos**. Belo Horizonte. 2010. 53 p.

OLIVEIRA, M.C. B. R. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. Dissertação – UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro. 2012. 91 p.

ORSO, L.; VASCONCELOS, M. C.; FRANZOI, L. C. **Impactos ambientais causados pelo descarte de sacolas plásticas**. Maiêutica-Ciências Biológicas, v. 2, n. 01, 2014.

PAULA, F. M. **Taipa de pilão – imagem**. Aventar. 2012. Disponível em: <<https://aventar.eu/2012/03/23/arquitectura-de-terra/a-6/>>. Acesso em 2 de maio de 2020.

PEREIRA, C. **Viga Baldrame: O que é e como executar**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/viga-baldrame/>. Acesso em: 19 de maio de 2020.

PEREIRA, O. A. - **Estabilização de solos**, Curso de especialização 108, LNEC, Lisboa, 1970.

PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas/ 3ª edição** – Carlos de Souza Pinto. – São Paulo: oficina de textos. 2006.

PIOVEZAN JUNIOR, G. T. A. **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria**. 2007. 76 p. Dissertação de Mestrado em concentração recursos hídricos e saneamento ambiental – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

PIRES, A.S. **Reciclagem de plástico**. Apostila do Curso de Treinamento Profissional na Área Ambiental, Curso de Extensão, Escola de Química, UFRJ, 2008.

PISANI, M. A. J. **Taipas: a arquitetura de terra**. Revista Sinergia, v. 5, n. 1, p. 09-15, 2004.

PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo cimento**. Sinergia, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 53-59, 2005.

PROTEGEER. **O que são resíduos sólidos?** (2017). Disponível em: <<http://protegeer.gov.br/rsu/o-que-sao>> Acesso em 4 de maio, 2020.

RAMIRO, J. **Tipos de solo: saiba quais são e os tipos existentes no Brasil**. Artigos. 2019. Disponível em: <<https://boaspraticasagronicas.com.br/artigos/tipos-de-solo/>>. Acesso em 27 de abril de 2020.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. 2006. Disponível em: < https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo_texto.pdf>. Acesso em 28 de abril de 2020.

RIBEIRO, D. dos S. **Contributo para a caracterização de alvenarias de blocos de terra comprimida**. Tese de Doutorado – Universidade Nova de Lisboa. 2016.

RODRIGUES, P. F. **Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias**. Revista Musa, p. 149-155, 2005.

ROLIM, A. M. **A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul**. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.

ROTONDARO, R. Adobe. **Técnicas en construcción con tierra**. Red Iberoamericana PROTERRA, Bauru, Brasil, p. 16-25, 2011.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. 2003. 196 p. Dissertação – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Portugal, 2003.

SACHO, S. D. **Avaliação do potencial de reaproveitamento dos resíduos sólidos classe a da construção civil em Goiânia**. Dissertação – Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2015.

SANTIAGO, C. C. **O solo como material de construção** / Cybèle Celestino Santiago; ilustrações de Adamastor C. Santana. _ 2 ed., rev. Salvador: EDUFBA, 2001. 72 p.; il.

SANTOS NETO, P. M. **Mecânica dos solos**. 1. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. 376 p. : il.

SANTOS, A. S. F. *et al.* **Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição**. *Polímeros*, v. 22, n. 3, p. 228-237, 2012.

SANTOS, C. A. **Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2015.

SANTOS, M. N. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica em Matrizes de Terra**. Dissertação – PUC. Rio de Janeiro. 2012.

SANTOS, M. P. **Fabricação de solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes da construção civil**. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009.

SARIS, S. **Apenas 18% dos municípios tem coleta seletiva**. 2018. Disponível em: <<https://www.folhadelondrina.com.br/geral/apenas-18-dos-municipios-tem-coleta-seletiva-1008377.html>>. Acesso em 19 de maio de 2021.

SATO, M. H. Y. **Análise de estruturas em taipa de pilão**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2011.

SCHMIDT, C. B. **Construções de taipa: alguns aspectos de seu emprego e da sua técnica**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1946.

SCHWEIG, E. O. **Tijolos de adobe de solo-cimento reforçados com fibras de papel kraft reciclado**. Dissertação – Universidade Federal de Mato Grosso. Barra do Garças. 2017.

SILVA, B. A. **Estudo de Misturas Solo-cimento Agregado Reciclado de Telhas Cerâmicas para Fabricação de Blocos para Alvenaria**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2015.

SILVA, L. O.; SANTOS, G. N.; SAVARIS, W. K. **Tijolo solo-cimento: fabricação e utilização em construções que visam o equilíbrio ambiental**. Rev. Conexão Eletrônica – Três Lagoas, MS - Volume 15 – Número 1. 2018.

SJÖSTRÖM, C. **Durability and sustainable use of building materials**. In: LLEWELLYN, J. W.; DAVIES, H. (Ed.). Sustainable use of materials. London: BRE/RILEM, 1992.

TAGOMORI, A. T.; CAVALLARO, F. **Construção em tijolo de adobe**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0221/Trabalhos%20Finais%202011/Constru%C3%A7%C3%A3o%20em%20tijolo%20de%20adobe.pdf>>. Acesso em 04 de maio de 2020.

TESSARI, J. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

TORGAL, F. P.; EIRES, R.; JALALI, S. **Construção em terra**. Universidade do Minho. 2009.

VASCONCELOS, Y. **Planeta plástico**. Revista Pesquisa Fapesp. 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>>. Acesso em: 22 de abril de 2020.

VEIGA, L. F. de M. **Caracterização físico-química de adobe estabilizado com amido de mandioca**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2008. 143 f.

WORLD WILDLIFE FUND. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico.** WWF. 2019. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 23 de abril de 2020.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** 2003.

APÊNDICE A – TABELAS DE GRANULOMETRIA, RESISTÊNCIA E RETRAÇÃO – POLIESTIRENO EXPANDIDO

A Tabela 11 apresenta os valores obtidos após o ensaio de análise granulométrica por lavagem.

Tabela 11 - Dados do ensaio granulométrico

Granulometria do resíduo de isopor			
Peneira (mm)	Massa retida (g)	% retida	% passante
19,00	0,0	0,00%	100,00%
9,50	1,0	3,29%	96,71%
4,75	4,4	14,47%	82,24%
2,36	21,8	71,71%	10,53%
2,00	1,4	4,61%	5,92%
1,40	1,1	3,62%	2,30%
0,30	0,7	2,30%	0,00%
Total	30,4	100,00%	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 12 e a Tabela 13 apresentam os valores de resistência à compressão simples e análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para o teor de 0,125% de poliestireno expandido, respectivamente. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 12 - Resistência a compressão simples (EPS - 0,125%)

Blocos com resíduos de poliestireno (teor 0,125%)	Resistência a compressão simples (MPa)		
	Blocos secos (7 dias de cura)	Blocos saturados (24h de submersão)	Queda na resistência
Bloco 1	0,80	0,76	0,044
Bloco 2	0,87	0,80	0,068
Bloco 3	0,91	0,65	0,259
Bloco 4	0,78	0,75	0,034
Bloco 5	0,91	0,77	0,140
Média	0,85	0,75	0,109

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 13 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra E-0,125

Amostra E-0,125		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	2,508	2,188
Variância	0,03007	0,02797
Observações	5	5
Diferença entre as médias	0,32	
Stat t	2,9701	
P (T ≤ t) bi-caudal	0,017868	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 14 e a Tabela 15 apresentam os valores de resistência à compressão simples e análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para o teor de 0,25% de poliestireno expandido, respectivamente. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 14 - Resistência a compressão simples (EPS - 0,25%)

Blocos com resíduos de poliestireno (teor 0,25%)	Resistência a compressão simples (MPa)		
	Blocos secos (7 dias de cura)	Blocos saturados (24h de submersão)	Queda na resistência
Bloco 1	0,87	0,81	0,058
Bloco 2	0,96	0,78	0,177
Bloco 3	1,03	0,81	0,215
Bloco 4	0,88	0,79	0,085
Bloco 5	0,97	0,81	0,167
Média	0,94	0,80	0,140

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 15 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra E-0,25

Amostra E-0,25		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	2,764	2,352
Variância	0,03903	0,00202
Observações	5	5
Diferença entre as médias	0,412	
Stat t	4,547	
P (T ≤ t) bi-caudal	0,0018818	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 16 e a Tabela 17 apresentam os valores de resistência à compressão simples e análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para o teor de 0,5% de poliestireno expandido, respectivamente. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 16 - Resistência a compressão simples (EPS - 0,5%)

Blocos com resíduos de poliestireno (teor 0,5%)	Resistência a compressão simples (MPa)		
	Blocos secos (7 dias de cura)	Blocos saturados (24h de submersão)	Queda na resistência
Bloco 1	0,38	0,33	0,051
Bloco 2	0,36	0,32	0,048
Bloco 3	0,39	0,33	0,065
Bloco 4	0,37	0,32	0,044
Bloco 5	0,36	0,36	0,003
Média	0,37	0,33	0,042

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 17 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra E-0,50

Amostra E-0,50		
	Blocos Secos	Blocos molhados
Média	1,094	0,97
Variância	0,00133	0,00215
Observações	5	5
Diferença entre as médias		0,124
Stat t		4,7002
P ($T \leq t$) bi-caudal		0,001541

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As Tabelas 18 e 19 apresentam o resultado da análise de variância sobre a variável resistência à compressão simples. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 18 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de EPS sobre a variável resistência à compressão simples com blocos secos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P
Entre grupos	116,228	3	38,7427	820,6	1,006E-17
Dentro dos grupos	0,7554	16	0,0472	-	-
Total	116,9834	19	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 19 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de EPS sobre a variável resistência à compressão simples com blocos molhados.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P
Entre grupos	59,7177	3	19,9059	126,2	2,397E-11
Dentro dos grupos	2,52404	16	0,157753	-	-
Total	62,24174	19	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 20 apresenta os valores de retração da mistura E-0,125.

Tabela 20 - Retração das misturas com EPS

MISTURA	MEDIÇÃO LADO ESQUERDO (mm)	MEDIÇÃO LADO DIREITO (mm)	RETRAÇÃO PARCIAL (mm)	RETRAÇÃO TOTAL (mm)
E-0,125	3,0	2,0	5,0	6,3
	3,0	3,0	6,0	
	5,0	3,0	8,0	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As Tabelas 21 e 22 apresentam o resultado do teste Tukey sobre a variável resistência à compressão simples. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 21 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de EPS sobre a variável resistência com blocos secos

Mistura	Solo-cimento	E-0,125	E-0,25	E-0,50
Solo-cimento	-	2,109E-14	2,121E-14	2,087E-14
E-0,125	51,29	-	0,282	1,025E-07
E-0,25	48,66	2,634	-	9,60E-09
E-0,50	65,84	14,55	17,19	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 22 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de EPS sobre a variável resistência com blocos saturados

Mistura	Solo-cimento	E-0,125	E-0,25	E-0,50
Solo-cimento	-	1,652E-09	3,383E-09	1,642E-11
E-0,125	19,39	-	0,913	0,000921
E-0,25	18,47	0,9233	-	0,0002554
E-0,50	26,25	6,857	7,78	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE B – TABELAS DE RESISTÊNCIA – POLIETILENO

A Tabela 23 e a Tabela 24 apresentam os valores de resistência à compressão simples e análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para o teor de 0,5% de polietileno, respectivamente. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 23 - Resistência a compressão simples (Polietileno - 0,5%)

Blocos com resíduos de polietileno (teor 0,5%)	Resistência a compressão simples (MPa)		
	Blocos secos (7 dias de cura)	Blocos saturados (24h de submersão)	Queda na resistência
Bloco 1	3,340	2,152	1,188
Bloco 2	3,558	1,621	1,937
Bloco 3	2,979	2,155	0,824
Bloco 4	2,710	2,224	0,487
Bloco 5	3,003	2,224	0,780
Média	3,118	2,075	1,043

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 24 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra P-0,50

Amostra P-0,50		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	9,158	6,094
Variância	0,95257	0,56663
Observações	5	5
Diferença entre as médias		3,064
Stat t		5,5586
P (T ≤ t) bi-caudal		0,00053554

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 25 e a Tabela 26 apresentam os valores de resistência à compressão simples e análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para o teor de 0,75% de polietileno, respectivamente. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 25 - Resistência a compressão simples (Polietileno - 0,75%)

Blocos com resíduos de polietileno (teor 0,75%)	Resistência a compressão simples (MPa)		
	Blocos secos (7 dias de cura)	Blocos saturados (24h de submersão)	Queda na resistência
Bloco 1	3,415	2,601	0,814
Bloco 2	3,664	2,247	1,417
Bloco 3	4,004	2,230	1,774
Bloco 4	4,161	2,281	1,880
Bloco 5	3,902	2,213	1,689
Média	3,829	2,315	1,515

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 26 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra P-0,75

Amostra P-0,75		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	11,246	6,798
Variância	0,74338	0,22702
Observações	5	5
Diferença entre as médias		4,448
Stat t		10,097
P (T ≤ t) bi-caudal		7,9E-06

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 27 e a Tabela 28 apresentam os valores de resistência à compressão simples e análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para o teor de 1,0% de polietileno, respectivamente. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 27 - Resistência a compressão simples (Polietileno - 1,0%)

Blocos com resíduos de polietileno (teor 1,0%)	Resistência a compressão simples (MPa)		
	Blocos secos (7 dias de cura)	Blocos saturados (24h de submersão)	Queda na resistência
Bloco 1	3,337	2,278	1,059
Bloco 2	3,776	2,578	1,199
Bloco 3	4,294	2,680	1,614
Bloco 4	3,391	2,523	0,868
Bloco 5	3,892	2,595	1,297
Média	3,738	2,531	1,207

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 28 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra P-1,0

Amostra P-1,0		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	10,978	7,432
Variância	1,3261	0,19932
Observações	5	5
Diferença entre as médias	3,546	
Stat t	6,42	
P (T ≤ t) bi-caudal	0,00020473	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As Tabelas 29 e 30 apresentam o resultado da análise de variância sobre a variável resistência à compressão simples. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 29 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de polietileno sobre a variável resistência à compressão simples com blocos secos.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P
Entre grupos	45,9553	3	15,3184	19,51	1,354E-05
Dentro dos grupos	12,5618	16	0,78511	-	-
Total	58,5171	19	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 30 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de polietileno sobre a variável resistência à compressão simples com blocos molhados.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P
Entre grupos	9,37602	3	3,12534	7,853	0,001912
Dentro dos grupos	6,36736	16	0,39796	-	-
Total	15,7434	19	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As Tabelas 31 e 32 apresentam o resultado do teste Tukey sobre a variável resistência à compressão simples. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 31 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de polietileno sobre a variável resistência com blocos secos

Mistura	Solo-cimento	P-0,50	P-0,75	P-1,0
Solo-cimento	-	0,04029	2,767E-05	6,579E-05
P-0,50	4,204	-	0,008949	0,02346
P-0,75	9,474	5,269	-	0,9628
P-1,0	8,797	4,593	0,6763	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 32 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de polietileno sobre a variável resistência com blocos saturados

Mistura	Solo-cimento	P-0,50	P-0,75	P-1,0
Solo-cimento	-	0,6605	0,04442	0,001813
P-0,50	1,638	-	0,3252	0,01899
P-0,75	4,133	2,495	-	0,412
P-1,0	6,38	4,743	2,247	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE C – TABELAS DE RESISTÊNCIA – POLIETILENO E POLIESTIRENO EXPANDIDO

A Tabela 33 e a Tabela 34 apresentam os valores de resistência à compressão simples e análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para o teor ótimo de polietileno e poliestireno expandido combinados, respectivamente. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 33 - Resistência dos blocos com polietileno e EPS

Blocos com resíduos de polietileno e poliestireno expandido (melhor teor de cada)	Resistência a compressão simples (MPa)		
	Blocos secos (7 dias de cura)	Blocos saturados (24h de submersão)	Queda na resistência
Bloco 1	3,90	2,39	1,51
Bloco 2	3,95	1,23	2,72
Bloco 3	4,32	1,99	2,33
Bloco 4	4,14	1,53	2,60
Bloco 5	3,94	1,58	2,37
Média	4,05	1,74	2,31

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 34 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra PE- teor ótimo

Amostra PE – teor ótimo		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	11,894	5,124
Variância	0,27033	1,7602
Observações	5	5
Diferença entre as médias	6,77	
Stat t	10,623	
P (T ≤ t) bi-caudal	5,3945E-06	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 35 e a Tabela 36 apresentam a análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para o teor ótimo de polietileno e poliestireno expandido combinados em comparação com a mistura de solo-cimento. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 35 - Resultado do Teste T Student para resistência, comparando a amostra PE- teor ótimo com a amostra de solo cimento no estado seco

Amostra PE- teor ótimo e solo-cimento		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	11,894	7,492
Variância	0,27033	0,11842
Observações	5	5
Diferença entre as médias		4,402
Stat t		15,787
P (T ≤ t) bi-caudal		2,5907E-07

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 36 - Resultado do Teste T Student para resistência, comparando a amostra PE- teor ótimo com a amostra de solo cimento no estado saturado

Amostra PE- teor ótimo e solo-cimento		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	5,124	5,632
Variância	1,7602	0,59887
Observações	5	5
Diferença entre as médias		0,508
Stat t		0,73956
P (T ≤ t) bi-caudal		0,4807

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE D – TABELAS DE RESISTÊNCIA – SOLO CIMENTO

A Tabela 37 e a Tabela 38 apresentam os valores de resistência à compressão simples e análise do Teste T Student sobre a variável resistência à compressão simples para a mistura de referência de solo-cimento, respectivamente. Os valores do teste estatístico estão apresentados em tonelada-força.

Tabela 37 - Resistência dos blocos de solo-cimento

Blocos de solo - cimento	Resistência a compressão simples (MPa)		
	Blocos secos (7 dias de cura)	Blocos saturados (24h de submersão)	Queda na resistência
Bloco 1	2,62	1,87	0,75
Bloco 2	2,63	2,04	0,59
Bloco 3	2,36	2,09	0,27
Bloco 4	2,52	2,11	0,41
Bloco 5	2,63	1,48	1,15
Média	2,55	1,92	0,63

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 38 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra solo-cimento

Amostra solo-cimento		
	Blocos Secos	Blocos saturados
Média	7,492	5,632
Variância	0,11842	0,59887
Observações	5	5
Diferença entre as médias	1,86	
Stat t	4,9108	
P (T ≤ t) bi-caudal	0,0011776	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).