

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE BACHERLADO EM ENGENHARIA CIVIL
DANIELLA FERNANDES MOREIRA ROSA

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE POLIETILENO TEREFALATO (PET) COMO
ALTERNATIVA AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSAS DE
ASSENTAMENTO

FORMIGA-MG

2017

DANIELLA FERNANDES MOREIRA ROSA

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE POLIETILENO TEREFALATO (PET) COMO
ALTERNATIVA AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSAS DE
ASSENTAMENTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo Sornas.

FORMIGA-MG

2017

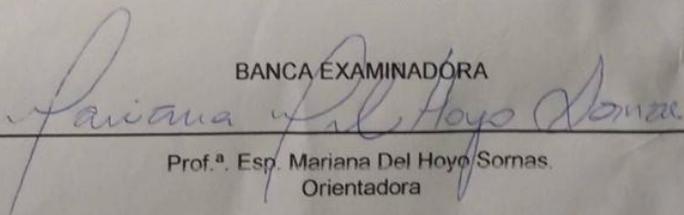
DANIELLA FERNANDES MOREIRA ROSA

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE POLIETILENO TEREFALATO (PET) COMO
ALTERNATIVA AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSAS DE
ASSENTAMENTO

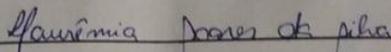
Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do UNIFOR-MG, como requisito para a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof.ª Esp. Mariana Del Hoyo
Sornas.

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Esp. Mariana Del Hoyo Sornas.
Orientadora



Prof.ª Esp. Laurêmia Soares da Silva
UNIFOR-MG



Prof. Dr. Paulo José da Silva
UNIFOR-MG

Formiga, 01 de novembro 2017

R788 Rosa, Daniella Fernandes Moreira.

Aplicação de resíduos de Polietileno Tereftalato (PET) como alternativa ao agregado miúdo natural em argamassas de assentamento / Daniella Fernandes Moreira Rosa.– 2017.

77 f.

Orientadora: Mariana Del Hoyo Sornas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)- Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Argamassa. 2. PET. 3. Areia. I. Título.

CDD 698

AGRADECIMENTOS

Sempre estive certo que cada coisa tem um tempo certo para acontecer, o importante é ter fé. Foi movida por essa fé que sempre lutei pelos meus objetivos. Obrigada Deus por me dar força e saúde para seguir essa caminhada.

Agradeço todas as pessoas que contribuíram para que esse sonho. A minha mãe, que foi uma guerreira e sonhou para mim sempre o melhor, nunca me deixou em um só momento, foi muito esforço e dedicação, nessa reta final de faculdade, sua paciência e suas palavras de conforto, são primordiais para mim. A minha irmã Deborah por ser meu exemplo de determinação e superação. Aos meus avós que sempre estiveram ao meu lado. Meu padrinho Vicente, que é o meu pai de coração, a Titia Rosane, que é uma segunda mãe, faz dos meus sonhos os dela.

Agradeço aos professores da UNIFOR-MG, que com sua sabedoria ao longo desses anos compartilharam suas experiências, em especial minha orientadora Professora. Esp. Mariana Del Hoyo Sornas, pela disposição em me ajudar em tudo que precisei para que meu TCC fosse concluído com êxito. Agradeço aos amigos que fiz durante o curso, que sempre estiveram ao meu lado, em todas as situações, fazendo com que essa caminhada se tornasse mais leve. Serei sempre grata a todos, por tudo que representam na minha vida!

RESUMO

O presente trabalho refere-se a uma pesquisa sobre a reutilização do material poli tereftalato de etileno (PET) como substituto parcial da areia na composição de argamassa. Nele foi utilizado o resíduo moído de PET para se realizar três diferentes traços de argamassa em questão. Os traços utilizados são o T1 – argamassa convencional, T2 - 25% de PET em relação a areia e T3 - 45% de PET em relação a areia. Após este processo, foram realizados os ensaios de índice de consistência, resistência à compressão axial e composição granulométrica. Posteriormente foi-se atestada à aplicabilidade dos três traços da argamassa em questão, utilizando no assentamento de paredes de tijolos cerâmicos de 19 cm de altura. Todos os valores que fazem referência às características dos agregados convencionais estavam dentro das normas exigidas pela ABNT. Os resultados dos ensaios de resistência a compressão em que foi utilizado o PET como substituto parcial da areia, não se enquadraram nos padrões exigidos pela norma, o valor foi menor em relação a argamassa convencional, já o assentamento das paredes ficou em perfeito estado nos 28 dias analisados. Portanto conclui-se que a utilização do PET na composição da argamassa ainda é inviável pela questão econômica. Mas em relação à questão técnica, pode-se dizer se for utilizada menor porcentagem de PET podem-se atingir diferentes resultados, e a viabilidade sustentável que o PET tem permite evitar a extração de areia, reduzindo o impacto ambiental.

Palavras chaves: Sustentável, Reciclagem, Viabilidade.

ABSTRACT

The present work refers to a research on the reuse of the material poly ethylene terephthalate (PET) as partial substitute of sand in mortar. It was used the ground residue of PET to perform three distinct traces of mortar in question. The strokes used are the T1-conventional mortar, T2-25% PET with respect to sand and T3-45% of PET in relation to sand. After this process, the consistency index tests, resistance to axial compression and granulometric composition. Later went to the applicability of the three attested traces of mortar in question, using the fixing ceramic brick walls 19 cm tall. All values that reference the characteristics of conventional aggregates were within the standards required by ABNT. The results of tests of compression resistance were the PET as partial substitute of sand, do not fit in the requirements of the standard, the value was lower in comparison with conventional mortar, since the settlement of the walls was in perfect condition in 28 days analyzed. Therefore it is concluded that the use of PET in the composition of the mortar is still infeasible for economic issue. But with regard to the technical question, you might say if you use smaller percentage of PET you can achieve different results, and the sustainable viability that the PET has allows you to prevent the extraction of sand, reducing the environmental impact.

Key words: Sustainable, recycling, viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Termoplástico.....	20
Figura 2 - Exemplo de Baquelites	21
Figura 3 - Exemplo de elastômeros.....	21
Figura 4 - Máquina extrusora	23
Figura 5 - Reciclagem química do PET	25
Figura 6 - Garrafa PET	26
Figura 7 - Ilustração processo de reciclagem.....	29
Figura 8 – Visão do Córrego Água do Sobrado.....	32
Figura 9 - Detalhes da extração de areia	33
Figura 10 – Sistema de vedação.....	36
Figura 11 - Condições de aplicações das argamassas	39
Figura 12 - Pó de PET.....	45
Figura 13 - Cimento CII - 32 F	45
Figura 14 - Areia média	46
Figura 15 - Tijolo cerâmico.....	46
Figura 16 – Preparação da argamassa	488
Figura 17 – Espalhamento da argamassa.....	49
Figura 18 - Corpos de prova moldados	50
Figura 19 - Corpo de prova para rompimento	51
Figura 20 - Corpo de prova na prensa.....	51
Figura 21 - Argamassa comum	58
Figura 22 - Argamassa com PET	58
Figura 23 – Assentamento da alvenaria.....	68
Gráfico 1 – Índice de consistência – moldagem R7	55
Gráfico 2 – Índice de consistência – moldagem R14	56
Gráfico 3 – Índice de consistência – moldagem R28	57
Gráfico 4– Resistência em 7 dias tensão (MPa)	633
Gráfico 5 - Resistência em 14 dias (MPa).....	655
Gráfico 6 - Resistência em 28 dias (MPa).....	67
Quadro 1 – Classificação e destinação dos resíduos da construção civil	18
Quadro 2 - Códigos de reciclagem utilizados nas embalagens plásticas.....	22
Quadro 3 - Classificação dos agregados.....	34

Quadro 4 - Aspectos considerados na composição da argamassa.....388

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa mínima por amostra de ensaio.....	48
Tabela 2 - Traço do corpo de prova	50
Tabela 3 - Exigências Mecânicas para argamassa	52
Tabela 4 - Traço da argamassa para assentamento	52
Tabela 5 - Porcentagem de areia retida nas peneiras.....	53
Tabela 6 - Porcentagem de pó de PET retida nas peneiras.....	53
Tabela 7 - Índice de consistência da argamassa - moldagem do R7	54
Tabela 8 - Índice de consistência da argamassa - moldagem do R14	55
Tabela 9 - Índice de consistência da argamassa - moldagem do R28	56
Tabela 10 - Material gasto para fabricar os corpos de prova	59
Tabela 11 - Material gasto para o assentamento de tijolos	59
Tabela 12 - Resultados da prensa de compressão	60
Tabela 13 - Argamassa convencional - rompimento de 7 dias.....	611
Tabela 14 - Argamassa com 25% de PET - rompimento 7 dias.....	622
Tabela 15 - Argamassa convencional com 45% de PET - rompimento 7 dias.....	62
Tabela 16 - Argamassa convencional - rompimento 14 dias.....	63
Tabela 17 - Argamassa convencional com 25% de PET - rompimento 14 dias.....	644
Tabela 18 - Argamassa convencional com 45% de PET - rompimento.....	64
Tabela 19 - Argamassa convencional - rompimento 28 dias.....	65
Tabela 20 - Argamassa convencional com 25% de PET - rompimento 28 dias.....	666
Tabela 21 - Argamassa convencional com 45% de PET - rompimento 28 dias.....	666

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria PET
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing Materials
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CP	Corpo de Prova
CPII-32F	Cimento Portland com Adição de Filler
EG	Etilenoglicol
EVA	Poliaceto de Etileno Vinil
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PC	Policarbonato
PCV	Policloreto de Vinila
PTA	Ácido Tereftálico Purificado
PET	Polietileno Tereftalato
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas
UNIFOR-MG	Centro Universitários de Formiga Minas Gerais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivo Especifico	14
3 JUSTIFICATIVA.....	15
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
4.1 Gestão de resíduos	16
4.2 Caracterização dos plásticos	18
4.2.1 Os principais tipos de plásticos.....	19
4.2.2 Processo de reciclagem dos plásticos.....	22
4.3 Caracterização do PET.....	24
4.4 Reciclagem do PET	24
4.4.1 Coleta seletiva de embalagens PET.....	26
4.4.2 Processo de reciclagem do PET	28
4.5 Propriedades físicas e mecânicas do PET	29
4.6 Sustentabilidade e reciclagem na construção civil.....	30
4.7 A atividade de extração dos agregados miúdos	31
4.7.1 Reservas naturais.....	31
4.7.2 O processo de extração.....	32
4.7.3 Impacto ambiental.....	33
4.8 Agregados.....	33
4.8.1 Caracterização dos agregados.....	34
4.8.2 Características físicas e mecânicas dos agregados.....	35
4.9 Argamassas	35
4.9.1 Características gerais	366
4.9.2 Materiais constituintes.....	38

4.9.3 Método de dosagem.....	38
4.9.4 Propriedades físicas e mecânicas	39
4.9.4.1 Estado fresco.....	40
4.9.4.2 Estado endurecido	40
4.10 Cimento, cal e areia.....	400
5 MATERIAL E MÉTODO.....	44
5.1 Materiais empregados.....	44
5.1.1 Pó de PET.....	44
5.1.2 Cimento	45
5.1.3 Areia	46
5.1.4 Tijolos cerâmicos	46
5.2 Equipamentos.....	47
5.3 Métodos.....	47
5.3.1 Caracterização do agregado miúdo.....	47
5.3.2 Determinação do índice de consistência.....	48
5.3.3 Determinação da resistência a compressão.....	49
5.3.4 Assentamento dos tijolos.....	52
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
6.1 Classificação Granulométrica	53
6.2 Argamassa no estado fresco	54
6.3 Argamassa no estado endurecido.....	57
6.3.1 Moldagem dos Corpos de Prova (Cp).....	58
6.3.2 Cálculo do consumo de agregados.....	59
6.3.3 Ensaio de Compressão.....	60
6.4 Assentamento dos tijolos.....	688
7 CONCLUSÃO	Erro! Indicador não definido.9
REFERENCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

O volume de resíduos domésticos produzidos em todo o mundo aumenta a cada dia mais, além do crescimento do uso de embalagens descartáveis. A cultura do consumo e do desperdício, sem sombra de dúvidas, são os maiores responsáveis pelo descarte de toneladas de resíduos sólidos no planeta.

Nos últimos anos, diversos tipos de resíduos plásticos têm sido triturados e empregados em vários estudos de utilização do material como agregado leve em concreto ou argamassa (MELLO, 2011).

O plástico é um material, que quando sofre alterações de pressão ou calor, é capaz de produzir uma variedade de outros objetos, tais como, sacolas, brinquedos, embalagens, lentes, garrafas, chapas, utensílios domésticos, entre outros. Essa gama de produtos só é possível por causa da variedade e do avanço de estudos em relação à tecnologia utilizada na fabricação dos polímeros sintéticos.

Devido ao aumento da quantidade utilizada de materiais plásticos descartáveis, as empresas que estão de acordo com a responsabilidade ambiental tem abordado muito esse assunto. Os plásticos ocupam uma boa parte da quantidade de resíduos sólidos descartados anualmente e para que se haja redução no consumo e descarte, são necessárias ações como a reciclagem e aplicação em produtos de longa vida útil. São realizadas muitas pesquisas onde usa-se o plástico em concretos e argamassas.

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar as propriedades da argamassa utilizando Polietileno Tereftalato, ou seja, material granulado oriundo de garrafas de PET recicladas, em substituição ao agregado miúdo, a areia, analisando as viabilidades técnicas, econômicas e sustentáveis dessa substituição.

2 OBJETIVOS

Esta seção tem por finalidade mostrar quais são os objetivos do presente trabalho, sendo eles objetivo geral e os objetivos específicos conforme especificados a seguir.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é analisar as propriedades da argamassa utilizando Polietileno Tereftalato, material granulado oriundo de garrafas de PET reciclada, em substituição parcial da areia.

2.2 Objetivo Especifico

Para atender o objetivo geral, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas do PET reciclado;
- b) Determinar o teor ótimo de adição do material granulado de garrafa PET reciclado, nas argamassas, sendo que foram feitas substituições parciais de 25% e 45% de PET em relação a areia, na argamassa convencional;
- c) Realizar a dosagem da argamassa de referência e a com PET reciclado (usando o traço de cimento e areia na proporção de 1:3);
- d) Verificar e analisar as propriedades físicas e mecânicas da argamassa de assentamento com adição do material granulado de garrafa PET reciclado e comparar com a argamassa convencional, tanto no estado fresco quanto no endurecido;

3 JUSTIFICATIVA

O aumento da utilização de materiais plásticos no cotidiano é uma questão de cunho socioambiental relevante. Quando se relaciona a cultura do consumo existe um alto desperdício de embalagens descartáveis, devido à falta de consciência em relação à coleta seletiva, assim, percebe-se os riscos de não se ter uma reutilização de materiais plásticos.

Portanto visando uma reutilização de materiais plásticos e também a sustentabilidade, o setor da construção civil, tem realizado estudos e novas técnicas de reaproveitamento de materiais de construção a partir de resíduos sólidos. Um grande exemplo é o reaproveitamento de Polietileno Tereftalato, que se apresenta como uma opção para a construção, além de influenciar na diminuição do meio ambiente.

Para fazer o reaproveitamento do PET é necessário que ele passe por um processo de trituração e moagem, desta forma ele ficará com uma nova granulometria, transformando-se em um subproduto conhecido como o pó de PET, e é nesta nova composição que o material PET pode ser reutilizado.

Assim, com o intuito de disponibilizar um novo material e também contribuir na diminuição do descarte inadequado da garrafa PET através desse aproveitamento, é possível conseguir um material que possa contribuir como agregado, com propriedades diferentes.

Portanto, a realização do presente trabalho vem contribuir para expor o reaproveitamento do pó da garrafa PET, enfatizando a importância desse material na utilização das argamassas, bem como analisando suas propriedades. Deseja-se, também, que este trabalho seja um ponto de partida para o incentivo das empresas em reutilizar a garrafa PET.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa são abordados os principais temas relevantes para a elaboração do trabalho. Através do embasamento teórico obtido por meio de pesquisa em literaturas existentes, trabalhos de conclusão de curso, artigos acadêmicos, dissertações de mestrados, teses de doutorados e experimentos já realizados.

4.1 Gestão de resíduos

Canelas, (2005, p.14) traz uma informação importante, “o crescimento do uso de embalagens descartáveis, e a cultura do consumo e do desperdício são responsáveis pelo descarte de 30 bilhões de toneladas de resíduos sólidos no planeta todos os anos.”

De acordo com Cavalcanti (1998) somente na década de 90, é que surgiu uma preocupação em relação ao resíduo sólido.

Assim em 2010 foi publicada a Lei n. 12.035, que pronuncia sobre as políticas nacionais dos resíduos sólidos, de forma que a população preocupou-se em encontrar meios para reaproveitar o que é descartado diariamente no mundo (POZZOBON, 2013).

Na visão do autor Ferreira (2003) o processo de gestão ambiental, leva em conta as variáveis de um processo de gestão, como os de políticas, planejamento, planos de ações, coordenação, controle entre outros, tendo em vista o desenvolvimento sustentável. Assim uma visão ambiental, em seus vários níveis, envolve fatores complexos e de alternativas de ação nem sempre fácil de aceitação.

Os resíduos sólidos, dos quais os resíduos da construção civil são espécie, são regidos pela Lei 12.305/10, que cuidou de instituir a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS).

O resíduo da construção civil, material caracteristicamente reaproveitável, é gerados diariamente, em enormes quantidades, especialmente devido ao forte crescimento imobiliário (edificações e reformas) apresentado nos últimos anos no Brasil, associado à ampliação da malha rodoviária e do saneamento básico, entre outras atividades que produzem os chamados RCC. (POZZOBON, 2013, p.10,)

Compreende-se então que a gestão integrada de resíduos é um conjunto de articulações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração deve desenvolver com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos, para coletar, transportar, segregar, tratar e dispor os resíduos. (CÂNDIDO, 2009)

Além de que fazer a gestão dos resíduos não é tão simples, a sua remoção de forma inadequada pode comprometer o solo, o ar e as águas alterando suas características físicas, químicas e biológicas, ameaçando à saúde, prejudicando o meio ambiente e trazendo danos incalculáveis para o ser humano. O descuido em relação à gestão dos resíduos sólidos constitui um dos principais problemas que necessita de soluções imediatas por originar vários impactos ambientais e sociais negativos, os quais interferem na ciclagem da matéria, no aproveitamento da energia, na saúde ambiental e humana e conseqüentemente, na sustentabilidade ambiental (RAMOS *et al*, 2010)

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (Norma Brasileira 10004 (2004) classifica os resíduos de acordo com as seguintes classes:

- Classe I: riscos de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade entre outras características.
- Classe II: não inertes, como materiais ferrosos e não ferrosos com características do resíduo doméstico;
- Classe II B: inertes, são os materiais que não se decompõem ao serem dispostos no solo, como os da construção civil;
- Rejeitos: são os resíduos que não podem ser reaproveitados ou reciclados, por falta de tecnologia ou viabilidade econômica para esse fim, como exemplo pode-se citar os absorventes femininos, fraldas descartáveis.

Na classe II B estão classificados os resíduos da construção civil, elas ainda podem ser classificados de acordo com a sua destinação no setor da construção civil conforme apresenta o QUADRO 1.

Quadro 1 – Classificação e destinação dos resíduos da construção civil

CLASSE A	Reutilizável e recicláveis com agregados	Alvenaria, concreto, argamassa, solos, todos, blocos, telhas, outros.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
CLASSE B	Recicláveis para outras destinações	Madeira, papel, plástico, metal, outros.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
CLASSE C	Sem tecnologia ou utilizações economicamente viáveis para reutilização e/ou reciclagem	Produtos oriundos do gesso.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as técnicas específicas.
CLASSE D	Resíduos perigosos	Tintas, óleos, solventes, amianto, etc.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as técnicas específicas.

Fonte: Junior, (2013).

Assim, para o gerenciamento correto dos resíduos é importante para qualquer negócio que deseja diminuir as oportunidades de reduzir os gastos e também os riscos associados à gestão de resíduos sólidos. Por isso, é importante, já exigida por lei, a elaboração dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos. (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO AS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS, (SEBRAE) [2017])

4.2 Caracterização dos plásticos

A busca por materiais duráveis com a ampla gama de usos, fez com que fossem desenvolvidos os plásticos para atender às necessidades do ser humano.

De acordo com Franchetti e Marconato (2006) o uso dos plásticos na sociedade moderna é crescente devido à sua versatilidade e baixo custo, entretanto, seu descarte no meio ambiente traz danos severos em virtude do seu tempo de degradação. Eles possuem alta massa molar e grande resistência à água, o que dificulta a ação de microrganismos e enzimas que atuam na sua decomposição.

Segundo Fogaça (2017) os plásticos pertencem à família dos polímeros, e sendo sem dúvida o ente mais comum, o plástico é composto basicamente por macromoléculas que forma cadeias em repetição para forma o mero, unidade básica de formação destes polímeros. A composição mais comum dos plásticos é obtida por meio da extração de monômeros do petróleo ou gás natural e ainda de materiais como a madeira, carvão, álcool e gás carbônico.

De acordo com sua configuração específica, os polímeros são divididos em termoplásticos, termorrígidos ou termo fixos e, elastômeros, que serão descritos a seguir (GORN, 2003).

4.2.1 Os principais tipos de plásticos

Segundo Mussucato et. Al ([2017]) os termoplásticos são polímeros capazes de amolecer quando são submetidos a um aumento de temperatura e pressão, assim quando são retiradas essas solicitações, os termoplásticos voltam a ficar sólidos novamente. É uma alteração física reversível, sempre que ocorram novas aplicações de altas temperaturas e pressões produzem o mesmo efeito de amolecimento e fluxo. Por terem essa característica, os termoplásticos são recicláveis.

Ainda o autor Gorni (2003), especifica que os termoplásticos são compostos por estruturas moleculares que são formadas por moléculas lineares, dispostas sob a forma de cordões soltos e, ao mesmo tempo agrupados em configuração de novelo. Entre os termoplásticos mais comuns tem-se:

- Polietileno (PE): utilizados em sacolas, embalagens, entre outros;
- Polietileno de Baixa Densidade (PEBD): utilizado em garrafas térmicas, frascos de cosméticos, mangueira para água, entre outros;
- Polietileno de Alta Densidade (PEAD): utilizado para proteção de pisos, isolamento de ruídos, preenchimento de junta de dilatação entre outros;

- Policloreto de Vinila (PCV): utilizado na construção civil, para instalação de água e esgoto;
- Poliestireno (PS): pode ser utilizado como isolante térmico, e no campo da engenharia vem ganhando destaque em diferentes segmentos da construção civil;
- Polipropileno (PP): utilizado em produção de formas práticas, telhas, as fibras também podem ser adicionadas ao concreto e á argamassa para combater a fissuração por retração;
- Politereftalato de Etileno (PET): utilizados em garrafas PET, cerdas de vassouras, entre outros;
- Poliamidas (náilon): é utilizado em suturas de ferimentos,
- Policarbonato (PC): utilizado em coberturas e fechamento de piscinas, jardins de inverno entre outros.

Na FIG. 1 apresentam-se alguns exemplos de termoplásticos.

Figura 1 - Termoplástico



Fonte: TÉCHNE, 2017.

Os plásticos termorrígidos, não possuem a mesma maleabilidade dos termoplásticos e, desta forma são rígidos e facilmente quebráveis, além disso, são sensíveis às variações de temperatura, não sendo possível fundi-los depois de prontos. Devido à decomposição do material que compõem os termorrígidos, sua reciclagem não é tão fácil, o que leva toneladas deste tipo de plástico ao descarte no meio ambiente. Entre os tipos mais comuns de termorrígidos temos os baquelites,

usados em tomadas como demonstra a FIG.2, e o poliéster utilizado em carrocerias, caixas d'água e piscinas, além do Poliuretano (PU) e Poliacetato de Etileno Vinil (EVA), poliésteres, resinas fenólicas entre outros (CUCCATO, 2014).

Figura 2 - Exemplo de Baquelites



Fonte: KANTOVISCK, 2011.

Segundo Gomes (2016) os polímeros denominados elastômeros, são as borrachas que, por sua vez, encontra-se em uma classe intermediária aos termoplásticos e termorrígidos, na FIG.3, apresenta-se um modelo de elastômeros.

Figura 3 - Exemplo de elastômeros



Fonte: ITURAM, 2017.

Os elastômeros possuem menor quantidade de ligações entre seus cordões e, por este motivo, sua reciclagem tem apresentado diferentes formas. Este material não é de fácil fusão, assim, seu uso por meio de reciclagem ocorre através da trituração dos materiais e tem sido integrado na fabricação de asfalto, tijolos, tapetes de borracha entre outros. São exemplos comuns de elastômeros, as mangueiras e pneus. (GOMES, 2016).

4.2.2 Processo de reciclagem dos plásticos

O desenvolvimento de novas matérias-primas utilizadas na fabricação dos plásticos tem feito com que novos polímeros sintéticos sejam desenvolvidos tendo como objetivo possibilitar a reciclagem destes materiais. (SOLOMONS, 2009).

A capacidade de reciclagem dos polímeros possibilitou o estabelecimento de uma classificação, onde por meio de um código de reciclagem, tornou-se possível realizar a separação dos diferentes tipos de materiais, facilitando, assim, o processo de reciclagem (QUADRO 2).

Quadro 2 - Códigos de reciclagem utilizados nas embalagens plásticas

Material	Classificação
PET - 1	Material caro, capaz de manter aprisionadas, bolhas de oxigênio. Usado na fabricação de garrafas de refrigerantes. A reciclagem produz tapetes, tecidos para jeans e penugem de bolas de tênis.
PEAD - 2	Material barato e resistente. Usado em garrafas de água, recipientes para detergente e cabos de panela. A reciclagem produz cadeiras e latas de lixo.
PVC - 3	Resistente à degradação por óleo. Usados para recipientes de óleo e embalagens de alimento. A reciclagem produz esteiras de chão, cano e mangueiras.
PEBD - 4	Bastante flexível. Utilizado em embalagens de biscoito e massas. A reciclagem produz saquinhos de supermercado.
PP - 5	Flexível e resistente à umidade. Usado em recipientes para <i>ketchup</i> , iogurte, margarina. A reciclagem produz recipientes para tinta.
PS - 6	Em forma rígida ou de espuma, é usada em copos de café e recipientes de plástico para alimentos. A reciclagem produz canos e latas de lixo.
Outras - 7	São resinas que podem ser misturadas com cola, metal e outros materiais. A reciclagem produz "madeira plástica" para móveis.

Fonte: ROCHA, 2013.

É importante ressaltar que, os códigos têm como função indicar o tipo de matéria-prima utilizada em sua constituição, o que facilita a identificação do tipo de polímero.

Segundo Rocha, Silva e Souza (2013, apud Peruzzo e Canto, 2006, p.30) é importante identificar os tipos de polímeros.

Através da densidade de alguns polímeros, torna-se possível separar e identificar os materiais descartados durante a separação mecânica para a reciclagem, sendo um método mais simples e prático, empregando-se uma das propriedades físicas do plástico, pois a diferença da densidade entre essas substâncias facilitam tal procedimento. [...] a reciclagem dos plásticos se tornou viável do ponto de vista econômico, pois privilegiou a preservação do meio ambiente, diminuindo a quantidade de materiais que possivelmente poderiam ser descartados, dando um destino correto aos diversos tipos de polímeros através de sua reutilização utilizando conceitos físicos através de sua densidade, massa molar, resistência à chama e a ação química, cristalinidade, estabilidade térmica, entre outras propriedades físicas que privilegiam a reciclagem.

De acordo com Mortimer e Machado (2010) os processos de reciclagem são realizados em duas fases, na primeira fase é realizada a extrusão e, na segunda, ocorre à remodelagem ou a decomposição dos monômeros que formam os polímeros. A separação dos polímeros segundo sua composição é de grande importância, pois evita que sejam reciclados materiais incompatíveis, gerando, conseqüentemente, matérias-primas de baixa qualidade. Na FIG. 4 apresenta a máquina extrusora, usada na primeira etapa da reciclagem.

Figura 4 - Máquina extrusora



Fonte: RODA, 2011.

Na etapa da extrusão o material é transformado em grânulos, assim facilitando o processo de injeção na empresa que o transformará em peças, após esse processo, este material vai para o aglutinador, que é um equipamento construído com facas, que possibilitam a complementação da secagem do material, além de aglomerar o material leve, fazendo assim reduzir o volume. (RODA, 2011)

4.3 Caracterização do PET

Derivados do petróleo, os plásticos podem apresentar características diversas. De acordo com (CANELAS, 2005, p. 28):

Os plásticos são polímeros produzidos a partir de processos petroquímicos. O PET, Polietileno tereftalato, é um deles, e foi desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson. Por ser um material inerte, leve, resistente e transparente, passou a ser utilizado na fabricação de embalagens de bebidas e alimentos no início da década de 1980. Em 1985 cerca de 500 mil toneladas de vasilhames já haviam sido produzidas, somente nos Estados Unidos

O PET é produzido por vias químicas, as quais podem ser por meio de esterificação direta do ácido tereftálico purificado (PTA) com etilenoglicol (EG). Já as macromoléculas do PET puro, onde se utiliza homopolímeros, são constituídos de moléculas repetidas de tereftalato de etileno. Ressalta-se que, nos polímeros comerciais, existem cerca de 130 a 155 repetições da molécula típica de PET.

Canellas (2005, p. 28) destaca que:

A resina PET é muito utilizada em todo o mundo para a fabricação de embalagens, em razão de suas propriedades: transparência, resistência mecânica, brilho e barreira a gases. Inicialmente utilizada para a produção de garrafas para acondicionar bebidas carbonatadas, é hoje utilizada no Brasil para diversas outras linhas de produtos, tais como óleos comestíveis, isotônicos, água mineral, produtos de higiene e limpeza, cosméticos e fármacos. As garrafas de PET são totalmente inertes. Isto significa que, mesmo indevidamente descartadas, não causam nenhum tipo de contaminação para o solo ou lençóis freáticos.

A facilidade de obtenção deste produto fez com que durante muitos anos, seu descarte na natureza ocorresse sem nenhum critério, gerando grande poluição ambiental.

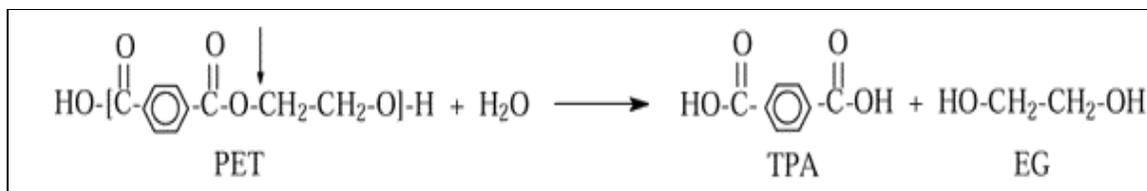
4.4 Reciclagem do PET

De acordo com Mancini e Zanin (1999) o PET pode ser reciclado por três métodos diferentes, usando descarte:

- Reciclagem de energia, que queima o plástico para usar seu conteúdo calorífico;

- Reciclagem química, conforme mostrado na FIG. 5, em que o PET é submetido a reações opostas às da polimerização para obter produtos intermediários, tais como poliglicóis, ou mesmo monómeros ou materiais iniciais (TPA ou DMT e EG) a partir dos quais o plástico é feito;

Figura 5 - Reciclagem química do PET



Fonte: MANCINI; ZANIN, 1999

- A reciclagem mecânica, o método mais utilizado para a reciclagem de PET, consistindo em uma série de processos simples, bem conhecidos e relativamente baratos para moer, secar, lavar e reprocessar descartes.

Esta seqüência de processos geralmente resulta em uma estrutura reciclada degradada quando comparada à molécula inicial, uma vez que as cadeias foram submetidas a tensões mecânicas, calor, luz, oxigênio e, no caso de PET, também água. Graças às propriedades do plástico, como a leveza, resistência mecânica e maleabilidade a baixa temperatura, este material vêm conquistando espaço nas construções.

SCHALCH et al (2002), relata que no Brasil existem vários episódios críticos relacionados com a poluição e que na maioria das vezes estão relacionados com a falta de tratamento dos resíduos.

Segundo Guimarães e Tubino (2004, p. 3) “entre os rejeitos plásticos, o PET é considerado um dos maiores poluentes gerados pelos processos de produção” (FIG. 6).

Figura 6 - Garrafa PET



Fonte: FORMIGONI, 2007.

4.4.1 Coleta seletiva de embalagens PET

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Pet (ABIPET) (2017), a reciclagem é uma atividade industrial que gera empregos, e traz benefícios para o meio ambiente. Mas, porém as garrafas PET normalmente são enviadas para o lixo de maneira indevida, e como em muitas regiões a coleta seletiva é insuficiente, essas garrafas acabam sendo jogadas em terrenos ou lugares inadequados e levados pelas chuvas e rios.

Ainda segundo Nanni (2011) essa falta de um bom sistema de coleta seletiva é apontada como um grande problema para a indústria da reciclagem de PET no Brasil, pois muita das vezes o material está aqui, mas não se tem condições de chegar nele.

O autor Aires ([2017]) apresenta que no Brasil existe aproximadamente em torno de 500 empresas recicladoras, gerando em torno de 11.500 empregos, mas o grande problema é que 80% dessas empresas se encontram apenas na região sudeste, o que aponta a fragilidade desse tipo de atividade no Brasil.

Formigoni (2007) ainda afirma que a oferta de material PET ainda é o maior problema da sua reciclagem. A quase inexistência de uma política de coleta seletiva contínua e homogênea da matéria prima somando-se a falta de consciência da população sobre a reciclagem do lixo resulta na falta de fornecimento do material.

A ABIPET (2017) salienta que alguns municípios têm sistemas de coleta seletiva para os resíduos sólidos urbanos, isto demonstra que a população deveria ser orientada a separar seu lixo, colocando-os em recipientes diferentes, como o lixo orgânico dos recicláveis, o papel, o vidro, a lata, os plásticos e o PET.

A ABNT, através da NBR 13.230 (1994), estabelece símbolos para a identificação dos termoplásticos utilizados na utilização de embalagens e recipientes, tarefa fundamental para a viabilização econômica e industrial da reciclagem. Esses símbolos padronizados, normalmente são aplicados em alto relevo na parte inferior da embalagem (FORMIGONI, 2007, p. 3).

Existem ainda outras formas de coleta de seletiva de PET, essa alternativa é conhecida como Coleta Dirigida, que é a conscientização da população local para a separação de determinados materiais recicláveis, fazendo a entrega em pontos de recebimento ou aguardando a data fixada para a coleta domiciliar. Essa modalidade pode ser feita através de cooperativas de catadores, pois quando elas atuam, as populações ficam sabendo de uma forma ou outra que sua embalagem será recolhida, favorecendo todo o processo. Outra forma também é através de empresas que se encarregam de reunir um número de trabalhadores de coletar de diferentes formas o material desejado. Além da atuação de entidades de assistência social, que coleta e vende os materiais recicláveis, e aplica nas ações sociais, e por fim a coleta pode ser feita pela cooperação entre duas formas já citadas, como por exemplo, quando uma empresa efetua convênio com uma entidade assistencial, resolvendo suas recíprocas deficiências. (ABIPET, [2017])

Após o processo de coleta, os materiais são separados em metais, plásticos, vidros, etc. Após a primeira separação é feita uma nova divisão entre variedades de cada material como, por exemplo, os plásticos são separados do PET e de todos os outros, assim então se inicia o processo de reciclagem.

4.4.2 Processo de reciclagem do PET

Segundo a ABIPET ([2017]) a reciclagem do PET colabora para preservação ambiental, além de alcançar plenamente os três pilares do desenvolvimento sustentável que são os benefícios sociais, econômicos e ambientais.

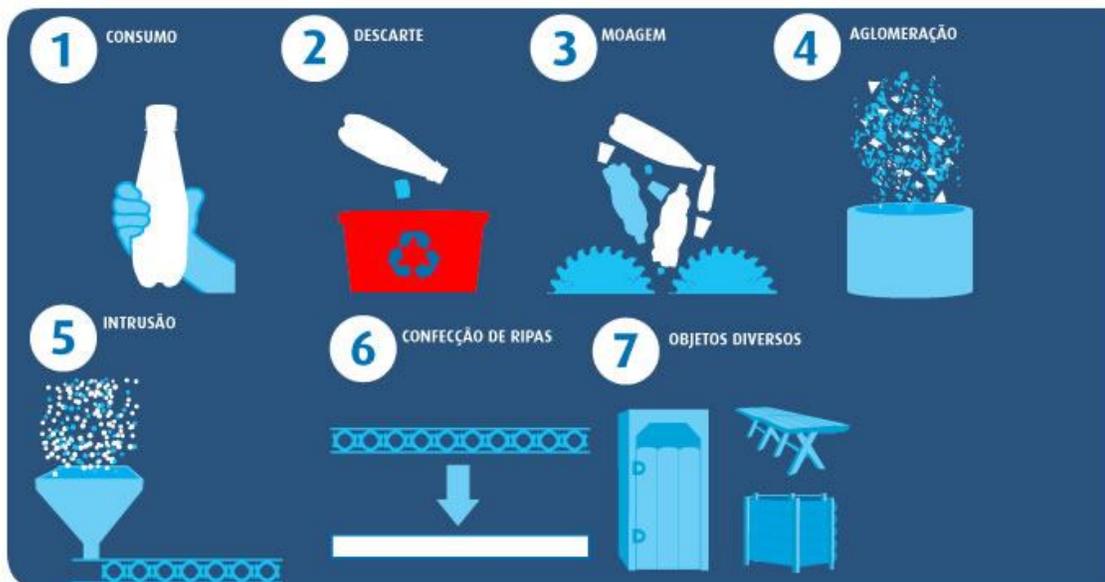
De acordo com o 4º censo realizado pela ABIPET (2008) evidenciou-se a distribuição, no Brasil, de mercados de PET reciclado, e a maior utilização deste material reside na aplicação dos produtos têxteis.

A reciclagem requer uma série de processos, para as garrafas PET não é diferente, a primeira etapa é a lavagem das embalagens, após esse processo elas são trituradas e transformadas em flocos, vão para a correia transportadora de alimentação do moinho onde passam a sua primeira moagem que é feita molhada. O material moído é removido através de um fio de envelope duplo, onde parte da água suja é separada do processo. Em seguida, através dos tanques de descontaminação, onde é realizada além da separação de rótulos e tops, a adição de produtos químicos para o acabamento do processo. Após os tanques, o material é introduzido em outro moinho a fim de se obter uma densidade linear adequada. O material é transportado pneumáticamente para a máquina de lavar onde, é limpo com água, além disso, é feito o enxágüe, o material segue direto ao secador. (ABIPET, 2008)

Posteriormente, o material é removido do secador por transporte pneumático e levado ao silo, é submetido a um detector de metais não ferrosos, do qual é retirado e colocado em sacos grandes, pronto para ser enviado para a indústria de transformação.

Os grãos de PET moído ou flocos são derretidos e transformados em um novo produto conforme (FIG. 7).

Figura 7 - Ilustração processo de reciclagem



Fonte: ALPAMBIENTAL 2016.

A reciclagem de polímeros é uma alternativa viável para minimizar o impacto ambiental causado pela disposição desses materiais em aterros sanitários. Este processo está se tornando cada vez mais importante porque, além de preservar o meio ambiente, ainda atende a interesses econômicos, e a legislações cada vez mais estritas quanto ao descarte de resíduos (SPINACE, 2005).

4.5 Propriedades físicas e mecânicas do PET

As características físicas do PET possuem associação com suas características químicas, apresentando um tipo de polímero de cadeia heterogênea aromática, tendo um grupo éster constituinte – $R-COO-R'$, cuja sequência alifática aberta e não cíclica associada ao oxigênio na cadeia principal confere ao PET flexibilidade, mesmo à temperatura ambiente. Por sua vez, os grupos de benzenos conferem rigidez a este tipo de polímero (SOUZA, 2007).

Desta forma, Souza (2007) reitera que, o PET possui características físicas e mecânicas que lhe proporcionam atributos como a rigidez, tenacidade e resistência ao calor, além disso, este tipo de polímero possui estabilidade química e dimensional, capacidade de isolamento elétrico, possibilidade de apresentar-se transparente, translúcido ou opaco.

4.6 Sustentabilidade e reciclagem na construção civil

Segundo Cirelli, Zordan e Jonh ([2017]) se comparar os países de primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com uma exceção da intensa reciclagem praticada pelas grandes indústrias.

Os resíduos sólidos são todos os materiais que não tem utilidade para seu detentor, assim compreende resíduos resultantes da atividade humana e animal, com certa capacidade de valorização. (FERREIRA, 1995)

Assim pensando na reciclagem e no reaproveitamento Colaço (2008), define que a sustentabilidade é uma nova forma de analisar e reestruturar as interações entre os grupos humanos e o meio natural, observando as interações simultâneas que ocorrem entre esses dois meios.

A existência de mudanças é inevitável. Estas devem ocorrer num processo de renovação permanente com a inovação e criação de sistemas sociais que estejam aptos para reconhecer os sinais ou os sintomas de insustentabilidade e ter a capacidade de reagir a estes sinais de modo a que possam efetuar-se as adaptações requeridas pelo sistema (recursos naturais) para corrigir tais disfunções, sempre com o objetivo de alcançar um desenvolvimento mais sustentável (COLAÇO, 2008, p. 19).

Neste sentido, Giansanti (1998) afirma que o desenvolvimento sustentável pode ser definido como uma capacidade que as sociedades têm de se sustentarem de forma autônoma, produzindo riquezas e bem estar utilizando recursos e potencialidades próprios.

O desenvolvimento sustentável pode ser visto como um processo político uma vez que integra a sustentabilidade econômica, ambiental, espacial, social e cultural, visando à manutenção da qualidade de vida, disponibilizando recursos ou mesmo administrando escassez. Com o aumento da população do mundo, cresce também as indústrias e consecutivamente aumenta também a quantidade de resíduos inorgânicos e orgânicos na comunidade social.

A reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar impactos ao meio ambiente. Variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo o era antes de ser reciclado. Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados. (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, [2017], p. 3)

Os novos modelos de desenvolvimento sustentável devem ser baseados, em princípios orientadores, como, a utilização e disponibilização das tecnologias sejam as melhores, melhor utilização de valoração ambiental em todos os processos de tomada de decisão, por meio da análise econômica, mobilização e participação de todos os setores da sociedade civil. (CALIXTO, 2000)

Dentro deste contexto, Ângulo, Zordan e John ([2017]) alertam que qualquer atividade de reciclagem, também irá gerar resíduos e que se deve ficar atento ao tipo e às características do resíduo gerado.

No Brasil a técnica da reciclagem ainda apresenta-se de forma principiante, pois faltam regulamentação e ações que busquem incentivar a produção de bens recicláveis, principalmente os oriundos de embalagens, prejudica a implantação de projetos que visam à preservação, manutenção e recuperação de meio ambiente, porém esse cenário indica evolução. (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, [2017]).

Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, [2017]).

4.7 A atividade de extração dos agregados miúdos

A atividade de extração de agregados miúdos causa sérios danos ao meio ambiente, pois degradam margens dos rios que são dragados indiscriminadamente por empresas que comercializam areia sem a preocupação com os estragos deixados.

4.7.1 Reservas naturais

A degradação das reservas naturais como resultado da exploração de recursos naturais tem gerado resultados devastadores, uma vez que, ao tornar-se improdutiva, a reserva passa a ser ocupada com prática de outras atividades, ou são transformadas em loteamentos nos quais a indústria da construção civil ergue novas edificações. Este fato faz com que novas áreas sejam exploradas sem qualquer planejamento no que concerne à sua preservação e/ou manutenção (CANELLAS, 2005).

No caso da extração de areia, mesmo o Brasil sendo rico em recursos hídricos, devido à quantidade de rios que cortam o país, estes acabam sendo açoreados trazendo prejuízos as populações ribeirinhas e a fauna e flora no seu entorno.

4.7.2 O processo de extração

O processo de extração de areia no Brasil é feito em 90% nos rios por meio de cavas, onde de acordo com Canellas (2005) são utilizados os seguintes métodos:

Extração em cava submersa: estes depósitos são diferenciados dos demais por não estarem nos leitos, porém nas planícies de inundação dos corpos d'água;

Extração mecanizada em leito de rio: dragagem dos sedimentos do leito dos rios, por sucção;

Extração manual em leito de rio: em coluna d'água pouco profunda, retirada com pás e depositada em caixas de madeira.

Nos locais onde é feita a extração de areia, forma-se lagos profundos e irregulares e, em outros se verifica o açoreamento dos rios transformando estes em pequenos córregos, como é possível visualizar na FIG 8.

Figura 8 – Visão do Córrego Água do Sobrado



Fonte: BAIRROS, 2014.

Na FIG. 9 é apresentado os detalhes da extração de areia.

Figura 9 - Detalhes da extração de areia



Fonte: JUNE, 2015.

4.7.3 Impacto ambiental

O importante de se reciclar, especialmente o PET, é que essa ação contribui de forma extremamente significativa para minimização do impacto ambiental sofrido pelo descarte incorreto do lixo (MOURA, 2015).

Segundo PIMENTEL (2011), os resíduos sólidos, na maioria das vezes são rejeitados em aterros sanitários ou lixões, assim representando um enorme desperdício de energia e matéria-prima, resultando em problemas ambientais que aumentam com a falta de gestão ambiental. Sendo assim, a adoção de práticas sustentáveis transforma-se em instrumento essencial para um meio ambiente equilibrado.

4.8 Agregados

A A.S.T.M. (*American Society for Testing Materials*) define agregados como “Materiais minerais inertes que podem ser aglutinados por um ligante, para formar argamassas, concretos, *mastics*, etc”.

4.8.1 Caracterização dos agregados

Segundo Coutinho (1999) os agregados tem várias origens, como natural, as areias, o agregados artificiais que são obtidos através de britagem de materiais naturais como as britas e areias britadas.

Os agregados são materiais sólidos inertes, que de acordo com a granulometria adequada, são utilizados para a fabricação de produtos artificiais resistentes com as mistura de materiais aglomerantes, também se enquadram em materiais rochosos. (TSUCHIYA; VALVERDE, 2009)

Os agregados podem ser classificados segundo a natureza, tamanhos e distribuição dos grãos (QUADRO 3).

Quadro 3 - Classificação dos agregados

Agregados	Quanto à natureza	Agregado natural
		Agregado artificial
	Quanto a tamanho	Agregado graúdo
		Agregado miúdo
		Agregado de enchimento
	Quanto a graduação	Denso
		Aberto
		Tipo macadame

Fonte: Bernucci, 2006.

Os agregados são materiais granulares, de dimensões adequadas para o uso na engenharia, eles podem ser utilizados para argamassas e concretos, base para pavimentação, drenos, lastros de rodovias, gabiões entre outras. (JÚNIOR, 2013)

A composição granulométrica ou granulometria de um agregado miúdo é a proporção relativa, expressa de forma percentual, dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem uma determinada amostra. A norma brasileira NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica – estabelece a metodologia de estudo da granulometria dos agregados. A NBR NM-ISO 3310-1 e 3310-2 – Peneiras de ensaio – Requisitos, define um conjunto de peneiras sucessivas denominadas série normal e intermediária, com aberturas de malhas.

4.8.2 Características físicas e mecânicas dos agregados

Os agregados miúdos, como a areia, são provenientes de rochas e, pode possuir granulometria variando de 0,05 a 5 milímetros, atendendo às normas da ABNT. Apesar de praticamente todas as rochas poderem ser transformadas em areia, aquelas que possuem maior teor de quartzo são consideradas ideais e, as areias compostas por este material são amplamente distribuídas em toda a crosta terrestre (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2005).

As areias também possuem uso específico e este depende de sua granulometria, assim, aquelas que possuem maior concentração de sílica são comumente usadas em indústrias de siderurgia. Já as que possuem baixo teor de ferro, são utilizadas para fabricar vidros, cerâmicas e vidros refratários. As areias grossas, com maiores impurezas, são utilizadas na construção civil e as mais finas como elementos abrasivos (OLIVEIRA; BRITO 2002).

De acordo com o Ministério das Minas e Energia (2005, p. 2) as propriedades dos agregados são:

Mineralogia, Alteração e Impurezas: minerais essenciais: devem ter resistência mecânica, durabilidade, reagirem bem com o cimento e serem abundantes na natureza. Substâncias deletéria (especialmente para concreto): torrões de argila, siltito e partículas friáveis (1 a 3%; material pulverulento (1%); minerais de fácil decomposição: óxidos, sulfetos e micas, fragmentos. Ferromagnesianos, feldspato; minerais que regem mal com o cimento; calcedônia, pirita, gipsita, minerais alcalinos; matéria orgânica (0,5 a 1%), salinidade (sais solúveis)

Granulometria, forma e Textura: boa distribuição granulométrica e formas arredondadas determinam baixa porosidade, menor consumo de cimento, melhores características mecânicas e durabilidade do concreto, maior fluidez e economicidade. Textura superficial áspera melhora a aderência do cimento

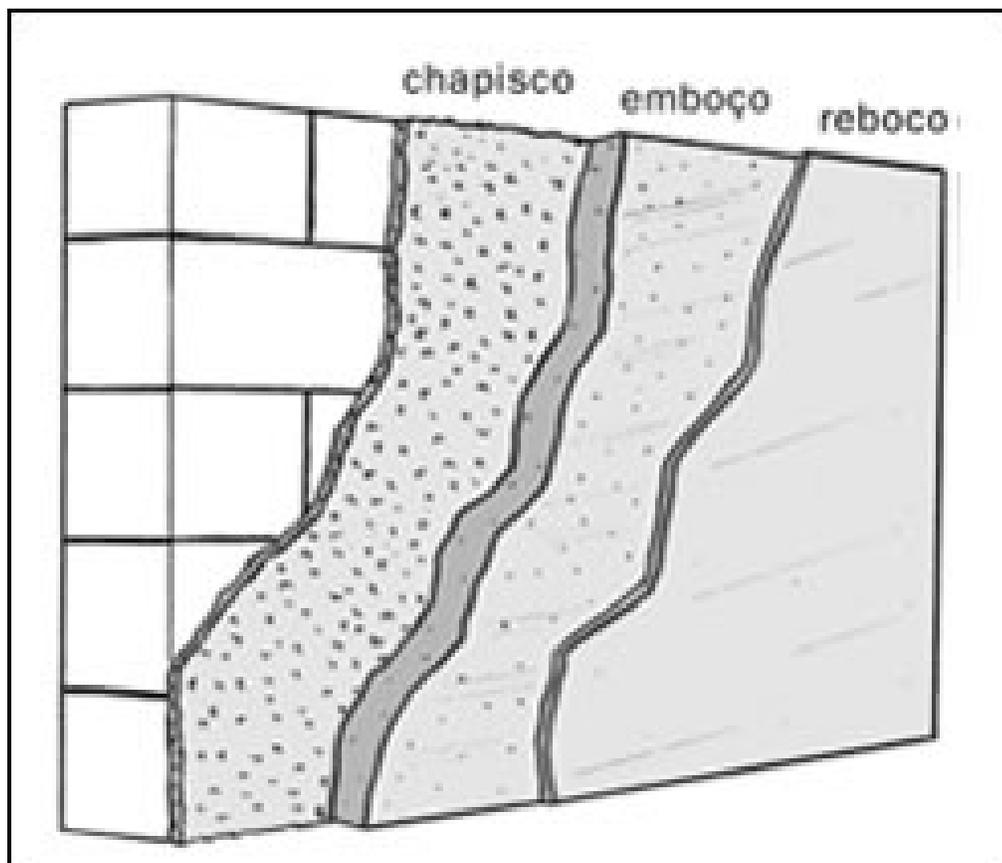
4.9 Argamassas

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013) o termo argamassa pode ser definido como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, podendo conter ou não aditivos, tendo propriedades de aderência e endurecimento. Ainda a NBR 13529 (ABNT, 2013) define termos que envolvem revestimento a base de cimento e cal, ou ambos, quanto ao campo de sua aplicação.

Os revestimentos de argamassa a partir dos anos de 1990 passaram a ser amplamente usados no Brasil e podem ter sua composição variando de acordo com sua função e utilidade. Assim, a argamassa pode ser utilizada como reboco ou

apenas servirem de chapisco para a proteção de paredes externas. A FIG. 10 ilustra os sistemas de vedação e revestimentos feitos com argamassa.

Figura 10 – Sistema de vedação



Fonte: FIORITO, 1994.

Bueno (2000) conclui que as argamassas são arranjadas a partir da mistura de um ou mais aglomerantes com água e materiais inertes, onde tais materiais têm como função a diminuição e retração, melhorar a trabalhabilidade e a secagem e baixar o custo.

4.9.1 Características gerais

As argamassas constituem um tipo de material utilizado na construção civil capaz de se adequar às mais diversas situações e tipo de usabilidade. Este fato a torna um material amplamente utilizado nas edificações, como poderá ser observado a seguir.

As argamassas possuem como principal característica a possibilidade de serem aplicadas nas mais diversas superfícies, além de poder ser utilizada no assentamento de tijolos, azulejos ou ainda para fazer reparos, rebocos e emboço. Araújo (2011, p. 16) cita que conforme o disposto na NBR 13749 (ABNT, 2013), os revestimentos de argamassa devem apresentar a capacidade de atender aos seguintes pré-requisitos:

- a) Compatibilidade com o tipo de acabamento decorativo (pintura, papel de parede, revestimento cerâmico e outros);
- b) A partir da base, as camadas devem apresentar resistência mecânica decrescente ou uniforme, preservando sua durabilidade ou acabamento final;
- c) Ser constituído por uma ou mais camadas superpostas de argamassas contínuas e uniformes;
- d) Ao ser utilizado como revestimento externo de argamassa aparente, sem pintura e base porosa, deverá ter propriedade hidrofugante. Uma pintura específica para este fim deverá ser realizada caso a argamassa não apresente tal propriedade;
- e) Para revestimentos externos em contato com o solo, deverá ter característica impermeabilizante;
- f) Ainda para uso externo, deverá resistir às ações de variações de temperatura e umidade do meio.

Diante das características das argamassas, percebe-se que elas podem ser utilizadas desde o assentamento de tijolos ou azulejos até o acabamento de paredes e tetos. Ressalta-se que sua popularidade dentro do setor da construção civil está ligada ao fato de ser um material de fácil acesso, podendo ser encontrado em casas de material de construção e não necessita de mão-de-obra especializada para realizar sua aplicação, como no caso dos revestimentos em gesso.

A NBR 13749 (ABNT, 1996) prescreve que o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas.

A NBR 7200 (ABNT, 1998) especifica que as bases de revestimentos devem atender às exigências de prumo e nivelamento fixados nas normas de alvenaria e estrutura de concreto.

Quando a base for composta por diferentes materiais e for submetida a esforços que gerem deformações como, balanços, platibandas e últimos pavimentos, deve-se utilizar tela metálica, plástica ou de outro material semelhante na junção destes materiais, criando uma zona capaz de suportar as movimentações diferenciais a que estará sujeita. Alternativamente, pode ser especificada a

execução de uma junta que separe o revestimento aplicado sobre os dois materiais, permitindo que cada parte se movimente separadamente.

4.9.2 Materiais constituintes

As argamassas convencionais são constituídas por cimento e areia e são mais resistentes do que as argamassas mistas. Algumas características como a textura do cimento utilizado possuem grande relevância, pois quanto mais fino for o cimento, maior será a trabalhabilidade da argamassa.

4.9.3 Método de dosagem

É importante ressaltar que a argamassa não possui um sistema padrão que determine sua composição, pois esta é dosada em função do tipo de obra a ser realizada.

A composição e dosagem dos elementos que compõem a argamassa são destacadas (QUADRO 4).

Quadro 4 - Aspectos considerados na composição da argamassa

Materiais	Aspectos a serem considerados na composição e dosagem
Cimento	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de cimento (características) e classe de resistência • Disponibilidade e custo • Comportamento da argamassa produzida com o cimento
Cal	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de cal (características) • Forma de produção • Massa unitária • Disponibilidade e custo • Comportamento da argamassa produzida com a cal
Areia	<ul style="list-style-type: none"> • Composição mineralógica e granulométrica • Dimensões do agregado • Forma e rugosidade superficial dos grãos • Massa unitária • Inchamento • Comportamento da argamassa produzida com a areia • Manutenção das características da areia
Água	<ul style="list-style-type: none"> • Características dos componentes da água, quando essa não for potável.
Aditivos	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de aditivos acrescentados à argamassa no momento da mistura ou da argamassa aditivada

Continuação do Quadro 5 - Aspectos considerados na composição da argamassa

Aditivos	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de aditivo (características) • Finalidade • Disponibilidade e custo • Comportamento da argamassa produzida com o aditivo
Adições	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de adição (características) • Finalidade • Comportamento da argamassa produzida com a adição • Disponibilidade, manutenção das características e custo

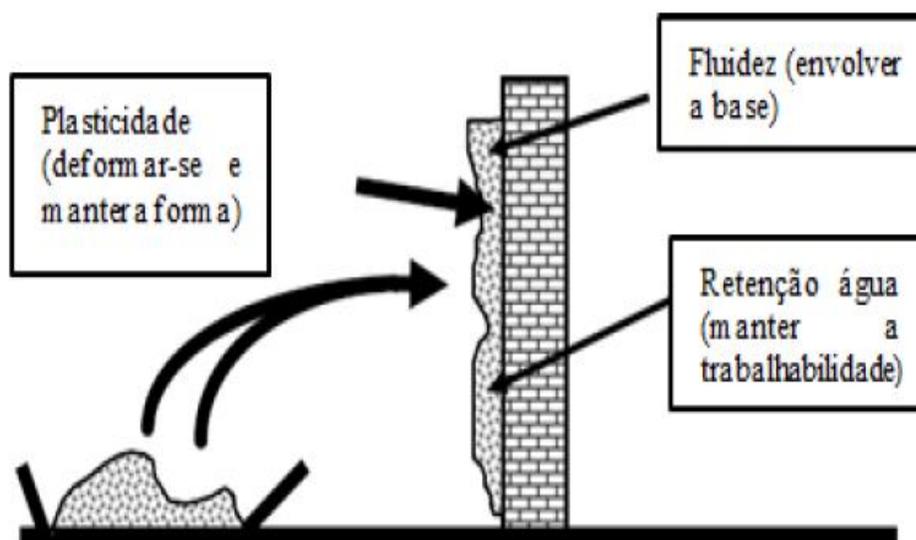
Fonte: Abreu (2012)

4.9.4 Propriedades físicas e mecânicas

As argamassas utilizadas para revestimentos possuem algumas propriedades que tornam seu manuseio mais fácil e geram resultados satisfatórios, os quais são: consistência e plasticidade; trabalhabilidade e resistência mecânica.

Neste sentido, Jochem (2012) destaca que as argamassas apresentam algumas particularidades como a capacidade de se deformar no momento da aplicação para melhor se adaptar às mais diversas superfícies; fluidez para absorver e se incorporar aos pisos mesmo quando estes apresentam deformações e capacidade de reter umidade para facilitar seu manuseio durante a aplicação, conforme podem ser observada na FIG. 11 que ilustra as propriedades ideais da argamassa para aplicação.

Figura 11 - Condições de aplicações das argamassas



Fonte: Jochem (2012)

As condições de aplicação das argamassas deixam claro que, para um sistema de revestimento pode atender aos requisitos que lhe são imprimidos, fatores como: aderência, plasticidade, consistência e trabalhabilidade e permeabilidade à água são imprescindíveis para produzir resultados satisfatórios.

4.9.4.1 Estado fresco

A trabalhabilidade é uma propriedade da argamassa confere consistência exata para que o pedreiro realize sua aplicação de modo que esta não seja aderida à colher, nem possa ser fluída a ponto de permitir que os instrumentos utilizados na sua aplicação a penetrem com facilidade (ARAÚJO, 2011).

4.9.4.2 Estado endurecido

Segundo Jochem (2012) a resistência mecânica das argamassas apresentam variações em função do local em que ela será aplicada. No caso da aplicação em pisos, esta deverá ser capaz de suportar a movimentação sobre sua base e estar apta a responder positivamente a lavagens e umidade presente no solo e ainda apresentar variação dimensional discreta para evitar deformidades ao se dilatar devido ao aumento de temperatura.

Para Silva (2007), falha na resistência mecânica pode originar fissuras ou problemas na aderência das camadas de argamassa. Apesar desta não ser uma propriedade considerada fundamental, ela deve ser observado com critério, pois pode interferir na qualidade de outras propriedades e na durabilidade do revestimento. Neste sentido, a resistência mecânica é uma é responsável pela durabilidade do revestimento uma vez que a elaboração da argamassa deve ser feita de modo que possa atender às necessidades e demandas do local onde ela será aplicada.

4.10 Cimento, cal e areia

A procura por segurança e durabilidade para as edificações conduziu o homem à experimentação de diversos materiais aglomerantes. A fabricação de

cimento era conhecida desde os romanos, há 2000 anos, eles chamavam esses materiais de “caementum”, mas esta arte foi perdida durante o período negro da idade média, até ser redescoberto industrialmente na virada do século passado. Segundo BUENO (2000, p. 3)

Cimento é um material pulverulento (pó) de cor acinzentada, resultante da calcinação de pedras calcárias carbonatadas contendo entre 20 a 40% de argila. Então, cimento é o nome dado a materiais pulverulentos que, ao serem misturados com água formam uma pasta que pode ser facilmente moldada, endurecendo gradativamente até produzir uma massa compacta e de grande dureza.

O cimento é fabricado pela mistura de calcário e argila, juntos fornecem os componentes básicos para a produção, quais sejam o carbonato de cálcio CaCO_3 , a sílica SiO_2 , e os óxidos de ferro e alumínio Fe_2O_3 , Al_2O_3 respectivamente. Entretanto, são necessárias frequentemente a adição de bauxita e minério de ferro, que contém os mesmos componentes químicos básicos com o objetivo de corrigir alguma desproporção na composição da mistura denominada cru.

A matéria prima é extraída das minas, britada e misturada nas proporções corretas. Esta mistura é colocada em um moinho de matéria prima (moinho de cru) e posteriormente cozida em um forno rotativo a temperatura de 1450 °C. Após essa etapa a mistura cozida sofre uma série de reações químicas complexas deixando o forno na forma denominada clínquer.

Finalmente o clínquer é reduzido a pó em um moinho (moinho de cimento) juntamente com 3-4% de gesso além de outros compostos denominados adições, estes são assim chamados, pois não fazem parte da constituição básica para o cimento mas têm um papel de enriquecer a mistura tornando-a mais resistente e assim definem o tipo do cimento. Geralmente as adições são compostas por calcário, escória, pozolana entre outros.

Dentre os mais diversos produtos advindos de fontes minerais, a cal é, sem dúvida, um dos de maior expressão no mercado, em termos de volume consumido e aplicabilidade. A cal é produzida a partir da decomposição térmica dos carbonatos de cálcio e de magnésio obtidos de depósitos de calcário. Sua composição depende da origem da rocha calcária empregada, tendo, como característica geral, o óxido de cálcio (CaO) como componente majoritário (SOARES, 2007)

A cal participa diariamente de nossa vida, de nossas construções, dos produtos químicos e agrícolas. As atividades e a salubridade das indústrias dependem dela em grande parte, de forma que pode ser considerado um dos mais importantes produtos químicos inorgânicos. O volume de consumo da cal pode ser considerado como índice de desenvolvimento de um Estado (GUIMARÃES; 1998).

Cal é um produto que se obtém com a calcinação, à temperatura elevada de pedras calcárias. Essa calcinação se faz entre outras formas, em fornos intermitentes, construídos com alvenaria de tijolos refratários. Há dois tipos de cal utilizadas em construções: hidratada e hidráulica (BUENO, 2000, p. 4).

Pela multiplicidade de suas aplicações a cal – virgem e hidratada – está entre os dez produtos de origem mineral de maior consumo mundial. É empregada como reagente no processo do sulfito, de fabricação do papel, do aço de alta qualidade e do cimento, no abrandamento de águas, na recuperação da amônia formada como subproduto, na fabricação de sabão, de borracha, de vernizes, de refratários e de tijolos a sílica e cal. Assim sendo, a cal se destina aos mercados de metalurgia, siderurgia, construção civil, indústria química, agricultura, tratamento de água, tratamento de gás, papel e celulose entre outros (ABPC, 2008). Segundo a NBR 6453 (ASSOCIAÇÃO, 2003, p. 2).

Cal virgem é um produto obtido pela calcinação de carbonatos de cálcio e/ou magnésio, constituído essencialmente de uma mistura de óxido de cálcio e óxido de magnésio, ou ainda de uma mistura de óxido de cálcio, óxido de magnésio e hidróxido de cálcio.

Segundo a Lhoist (2014), com o passar do tempo, o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o óxido de cálcio (CaO) têm encontrado aplicações muito amplas, contudo sua pesquisa científica e tecnológica não sofreu grandes avanços. As primeiras pesquisas relacionadas ao CaCO_3 foram motivadas no contexto da produção do chamado cimento *Portland*. Entretanto, ainda são vastos os campos que requerem estudo, sejam com vistas na melhoria da qualidade do produto e ao atendimento das normas de legislação ambiental vigentes, sejam nas pesquisas de base ou mesmo de inovação tecnológica.

Segundo Bueno (2000) as areias que são usadas em concretos e argamassas, merecem alguns cuidados. Para o concreto, a areia a ser utilizada, deve ser a de rio, ou seja, a lavada, sobretudo para o concreto armado, tendo

características como grãos grandes e angulosos (areia grossa), limpa, esfregada na mão e deve ser sonora e não fazer poeira e nem sujar a mão. Ele ainda afirma que é necessário analisar também a umidade, pois, quanto maior a umidade destas, menor será o seu peso específico.

Segundo o site Brasil Arquitetura (2017), a areia é dividida entre fina, média e grossa. A areia fina possui grãos de 0,05 a 0,42 mm - utilizada em acabamentos e pinturas; a areia média com grãos entre 0,42 a 2 mm - são usadas na preparação de massa e assentamento de tijolos; e a areia grossa tem diâmetro entre 2 a 4 mm - usada para preparar o concreto. No concreto pode usar areia grossa, média ou fina. Porém, areias finas podem conter um teor excessivo de outros compostos, o que pode causar sérios danos à qualidade do concreto. Já em relação a coloração da areia, ela pode ser branca, avermelhada ou amarelada. O fato, em si, não é importante e diz respeito apenas ao tipo da rocha mãe. É preciso apenas observar se a cor não está vinda de impurezas como, por exemplo, excesso de solo. Para argamassa de assentamento de tijolos, usa-se areia grossa ou média.

5 MATERIAL E MÉTODO

O presente estudo trata-se de um estudo de caso, com base em consultas a livros, artigos científicos, periódicos, revistas técnicas, teses e dissertações, encontradas na Biblioteca Ângela Vaz Leão do Centro Universitário de Formiga/MG e em plataformas online de pesquisa de estudos acadêmicos.

Além de também tratar da realização de ensaios técnicos para a verificação da possibilidade em se substituir o pó de PET no lugar da areia fina em argamassas, sendo este o objetivo principal do trabalho.

Para alcance do objetivo proposto, foram realizados os seguintes ensaios técnicos o de classificação granulométrica, de consistência e de compressão e execução de alvenaria com argamassa convencional e com substituição de pó de PET. Para os experimentos foram usados os seguintes materiais e métodos, conforme especificados a seguir.

5.1 Materiais empregados

Para a realização dos ensaios foram empregados os materiais, como pó de PET, cimento, areia, tijolos cerâmicos, no qual são apresentados detalhadamente, a seguir.

5.1.1 Pó de PET

O processo da trituração do PET se dá através da reciclagem do plástico, sendo que a empresa tem como principais fornecedores no Brasil os estados de Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Distrito Federal, Mato Grosso, Tocantins, Pará, Amapá.

Foi utilizado um pó de PET, como apresenta a FIG. 12, triturado em uma empresa localizada em Bom Despacho - MG.

Figura 12 - Pó de PET



Fonte: O autor (2017).

Após a reciclagem tem-se o segundo processo que é caracterizado pela coleta seletiva manual a fim de separar os rótulos das embalagens, onde as mesmas são utilizadas para fazer os *flakes* e o pó de PET. Os rótulos, depois de triturados, são destinados para empresas de fabricação de corda.

Após o processo da coleta seletiva manual, as embalagens passam por um equipamento que faz a lavagem das embalagens para tirar qualquer tipo de resíduos ainda encontrados nela. Em sequência o material passa pelo processo de decantação para separar o material que será triturado. Por fim, há trituração e secagem do PET.

5.1.2 Cimento

O cimento utilizado para a moldagem dos corpos de prova, dos ensaios de consistência e compressão, foi o CII – 32 F (Cimento *Portland* com adição de Filler) (FIG.13).

Figura 13 - Cimento CII - 32 F



Fonte: O autor (2017).

5.1.3 Areia

A areia considerada nos ensaios foi a areia média como demonstra a FIG. 14, com uma granulometria de no máximo 1,2 mm.

Figura 14 - Areia média

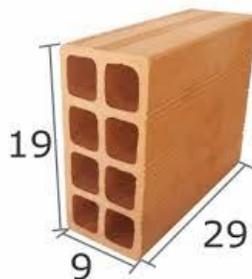


Fonte: Lemos (2017).

5.1.4 Tijolos cerâmicos

Os tijolos cerâmicos utilizados para o assentamento são de dimensão de 9 x 19 x 29 (FIG.15).

Figura 15 - Tijolo cerâmico



Fonte: Miranda (2014).

5.2 Equipamentos

Neste tópico são apresentados os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios laboratoriais.

- Peneiras de aço e agitador de peneiras;
- Formas prismáticas de madeira nas dimensões de 4 cm de altura, 4 cm de largura e 16 cm de comprimento;
- Balança de precisão para pesagem dos materiais;
- Recipiente para amassamento manual da argamassa;
- Soquete;
- Espátula;
- Máquina de compressão universal;
- Balança de precisão para pesagem dos materiais;
- Molde tronco cônico;
- Misturador mecânico;
- Paquímetro.

5.3 Métodos

Visando atender os objetivos propostos, foram utilizados os seguintes métodos para a realização do presente trabalho, como a caracterização do agregado miúdo, determinação do índice de consistência, e também a determinação da resistência à compressão.

5.3.1 Caracterização do agregado miúdo

A composição granulométrica da areia e do pó de PET foi determinada através da NBR 7217 (ABNT, 1987), onde as peneiras foram encaixadas formando um único conjunto em cima do agitador mecânico.

Após a determinação foi feita a pesagem de uma quantidade de 500 gramas de cada uma das amostras, seguindo os parâmetros da TABELA 1 abaixo, onde a dimensão máxima característica dos agregados foram menores que 4,8 mm.

Tabela 1 – Massa mínima por amostra de ensaio

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,8	0,5
6,3	3
> 9,5 e < 25	5 e < 25
32 e 38	10
50	20
64 e 76	30

Fonte: NBR 7217

Depois foram colocadas em porções separadamente sob a parte superior do conjunto de peneiras de aço. As malhas das peneiras utilizadas foram de 2.00mm, 8.50mm, 150 μ m, 180 μ m, 300 μ m, 425 μ m. As mesmas foram agitadas por 3 minutos para a areia e 5 minutos para o PET, onde ocorreu a separação e classificação granulométrica de cada peneira.

Após a agitação mecânica, as peneiras foram destacadas e a peneira superior foi agitada manualmente em movimentos laterais e circulares por um minuto e logo foi feita a remoção do material.

Para a remoção do material retido foi utilizada uma escova para limpar uniformemente as peneiras e em seguida foi pesado à porção retida na mesma.

5.3.2 Determinação do índice de consistência

A determinação do índice de consistência foi dada pela NBR13276 (ABNT, 2002), onde foi usada a argamassa fresca a base de cimento. Primeiramente teve a preparação da argamassa, como se apresenta na FIG. 16, preencheu em três camadas o tronco-cônico centralizado em cima de uma bandeja de alumínio, aplicando respectivamente golpes de 15, 10 e 5, de modo a distribuí-las uniformemente.

Figura 16 – Preparação da argamassa



Fonte: O autor (2017).

Após este processo foi acionada a mesa vibratória por 30 segundos, em seguida retirou-se o molde do tronco cônico e mediu-se o espalhamento da argamassa de três lados (FIG. 17).

Figura 17 – Espalhamento da argamassa



Fonte: O autor (2017).

5.3.3 Determinação da resistência a compressão

Para se determinar a resistência a compressão, foi moldados os corpos de prova, conforme a NBR13279 (ABNT, 2005), os mesmos foram preenchidos com a argamassa em seu estado fresco, onde substituiu-se a areia, por garrafa PET, os principais componentes do corpo de prova foram cimento, areia, água, o pó de PET, na TABELA 2, apresenta-se a quantidade de cada material que foi utilizado para a composição de cada traço para as amostras do corpo de prova.

Tabela 2 - Traço do corpo de prova

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Pet (kg)	Água (ml)
T1 – Argamassa Convencional	0,378	1,134	0	1,243
T1 - 25 % PET	0,378	0,852	0,283	1,243
T1 - 45 % PET	0,378	0,624	0,51	1,243

Fonte: O autor (2017).

A FIG.18 apresenta os corpos de provas já preparados e aguardando a cura para poder rompê-los.

Figura 18 - Corpos de prova moldados



Fonte: O autor (2017).

A FIG.19 apresenta os corpos de provas curado e identificados para fazer o processo de rompimento.

Figura 19 - Corpo de prova para rompimento



Fonte: O autor (2017).

No processo de rompimento dos corpos de prova, eles foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão nas idades de 7, 14 e 28, a FIG. 20 demonstra um corpo de prova sendo rompido.

Figura 20 - Corpo de prova na prensa



Fonte: O autor (2017).

Na TABELA 3 é apresentado as exigências das resistências em MPa da argamassa, em que foram baseados as discussões dos resultados.

Tabela 3 - Exigências Mecânicas para argamassa

Características	Identificação	Limites	Métodos
Resistência à	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
compressão aos 28	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	NBR 13279
dias (MPa)	II	$> 8,0$	NBR 13279

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13281:2001.

5.3.4 Assentamento dos tijolos

Para assentar os tijolos foi preparada uma argamassa com o mesmo traço dos corpos de prova, porém, com um volume maior. Na TABELA 4 apresenta-se o traço desenvolvido para assentar os tijolos cerâmicos.

Tabela 4 - Traço da argamassa para assentamento

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Pet (kg)	Água (ml)
T1 - 0 % PET	1,243	3,729	0	1,243
T1 - 25 % PET	1,243	2,790	0,940	1,243
T1 - 45 % PET	1,243	2,049	1,680	1,243

Fonte: O autor (2017).

Após esse preparo da argamassa, utilizou-se uma colher de pedreiro e um nível para assentar os tijolos, cada parede tinham 6 tijolos cerâmicos e foram colocadas em cima de uma tábua quadrada de madeira.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item tem-se o objetivo de descrever os resultados do trabalho de aplicação dos resíduos de polietileno tereftalato (PET) como alternativa ao agregado miúdo natural em argamassas, destacando as suas particularidades, e também apresentando os resultados dos ensaios realizados com o pó de PET.

6.1 Classificação Granulométrica

Na TABELA 5 apresenta-se o peneiramento da amostra da areia, com o peso retido em cada malha e também a porcentagem.

Tabela 5 - Porcentagem de areia retida nas peneiras

Areia			
Peneira	Peso da amostra (g)	Peso retido (g)	Porcentagem
#2,0mm	500	3,4	0,68%
#8,50mm	500	89,2	17,84%
#425 µm	500	261,9	52,38%
#300 µm	500	82,5	16,50%
#180 µm	500	50	10,00%
#150 µm	500	2,1	0,42%
Passante	500	7,5	1,50%

Fonte: O autor (2017).

Na TABELA 6 apresenta-se o peneiramento da amostra do pó de PET, com o peso retido em cada malha, exibindo também a porcentagem que a retenção representa sobre o peso da amostra.

Tabela 6 - Porcentagem de pó de PET retida nas peneiras

PET			
Peneira	Peso da amostra	Peso retido	Porcentagem
#2,0mm	500	63,9	12,78%
#8,50mm	500	366	73,20%
#425 µm	500	48,7	9,74%
#300 µm	500	8,2	1,64%
#180 µm	500	3,8	0,76%
#150 µm	500	0,2	0,04%
Passante	500	0,4	0,08%

Fonte: O autor (2017).

Pode-se observar que nas TABELAS 5 e 6 que a peneira de 8,50 mm apresenta uma maior quantidade retida do agregado reciclado e a peneira de 425 μ m tem uma maior quantidade retida da areia. Tendo em vista esses dados apresentados, chega-se à conclusão de que a retenção do PET é maior do que a retenção da areia nas peneiras, logo, a granulometria do PET nesse ensaio foi considerada maior do que da areia.

6.2 Argamassa no estado fresco

A finalidade desse ensaio é ver a trabalhabilidade da argamassa no seu estado fresco. Em conformidade com a NBR 13276 (ABNT, 2002), a argamassa em seu estado fresco foi submetida ao ensaio de consistência para as três idades realizadas, R7, R14 e R28.

Para este trabalho fez-se a utilização do fator água/cimento, a cada uma medida de água é acrescida uma medida de cimento, de acordo com a norma o índice de consistência deve ser 255 mm \pm 10 mm.

Na TABELA 7 apresenta-se a moldagem na idade de R7.

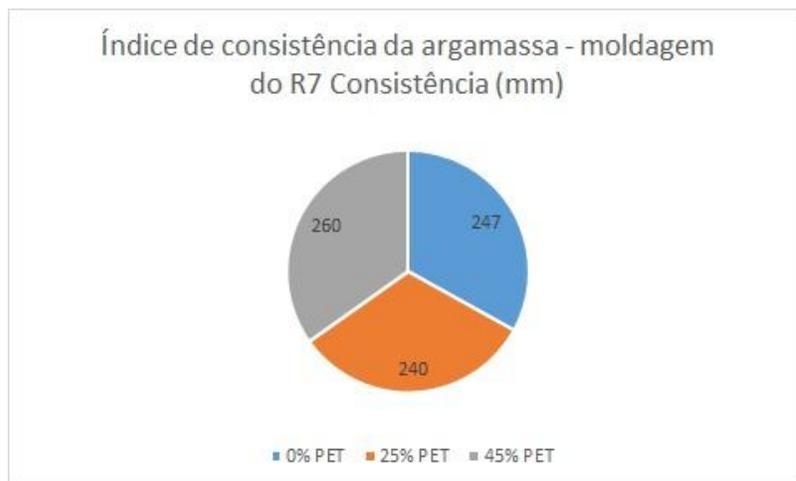
Tabela 7 - Índice de consistência da argamassa - moldagem do R7

Argamassa	Consistência (mm)	Relação água/cimento
Argamassa Convencional	247	1
25% PET	240	1
45% PET	260	1

Fonte: O autor (2017).

No GRAF. 1 mostra que a consistência da argamassa convencional é de 247 mm e a consistência da argamassa com 45% de PET foi de 260 mm, ambas estão dentro do padrão exigido pela NBR 13276 (ABNT,2002), portanto é possível notar que a trabalhabilidade da argamassa com uma fração mais elevada de PET é maior em relação a argamassa convencional. Já o traço com 25% de PET, sua consistência foi de 240 mm, não se enquadrando nos parâmetros exigidos pela norma.

Gráfico 1 – Índice de consistência – moldagem R7



Fonte: O autor (2017).

A TABELA 8 apresenta-se a moldagem na idade de R14, demonstrando a quantidade de pó de PET utilizada, e qual a consistência obtida, salientando que o fator água/cimento foi o mesmo para todas as idades.

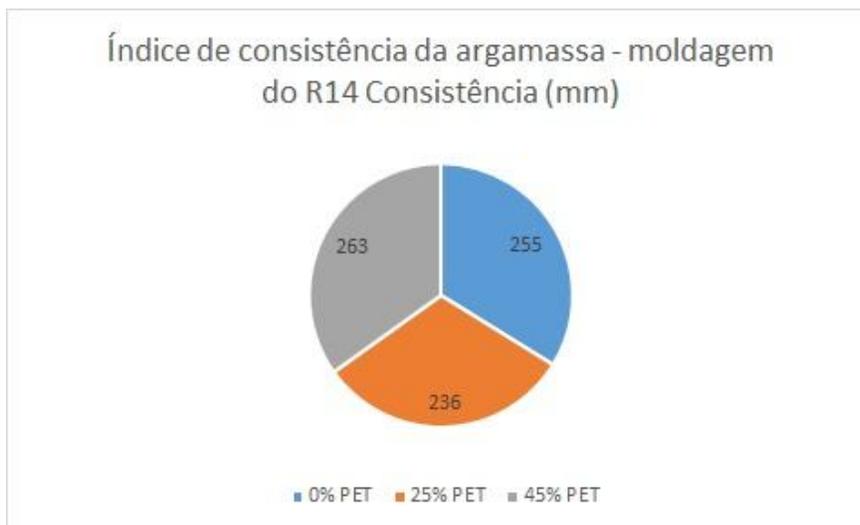
Tabela 8 - Índice de consistência da argamassa - moldagem do R14

Argamassa	Consistência (mm)	Relação água/cimento
0% PET	255	1
25% PET	236	1
45% PET	263	1

Fonte: O autor (2017).

No GRAF. 2 mostra que a consistência da argamassa convencional se apresenta exatamente conforme a norma exige e a argamassa com 45% de PET apresenta uma consistência de 263 mm, já a argamassa com 25% de PET permanece abaixo do valor exigido pela norma.

Gráfico 2 – Índice de consistência – moldagem R14



Fonte: O autor (2017).

A TABELA 9 apresenta-se a moldagem na idade de R28, demonstrando a quantidade de pó de PET utilizada.

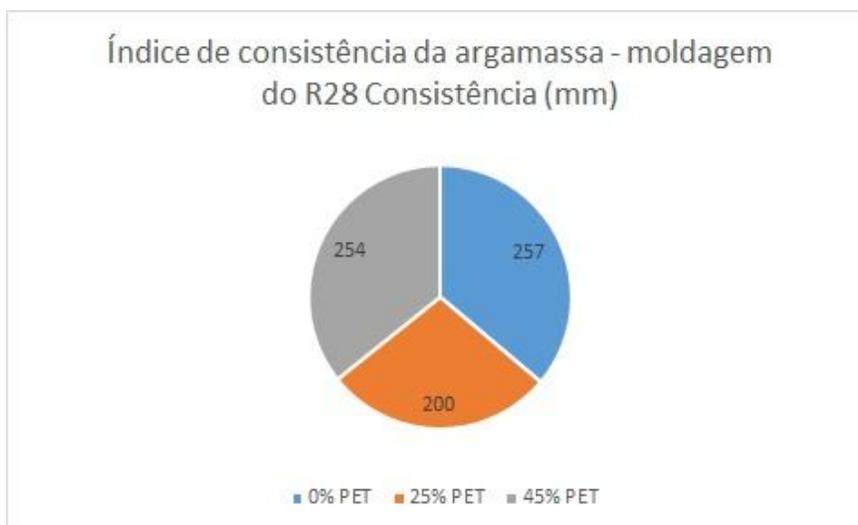
Tabela 9 - Índice de consistência da argamassa - moldagem do R28

Argamassa	Consistência (mm)	Relação água/cimento
0% PET	257	1
25% PET	200	1
45% PET	254	1

Fonte: O autor (2017).

No GRAF. 3 mostra que as consistências da argamassa convencional e da argamassa com 45% de PET estão dentro dos parâmetros demandados pela norma, porém o traço com 25% de PET, apresenta consistência fora dos parâmetros normativos.

Gráfico 3 – Índice de consistência – moldagem R28



Fonte: O autor (2017).

O fator água/cimento é a proporção de água que é utilizada em relação ao cimento, onde, quanto menor o valor dessa relação, maior será a resistência do concreto, menor vai ser sua permeabilidade e mais alta será sua durabilidade. Mas é importante destacar que quando se trabalha com excesso de água, esta tende a escoar da mistura levando consigo algumas propriedades do cimento e areia.

Nos ensaios realizados, pode-se observar os traços individualmente e analisá-los, assim podendo ressaltar que a argamassa convencional e a argamassa com a porção de 45% de PET em relação a areia, se enquadraram dentro dos padrões que a norma exige em todas as idades da argamassa, sendo R7, R14 e R28. A argamassa com a menor fração de PET (25%), em relação a areia, em todas as idades a sua consistência foi menor do que a norma exige, sendo assim, a sua trabalhabilidade foi menor, podendo sua resistência ser afetada.

6.3 Argamassa no estado endurecido

A argamassa no estado endurecido quer dizer que ela pode aglutinar os agregados, conferindo eles uma impermeabilidade, uma melhor resistência mecânica e também uma maior trabalhabilidade.

6.3.1 Moldagem dos Corpos de Prova (Cp)

Foram moldados corpos de prova prismáticos, em formas de madeira com quatro repartições, e dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm, segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005), preenchidos com argamassa de traço 1:3, que é o traço mais usual nas construções, e foi substituído a areia por PET nas porções de 25% e 45%. A FIG. 21 apresenta a preparação da argamassa comum.

Figura 21 - Argamassa comum



Fonte: O autor (2017).

A FIG. 22 apresenta a argamassa sendo preparada com a adição do pó de PET.

Figura 22 - Argamassa com PET



Fonte: O autor (2017).

Os ensaios foram realizados com a argamassa calculada pelo peso dos materiais. Nas amostras onde se utilizou o pó de PET, foi necessário corrigir o fator água/cimento, aumentando a água para se obter uma melhor plasticidade e trabalhabilidade da argamassa.

6.3.2 Cálculo do consumo de agregados

Para a realização do presente trabalho foi feito um cálculo de materiais que foram gastos, na TABELA 10 é apresentada a quantidade de material gasto para poder fabricar os corpos de prova com a adição do pó de PET.

Tabela 10 - Material gasto para fabricar os corpos de prova

Corpos de prova				
Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	PET (kg)	Água (ml)
T1 - 0 % PET	0,378	1,134	0	1,243
T1 - 25 % PET	0,378	0,852	0,283	1,243
T1 - 45 % PET	0,378	0,624	0,51	1,243

Fonte: O autor (2017).

Na TABELA 11 é apresentada o volume de material utilizado a fim de fabricar as paredes com o assentamento de argamassa.

Tabela 11 - Material gasto para o assentamento de tijolos

Assentamento dos tijolos				
Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	PET (kg)	Água (ml)
T1 - 0 % PET	1,243	3,729	0	1,243
T1 - 25 % PET	1,243	2,79	0,94	1,243
T1 - 45 % PET	1,243	2,049	1,68	1,243

Fonte: O autor (2017).

É importante ressaltar que houve um consumo moderado em relação ao material utilizado para fabricar os corpos de prova, para execução da parede de alvenaria houve o aumento na quantidade de material gasto devido as dimensões de a parede ser de 1x1x0,10 cm.

6.3.3 Ensaio de Compressão

Considerando a, argamassa em seu estado endurecido, realizou - se o ensaio de compressão axial, segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005). Para cada tempo de cura foram rompidos nove corpos de prova, sendo três para cada traço. Para se calcular o corpo de prova utiliza-se a seguinte expressão:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (1)$$

Onde:

Rc é a resistência á compressão em megapascal;

Fc é a carga máxima aplicada em newtons;

1600 é a área da seção.

Na TABELA 12, são apresentados os resultados do ensaio de compressão em Newtons.

Tabela 12 - Resultados da prensa de compressão

Resistência em 7 dias (R7)	Argamassa Convencional (Newtons)	25% de PET (Newtons)	45% de PET (Newtons)
CP1 (Corpo de Prova 1)	8686,2563	4652,1328	2606,6352
CP2 (Corpo de Prova 2)	8720,3789	4434,1230	2773,4598
CP3 (Corpo de Prova 2)	7537,4406	3816,1137	2547,8674
Resistência em 14 dias (R7)	Argamassa Convencional (Newtons)	25% de PET (Newtons)	45% de PET (Newtons)
CP1 (Corpo de Prova 1)	10011,6719	5744,0758	2843,6020
CP2 (Corpo de Prova 2)	6782,9383	4900,4738	3302,3695
CP3 (Corpo de Prova 2)	8210,4266	5063,5070	3266,3508

Continuação da Tabela 13 - Resultados da prensa de compressão

Resistência em 28 dias (R7)	Argamassa Convencional (Newtons)	25% de PET (Newtons)	45% de PET (Newtons)
CP1 (Corpo de Prova 1)	2064,4549	6362,0852	6775,3555
CP2 (Corpo de Prova 2)	2691,9432	5700,4738	2040,7125
CP3 (Corpo de Prova 2)	2034,1232		4166,8246

Fonte: O autor (2017)

Na TABELA 13 encontra-se o resultado do ensaio na idade de 7 dias da argamassa convencional e da argamassa dosada com 0% de PET.

Tabela 14 - Argamassa convencional - rompimento de 7 dias

Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	1,29
2	1,68
3	1,27
f_{ck-est}	1,41
Desvio Absoluto Máximo	0,18

Fonte: O autor (2017).

Observa-se no gráfico acima que a média das resistências foram baixas em comparação aos outros traços moldados para o rompimento em 7 dias. Esse resultado pode-se dar devido a fatores como golpes fracos no adensamento da argamassa nos corpos de prova ou na própria desmoldagem pode ter ocorrido uma pequena quebra no corpo de prova fazendo com que o mesmo perdesse resistência. Já o desvio absoluto, apresentou-se de acordo com a norma, não demandando a necessidade de se moldar novos corpos de prova.

Na TABELA 14 apresenta-se o resultado do ensaio com argamassa dosada com 25% de PET.

Tabela 15 - Argamassa com 25% de PET - rompimento 7 dias

Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	3,97
2	3,56
3	-
$f_{ck,est}$	3,76
Desvio Absoluto Máximo	0,21

Fonte: O autor (2017).

A resistência neste caso, foi feita a média com apenas 2 corpos de prova, devido à perda de 1 na desmoldagem, todavia os valores se apresentaram mais altos, se comparados a outros traços rompidos em 7 dias, e que por pequena diferença não se enquadraram na norma onde a resistência da argamassa de assentamento deve ser no mínimo de 4MPa.

Na TABELA 15 encontra-se o resultado do ensaio na idade de 7 dias da argamassa convencional e da argamassa dosada com 45% de PET.

Tabela 16 - Argamassa convencional com 45% de PET - rompimento 7 dias

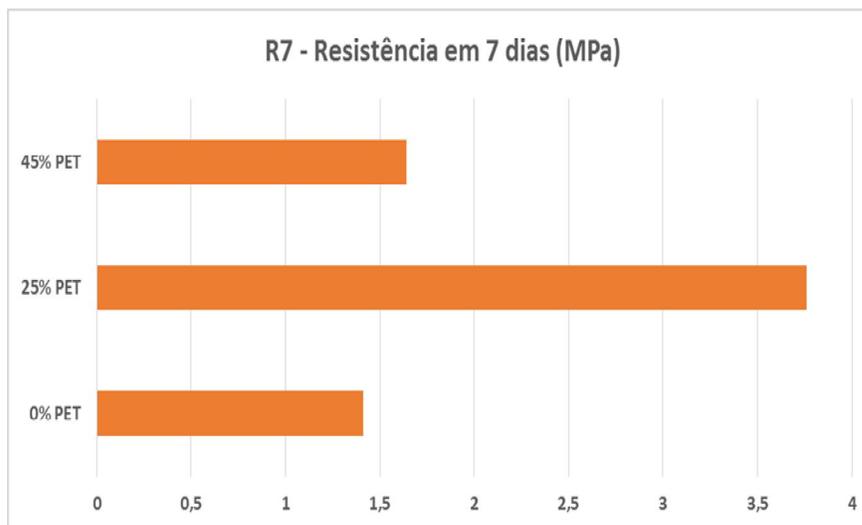
Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	1,62
2	1,73
3	1,59
$f_{ck,est}$	1,64
Desvio Absoluto Máximo	0,05

Fonte: O autor (2017).

A resistência aos 7 dias com 45% de PET em relação a areia, foi maior que a resistência da argamassa convencional.

No GRAF. 4 apresenta-se a resistência dos corpos de prova que foram rompidos em 7 dias

Gráfico 4– Resistência em 7 dias tensão (MPa)



Fonte: O autor (2017).

Neste gráfico é notável que a argamassa com 25% de PET obteve uma resistência superior aos outros traços.

Na TABELA 16 encontra-se o resultado do ensaio nas idades 14 dias da argamassa convencional.

Tabela 17 - Argamassa convencional - rompimento 14 dias

Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	6,20
2	5,40
3	5,10
f_{ck-est}	5,57
Desvio Absoluto Máximo	0,42

Fonte: O autor (2017).

A argamassa convencional com o rompimento em 14 dias gerou resultados melhores que o primeiro ensaio, sendo lógico, afinal quanto maior o tempo de cura, maior vai ser a sua resistência.

Na TABELA 17 encontra-se o resultado do ensaio com 25% de PET.

Tabela 18 - Argamassa convencional com 25% de PET - rompimento 14 dias

Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	3,59
2	3,10
3	3,16
$f_{ck.est}$	3,28
Desvio Absoluto Máximo	0,20

Fonte: O autor (2017).

A argamassa com 25% de PET ao ser rompida aos 14 dias de cura, permaneceu com valores próximos de 4MPa, não atingindo a resistência mínima pedida pela norma.

Na TABELA 18 encontra-se o resultado do ensaio na idade 14 dias da argamassa convencional e da argamassa dosada com 25% de PET.

Tabela 19 - Argamassa convencional com 45% de PET - rompimento

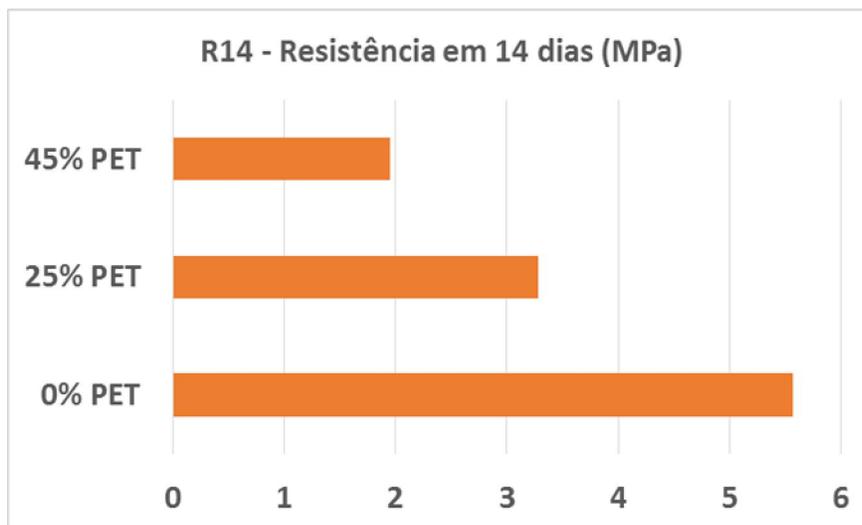
Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	1,77
2	2,06
3	2,04
$f_{ck.est}$	1,95
Desvio Absoluto Máximo	0,12

Fonte: O autor (2017).

A argamassa com 45 % de PET permaneceu com a resistência baixa, comparada a resultados anteriores.

No GRAF. 5 apresenta-se a resistência dos corpos de prova que foram rompidos em 14 dias.

Gráfico 5 - Resistência em 14 dias (MPa)



Fonte: O autor (2017).

No gráfico é notável verificar que a argamassa se comportou de modo que, quanto maior a fração de PET em relação a areia, menor foi a sua resistência, e que a argamassa convencional está respeitando a NBR 13281 (2001).

Na TABELA 19 encontra-se o resultado do ensaio na idade de 28 dias da argamassa convencional e da argamassa dosada com 0% de PET.

Tabela 20 - Argamassa convencional - rompimento 28 dias

Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	5,40
2	5,45
3	4,71
f_{ck-est}	5,18
Desvio Absoluto Máximo	0,34

Fonte: O autor (2017).

A resistência em 28 dias da argamassa convencional foi de 5,18 MPa, se apresentando de acordo com a norma e os seus valores foram maiores se comparados as resistências nas outras idades analisadas.

Na TABELA 20 encontra-se o resultado com 25% de PET.

Tabela 21 - Argamassa convencional com 25% de PET - rompimento 28 dias

Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	2,90
2	2,78
3	2,40
$f_{ck.est}$	2,66
Desvio Absoluto Máximo	0,21

Fonte: O autor (2017).

A argamassa com 25% de PET em 28 dias permanece baixa e com resultados não satisfatórios ao que a norma exige.

Na TABELA 21 apresenta-se o resultado do ensaio na idade de 28 dias da argamassa convencional dosada com 45% de PET.

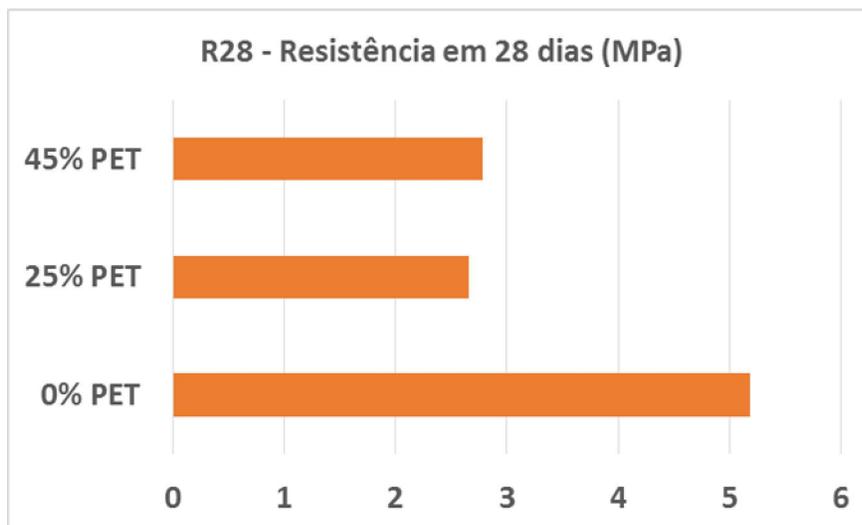
Tabela 22 - Argamassa convencional com 45% de PET - rompimento 28 dias

Corpos de Prova	Tensão (MPa)
1	3,23
2	2,52
3	2,60
$f_{ck.est}$	2,78
Desvio Absoluto Máximo	0,30

Fonte: O autor (2017).

No GRAF. 6 apresenta-se a resistência dos corpos de prova que foram rompidos em 28 dias.

Gráfico 6 - Resistência em 28 dias (MPa)



Fonte: O autor (2017).

Conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005) foram apresentados os resultados individuais, a média e o desvio absoluto máximo em cada idade. O desvio absoluto da compressão axial é a diferença da média e dos resultados individuais, sendo que tem que ser no máximo 0,5 MPa, caso ultrapasse esse valor, deve ser moldados novos corpos de prova. De acordo com os resultados obtidos, os desvios de todos os ensaios estão respeitando os padrões normativos.

Quanto a resistência, Segundo Parsekian (2012), assentamento em alvenarias estruturais, a argamassa deve apresentar uma resistência mínima de 4,0 MPa.

Os resultados apresentados nos gráficos acima, mostram que a argamassa convencional, com porcentagem nula de PET, se mostrou dentro da NBR 13281 (ABNT, 2001), a argamassa com uma porção de 25% de PET em relação a areia se apresentou com o menor valor de resistência aos 28 dias, tendo em vista que pode ser devido à baixa trabalhabilidade da argamassa no ensaio de consistência. Já a argamassa com a maior fração de PET (45%), apresentou resistência superior em relação a argamassa com menor fração de PET (25%), porém, nas outras idades ela os resultados foram menores. Foi possível observar também que nas idades de 7 e 14 dias a argamassa com adição de 25% de PET quase atingiu a resistência de 4 MPa, ou seja, acredita-se que se realizado outro ensaio com uma menor porcentagem de PET, pode-se obter a resistência mínima exigida.

6.4 Assentamento dos tijolos

A execução da alvenaria com os tijolos foi executada na data de 22/08/2017, e a argamassa foi preparada de acordo com o traço desenvolvido para os corpos de prova, mas em grande escala. Essa parte da pesquisa foi importante para analisar se os tijolos suportariam o peso próprio com a mistura do agregado reciclado PET na argamassa. Abaixo é apresentado as três fiadas de tijolos com os traços desenvolvidos conforme ensaios laboratoriais (FIG. 23).

Figura 23 – Assentamento da alvenaria



Fonte: O autor (2017).

Foi aguardado um tempo de 28 dias de cura para se tirar as conclusões, e após esse período de cura as três paredes permaneceram assentadas.

7 CONCLUSÕES

A utilização de materiais descartáveis na construção civil tem crescido progressivamente mostrando-se uma alternativa favorável para as grandes empresas que visam à redução dos impactos ambientais de fontes naturais não renováveis.

O presente trabalho foi realizado com o intuito de minimizar o consumo de areia nas construções civis, visando todo o impacto que a extração da mesma causa. Em paralelo, foi-se utilizado o agregado PET moído para substituir, em determinadas porcentagens, a areia. Gerando assim menos resíduos sólidos nos lixos e agregando o material em construções civis.

Do ponto de vista técnico, o uso do agregado PET na composição argamassa, apresentou um resultado mais baixo nos ensaios de compressão axial, em relação à argamassa convencional. Quanto a trabalhabilidade a argamassa com dosagem de 25% de PET em relação a areia apresentou-se fora dos padrões exigidos pela norma. Tais resultados se deram devido ao fato da plasticidade ser uma propriedade diretamente proporcional à porcentagem de aplicação de PET na argamassa, ou seja, a plasticidade aumenta, à medida que a porcentagem de PET também aumenta.

Considerando os ensaios de resistência a compressão, os corpos de provas das dosagens de 25% e 45% de PET se apresentaram menores que 4 MPa, estando em não conformidade com a NR13281, porém, pode-se perceber que, quanto mais se acrescentou o PET, menor foi a sua resistência em relação à argamassa convencional, exceto os corpos de prova com 28 dias. No índice de consistência dos ensaios da argamassa convencional, apresentou-se dentro dos padrões exigidos pela norma.

Relacionando os fatos expostos com o cunho econômico, é importante salientar que, infelizmente no Brasil, ainda é difícil encontrar locais onde haja reciclagem e reaproveitamento de resíduos sólidos na construção civil.

O preço do PET é de R\$ 1,00/Kg na região, já o da areia é de R\$ 0,045/Kg, mostrando como é expressiva a diferença de custo dos materiais, tornando-se então, até o momento, inviável economicamente a utilização do PET moído como agregado para argamassa, em substituição da areia.

REFERENCIAS

- AIRES, Luiz. **Garrafas PET: da produção ao descarte**. 2017. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/57-plastico/231-reciclagem-garrafas-pet.html>>. Acesso em: 30 abr. 2017.
- ALPAMBIENTAL. Reciclagem. Disponível em: <<http://alpambiental.com.br/reciclagem/>>. Acesso em: 02 ago.2017.
- ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado; JOHN, Vanderley Moacyr. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo: Pcc, [201-]. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248**: Agregados. Determinação da composição granulométrica, 2003. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/3970139/nbr-nm-248---determinacao-da-composicao-granulometrica>>. Acesso em: 15 maio 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3310-2**: Peneiras de ensaio (Requisitos técnicos e verificação – parte 2 – peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada. 1997. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/5250272/nbr-nm-iso-3310-2---1997---peneiras-de-ensaio-requisitos-tecnicos-e-verificacao->>. Acesso em: 15 maio 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6453**: cal virgem para construção civil: requisitos. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/nbr-06453-2003-cal-virgem-para-construc3a7c3a3o-civil.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: <http://www.academia.edu/20432662/NBR_7200_-_Execu%C3%A7%C3%A3o_de_revestimento_de_paredes_e_tetos_de_argamassas_inorg%C3%A2nicas_-_Procedimento_1>. Acesso em: 15 maio 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: agregados – determinação de composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-7.217-Determina%C3%A7%C3%A3o-da-composi%C3%A7%C3%A3o-granulom%C3%A9trica.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/5772930/nbr-13276---2002---argamassa--para-assentamento-e-revestimento-de-paredes-consis>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência

a tração na flexão e compressão. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/francyb/nbr-132792005argamassaparaassentamentoerevestimento-de-paredes-e-tetos-determinacaoda-resistencia-a-tracao-na-flexao-e-a-compressao>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. 2013. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/79028995/NBR-13529-Revestimento-de-Paredes-E-Tetos-de-Argamassas-Inorganic-As>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas especificação. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36083/nbr13749-revestimento-de-paredes-e-tetos-de-argamassas-inorganicas-especificacao>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:24**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.videverde.com.br/docs/NBR-n-10004-2004.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO. Cimento Portland. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>>. Acesso em 10 ago. 2017.

BRASIL Arquitetura, 2017. Disponível em: <<http://www.brasilarquitetura.com.br/materias/a-importancia-de-areia-e-pedra-na-construcao-civil-201>>. Acesso em: 2 mai. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DO PET. Reciclagem. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=68>>. Acesso em: 2 ago. 2017

BAIRROS. Prefeitura inaugura transposição sobre o Córrego Água do Sobrado neste sábado. Disponível em: <<http://www.jcnet.com.br/Bairros/2014/08/prefeitura-inaugura-transposicao-sobre-o-corrego-gua-do-sobrado-neste-sabado.html>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros/ – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504 f.: il.

BUENO, Carlos Frederico Hermeto. **Tecnologia de materiais de construções**. Viçosa: UFV, 2000. Disponível em: <http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_contrucao.pdf>. Acesso em: 12 maio 2017.

CALIXTO, J.B. Efficacy, safety, quality control, marketing and regulatory guidelines for herbal medicines (phytotherapeutic agents). Braz. J. Med. Biol. Res., v. 33, n. 2, p. 179- 189, 2000.

CÂNDIDO, Carla Valéria Lima et al. Plano de gerenciamento integrado de resíduos plásticos (PGIRP). Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009. 32 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/minas_sem_lixoos/2010/plstico.pdf>. Acesso em: 2 mai. 2017.

CANELLAS, Susan Sales. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. 2005. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia) -Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.nima.puc-rio.br/cursos/pdf/009_susan.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2017.

CARDOSO, Rosangela S. et al. **Uso de sad no apoio à decisão na destinação de resíduos plásticos e gestão de materiais**. Pesquisa Operacional, v.29, n.1, p.67-95, Janeiro a Abril de 2009. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/pope/v29n1/a04v29n1>>. Acesso em: 2 mai. 2017.

CAVALCANTI, J. E. A década de 90 é dos resíduos sólidos. **Revista saneamento ambiental**, n. 54, p. 16-24, nov./dez. 1998. Disponível em: <<http://riosvivos.org.br/a/Noticia/A+decada+de+90+e+dos+residuos+solidos/3223>>. Acesso em: 12 maio 2017.

CEMPRE: compromisso empresarial para a reciclagem. 2008. Disponível em: <www.cempre.org.br>. Acesso em: 29 abr. 2017.

COLAÇO, L. M. M., A Evolução da Sustentabilidade no Ambiente Construído Projeto e Materiais dos Edifícios. 2008. Tese apresentada na Universidade Portucalense para obtenção do grau de Doutor, Porto, 2008.

COUTINHO, Joana de Sousa. **Ciência de materiais**. [s.n.]: [s. l.], 1999. Disponível em: <http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/cienciadosmateriais/apontamentos/teorica_2002_2003/JSC_044a064.pdf>. Acesso em: 13 maio 2017.

CUCCATO, Guaciara Regina Soares Pinho. **A importância da reciclagem dos plásticos e a conscientização dos alunos do ensino médio**. Disponível em:<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4264/1/MD_ENSCIE_2014_2_38.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

FERREIRA, A.B.H. Novo Dicionário Aurélio. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995. 1499 p.

FERREIRA, A. C. S. **Contabilidade ambiental**: uma informação para o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Atlas, 2003.

FIORITO. Antônio J. S. I. Manual de argamassas e revestimentos. Ed. PNI. São Paulo. 1994.

FOGUAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Polietileno. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/polietileno.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

FORMIGONI, A. **Reciclagem de PET no Brasil**. 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Paulista, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/1200_1200_ARTIGO%20-%20RECICLAGEM%20DE%20PET%20NO%20BRASIL.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins. MARCONATO, José Carlos. **Polímeros Biodegradáveis, uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos**. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/244750748_Polimeros_biodegradaveis_-_uma_solucão_parcial_para_diminuir_a_quantidade_dos_residuos_plasticos>. Acesso em: 22 ago. 2017.

GIANSANTI, R. O desafio do desenvolvimento sustentável. 5. ed. São Paulo: Atual. 1998. p. 112

GOMES, Manuel Morato. Definição dos termos polímeros, elastômero e borracha. 2016. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/borrachas/borrachas.php>>. Acesso em 09. Jun. 2017.

GORNI, A. A. Introdução aos Plásticos. Revista plástico industrial, 2003. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/intropol.html>> Acesso em: 15/09/2014. LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. História e Epistemologia das Ciências, v. 11, n. 3, p. 324-330, 1993.

GUIMARÃES, Leonardo Eustáquio; TUBINO, Rejane Maria Candiota. **Ambientação térmica de casas de madeira utilizando paredes externas recheadas com argamassa contendo casca de arroz, resíduos de borracha (pneu) e garrafa pet triturada**. Florianópolis: ICTR, 2004. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ict/2004/ARQUIVOS%20PDF/14/14-061.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ITURAM. Cuidados com os pneus antes de viajar. 2017. Disponível em: <<https://www.ituran.com.br/blog/cuidados-pneus-estrada>>. Acesso em 15 jul. 2017.

JUNE. Dupla é presa por extração de areia em Caçapava. Disponível em: <<http://www2.ovale.com.br/dupla-e-presa-por-extrac-o-de-areia-em-cacapava-1.598482>>. Acesso em: 02 set. 2017.

JÚNIOR, José de Almeida Freitas. Materiais de Construção. Agregados. Ministério da Educação Universidade Federal do Paraná Setor de Tecnologia Departamento de Construção Civil. 2013. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031_Agregados_.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

JOCHEM, L. F. Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

KANTOVISCK. Adriano R. Melamina formaldeído. Disponível em: < http://plastiquarian.com/?page_id=14249>. Acesso em: 25 julh.2017

LHOIST. Disponível em: < http://www.lhoist.com/pt_br/quer-saber-mais-sobre>. Acesso em: 10 set. 2017.

MANCINI, Sandro Donnini; ZANIN, Maria. Recyclability of PET from virgin resin. **Mat. Res.**, São Carlos, v. 2, n. 1, p. 33-38, Jan. 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14391999000100006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 jun. 2017.

MELLO, A.L. **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa**. 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado), Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011. Disponível em <<http://www.meau.ufba.br/site/publicacoes/utilizacao-de-residuos-de-pead-como-alternativa-aos-agregados-naturais-em-argamassa>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA SECRETARIA-EXECUTIVA. Relatório de gestão do ministério de minas e energia exercício de 2005. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/10584/1290756/Relatxrio_de_Gestxo.pdf/4f317f61-083d-420b-ae71-397d9d798004>. Acesso: 19 jul. 2017.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. Química 3. 1. Ed. São Paulo: Scipione, 2010, p. 249, 252, 253.

MOURA, Renan Gomes de. Logística reversa das garrafas pet, sua reciclagem e a redução do impacto ambiental. In: XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2015. **Congresso...** Disponível em: <http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_612_0.pdf>. Acesso em: 3 mai. 2017.

MUSSUCATO, Felipe et al. **Análise das propriedades mecânica de materiais polímeros**. 2017. Disponível em: < <http://www.fem.unicamp.br/~assump/Projetos/2010/g5.pdf>> . Acesso em 15 set. 2017.

NANNI, Karina. Coleta seletiva ruim emperra setor de reciclagem de PET. 2011. Disponível em: < <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,coleta-seletiva-ruim-emperra-setor-de-reciclagem-de-pet-imp-,762865>>. Acesso: 3 mai. 2017.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Revinter, 2002.

PLASTIVIDA. 2013. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao_IRMP_2012.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2017.

PIMENTEL, Angélica K. dos S.; ARAÚJO, Kássia K. S. de; ROCHA, Marcela V.. **Coleta seletiva em uma empresa de limpeza urbana na cidade de Maceió**. Alagoas: Maceió, 2011. Disponível em: <<http://www.partes.com.br/socioambiental/coletaseletiva.asp>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

POZZOBON, Marcus Paulo. **Resíduos da construção civil**. Porto Alegre: Universidade Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/156512/001016392.pdf?sequencia=1>>. Acesso em 29 abr. 2017.

RAMOS, Marco Aurélio et al. **O gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil e de demolição no município de Belo Horizonte**. 2010. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/1676/1239>. Acesso em: 29 abr. 2017.

RECICLAGEM, de Garrafas PET. Disponível em: <<http://sustentabilidade.esobre.com/reciclagem-de-garrafas-pet>>. Acesso: 15 ago. 2017.

REVISTA TÉCHNE. Principais tipos de plásticos usados nos produtos e sistemas construtivos. Disponível em: <<http://cobec.com.br/principais-tipos-de-plasticos-usados-nos-produtos-e-sistemas-construtivos/>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

RODA, Daniel Tietz. Reciclagem de plásticos. 2011. Disponível em: <<http://www.tudosobreplasticos.com/reciclagem/reciclagem.asp>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-empresa-de-reciclagem,0f287a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em 22 ago. 2017.

SILVA, Armando F. **Manifestações Patológicas em Fachadas com Revestimentos Argamassados. Estudo de Caso em Edifícios em Florianópolis**. Florianópolis, 2007. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHALCH, Valdir et al. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA/Apostila_Gestao_e_Gerenciamento_de_RS_Schalch_et_al.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

SOARES, B. D. Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica. 2007. 383 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/568>. Acesso em 29 jul. 2017.

SOLOMONS, T.W. G. Química orgânica. 1. Ed. V.2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

SOUZA, J. A. Um foguete de garrafas PET. **A Física na Escola**, v. 8, n. 2, p. 4-11, 2007.

SPINACE, Márcia Aparecida da Silva. **A tecnologia da reciclagem de polímeros**. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000100014>. Acesso em 15 jun. 2017.

VALVERDE, Fernando M. TSUCHIYA, Osvaldo Yutaka. Agregados para a Construção Civil no Brasil Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado Federal. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.senado.leg.br/comissoes/ci/ap/AP20090511_fernandovalverde.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2017.