



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO MIUDO POR POLITERAFTALATO DE
ETILENO (PET) EM ARGAMASSAS**

Rayanne de Oliveira Silva

Orientadores: Carina Silvani
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Campina Grande-PB, 06/12/2019

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO MIUDO POR POLITERAFTALATO DE
ETILENO (PET) EM ARGAMASSAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 06/12/2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

RAYANNE DE OLIVEIRA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Campina Grande como requisito para
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Materiais de
Construção.

Orientadores: Carina Silvani
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro, 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo sustento, força e graça por ter conseguido chegar até aqui.

Aos meus pais, Rivel e Marceliane pelo apoio incondicional nas minhas decisões e palavras de motivação. Por eles, eu nunca desisti!

Agradeço a minha irmã Tayanne, que sempre acreditou no meu sucesso.

Ao meu namorado, pelo amor, paciência e incentivo dado a mim em todos os momentos difíceis que enfrentei durante o curso.

As minhas amigas de curso, Paula, Raabi, Luanna e Letícia que estiveram comigo durante todo o curso, caminhando juntas, dividindo as alegrias e os anseios.

As minhas amigas da vida, Ana Luisa, Marcela, Poemma, Tereza e Yomana por todo apoio e palavras de força que foram essenciais nessa caminhada.

Aos professores, pelos ensinamentos e momentos de dúvidas esclarecidas.

Um agradecimento especial também a turma de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, bem como todo o corpo docente de professores e funcionários, que em todo o momento me apoiaram e me ajudaram

A professora Ana Maria, pela paciência e perseverança na execução destes estudos.

À Instituição UFCG por ter proporcionado a concretização deste sonho.

Com gratidão, dedico este trabalho a
Deus. Devo a Ele tudo o que sou.

*“A persistência é o menor caminho
do êxito”.* (Charles Chaplin)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura química do PET.....	25
Figura 2: Fluxograma das etapas da pesquisa	30
Figura 3: Corpos de prova desmoldados	33
Figura 4: Curva granulométrica para o agregado miúdo natural	35
Figura 5: Curva granulométrica do PET	37
Figura 6: Absorção por imersão para incorporação de 5% de PET	39
Figura 7: Absorção por imersão para incorporação de 10% de PET	40
Figura 8: Índice de vazios para incorporação de 5% e 10% de PET	41
Figura 9: Massa específica real dos corpos de prova em estudo	42
Figura 10: Resistência à compressão simples para incorporação de 5% de PET	43
Figura 11: Resistência à compressão simples para incorporação de 10% de PET	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Traço em massa para um corpo de prova de argamassa	32
Tabela 2: Composição granulométrica do agregado miúdo	35
Tabela 3: Resultados da caracterização do agregado miúdo	36
Tabela 4: Composição granulométrica do resíduo de PET	37
Tabela 5: Resultados da caracterização do cimento	38
Tabela 6: Resultados da caracterização da cal	38
Tabela 7: Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos quanto a resistência à compressão	45

RESUMO

O Politereftalato de Etileno (PET) é um termoplástico largamente utilizado em todo o mundo para a fabricação de embalagens. O baixo custo de produção e consequente aperfeiçoamento de seu processo de fabricação, fez do PET um dos principais plásticos da atualidade. Para a produção de argamassas, a adição de polímeros melhora as propriedades reológicas, gerando maior resistência mecânica, melhoria das propriedades físicas e de estado, além de diminuir e/ou melhorar a disposição final desse produto sobre o meio ambiente. O objetivo principal deste trabalho é avaliar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por Politereftalato de etileno (PET) nos teores de 0, 5% e 10%. Foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 5cm x 10cm e determinou-se a absorção por imersão, índice de vazios, massa específica e a resistência a compressão simples para as idades de 7,14, e 28 dias. Os resultados mostram que houve um aumento na absorção de água, no índice de vazios e uma redução da massa específica dos corpos de provas incorporadas com PET quando comparados com a argamassa de referência. Para o ensaio mecânico de resistência a tração houve uma redução nos valores das argamassas modificadas com PET.

Palavras-chave: Construção civil, PET, argamassa.

ABSTRACT

Ethylene Polyterephthalate (PET) is a thermoplastic widely used worldwide for packaging manufacturing. The low cost of production and the consequent improvement of its manufacturing process has made PET one of the main plastics of today. For the production of mortars, the addition of polymers improves rheological properties, generating greater mechanical strength, improving physical and state properties, and reducing and / or improving the final disposal of this product on the environment. The main objective of this work is to evaluate the feasibility of partial replacement of the fine aggregate by Polyethylene Terephthalate (PET) in the contents of 0, 5% and 10%. Cylindrical samples were molded in the dimensions of 5cm x 10cm and the absorption by immersion, voids index, specific mass and the simple compressive strength for the ages of 7.14 and 28 days were determined. The results show that there was an increase in water absorption, voids index and a reduction in the specific mass of specimens incorporated with PET when compared to the reference mortar. For the tensile strength mechanical test there was a reduction in the values of the modified mortars with PET.

Key words: construction, PET, mortar.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Organização do trabalho de conclusão de curso.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Histórico	18
2.2 Materiais constituintes da argamassa	18
2.2.1 Cimento	18
2.2.2 Cal	19
2.2.3 Agregados	20
2.3 Classificação quanto a utilização	21
2.4 A Construção civil e os impactos ambientais	22
2.5 Pet	24
2.6 Reusos do PET	25
2.7 Aplicações Do plástico reciclado na construção civil	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Materiais	29
3.2 Metodologia	30
3.2.1 Caracterização física do agregado, cimento, cal e PET	30
3.2.2 Dosagem das argamassas	32
3.2.3 Moldagem dos corpos de prova	32
3.2.4 Determinação das propriedades físicas e mecânicas	33
3.2.4.1 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica	33
3.2.4.2 Resistência à compressão simples	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 Caracterização física dos materiais	35
4.1.1 Caracterização dos agregados miúdos	35
4.1.2 Caracterização do PET	37
4.1.3 Caracterização do cimento Portland	38

4.1.4 Caracterização da Cal	38
4.1.5 Determinação das propriedades físicas da argamassa em estudo.....	39
4.1.5.1 Determinação da absorção de água	39
4.1.5.2 Índice de vazios	41
4.1.5.3 Determinação da massa específica dos corpos de prova	42
4.1.6 Determinação das propriedades mecânicas	43
4.1.6.1 Determinação da resistência à compressão simples	43
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	46
5.1 Considerações finais	46
5.2 Sugestões para pesquisas futuras	47
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade de grande importância em todo mundo, estando ligada diretamente ao crescimento socioeconômico de um país. O crescimento acelerado da indústria da construção no Brasil é perceptível, e um dos principais motivos é o ingresso de programas de habitações de interesse sociais. Diante do grande volume de construções, a busca por matéria-prima torna-se cada vez mais crescente, o que resulta em uma maior preocupação com a disponibilidade desses recursos, assim como com a disposição final dos resíduos sólidos gerados.

A sociedade tem se mostrado cada vez mais preocupada com as questões ambientais e as atividades geradoras de impactos no meio ambiente. Os resíduos gerados pelas atividades industriais crescem em importância no contexto ambiental, uma vez que são oriundos de vários tipos de indústrias, produzidos em grandes quantidades e sua disposição final é uma preocupação mundial. Diante dessa realidade, crescem os estudos com objetivo de desenvolver novas tecnologias que reaproveitem esses resíduos, para minimizar os impactos ambientais causados pelos mesmos.

O reaproveitamento e a reutilização de resíduos industriais parece ser uma solução viável e sustentável para a grande demanda de materiais de construção, principalmente na última década devido ao aumento da população, o que tem provocado uma escassez crônica desses materiais. Os pesquisadores têm apostado em inovações tecnológicas para suprir a demanda de materiais de construção necessários para atender o crescimento da população e o aumento dos padrões de vida e, também, desviar os resíduos de aterros, pois na maioria dos países há dificuldade em se obter áreas disponíveis e na gestão destes locais (MADURWAR et al., 2013)

Devido à grande quantidade e variedade das aplicações dos polímeros e o seu tempo de degradação relativamente longo, eles são considerados os grandes vilões ambientais. Um dos polímero que merece uma atenção especial é o politeraftalato de etileno (PET), devido sua larga utilização e seu descarte indiscriminado no meio ambiente. O PET pode levar de 100 a 400 anos para se degradar, reduz a capacidade física dos aterros, e quando descartado de maneira indiscriminada no meio ambiente, causa a poluição de rios e mares.

Segundo dados da ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET, cerca de 840 mil toneladas de PET foram consumidas em 2016 apenas no Brasil. Mais de 50% desta produção já é reaproveitada, porém observa-se um enorme potencial de matéria prima que pode ser utilizada em diversas aplicações de produtos da construção civil. Assim, a reciclagem sistemática deste material e a utilização como material alternativo para uso em componentes da construção civil é uma solução para minimizar o impacto ambiental e consequentemente reduzir a extração e consumo de matérias-primas convencionais.

O sistema construtivo mais utilizado no Brasil é o que faz uso de paredes de alvenaria revestidas com camadas argamassadas, sejam chapisco, emboço e reboco, interna e externamente as edificações. Esse tipo de revestimento ocorre mais frequentemente em habitações para pessoas de baixa e média renda, no qual as placas à base de cimento e agregados minerais chegam a um total de 20% do custo médio das obras (RESENDE, 2013).

Com base nisso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de argamassas incorporadas com Politeraftalato de Etileno, analisando a viabilidade dessa solução alternativa que busca minimizar o descarte de PET de maneira incorreta e promover a sustentabilidade ambiental.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a utilização de novos materiais na produção de argamassas vem crescendo em todo o mundo, e a possibilidade de se oferecerem materiais alternativos, cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos.

A busca por produtos que sejam eficientes e causem pouco ou nenhum dano ao meio ambiente vem estimulando cada vez mais pesquisas sobre produtos provenientes de fontes renováveis e cuja exploração gere benefícios à sociedade que os explore. A utilização de resíduos tem se revelado como uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria prima e pela redução das áreas de disposição, considerando o crescente volume de resíduos descartados a cada ano em todo o mundo.

A introdução de resíduos provenientes de diversos setores da indústria na construção civil possuem inúmeras vantagens, dentre elas estão a criação de novos produtos, a diminuição da extração de matérias-primas e a diminuição do descarte inapropriado destes resíduos no meio ambiente.

Ao comparar os ciclos de vida das embalagens PET com a de alumínio e vidro, a PET é a que causa maiores impactos ambientais, sejam diretos, indiretos ou pós-consumo. Quando descartadas de maneira inadequada no meio ambiente, as garrafas PET chegam aos oceanos, mares e rios e levam cerca de 400 anos no processo de degradação, gerando assim consequências alarmantes ao meio ambiente, podendo causar até perda na biodiversidade.

A partir de estudo com a adição do Politereftalato de etileno (PET) em composições para produção de argamassas, tem-se uma análise quanto a parcial diminuição e/ou melhor disposição final desse produto sobre o meio ambiente além do desenvolvimento de procedimentos e de técnicas para o aproveitamento destes resíduos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo principal avaliar o desempenho de argamassas incorporadas com Politereftalato de etileno.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a absorção de água, índice de vazios e massa específica das argamassas de referência e modificadas;
- Avaliar o desempenho no estado endurecido da resistência a compressão das argamassas de referência e modificadas;

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO -TCC

O texto deste Trabalho de Conclusão de Curso encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

Introdução – Introdução, Justificativa, Objetivos e Organização da pesquisa

Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados a constituição da argamassa, sua utilização, dados sobre a construção civil no Brasil além de informações sobre a composição e utilização do politereftalato.

Materiais e Métodos – São apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental.

Resultados e Discussões – São apresentados os resultados obtidos para o comportamento das argamassas incorporadas com PET.

Considerações Finais e Sugestões para pesquisas futuras – São abordados as considerações à cerca dos objetivos propostos e as sugestões para o desenvolvimentos de novos estudos.

Por fim, estão as Referências, onde serão listadas as pesquisas citadas na pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Histórico

Desde a antiguidade o homem emprega materiais que possuem a finalidade de unir elementos de várias naturezas na construção de edificações. As primeiras argamassas foram produzidas e utilizadas há mais de 10.000 anos, devido à necessidade do Homem Primitivo construir abrigos e para tal necessitar de um “material” que aglutinasse os restantes elementos disponíveis para a elaboração desses abrigos (LEAL, 2013).

Do Egito antigo, há relatos de emprego de um aglomerante natural caracterizado como um geopolímero obtido de resíduos das minas de cobre existentes no monte Sinai, podendo ser misturado com outro aglomerante constituído por gesso impuro calcinado, existindo uma teoria que diz serem os imensos blocos de pedra, com os quais foram construídas as pirâmides, na realidade blocos de argamassa fundidos no próprio local (RECENA, 2012).

Conforme Recena (2012), um tipo rudimentar de aglomerante, que também poderia ser cal, tem seu emprego registrado desde a época da construção das grandes pirâmides, nos anos de 2980 a 2925 a.C., já que observações feitas nas pirâmides de Gizé e Quéfrem indicam a existência de argamassas de areia natural em que um dos constituintes é a cal.

2.2 Materiais constituintes da argamassa

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define argamassa como uma mistura homogênea de aglomerante(s), água e agregado(s) miúdo(s), podendo ainda existir a presença de aditivos

Segundo Vaz (2016), argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo ainda conter aditivos e adições minerais.

2.2.1 Cimento

Em 1756 novas tecnologias surgiram em direção da criação do cimento. John Smeaton conseguiu, a partir da calcinação de calcário moles e argilosos obter um produto com alta resistência. Mais na frente, já em 1818, Vicat obteve

resultados bem parecidos aos de Smeaton, utilizando uma mistura de argila e calcário. O francês Vicat é então considerado o criador do que chamamos de cimento artificial (ABCP, 2002).

Em 1824, o inglês Joseph Aspdin, ao queimar pedras calcárias e argila juntamente, produziu um pó fino. Percebeu-se que possuía uma mistura que, não se diluía em água e que depois de seca tornava-se tão rija quanto as pedras utilizadas nas construções. No mesmo ano Joseph a patenteou com o nome de cimento Portland que recebeu essa designação por possuir cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (ABCP, 2002).

Segundo a ABCP (2002), o cimento pode ser caracterizado como um pó fino que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, endurecendo sob ação da água. Depois deste processo, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento portland não se decompõe mais.

Por definição, é um “aglomerante hidráulico resultante da mistura homogênea de clínquer Portland, gesso e adições normalizados finamente moídos” (ABCP, 2002)

As propriedades das argamassas estão diretamente relacionadas com o desempenho e características do cimento. Segundo Recena (2012), é o cimento Portland que determina as características das argamassas no estado endurecido, proporcionando melhor trabalhabilidade, elevada resistência mecânica e uma maior durabilidade.

2.2.2 Cal

Segundo Oliveira (2000^a), citado por Vaz (2016), “A cal é um nome genérico de um aglomerante simples, resultante da calcinação de rochas calcárias, que se apresenta através de diversas variedades, com características resultantes da natureza da matéria prima empregada e do processamento conduzido”.

Segundo Rago & Cincotto (1999) “A cal no estado fresco propicia maior plasticidade à argamassa, permitindo melhor trabalhabilidade e, conseqüentemente, maior produtividade na execução do revestimento. Outra

propriedade importante no estado fresco da cal é a retenção de água, por não permitir a sucção excessiva de água pela base” (apud SILVA, 2016).

Devido à finura e leveza dos seus grãos, a cal tem capacidade de proporcionar fluidez, coesão e retenção de água hidratando e melhorando a trabalhabilidade da argamassa. Isso decorre do fato de que quando as suas partículas são misturadas com água, funcionam como um verdadeiro lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia (VAZ, 2016).

2.2.3 Agregados

Os agregados têm uma grande influência no comportamento das argamassas. Diversos fatores afetam o comportamento da argamassa, como a dureza, a forma dos grãos, a granulometria, a porosidade. Mas, naturalmente, a sua origem e o estado de limpeza da areia são fatores que também podem alterar as características da argamassa. A areia funciona como o esqueleto da argamassa que ganha coesão pela ligação dos seus grãos ao ligante, portanto, a qualidade do agregado é imprescindível no comportamento global da pasta (MARGALHA, 2011).

Segundo Vaz (2016), a composição da granulometria influencia as propriedades do concreto e da argamassa, pois, caso a areia não seja bem graduada, maior será o índice de vazios e, conseqüentemente, maior será o consumo da pasta cimento resultando um aumento na retração e no custo.

Margalha (2011) ainda destaca que para a utilização de agregados em argamassas uma das condições é estarem limpos de impurezas químicas, matéria vegetal e matérias finas de natureza argilosa. A presença de argila, que usualmente acompanha as areias provenientes de areiros, é acima de tudo inconveniente nas argamassas por dificultar uma perfeita adesão dos grãos da areia com o ligante, resultando em uma quebra sensível de resistência. Por outro lado, os finos podem não ser de natureza argilosa, transmitindo assim uma melhor coesão e uma maior trabalhabilidade às argamassas. Daí, tem-se a necessidade de conhecer a natureza da matéria fina.

Indica-se o uso de areia fina para reduzir a porosidade e a absorção da água na mistura e da areia grossa para reduzir a ocorrência de fendilhão. O fendilhão é outra patologia que ocorre no reboco e afeta sua impermeabilização,

facilitando a entrada de água e microrganismo que comprometem a durabilidade do revestimento e da própria parede (VAZ, 2016).

2.3 Classificação quanto a utilização

As argamassas podem ser classificadas segundo uma série de critérios, dentre os quais estão o tipo e a natureza do aglomerante utilizado, a quantidade de aglomerantes utilizados na mistura, consistência da argamassa, função do revestimento, forma de preparo ou fornecimento, propriedades especiais, número de camadas de aplicação, ambiente de exposição, comportamento à umidade, comportamento à radiação, comportamento ao calor e ao acabamento de superfície. Ainda, com relação à sua função, a argamassa possui subdivisões, levando em consideração a utilização da mesma na obra, pode ser utilizada para assentamento de alvenaria, chapisco, emboço, reboco, contrapiso, rejuntamento e reparo.

As argamassas de assentamento de alvenaria são empregadas na elevação de paredes, e muros de tijolos ou blocos. De acordo com Recena (2012), as argamassas de assentamento possuem a função de unir os elementos da alvenaria de modo a construir um todo compacto, distribuir de maneira uniforme as cargas atuantes, absorver da melhor forma as deformações a que uma alvenaria está sujeita e impermeabilizar ou contribuir com a impermeabilização das paredes.

As argamassas de revestimento servem, como o próprio nome já diz, para revestir paredes, muros tetos e estruturas de concreto armado, os quais, comumente, recebem acabamentos, como pintura, revestimento cerâmico, laminados, dentre outros. Esta argamassa é constituída de três camadas: chapisco, emboço e reboco.

Chapisco é a camada aplicada na base, que fica em contato com a alvenaria. Possui a função de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

O emboço é a camada intermediária, executado de modo a cobrir e regularizar a base, proporcionando uma superfície que permita receber o reboco

O reboco é a última camada, utilizada para cobrir o emboço e proporcionar uma superfície que permita receber o revestimento final.

As principais funções das argamassas de revestimento é proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação de intemperismo (revestimentos externos), possuir uma apropriada resistência de aderência ao substrato, contribuir para a impermeabilidade e como isolante termo acústico em menor proporção.

2.4 A construção civil e os impactos ambientais

A construção civil é uma atividade de grande importância no desenvolvimento do país, gera benefícios não somente de caráter econômico, mas também de âmbito social. Geração de mão de obra, comércio de materiais, venda e locação de propriedades são exemplos que representam essa ampla movimentação socioeconômica pela qual o setor é, de alguma forma, responsável, através da elaboração de construções de grande e pequeno porte e reformas em estruturas já existentes (LARUCCIA, 2014).

A construção civil é responsável por um alto índice de consumo de recursos naturais, na construção das mais diversas obras de infraestrutura, de edifícios e residências, gerando um enorme impacto ao meio ambiente sob diversas perspectivas, como a produção de resíduos e a utilização exacerbada de recursos naturais. Devido ao processo de urbanização, crescimento populacional e aumento do uso de materiais descartáveis, as questões ambientais e a sustentabilidade vêm ganhando destaque em todos os setores da sociedade, seguindo uma predisposição internacional de preservação ambiental (SANTOS, 2018).

Segundo Silva & Fernandes (2012), cerca de 60% dos resíduos sólidos gerados nas cidades diariamente, são provenientes da construção civil. Os Resíduos da Construção Civil (RCC) geram uma série de problemas à comunidade tais como de saneamento e contaminação ambiental, criando ambientes propícios a proliferação de vetores, além de afetarem a estética paisagística dos grandes centros urbanos, considerando-se a massa e volume que ocupam.

Por outro lado, os resíduos gerados pelas atividades industriais crescem em importância no cenário ambiental, uma vez que são produzidos por vários tipos de indústrias, tais como a metalúrgica, a química, a petroquímica, a papelreira, a alimentícia, etc. (LUCAS & BENATTI, 2008).

Este volume exagerado de resíduos sólidos gerados diariamente nas obras de construção não é o único fator de preocupação, somando-se a essa problemática a falta de gestão das autoridades competentes. A ineficiência das políticas públicas que disciplinam e ordena a destinação dos resíduos sólidos e/ou o descompromisso dos geradores no manejo e destinação dos mesmos são algumas das principais causas dos impactos ambientais (LARUCCIA, 2014).

Em países em desenvolvimento que, continuam ampliando, significativamente, seu ambiente construído - como é o caso do Brasil - as atividades da construção civil consomem grandes quantidade de materiais. Grande parte dos componentes necessários para a construção de habitações podem ser produzidos sem grande sofisticação técnica (KAMIMURA, 2002).

John (2010) destaca a importância em reduzir o consumo de insumos na construção civil, a partir de estudos de projetos, otimização de processos e da aplicação dos materiais, e principalmente, através da reciclagem e reaproveitamento nas obras de construção.

A disposição correta de resíduos passou a ser de grande importância para a preservação do meio ambiente, surgindo a necessidade de se desenvolver mecanismos para promover a conscientização e a busca de soluções para a implantação de tecnologias capazes de, a um só tempo, minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos no ambiente e reduzir os custos envolvidos nessa atividade. Neste contexto, a reciclagem de resíduos é fundamental para uma sociedade apoiada no desenvolvimento sustentável (ENBRI, 1994), capaz de satisfazer as necessidades do conjunto da população do presente sem comprometer a capacidade de sobrevivência de gerações futuras

Portanto, a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos oriundos dos mais diversos ramos industriais podem melhorar os parâmetros técnicos dos materiais na construção civil, além de trazer ganhos econômicos e ambientais. Mas, para tal, é de suma importância a realização de análises criteriosas prévias ao emprego de materiais alternativos. Sempre é preciso utilizar-se de três critérios para avaliação da possibilidade de reutilização e incorporação de um resíduo como material alternativo, são esses: análise científica, sustentabilidade e enfoque no ciclo de vida (DUARTE et al., 2014).

O desenvolvimento de estudos voltados à reciclagem e/ou reutilização dos resíduos representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas e diminuir os custos finais dos setores industriais geradores e consumidores de resíduos, além de preservar o ambiente.

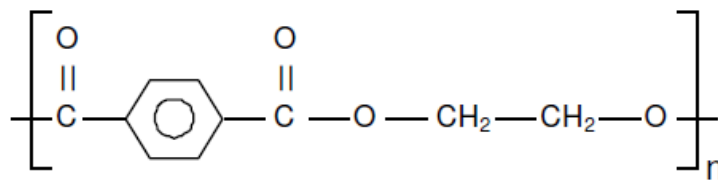
O estudo de novas tecnologias para o reaproveitamento dos resíduos industriais poderá propiciar o desenvolvimento de novos produtos com consequente diminuição do descarte de resíduos e maximização da cadeia produtiva da indústria (MENDONÇA et al., 2013).

2.5 Politereftalato de Etileno - PET

O plástico conquistou espaço de grande importância para a sociedade atual graças às propriedades como leveza, razoável resistência mecânica e moldabilidade a baixa temperatura, aliadas ao preço baixo. Porém, os rejeitos plásticos, devido à pouca degradabilidade e baixa densidade, ocupam vastos espaços no ambiente por um longo tempo. Com o crescente uso deste tipo de material, principalmente na área de embalagens, cujo descarte é muito mais rápido quando comparado a outros produtos, tem-se um agravamento da situação dos locais de destino de lixo (EHRIG, 1992).

O PET – poli (etileno tereftalato) ou poli (tereftalato de etileno) – ilustrado na Figura 1, é um polímero desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Winfield e Dickson (BELLIS, 2005). Este polímero, obtido com alto peso molecular foi reconhecido na época como tendo potencial para aplicações como fibra e, somente na década de 60, com o filme de PET biorientado, passou a ter grande aceitação para acondicionamento de alimentos. Em 1973, o processo de injeção e sopro com biorientação, desenvolvido pela *Du Pont*, introduziu o PET na aplicação como garrafa, o que revolucionou o mercado de embalagens, principalmente o de bebidas carbonatadas. Ele chegou ao Brasil apenas em 1989.

Figura 1: Estrutura química do PET



Fonte: MANO E MENDES, 1999

O PET é um dos termoplásticos mais produzidos no mundo. No Brasil, a principal aplicação do PET é na indústria de embalagens (71%) (JÚNIOR et al., 2010). O segmento do mercado nacional da indústria alimentícia e de embalagens corresponde a 32% do mercado brasileiro de polímeros envolvendo diretamente o uso do PET para embalagens de bebidas carbonatadas.

No final dos anos 1990 a aplicação mundial de PET era distribuída da seguinte forma: 67% para a produção de fibras têxteis, 24% para a produção de embalagens processadas por injeção-sopro, 5% para a produção de filmes biorientados e 4% para polímeros de engenharia, sendo atualmente um dos termoplásticos mais produzidos do mundo (Kim *et al.*, 2010). Já no cenário nacional, 71% da aplicação é destinada à indústria de embalagens, sendo a maior parte para a produção de embalagens para bebidas carbonatadas. Porém, é importante salientar que o uso do PET nos mercados de óleo comestível e água mineral está se desenvolvendo a altas taxas de crescimento (ROMÃO *et al.*, 2009).

Algumas das vantagens do PET em relação aos demais termoplásticos, que justificam sua grande e crescente utilização, são: excelente estabilidade térmica, facilidade de processamento, alta resistência química, alta estabilidade hidrolítica (devido à presença de anéis aromáticos), propriedades mecânicas atrativas a altas temperaturas, propriedades de barreira a gases, leveza, aparência nobre (brilho e transparência) e baixo custo de produção (ROMÃO *et al.*, 2009).

2.6 Reusos do PET

Quando depositado em aterros o PET pode levar aproximadamente 400 anos para degradar-se, reduzindo a capacidade física dos mesmos e ocasionando, durante este período de tempo, uma diminuição da capacidade de

percolação de gases e líquidos, resultando em um aumento no tempo necessário para estabilização da matéria orgânica. O PET possui alta resistência a agentes biológicos e atmosféricos e seus produtos de degradação são inócuos ao corpo humano (PEZZIN apud MENESES, 2011).

As garrafas de PET são integralmente inertes. Logo, mesmo impropriamente descartadas, não causam nenhuma contaminação para o solo ou lençóis freáticos. Contudo, o PET demora anos para se decompor na natureza, causando entupimentos de esgotos e armazenamento de água promovendo a proliferação de insetos e ratos, que podem causar doenças (ALMEIDA, 2016). Portanto, devido a essas consequências e à crescente utilização do PET em embalagens plásticas, a necessidade de sua reciclagem tornou-se imperativa e o estudo das propriedades do material reciclado vem sendo muito abordado, uma vez que sua produção tem crescido a uma taxa de 10% ao ano (SILVESTRE, 2013).

A reutilização desse material está em pleno crescimento no Brasil e no mundo, proporcionando benefícios, dentre eles, a redução do volume de lixo coletado; economia de energia elétrica e de petróleo; geração de empregos (catadores, sucateiros, operários); produtos com menor preço, entre outros (Almeida, 2016).

Conforme a ABIPET (2014), a partir da reutilização e da evolução do mercado bem como dos avanços tecnológicos, houve um incentivo às novas aplicações do PET reciclado em vários setores da economia, dentre elas é possível citar:

- Artigos para residências - enchimento para sofás e cadeiras, travesseiros, cobertores, mantas, tapetes e cortinas;
- Vestuário – têxteis, roupas esportivas, calçados, malas, mochilas e vestuário em geral;
- Embalagens – garrafas e bandejas;
- Indústria automotiva e de transportes - tecidos internos (estofamentos), carpetes, peças de barco;
- Artigos industriais – rolos para pintura, cordas, filtros, ferramentas de mão, mantas de impermeabilização;

- Construção Civil - caixas d'água, tubos e conexões, torneiras, piscinas, telhas, tintas e vernizes.

2.7 Aplicações do plástico reciclado na construção civil

Modro (2008), diz que a indústria da construção civil tem realizado estudos dos diversos tipos de resíduos de garrafa PET, com o objetivo de descobrir novas empregabilidades dos mesmos como materiais de construção. Tais estudos resultam em alguns favorecimentos destas aplicações.

Provenzano (2006) elaborou painéis modulares para parede que incorporam as garrafas plásticas no seu interior. Estes painéis são formados por colunas verticais com garrafas plásticas cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plana em seu perímetro e revestidas nas duas faces e laterais com argamassa. Os painéis são formados por colunas verticais com garrafas plásticas cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plana em seu perímetro e revestidas nas duas faces e laterais com argamassa. Esse sistema mostrou-se benéfico quanto ao desempenho térmico e proporcionou maior rigidez através da redução do peso e maior espessura da parede.

Existem alguns estudos que abordam o tema do aproveitamento de resíduos plásticos como agregado em materiais cimentícios. Esses estudos visam diminuir o impacto ambiental e os custos dos setores industriais a partir da geração de novas matérias primas alternativas. Nesta seção serão apresentadas algumas dessas pesquisas.

Canellas (2005) analisou a possibilidade da utilização de flocos de PET reciclado como substitutos de agregados em argamassas. Em seu trabalho, substituiu os agregados por flocos nas proporções de 10%, 30% e 50%. A melhor viabilidade de utilização resultou-se na substituição de 30% pois não apresentou perdas significativas de plasticidade e resistência à compressão e à tração, o contrário ocorreu com maiores substituições.

Mello (2011) pesquisou as propriedades de uma argamassa utilizando partículas de polietileno de alta densidade (PEAD) reciclado pós-consumo como alternativa aos agregados naturais. O mesmo observou que os agregados de PEAD obtidos da reciclagem mecânica de plásticos e triturados por micronização apresentaram características semelhantes às da areia com relação à uniformidade e finura. Verificou que utilizando 50% em volume de PEADr nos

agregados em traços experimentais, ocasionou a redução da trabalhabilidade, sendo verificados exsudação excessiva, segregação das partículas e redução do índice de consistência.

Almeida (2004) verificou o uso de areia de pet na fabricação de concretos e concluiu que o teor da areia de PET tem influência direta na trabalhabilidade do concreto. Acima de 25% de areia de PET, o concreto apresentou queda significativa da resistência à compressão para 28 dias. Segundo o mesmo, a densidade do concreto diminui com o aumento dos teores de areia de PET, o autor indica a utilização da areia de PET, em teores menores de 50%.

A avaliação do fio de poliéster reciclado do plástico PET como fibra em argamassa foi realizada por Junior (2013), o qual verificou as propriedades de resistência à compressão, resistência à tração e resistência ao impacto de argamassas reforçadas com fio de poliéster 100% reciclado de garrafas PET. Essas propriedades foram verificadas em três corpos de prova sendo uma argamassa de referência sem fibra, uma com 0,25% de adição de fio de poliéster e outra com adição de 0,25% de fibras de vidro. Concluiu que a argamassa com fibra de poliéster apresentou o melhor desempenho no que diz respeito à compressão, à aderência e ao impacto, apesar de consumir mais água para adquirir a mesma consistência dos demais traços testados.

Corrêa (2015), estabeleceu um comparativo da influência da adição de PET e Polipropileno (PP) pós-consumo na produção do concreto estrutural, verificou que a adições acima de 10% de flocos poliméricos reduziu em 20% a resistência à compressão em relação à argamassa de referência (sem adição). Amostra com PP apresentou maior módulo de elasticidade quando comparado ao PET. O corpo de prova com PP teve maior estabilidade no desempenho mecânico e propriedades de barreira para permeação dos íons cloretos em relação às amostras de PET e de referência quando submetidas à câmara umidade por 90 dias. Com relação à análise morfológica o PET possui melhor adesão à massa cimentícia que o PP.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

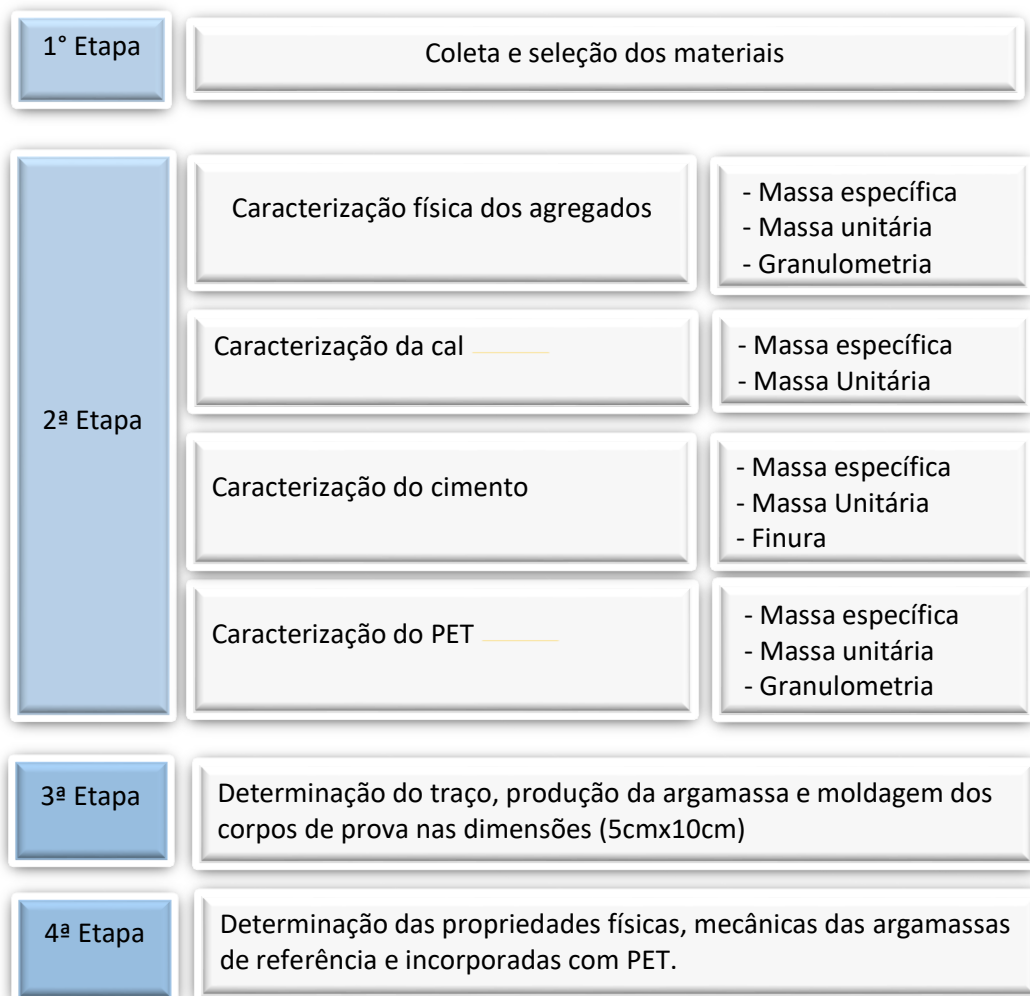
Os materiais utilizados na pesquisa foram:

- Agregado miúdo: O agregado miúdo, utilizados na pesquisa, foi do tipo areia quartzosa retirada do leito do Rio Paraíba;
- Cimento: O cimento utilizado na pesquisa foi o Portland CII Z - 32, fornecido pela fábrica de cimento Zebu, no município de Santa Rita-PB;
- Cal: A Cal utilizada foi a Carbomil, que é uma cal hidratada, do tipo CH-I fabricada à partir do puro calcário cretáceo.
- Água: destinada ao consumo humano fornecido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA);
- Politereftalato de etileno-PET: O polímero utilizado foi do tipo triturado, adquirido na indústria de PET Reciclagem localizada no município de Campina Grande-PB.

3.2 Metodologia

A Figura 2 ilustra o fluxograma das etapas da pesquisa, atividades e ensaios realizados.

Figura 2: Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

3.2.1 Caracterização física do Agregado, Cimento, Cal e PET

Análise granulométrica

O ensaio de granulometria determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. Para este procedimento o material foi misturado sendo posteriormente submetido ao peneiramento em uma série-padrão de peneiras, com aberturas de malhas sequenciadas. A partir dos resultados dos ensaios mencionados foi possível a construção da curva de

distribuição granulométrica, imprescindível para estabelecer a classificação do material. As atividades foram realizadas no laboratório de Engenharia de Pavimentos – LEP, localizado na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

O ensaio de composição granulométrica para o agregado miúdo e para o PET teve como referência o método de ensaio da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Determinação da massa específica

A determinação da massa específica real da areia baseou-se na NBR NM 52 (ABNT, 2009). Segundo esta norma, massa específica é a relação entre a massa do material por unidade de volume, excluindo os poros internos das partículas (vazios). Tal parâmetro é relevante no cálculo das estimativas de consumo dos materiais a serem determinados no traço de argamassa.

Para a determinação da massa específica da cal e do cimento, o ensaio foi realizado segundo o método de ensaio da norma NBR NM 23 (ABNT, 2001).

A realização desses ensaios aconteceu no laboratório de Engenharia de Pavimentos – LEP, localizado na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Determinação da massa unitária

A massa unitária de um agregado no estado solto, é obtida pelo quociente da massa deste agregado em um recipiente de volume conhecido. O ensaio é determinado pela NBR NM 45 (ABNT, 2006). O procedimento consiste em determinar o volume do recipiente, pesá-lo vazio e com o agregado. A massa do agregado é determinada pela equação 1.

$$\delta = \frac{m_{\text{recipiente+agregado}} + m_{\text{recipiente}}}{V} \quad (1)$$

Onde:

δ : Massa unitária.

m: Massa.

Ensaio de Finura

É a determinação da porcentagem, em massa, de cimento Portland cujas dimensões de grãos são superiores a 75 µm através do método de peneiramento manual de acordo com a norma ABNT NBR 11579 (ABNT, 2012). Esse ensaio possui bastante relevância, pois quanto mais fino o cimento melhor será a sua reação de hidratação e a resistência mecânica da argamassa.

3.2.2 Dosagem das argamassas

Após a caracterização dos materiais realizou-se o estudo da dosagem, objetivando determinar o quantitativo de material necessário para moldagem dos corpos de prova. Foram moldadas amostras de referência e amostras de cada teor de resíduo incorporado para cada idade. Foram executadas amostras com traço em massa de 1:2:9 (cimento:cal:areia) e a/c (fator água/cimento) variando para cada teor. A Tabela 1 simplifica o traço e dosagem utilizados.

Tabela 1: Traço em massa para um corpo de prova de argamassa

Argamassa	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	PET micronizado (g)	a/c	Água (ml)
REF.	34,5	25,2	377,8	0	1,53	81,25
5% PET	34,5	25,2	358,9	18,9	1,52	75,0
10% PET	34,5	25,2	340,0	37,8	1,52	75,0

Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

3.2.3 Moldagem dos corpos de prova

Após a caracterização de todo o material e o estudo do traço adotado, realizou-se a moldagem dos corpos de prova. Para confecção dos corpos de prova foram utilizados moldes cilíndricos, com dimensões 5 cm x 10 cm. Para o ensaio de resistência à compressão foram moldados, para as idades de 7, 14 e 28 dias, 3 corpos de prova de argamassa de referência, 3 corpos de prova de argamassas incorporadas com 5% e mais 3 para o teor de 10% de PET triturado. Para o ensaio de determinação de absorção de água por imersão foram moldados 2 corpos de prova para a argamassa de referência, 2 corpos de prova

de argamassas incorporadas com 5% PET e mais 2 para o teor de 10%, totalizando então 45 corpos de prova, que foram colocados em cura na areia úmida, para as idades de 7, 14 e 28 dias.

A moldagem seguiu os procedimentos de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1997), sendo a colocação da argamassa feita em quatro camadas, onde aplica-se 30 golpes uniformes com soquete normal em cada camada. Para finalizar, realiza-se a rasadura por meio da régua.

Passado 24 horas da moldagem dos corpos de prova, os mesmos são desmoldados, identificados e colocados na areia úmida, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Corpos de Prova desmoldados



Fonte: Dados da Pesquisa (2019)

3.2.4 Determinação das propriedades físicas e mecânicas

3.2.4.1 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

Ensaio realizado com o intuito de determinar a absorção de água, por meio de imersão, também do índice de vazios e da massa específica das argamassas em seu estado endurecido. O mesmo é regido pela NBR 9778 (ABNT, 2009). Os corpos de prova, após cura submersa, foram secos em estufa por 72 horas ($105 \pm 5^\circ\text{C}$) e tiveram suas massas medidas. Em seguida ficaram submersos em água à temperatura ambiente por mais 72 horas e foram pesados novamente.

Os valores da absorção, da porosidade e da massa específica são obtidos a partir das equações 2, 3 e 4.

$$A = \left(\frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$e = \left(\frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_{imersa}} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$\delta_{real} = \left(\frac{m_s}{m_s - m_{imersa}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

A: Absorção após imersão em água, em porcentagem.

e: Índice de vazios após saturação em água, em porcentagem.

δ_{real} : Massa específica real, g/cm³

m_{sat} : Massa saturada do concreto

m_s : massa seca do concreto

m_{imersa} : Massa imersa do concreto.

3.2.4.2 Resistência à compressão simples

Todo o procedimento é feito através de uma adaptação da NBR 7215 (ABNT, 1997), que especifica a determinação de resistência à compressão de cimento Portland, e que foi modificada para a mensuração desta propriedade em argamassas. O tipo de prensa utilizada para o rompimento dos corpos de prova de argamassa deve atuar a uma velocidade de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s, como preconiza a NBR 7215 (ABNT, 1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização física dos materiais

4.1.1 Caracterização do agregado miúdo

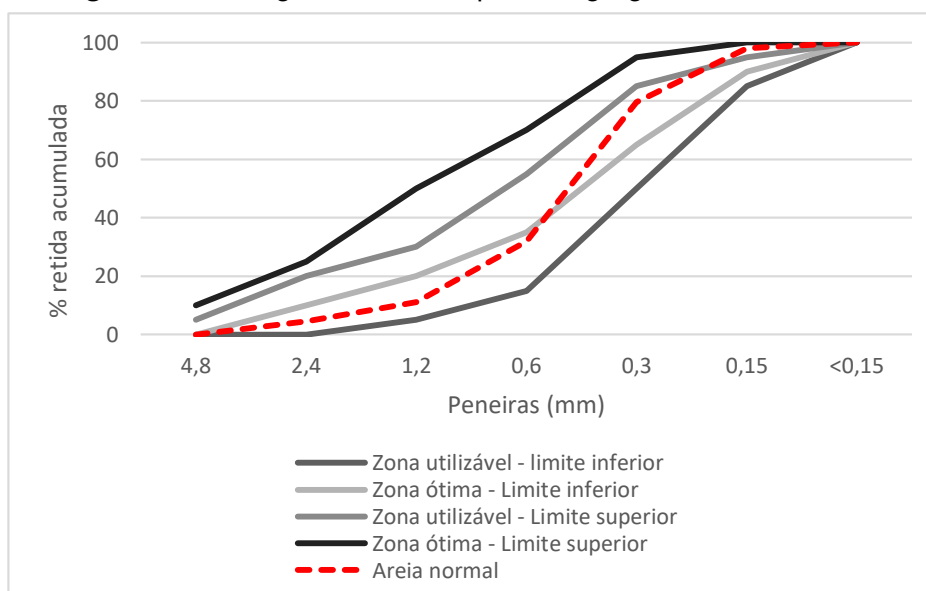
A distribuição granulométrica do agregado miúdo está apresentada na Tabela 2

Tabela 2: Composição Granulométrica do agregado miúdo

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	Porcentagem em Massa (%)	
		Retida	Acumulada
4,8	0,0	0,0	0
2,4	45,22	4,52	4,52
1,2	65,73	6,57	11,09
0,6	208,82	20,88	31,97
0,3	476,28	47,63	79,60
0,15	184,77	18,48	98,08
Fundo	19,18	1,92	100
	Módulo de finura	2,25	
	Diâmetro máximo	2,36 mm	

A partir da análise granulométrica pode-se construir a curva granulométrica para o agregado miúdo. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos bem como os limites superiores e inferiores para as zonas ótima e utilizável estabelecidos pela ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009).

Figura 4: Curva granulométrica para o agregado miúdo natural



As areias são divididas, de acordo com a sua granulometria, em muito grossas, grossas, médias, finas e muito finas, conforme o valor do seu módulo de finura, que, segundo a norma NBR 7211 (ABNT, 2009), é a soma das porcentagens retidas acumuladas do agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. Observa-se que o resultado obtido para o módulo de finura no valor de 2,25, encontra-se dentro da zona ótima de utilização, na qual o módulo de finura pode variar de 2,20 a 2,90, logo a areia utilizada é classificada como areia média. O diâmetro máximo obtido para este agregado é 2,36 mm. De acordo com os valores obtidos, essa areia é considerada bem graduada, não apresentando uma grande deficiência ou excesso de qualquer tamanho, promovendo assim uma argamassa com uma melhor trabalhabilidade e uma pequena quantidade de vazios entre os grãos.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos dos demais ensaios de caracterização relacionados ao agregado miúdo.

Tabela 3: Caracterização do agregado miúdo

Parâmetro Determinado	Valor Médio
Massa Unitária	1,40 g/cm ³
Massa Específica Real	2,56 g/cm ³

Observando os resultados apresentados na Tabela 3, para massa unitária obteve-se o valor de 1,40 g/cm³ e para massa específica real, o valor de 2,56 g/cm³. Conforme Recena (2012), a massa unitária da areia é de aproximadamente 1,50 g/cm³ e a massa específica real é de aproximadamente 2,63 g/cm³. Os valores encontrados para o agregado miúdo em estudo estão semelhantes com os resultados obtidos por Recena (2012).

4.1.2 Caracterização do PET

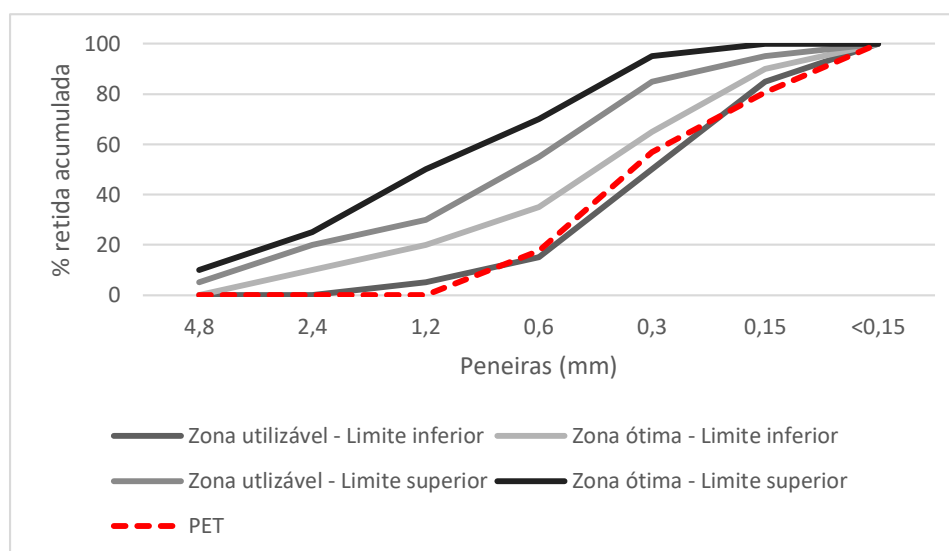
Na Tabela 4, observa-se os resultados obtidos no ensaio de granulometria para o PET.

Tabela 4: Composição granulométrica do Resíduo de PET

Peneiras (mm)	Material Retido (g)	Porcentagem em Massa (%)	
		Retida	Acumulada
2,4	0	0	0
1,2	0	0	0
0,6	176,97	17,69	17,69
0,3	392,05	39,20	56,89
0,15	238,24	23,82	80,71
Fundo	192,74	19,28	100
	Módulo de finura	1,55	
	Diâmetro máximo	0,6 mm	

A Figura 5 ilustra a curva granulométrica de acordo com os limites estabelecidos pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009), para o resíduo de PET.

Figura 5: Curva granulométrica do PET



Conforme a Tabela 4, verifica-se que o resultado do módulo de finura obtido para o PET é de 1,55. Este valor enquadra-se no limite inferior estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2009) para agregados miúdos naturais que varia de 1,55 a 2,20. O diâmetro máximo obtido para este agregado é 0,6mm. Logo, de acordo com os valores obtidos, o material é classificado como fino.

A granulometria do agregado miúdo possui um papel fundamental na preparação das argamassas. As dimensões do agregado têm influência direta nos vazios, no fator água/cimento e na trabalhabilidade das misturas.

4.1.3 Caracterização do Cimento Portland

Na Tabela 5 são apresentados os resultados dos ensaios de massa específica real, massa específica unitária e finura.

Tabela 5: Caracterização do Cimento

Parâmetro Determinado	Valor Determinado
Massa Específica Real	2,96 g/cm ³
Massa Específica Unitária	1,15 g/cm ³
Módulo de Finura	2,84%

Conforme Recena (2012), a massa específica real e unitária do cimento é aproximadamente 2,70 g/cm³ e 1 g/cm³, respectivamente. Deste modo, os valores obtidos neste trabalho se aproximam dos valores citados anteriormente.

De acordo com a ABNT NBR 11578 (ABNT,1991), o valor limite para finura do cimento é de 12%, de modo que o resultado obtido atende ao limite estabelecido.

4.1.4 Caracterização da Cal

Realizou-se ensaios de massa específica real e massa unitária para caracterização do aglomerante em estudo. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: Caracterização da Cal

Parâmetro Determinado	Valor Determinado
Massa Específica Real	2,63 g/cm ³
Massa Específica Unitária	0,42 g/cm ³

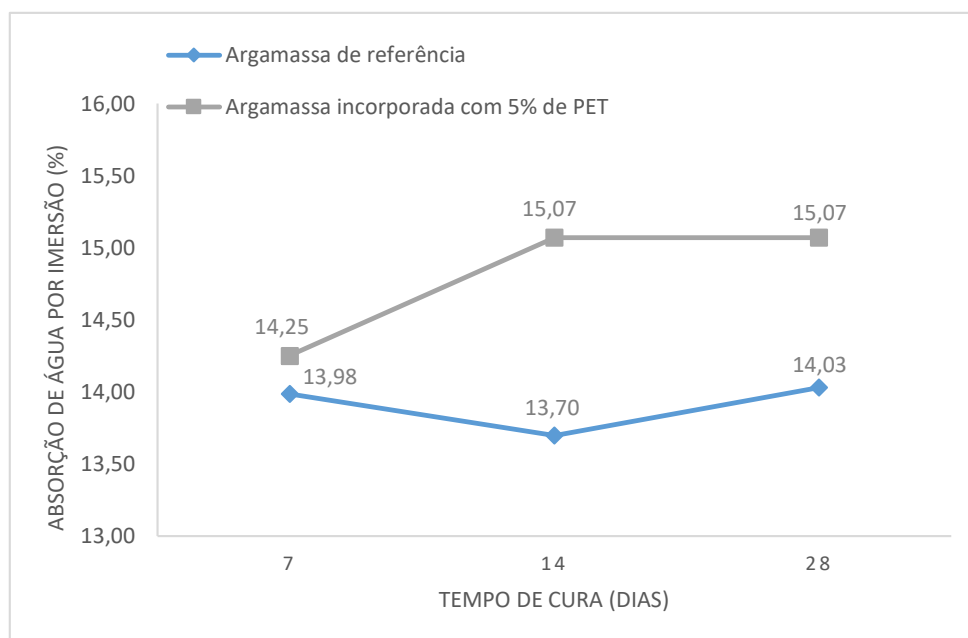
Recena (2012), obteve os valores característicos de massa específica e massa unitária da ordem de 2,57 g/cm³ e 0,65 g/cm³ respectivamente. Os valores obtidos para cal analisada são muito próximos aos citados.

4.1.5 Determinação das propriedades físicas da argamassa em estudo

4.1.5.1. Determinação da absorção de água

A Figura 6 ilustra os resultados para absorção de água por imersão para as argamassas de referência e incorporada com 5% de PET triturado em substituição do agregado miúdo.

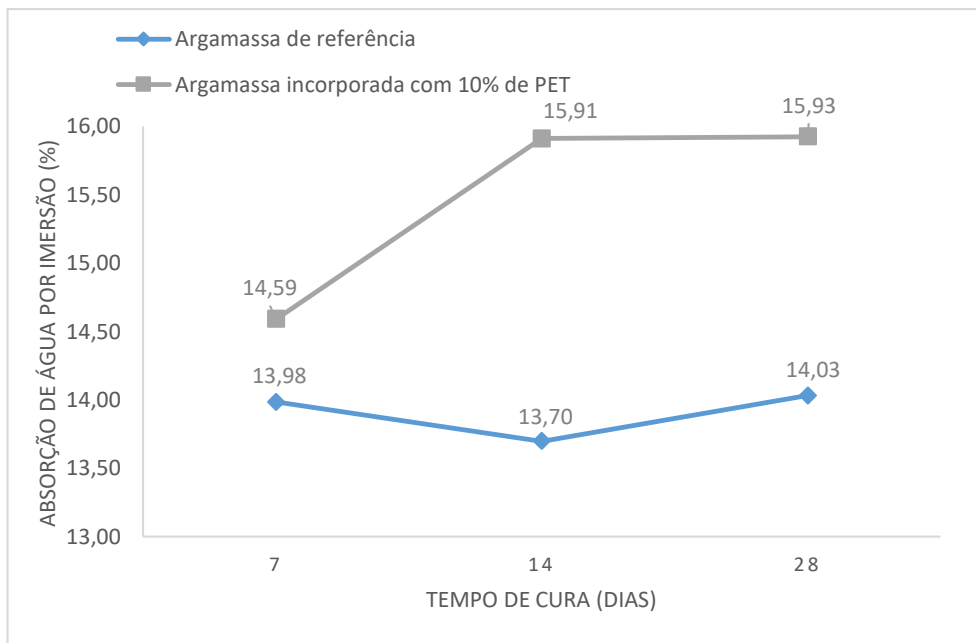
Figura 6: Absorção de água por imersão para incorporação de 5% de PET.



É possível afirmar que há um aumento da absorção de água com a incorporação do PET triturado a um teor de 5%, em comparação com a argamassa de referência. Para a idade de 28 dias, a argamassa incorporada com 5% de PET apresentou um aumento de 1,04% a mais em comparação com a argamassa de referência.

A Figura 7 ilustra os resultados para a absorção de água por imersão para a argamassa incorporada com 10% de PET triturado em substituição do agregado miúdo.

Figura 7: Absorção de água por imersão para incorporação de 10% de PET.



Para a incorporação de 10% de PET triturado também houve um aumento na absorção de água por imersão. Aos 28 dias, a argamassa incorporada com 10% de PET apresentou um aumento de 1,9% a mais em comparação com a argamassa de referência.

Observa-se que com o aumento da incorporação de PET, houve um aumento da absorção de água na argamassa.

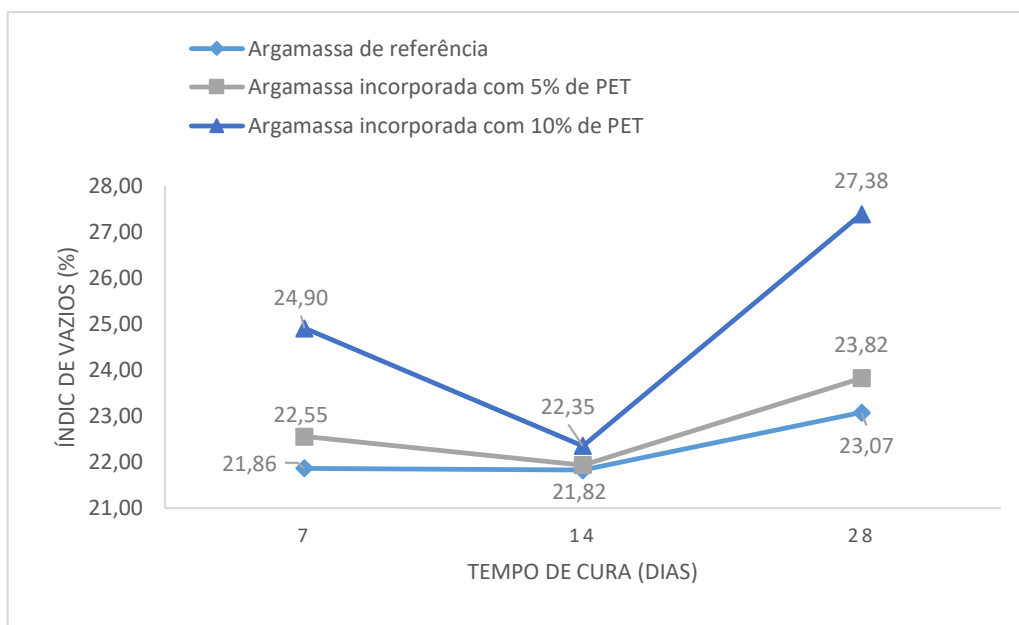
Os resultados encontrados são corroborados com a pesquisa de Modro (2008), que avaliou a absorção de água de concretos de cimento Portland incorporados com três tipos de resíduos de PET reciclado em substituição de agregados minerais: Filme de PET (ou FI), areia de PET (ou AR) e flake de PET (ou FL). Modro (2008) observou que para todos os concretos incorporados com os resíduos de PET houve um aumento na absorção de água a medida que aumentava-se o percentual de substituições.

Almeida (2016) observou em seu estudo que ao promover o incremento do percentual de PET em todos os traços de concreto estudado, houve um aumento no valor da absorção de água, devido ao módulo de finura do PET ser menor que o da areia e, conseqüentemente, o PET apresentar maior área superficial, contribuindo para o aumento da absorção de água.

4.1.5.2 Índice de vazios

Na Figura 8 apresentam-se os resultados para o índice de vazios da argamassa incorporada com 5% e 10% de PET triturado em substituição ao agregado miúdo.

Figura 8: Índice de vazios para incorporação de 5% e 10% de PET



Conforme a Figura 8, a argamassa com 5% de PET, aos 28 dias, obteve índice de vazios ligeiramente maior – cerca de 0,75% – em relação à argamassa de referência. Um resultado não muito significativo, mas que está associado aos 1,04% a mais na absorção de água em relação à argamassa de referência.

Verifica-se que houve um aumento no índice de vazios com o aumento do teor de substituição do agregado miúdo por PET. Aos 28 dias, há aumento de 4,31% do índice de vazios para as argamassas incorporadas com PET triturado no teor de 10%.

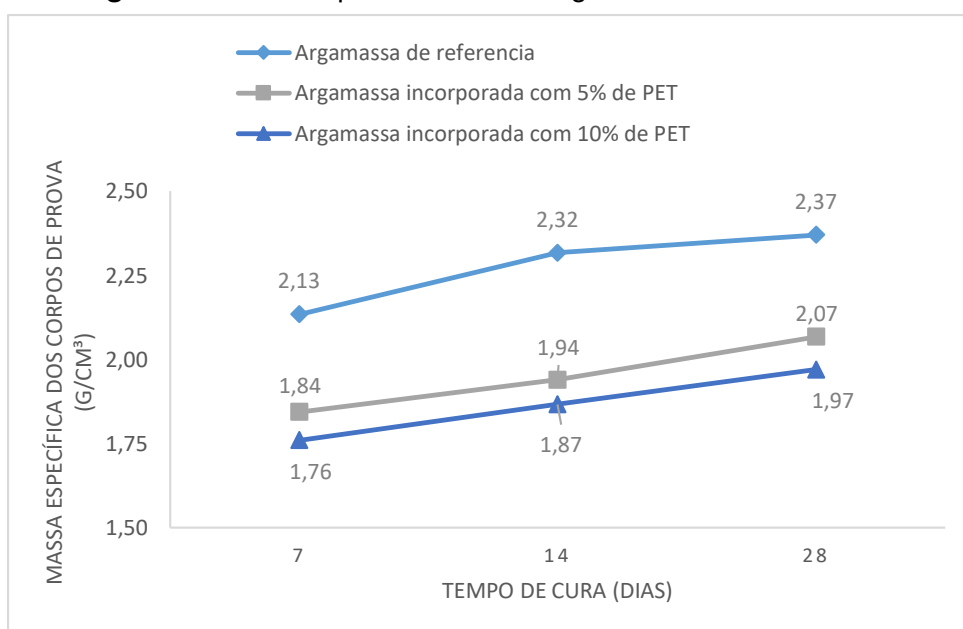
De acordo com Modro (2008), o aumento da porosidade ou do índice de vazios, está relacionado a área de superfície específica do resíduo. Quanto mais irregular for o formato dos grãos, maior será a sua área específica. Este é o caso da areia de PET, que para o teor de 40% teve um aumento de 14,14% no índice de vazios, em comparação com os concretos de referência.

Meneses (2011), obteve em seu estudo valores de índices de vazios e porosidade para o concreto com adição de PET muito próximos do concreto referência. A mesma atribui tal resultado ao fato da adição de fibra apresentar pouca interferência na relação água/cimento da mistura.

4.1.5.3 Determinação da massa específica dos corpos de prova

A Figura 9 ilustra os resultados obtidos para a massa específica aparente dos corpos de prova do concreto em estudo.

Figura 9: Massa específica real da argamassa em estudo



A incorporação de PET triturado reduziu a massa específica real da argamassa. Isso ocorre devido ao fato da massa específica do PET triturado ser inferior a massa específica da areia, caracterizada nessa pesquisa em 2,56 g/cm³. Para a substituição de 5%, a redução aos 28 dias da massa específica foi de 12,7%. Para a substituição de 10%, a redução aos 28 dias, da massa específica foi de 16,9%. Logo, um maior percentual de substituição de PET ocasiona uma maior redução na massa específica.

Jardim (2016) verificou em seu trabalho que com a substituição do teor de PET houve diminuição da massa específica do concreto em relação à referência (redução de 0,26% no teor de 10% e de 1,57% no teor de 15%). Logo, quanto maior o teor substituído menor a massa específica do concreto.

4.1.6 Determinação das propriedades mecânicas

4.1.6.1 Determinação da resistência à compressão simples

Nos resultados obtidos para o ensaio de compressão simples para as argamassas incorporadas com 5% e 10% de PET triturado em substituição do agregado miúdo, é possível identificar uma redução da resistência à compressão, aos 28 dias, em comparação com a argamassa de referência, como mostram as Figuras 10 e 11.

Figura 10: Resistência à compressão simples para incorporação de 5% de PET

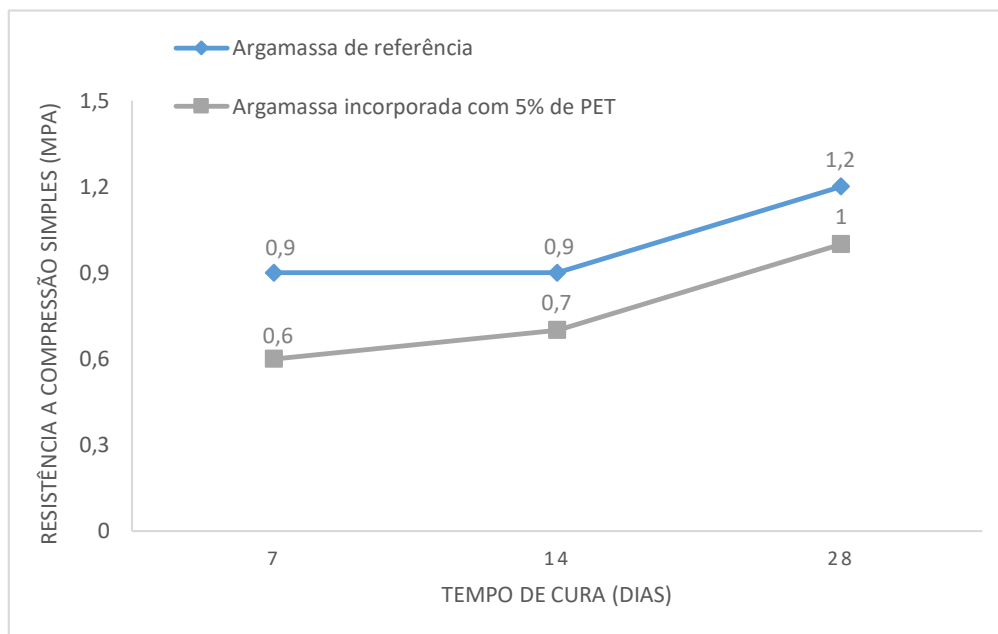
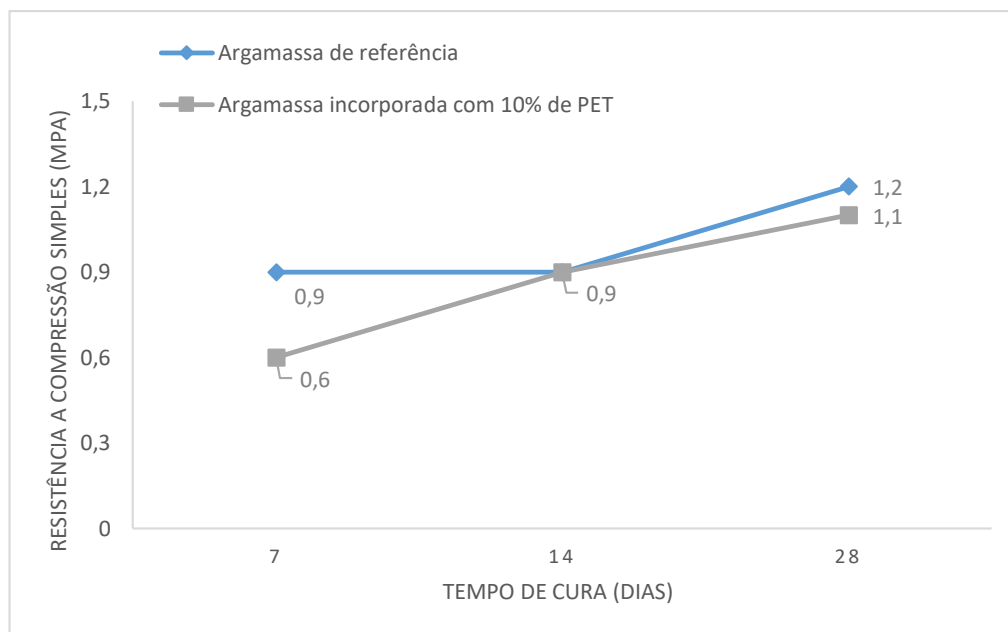


Figura 11: Resistência à compressão simples para incorporação de 10% de PET



Observa-se que para ambos os teores utilizados, os valores de resistência a compressão, aos 28 dias, foram aproximadamente os mesmos, o que mostra que ao passar do tempo, não há uma variação significativa entre os teores de 5% e 10%, quando diz respeito a resistência à compressão

Nas Figuras 10 e 11, observa-se que o PET triturado ocasionou a redução da resistência a compressão, para ambos os teores de substituição do agregado miúdo, para todas as idades. A única exceção foi para o teor de 10% de polímero, aos 14 dias, onde a resistência foi a igual a de referência, porém inferior para as demais idades analisadas.

Segundo Modro (2008), a redução da resistência a compressão dos concretos de cimento Portland incorporados com os resíduos de PET em comparação com os concretos de referência ocorre devido a menor interação química entre o polímero e a matriz cimentícia e, principalmente, devido a menor resistência mecânica intrínseca dos polímeros em relação aos agregados minerais, que possuem uma resistência mecânica muito maior.

Conforme Silva (2014, apud VAZ, 2014), a redução de resistência se dá devido ao fato de que os agregados de plásticos apresentam uma superfície lisa, são impermeáveis e menos resistentes, diferente dos agregados naturais, podendo assim, vir a comprometer a ligação matriz e agregado.

A Tabela 7 da NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos quanto a sua resistência à compressão simples.

Tabela 7 - Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos quanto a resistência à compressão.

Classe	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	Método
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: NBR 13281 (2005)

As resistências a compressão aos 28 dias encontradas nos ensaios foram de 1,0 e 1,1 MPa, para as incorporações de 5% e 10% de PET triturado, respectivamente, conforme descrito nas Figuras 10 e 11. Ambos resultados se enquadram como argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos classe P1.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 Considerações Finais

De acordo com os objetivos estabelecidos neste estudo e com base nos resultados obtidos, têm-se as seguintes considerações:

Os materiais utilizados na produção da argamassa estavam conforme as normas específicas para cada componente. Daí a confiabilidade de que alterações em propriedades da argamassa em estudo se deram pela substituição de agregado miúdo pelo Politeraftalato de Etileno

O desempenho de argamassas incorporadas com Politeraftalato foi de acordo com o previsto segundo estudos realizados anteriormente por Modro (2008) e Almeida (2016). Houve alterações nos parâmetros físicos da argamassa:

A incorporação do resíduo de PET ocasionou um aumento da absorção de água da argamassa em estudo, indicando que quanto maior o teor de incorporação do resíduo maior a absorção da argamassa.

O índice de vazios foi uma propriedade em que houve um acréscimo em relação a argamassa de referência. Uma das explicações para este fenômeno está relacionado a área de superfície específica do resíduo. Quanto mais irregular for o resíduo, maior será a sua área específica.

Os corpos de prova da argamassa em estudo também possui massa específica inferior a argamassa de referência. Isto ocorre devido a densidade do PET ser menor do que a densidade da areia comumente utilizada.

A substituição do agregado miúdo por PET ocasionou uma redução de resistência, em comparação com a argamassa de referência. A redução da resistência foi maior para o teor de 10%, todavia, aos 28 dias, as reduções de resistência para ambos os teores (5% e 10%) foram praticamente as mesmas, o que indica a indiferença na utilização destes teores na resistência a compressão a longo prazo.

Segundo parâmetros da NBR 13281 (2005), as argamassas de revestimento e assentamento incorporadas com 5% e 10% de PET triturado foram classificadas como de classe P1.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

Para melhor abordagem sobre o conteúdo tratado nessa pesquisa, sugere-se realizar os seguintes estudos adicionais:

- Avaliar a viabilidade econômica da argamassa em estudo
- Determinar por meio de outros ensaios e normas a durabilidade da argamassa incorporada com PET
- Estudar misturas com teores diferentes.

REFERÊNCIAS

- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 23. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45. Agregados Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211. Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11578. Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11579. Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.
- _____. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13281. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ABIPET – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br>>. Acesso em 23/08/2019.
- ALMEIDA, M., Junior, M., Soncim, S., & Junior, G. (2004). Uso de areia de PET na fabricação de concretos. In Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável (p. 39). Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gilson_Athayde_Junior/publication/281123674_uso_de_areia_de_pet_na_fabricacao_de_concretos/links/55d7c9c308aeb38e8a85bd72.pdf/download?version=va. Acesso 1 de julho de 2019, 11:40.

ALMEIDA, S. P. Uso de politeraftalato de etileno (PET) como agregado em peças de concreto para pavimento intertravado. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

Associação Brasileira de Cimento Portland. Guia básico de utilização do Cimento Portland. 7.ed. São Paulo: ABCP, 2002. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/história/uma-breve-história-do-cimento-portland>. Acesso em 18 de junho de 2019, 10:33

BELLIS, M. The History of Polyester. Polyester – PET. Disponível em <http://inventors.about.com/library/inventors/blpolyester.htm>. Acesso 02 julho 2019.

CANELLAS, Susan Sales. Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas. Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio, 2005. Disponível em [:http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7374/7374_1.PDF](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7374/7374_1.PDF). Acesso 30 de junho de 2019, 21:40.

CORREA, Priscila Marques. Estudo comparativo da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção do concreto estrutural. 2015. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/130090> Acesso 7 de junho de 2019, 11:50.

DUARTE, Eric Brum de Lima et al. Resistência a compressão de argamassa composta por resíduo de construção e demolição e politereftalato de etileno (PET) em flocos. 2014.

EHRIG, Raymond J. - "Plastics recycling: products and processes", Hanser Publishers, Nova Iorque, 289 p. (1992)

ENBRI - Development of a framework for environment assessment of building materials and components. (ENBRI - Proposal to European Community BRITE EURAM Program). Março, 1994. Mimeografado

JOHN, V. M.; GLEIZE, P. J. P. Materiais de Construção Civil: Perspectivas e desafios futuros. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 1747-1759.

- JUNIOR Antonio W. da S.; Gonçalves Patrícia P.; Cabral Antonio E. B. Avaliação do fio de poliéster reciclado do plástico pet como fibra em argamassa. -X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA), Fortaleza 2013. Disponível em: <http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/474>. Acesso 3 de setembro de 2019, 10:30
- LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008
- KAMIMURA, E. Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil. Dissertação de mestrado (Vinculada ao programa de pós-graduação em engenharia civil da UFSC). Florianópolis/SC, 127p, 2002.
- KIM, S.B.; YI, N.H.; KIM, H.Y.; KIM, J.J.; SONG, Y.C. Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. Cement & Concrete Composites, v. 32, p. 232–240, 2010.
- LARUCCIA, M. M.. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. ENIAC Pesquisa, Guarulhos, v. 3, n. 1, p. 70-85, jan. 2014.
- LEAL, Márcio Manuel Rodrigues. Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado. 2013. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Setúbal. Disponível em: http://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/3954/1/Desenvolvimento%20argamassas%20revestimento%20com%20comportamento%20termico%20melhorado_M%C3%A1rcio%20Leal.pdf.
- MANO, E. B.; MENDES, L. C. Polímeros de Interesse Industrial – Fibras. Introdução a Polímeros. 2. ed. Rio de Janeiro: Edgar Blücher, 1999. p. 107-119.
- MARGALHA, Maria Goreti. Argamassas. 2011. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património. Universidade de Évora. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4969/1/Argamassas.pdf>. Acesso 10 de agosto de 2019.
- MELLO, Anselmo Lima et al. Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa. 2011. Tese de Doutorado. Master Dissertation in Civil Engineering, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Disponível em <http://www.meau.ufba.br/site/node/1659>. Acesso em: 30 junho 2019, 13:55.

MENDONÇA, A. M. G. D; MONTEIRO H. B. S; CHAGAS FILHO, M. B. Avaliação das resistências de concretos com adição de resíduo oleoso da indústria de e & p de petróleo sob influência da umidade. In: X Congresso de Iniciação Científica da UFCG, 2013.

MENESES, Ilzinete Andrade. Avaliação de concreto com adição de fibras de pet submetido a altas temperaturas. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em mecânica das estruturas, estruturas de concreto e alvenaria e materiais e processos construtivos) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011

MODRO, NLR. Desenvolvimento e Caracterização de Concreto de Cimento Portland Contendo Resíduos Poliméricos de PET. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação de M. Sc., UNIVILLE, Joinville, SC, Brasil, 2008. Disponível em: http://univille.edu.br/data/sitelimages/8/Dissertacao_Neilson_Luiz_Ribeiro_Modr o.pdf. Acesso 30 de junho de 2019 09:40.

PROVENZANO, Thaís I. et al. Caracterização do desempenho térmico de vedações com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas para habitação de interesse social. IV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006 Florianópolis. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/entac2006_3275_3284.pdf. Acesso 13 de setembro de 2019.

RECENA, Fernando Antonio Piazza Conhecendo a argamassa 1^o edição Editoração Eletrônica Visual Produções (2012). EDIPURS. Porto Alegre.

REZENDE, Maria Luiza De Souza. Resíduo de caulim primário como material pozolânico em concreto seco: propriedades físico-mecânicas e durabilidade. Tese (doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. 2013.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M.A.S., DE PAOLI, M.A., 2009, "(PoliTereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem", Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, n. 2, pp. 121-132.

- JARDIM, Rosiéli Ribeiro. Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de PET em concretos convencionais. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa. 2016
- SANTOS, B. L. F. Avaliação das propriedades físicas, mecânicas e microestruturais do concreto incorporado com borracha de pneus. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande, 2018.
- SILVA, V. A; FERNANDES, A, L. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 333-344, 2012.
- SILVESTRE, T. Brasil descarta 53% de garrafas PET na natureza. In: Revista Meio Ambiente. Ed. 103. Mai/Jun-2013.
- VAZ, C. E.. Avaliação de desempenho de argamassa modificada: com areia de pet. 2016.