

# UTILIZAÇÃO DO POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

## USE OF POLYETHYLENE TEREFTALATE (PET) IN COATING MORTARS

Ana Carolina Mota Viana<sup>1</sup>  
Gleice Paula Damasceno Assis<sup>2</sup>  
Rafaela Pereira Chaves<sup>3</sup>  
Wellington Coutinho da Silva<sup>4</sup>

### RESUMO

O cenário atual em relação às questões ambientais, têm buscado cada dia mais soluções para reutilização de materiais, com o intuito de minimizar os danos gerados ao meio ambiente. O politereftalato de etileno, também chamado de PET, segundo o IBAMA, pode levar até 600 anos para que seja decomposto. O setor da construção civil, considerado um dos mais poluentes, percebeu a necessidade de investir em construções mais limpas e com características renováveis. Desse modo, este trabalho visa analisar a inertização do pó de PET, em argamassas de revestimento, através da substituição parcial do agregado miúdo pelo pó de PET, e de acordo com as normatizações estabelecidas pela ABNT nas NBR's verificar os requisitos necessários através de ensaios em laboratório. Em conformidade com os resultados obtidos em ensaio e a comparação com os parâmetros exigidos pela ABNT, será possível viabilizar tecnicamente a inertização do resíduo em argamassas de revestimento. Espera-se que esse estudo tenha importância social no reaproveitamento de material no setor da construção civil.

**Palavras-chave:** pó de PET, argamassas de revestimento, reaproveitamento de resíduos.

### ABSTRACT

The current scenario in relation to environmental issues has increasingly sought solutions for reusing materials, in order to minimize the data generated to the environment. Polyethylene terephthalate, also called PET, according to IBAMA, can take up to 600 years to decompose. The civil construction sector, considered one of the most polluting, realized the need to invest in cleaner buildings with renewable characteristics. Thus, this work aims to analyze the inertization of PET powder, in coating mortars, through the partial replacement of fine aggregate by PET powder, and in accordance with the standards established by ABNT in the NBR's, verify the necessary requirements through tests in laboratory. In accordance with the results obtained in the test and the comparison with the parameters required by ABNT, it will be possible technically to make the inertization of the residue in coating mortars possible. It is expected that this study has social importance in the reuse of material in the civil construction sector.

**Keywords:** PET powder, coating mortar, waste reuse.

<sup>1</sup> Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – carolmv3421@yahoo.com – Graduando em Engenharia Civil

<sup>2</sup> Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora– gleicepauladamascenoassis@gmail.com – Graduando em Engenharia Civil

<sup>3</sup> Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – rafaelapereirachaves@gmail.com – Graduando em Engenharia Civil

<sup>4</sup> Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – wellington.coutinho@engenharia.ufjf.br – Orientador do trabalho

## 1. INTRODUÇÃO

O cenário mundial atual tem se voltado para a reutilização de materiais, devido a degradação cada vez maior do meio ambiente, visando dessa forma minimizar os danos que vêm sendo causados à natureza. Sendo a construção civil, um dos setores com maior consumo de recursos naturais e descarte de materiais, foi verificada entre os estudiosos da área a necessidade de se ter construções mais limpas, como a estrutura metálica e com características renováveis, como a reciclagem de materiais e insumos em diversas partes do processo. O politereftalato de etileno (PET), um dos materiais a ser estudado neste trabalho, quando depositado na natureza, segundo o IBAMA pode levar de 200 a 600 anos para a sua decomposição.

Acertadamente, Haddad (2013, p. 12) demonstra preocupação em relação à quantidade de embalagens e produtos descartáveis de PET que aumentou significativamente nas últimas décadas. Os plásticos utilizados em embalagens industriais, principalmente em garrafas e sacolas, apresentam risco ao meio ambiente devido a seu longo período de biodegradabilidade. A adição de rejeitos poliméricos de PET em diferentes classes de materiais tem sido o foco de inúmeras pesquisas realizadas, tornando esta uma alternativa sustentável para reciclagem destes resíduos.

Nesse contexto, França (2011, p. 23) expõe que o mercado para reciclagem existe e encontra-se em crescimento, principalmente pelo apelo exercido pela sociedade por produtos e atitudes que não causem agressão ao meio ambiente, porém em termos comerciais, os insumos de material reciclado encontram barreiras, tais como, valores muitas vezes inviáveis à produção, dificuldade na comercialização e, em relação às atitudes governamentais, falta de incentivo a programas, em escala industrial, para produção de insumos e produtos reciclados.

A argamassa é composta por agregados, aglomerantes e água, sendo um dos insumos mais utilizados durante o processo construtivo, podendo ser industrializada ou feita "in loco". É utilizada para a execução de alvenaria, nas etapas de revestimento, acabamento e pavimentação. Dentre os tipos de argamassa, cada uma possui propriedades específicas que devem ser atendidas de acordo com a necessidade de sua utilização. Essas características podem ser verificadas em ensaios normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. As argamassas são regulamentadas tendo como base a *NBR 13281/2005 – Argamassa*

*para assentamento e revestimentos de paredes e tetos* – Requisitos, onde a mesma estabelece a classificação das argamassas e determina as normativas de ensaio, tendo por finalidade garantir requisitos mínimos de qualidade e segurança.

A possibilidade de utilização do politereftalato de etileno na fabricação de argamassas tornará um insumo, inicialmente poluente e de difícil decomposição, em um componente, que poderá conceder as argamassas algumas de suas características já conhecidas, como, propriedades térmicas e acústicas. Contudo, a fim de se garantir a qualidade e segurança do material empregado se faz necessário o estudo de sua interação com os demais constituintes.

Nesse contexto a empresa AG Plast, localizada no Distrito Industrial de Juiz de Fora – MG apoiou e incentivou o projeto, abrindo o processo produtivo, apresentando as fases dos processos de reaproveitamento de embalagens PET, onde observou-se que existe geração de resíduos após o processo, que seria descartado. Desta forma, foi doado pela empresa, esse pó residual, denominado “pó de PET” que é objeto deste estudo. Esse material já é utilizado por algumas empresas e inertizado principalmente em asfaltamento de vias públicas.

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica da inertização do pó de PET na fabricação e utilização de argamassa de revestimento. Para isso, será feita uma revisão bibliográfica, relativa à utilização do PET na construção civil, caracterização e propriedades deste material, e ainda sobre os parâmetros normativos para a análise das argamassas de revestimento. Através de ensaios laboratoriais, comparando a argamassa com a adição do pó de PET e a argamassa convencional, serão analisados os resultados, os quais serão confrontados com as exigências contidas em normas. Após a viabilização da inertização do material, será verificado em qual tipo de argamassa de revestimento é possível empregar a argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por pó de PET.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. A indústria da construção civil e os impactos ambientais**

A indústria da construção civil é considerada como uma das grandes fontes de geração de resíduos sólidos dentro da sociedade. O modelo de construção civil atuante no Brasil, passando por todas as etapas construtivas, é responsável por diversos prejuízos ambientais, desde a extração de matéria-prima não renovável,

transporte e processamento dos insumos, gerando nesses processos um elevado consumo de energia, que se mantêm na utilização final dos materiais gerados (BARSANO, 2012).

Sabe-se que a cadeia produtiva da construção civil consome cerca de 20% a 50% dos recursos naturais existentes de todo planeta. Devido ao grande consumo de materiais inertes, como a areia e o cascalho, materiais estes que são fornecidos por meio da extração de sedimentos aluviais, pode-se observar uma constante modificação e interferência nas paisagens montanhosas e perfis de rios, causando desequilíbrio nas estruturas hidrológicas, hidrogeológicas e ainda instabilidade das áreas exploradas (BRASILEIRO, 2015).

Destaca assim o setor da construção civil como um dos mais poluentes ao meio ambiente, e devido a isso, demonstra-se a importância dos gestores conhecerem esses efeitos e tentar minimizá-los. Além dos prejuízos mostrados acima, pode-se citar a poluição, desperdício de água e geração de resíduos (OLIVEIRA, 2019).

No ano de 1980 teve-se um desprovimento de áreas que estivessem liberadas para a disposição final de resíduos, fazendo assim, as atenções se voltarem para a necessidade de reciclagem e diminuição de resíduos no setor da construção civil. Entre os pesquisadores da época, uma das soluções seria a reutilização dos materiais a serem reciclados na própria construção civil, como matéria-prima alternativa (BRASILEIRO, 2015).

Visto o grande potencial e vasta área de aplicação dos resíduos gerados, como material reciclado na construção civil, esse conceito tem ganhado cada vez mais força, entre os estudiosos da área. Alguns exemplos de aplicações são apresentados por diversos autores. Dentre a variada aplicabilidade têm-se a fabricação de argamassas de assentamento e revestimento (CAVALCANTE, 2012).

## **2.2. Caracterização do plástico**

O plástico faz parte da família dos polímeros, segundo Michaeli (2011, p. 80), e sabe-se que sua composição provém de macromoléculas, no qual formam cadeias, que nada mais é do que a formação básica desses polímeros. Porém, a composição mais comum do plástico, designa de extração de monômeros do petróleo ou gás natural, e também de madeira, carvão, álcool e gás carbônico.

Os polímeros, segundo Gorni (2013, p. 58), são divididos em termoplástico, termorrígidos ou termo fixo, e também elastômeros. Com isso o Politereftalato de Etileno (PET), é classificado como termoplástico, onde com a elevação da temperatura e pressão, são capazes de amolecer, e quando são retiradas desse processo, os termoplásticos voltam a ficar sólidos novamente. É uma alteração física reversível, sempre que ocorrem novas aplicações de altas temperaturas e pressões produzem o mesmo efeito de amolecimento e fluxo. Por possuírem essa característica, os termoplásticos são recicláveis.

### **2.2.1. Propriedades mecânicas dos plásticos**

As propriedades mecânicas definem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, tais respostas são manifestadas pela capacidade desses materiais devolverem deformações reversíveis, irreversíveis e resistirem à fratura (DAMINELI, 2013).

A resistência à tração, também denominada de tenacidade de um material, é medida pela carga aplicada ao material por unidade de área, no momento da ruptura. No caso do PET sua tenacidade pode chegar até 87,50 kgf/mm<sup>2</sup>, valor este próximo ao do aço, material utilizado nos processos de concepção estrutural na construção civil (BIASOTTO, 2012).

Quanto ao alongamento na ruptura, Biasotto (2012, p. 27) explica que é medido pelo percentual do aumento do comprimento da peça submetida à tração, no momento da ruptura. O PET em relação ao alongamento possui percentual em torno de 40%, enquanto os materiais comuns de engenharia, como cerâmicas e aço, não chegam a 30%.

Em relação ao módulo de elasticidade, característica esta medida pela razão entre a tensão aplicada e a deformação, dentro do limite elástico, onde a deformação é reversível, o PET chega próximo aos 1.500kgf/mm<sup>2</sup>, enquanto os materiais comuns de engenharia superam os 3.000 kgf/mm<sup>2</sup> (CARRARO, 2015).

Carraro (2015, p. 17), informa que a resistência à compressão é determinada pela tensão máxima que um material suporta sob compressão longitudinal, antes do seu colapso. Os polímeros da classe termoplástico, onde o PET se enquadra, em geral possuem baixa resistência à compressão.

Em relação a resistência a flexão, Carraro (2015, p. 28) explica que representa a tensão máxima desenvolvida na superfície de uma barra quando sujeita a

dobramento, no caso dos termoplásticos esta resistência é superior aos 60kgf/mm<sup>2</sup>, característica também verificada no aço e cobre.

### **2.2.2. Propriedades térmicas dos plásticos**

Segundo o Instituto do PVC (BRASIL, 2017) as propriedades térmicas dos polímeros são observadas quando o calor é fornecido ou removido do material, em geral são considerados maus condutores de calor.

O calor específico é a característica avaliada como a capacidade do material de armazenar o calor, é medida pela quantidade de energia térmica necessária para elevar 1° C a unidade de massa do material. O PET apresenta valores entre 0,2 e 0,3 cal/g. °C. Com base em comparação, a água possui calor específico de 1,0 cal/g. ° C (MANO, 2014).

Sobre a condutividade térmica, Mano (2014, p. 40) exemplifica que é a capacidade do material de transferir calor, durante uma unidade de tempo, por unidade de área através de uma camada de espessura unitária. Os polímeros são caracterizados por serem maus condutores de calor e, sendo o PET com  $5 \times 10^{-4}$  cal/cm \* s \* °C, enquanto os materiais comuns de engenharia possuem valores acima de  $2 \times 10^{-2}$  cal/cm \* s \* °C.

Conforme Mano (2014, p. 42), a expansão térmica são as alterações de dimensão, devido às mudanças de temperatura. Esta característica mede o volume adicional necessário para acomodar os átomos e moléculas por estarem vibrando mais rápidos e com maior amplitude devido ao aquecimento. O PET pode atingir até  $0,5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ , enquanto os materiais comuns de engenharia, como cerâmicas, vidros, alumínio e aço não superam  $0,3 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ .

### **2.2.3. Propriedades físico-químicas dos plásticos**

Dentre as propriedades químicas mais importantes dos polímeros, diretamente relacionadas às suas aplicações, estão as resistências à oxidação, ao calor, às radiações ultravioletas, à água, à permeabilidade de gases e a inflamabilidade (HADDAD, 2013).

Os termoplásticos por sua vez possuem elevada resistência à eletricidade, à oxidação e à água, possui também índice de permeabilidade igual a 0, visto ser um material hidrofóbico. No entanto, possui baixa resistência quando submetido a altas

temperaturas, radiações ultravioletas e ainda é conhecido pela sua alta inflamabilidade (HADDAD, 2013).

É importante ressaltar que no caso dos plásticos, um fenômeno conhecido como histerese, que é dependência de determinados sistemas físicos de sua história precedente, é comumente observado, visto que algumas propriedades dos polímeros estão estritamente relacionadas com a procedência do seu processamento (MUSSUCATO, 2017).

### **2.3. Argamassas**

As argamassas são misturas inerentes de um ou mais aglomerantes, agregados miúdos e água. Além dos componentes essenciais das argamassas, outros elementos podem ser adicionados com o fim de conferir ou melhorar determinadas propriedades, conforme a necessidade da utilização (COURA, 2015).

Segundo Coura (2015, p. 48), essas misturas podem ser empregadas para assentamento de tijolos, blocos, pisos, azulejos, revestimentos de paredes e tetos e ainda em reparos de peças de concreto. Para cada qual, a argamassa a ser utilizada deverá satisfazer algumas condições, conforme a sua qualificação: resistência mecânica, compacidade, impermeabilidade, constância de volume, aderência e durabilidade. A maior ou menor importância de uma dessas condições depende da finalidade da argamassa. Coura (2015, p. 53) explica que, estas propriedades estão na dependência de fatores diversos, como por exemplo, a qualidade e quantidade do aglomerante, qualidade e quantidade do agregado e a quantidade de água.

As argamassas de revestimento, utilizadas para chapisco, emboço e camada única, segundo Carasek (2016, p.15), devem garantir aderência entre a base e a camada subsequente, contribuir com a estanqueidade da vedação, proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação de intempéries, contribuir para aumento do isolamento térmico, acústico, além de, regularizar a superfície da parede de vedação e servir como base para a aplicação dos acabamentos.

#### **2.3.1. Propriedade das argamassas**

A Associação Brasileira das Normas Técnicas (ABNT), através de um conjunto de ensaios normatizados estabelece os requisitos necessários para cada característica que deve ser controlada através de procedimentos normativos.

### 2.3.2.Aspectos reológicos das argamassas

A trabalhabilidade é uma propriedade do estado fresco das argamassas, que está relacionada com a consistência de uma argamassa, e é responsável por determinar a facilidade com que poderão ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea. Sendo esta propriedade, relacionada a um conjunto de outras propriedades, como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, densidade de massa e adesão inicial (CABRAL, 2017).

Já a plasticidade pode ser definida como a tendência da argamassa se manter deformada após a retirada das ações de carga. Conforme a sua plasticidade, a argamassa poderá ser classificada em pobre, média ou rica, classificação essa que relaciona o teor de finos da mistura seca na argamassa (CABRAL, 2017).

Mano (2014, p. 42) explica que, a retenção de água é a propriedade definida pela capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade, mesmo quando sujeito a esforços que provocam a perda de água de amassamento, podendo ser por evaporação ou absorção da água pelo substrato.

Enquanto a sua densidade de massa, as argamassas podem ser classificadas em leve, normal ou pesada. As de classificação leve possuem densidade menor que  $1,40 \text{ g/cm}^3$ , usualmente são empregadas para isolamento térmico-acústico. As argamassas classificadas como normais, possuem densidade entre  $1,40 \text{ g/cm}^3$  até  $2,30 \text{ g/cm}^3$ , essas são as de utilização convencional. Já, as argamassas consideradas pesadas, têm densidade de massa maior que  $2,30 \text{ g/cm}^3$ , e são utilizadas para blindagem de radiação (CARASEK, 2018).

A retração em uma argamassa se relaciona com a variação de volume da pasta aglomerante, devido a perda de água por reações químicas de hidratação do cimento ou por secagem natural. Essa característica apresenta um papel fundamental em quanto à estanqueidade e à durabilidade da argamassa (CABRAL, 2017).

Ainda, de acordo com Cabral (2017, p. 22), a aderência é um fenômeno mecânico, devido, basicamente, à penetração da argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação, ainda em seu estado fresco. A aderência da argamassa a um substrato deve ser definida pelo conjunto de três propriedades: resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e a área de contato efetivo.

## **2.4. Utilização do PET na construção civil**

Segundo Aragon *et al.* (2014, p. 36), na construção civil, nos meados do século XX e início deste século, iniciou-se os estudos sobre a inertização de materiais poliméricos, que são os plásticos e borrachas, nas etapas construtivas. Como exemplo, na fabricação de tijolos, obtendo assim como resultado os tijolos ecológicos.

O Politereftalato de Etileno (PET) tem sido utilizado no meio construtivo, principalmente pelos benefícios ao meio ambiente, visto ser um plástico que demora 400 anos para se decompor na natureza. O PET pode ser reaproveitado de diversas maneiras, um exemplo, é uma escola situada em Planaltina-DF, onde foi construída uma sala de aula substituindo os tijolos pela garrafa PET, a qual foi preenchida por areia e barro latossolo vermelho, e nos pontos onde se tinha necessidade de entrar claridade, a garrafa era preenchida com água. Uma maneira sustentável de se utilizar PET na construção (FRANÇA, 2011).

Além do exemplo citado acima, são diversos experimentos realizados, como na Universidade Federal do Pará, onde foi criado um tijolo à base de cimento e garrafas PET, o qual se classifica como blocos de vedação segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A Revista de Arquitetura da IMED (BRASIL, 2012), publicou sobre a utilização de garrafas PET para constituir superfícies refletoras para ambientes enclausurados, e na substituição de blocos convencionais na produção de lajes nervuradas como proposto pela Universidade Estadual Vale do Acaraú – CE.

## **3. METODOLOGIA**

Na execução deste trabalho, foi inicialmente realizado um estudo do panorama atual referente a necessidade de reciclagem de materiais, principalmente, dos materiais plásticos, devido ao longo período necessário para sua decomposição e ainda a possibilidade de sua utilização em um dos cenários onde se tem uma grande geração de resíduos, a construção civil.

Através da revisão de literaturas, de autores como: Eloisa Biasotto, professora e química especialista em polímeros e Helena Carasek, engenheira civil e doutora em materiais e componentes de construção, iniciou-se a pesquisa das principais características dos materiais constituintes desse estudo, o politereftalato de etileno e as argamassas. Foi então verificado os aspectos físicos, mecânicos, reológicos e

químicos que poderiam influenciar no resultado final. Tendo a caracterização desses materiais, prosseguiu-se para a etapa de ensaios.

Os ensaios foram iniciados no ano de 2018 com o estudo da interação do pó de PET com o agregado miúdo, enquanto os demais ensaios, os quais complementam os resultados obtidos anteriormente, foram realizados no período de outubro e novembro de 2021, no laboratório de engenharia civil, localizado na Doctum – Campus Dom Orione, em Juiz de Fora – MG.

Com os resultados dos ensaios, foi possível estudar a interação entre os componentes e confrontá-los com os parâmetros mínimos exigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, e assim verificar a viabilidade de utilização da argamassa de revestimento com substituição parcial do agregado miúdo por pó de PET.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Agregados - determinação da composição granulométrica**

O trabalho teve início no ano de 2018, com o ensaio de granulometria do pó gerado no processo de reciclagem e moagem do politereftalato de etileno. Neste ensaio utilizou-se a metodologia apresentada pela NBR 7217/1987 do CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados: *Agregados - Determinação da composição granulométrica*.

Foi posicionada sobre a balança de precisão 0,1g uma bacia de metal, que foi tarada, e o material homogeneizado foi sendo colocado no recipiente até atingir exatos 500 g. É importante ressaltar que não foi utilizado estufa ou qualquer outro processo de secagem antes da pesagem e nem após. Foi montado um conjunto de peneiras de A4 (4,8mm) a A100 (0,15mm) conforme figura 1, previamente limpos com pincéis e sem materiais contaminantes, o material pesado foi depositado no interior da peneira A4 e com o “fundo” posicionado havendo agitação manual por 5 minutos e 16 segundos.

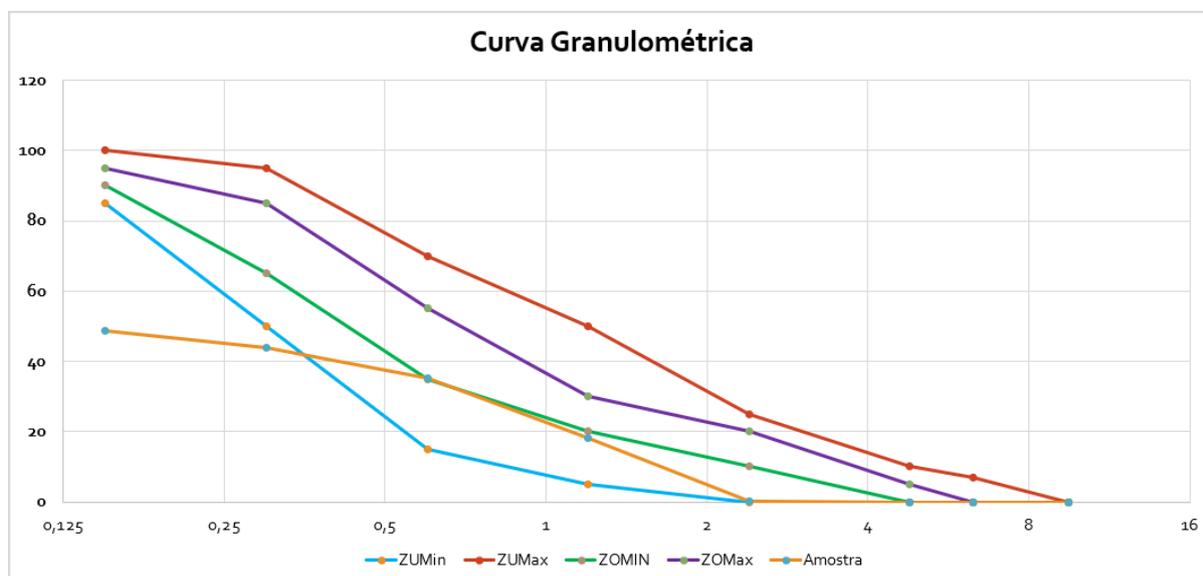
Figura 1: Conjunto de peneiras e material passante



Fonte: Autores (2018).

Através do gráfico 1, observa-se que a partir da peneira com 0,25 mm a amostra se apresenta abaixo da Zona Utilizável Mínima.

Gráfico 1: Curva granulométrica do pó de PET



Fonte: Autores (2018).

#### 4.2. Agregados e aglomerantes

Na elaboração do traço para os ensaios, será utilizado Cimento Portland CP II E 32, que conforme descrição no site da CSN Cimentos, um dos maiores produtores de cimento no mercado local, são produzidos segundo a norma NBR 11578/1991. Tendo como característica resistências iniciais superiores é indicado para a construção em geral. A adição de escória também diminui a probabilidade de

aparecimento de fissuras de origem térmica e propicia uma cura mais rápida, que atende aos requisitos necessários do trabalho.

Segundo descrição da mineradora Brasmic a areia fina lavada e peneirada é indicada para argamassas de alvenaria e revestimento interno e externo, principalmente para acabamento final bem como em contrapisos. Deste modo, será utilizada a areia passante na peneira #4 conforme ABNT NBR 7217/1987 do CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, com malha de 4,8 mm.

Também é utilizada a cal hidráulica, Coelho *et al.* (2017, p. 20) explica que esse elemento garante vantagens, como melhor trabalhabilidade e plasticidade da argamassa, maior potencial de aderência ao revestimento e grande capacidade de retenção de água. Conseqüentemente, reduz os problemas com fissuras por retração e contribui para a resistência mecânica.

### **4.3. Elaboração do traço básico**

Antes de realizar a quantificação do traço de argamassa a ser utilizado nos ensaios verificou-se a necessidade de fazer avaliações visuais em relação às características físicas e as interações entre a massa e o pó de PET.

A primeira necessidade verificada foi analisar a absorção de água do pó, visualmente, em comparação com a areia fina, para melhor entendimento da interação do material com água. A primeira impressão foi que o pó absorve mais água que a areia, observação essa que após a decantação não se confirmou, demonstrando que o pó não absorvia água corroborando Carraro (2015, p. 49) que diz: *“O PET possui característica hidrofóbicas, desta forma não absorve água, assim não é necessário a determinação do seu índice de absorção d’água pois o resultado é 0.”*.

Foram realizados testes em baixa escala para formular a pasta. No primeiro foi homogeneizada a areia com o cimento e a cal, posteriormente foi acrescentado o pó em proporção de 25%, misturado e acrescido de água. Essa ordem de mistura apresentou uma característica quebradiça, ressecada e baixa trabalhabilidade. Na segunda inverteu-se a ordem de mistura, homogeneizando o pó de PET com o agregado miúdo e a cal, adicionando cimento à mistura, e água. Através dos testes foi identificado o traço básico, medido em peso, em proporções de 1:2:1:0,33:1,5. Ressalta-se que o traço estimado poderá ser modificado conforme especificações dos

ensaios a serem realizados. Na tabela 1 pode-se verificar a quantificação e proporção dos traços a serem utilizados.

Tabela 1: Quantificação dos traços

QUANTIFICAÇÃO DOS TRAÇOS						
INSUMO	T0 (SEM ADIÇÃO DE PET)			T1 (COM ADIÇÃO DE PET)		
	PROPORÇÃO	QUANTIFICAÇÃO	UN.	PROPORÇÃO	QUANTIFICAÇÃO	UN.
CIMENTO	1	300	g	1	300	g
CAL	2	600	g	2	600	g
AREIA FINA	1,33	400	g	1	300	g
PÓ DE PET	-	-		0,33	100	g
ÁGUA	1,5	450	ml	1,5	450	ml

Fonte: Autores (2018).

#### 4.4. Normatização para argamassas

Conforme explica Thomé (2016, p. 10), as normas técnicas são conjuntos de leis que visam parametrizar as práticas de trabalho e produtos da construção civil. Assim, essas normas garantem os requisitos mínimos de qualidade para os produtos e serviços, bem como a forma correta de aplicação e uso dos produtos, se preocupam com a saúde e segurança dos trabalhadores, minimizam os problemas ambientais, facilitam os processos de comunicação e utilização dos produtos, reduzem as variedades garantindo os direitos dos fabricantes e dos consumidores.

As argamassas são regulamentadas tendo como base a *NBR 13281/2005 – Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos* – Requisitos, onde a mesma estabelece a classificação das argamassas e determina as normativas de ensaio.

Os ensaios a serem utilizados, avaliarão não somente os requisitos mínimos previstos pela *NBR 13281/2005*, quanto também os aspectos reológicos da argamassa considerados importantes por autores, como já listados anteriormente.

Segue abaixo os requisitos avaliados em uma argamassa de revestimento e as normatizações de ensaio:

- **Consistência e Plasticidade** - *NBR 13276/2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência;*
- **Retenção de água** - *NBR 13277/2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água;*

- **Resistência à compressão e à tração na flexão** - NBR 13279/2005 – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão;*
- **Densidade de massa aparente no estado endurecido** - NBR 13280/2005 - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido;*
- **Retração** - NBR 15261/2005– *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional;*
- **Coefficiente de capilaridade** - NBR 15259/2005 – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade;*
- **Resistência potencial de aderência à tração e aderência ao substrato** - NBR 15258/2005 - *Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração.*

## 5. ENSAIOS E RESULTADOS

De acordo com Carasek (2016, p. 23), fissuração e umidade são as principais patologias as quais as argamassas de revestimento são acometidas. A partir disso, definiu-se os ensaios para determinar a viabilidade inicial da utilização do PET em argamassas de revestimento, onde executou-se para cada ensaios, duas amostras distintas, sendo uma da argamassa sem adição do pó de PET (T0) e uma da argamassa com a adição do material (T1).

Para a realização dos ensaios utilizou-se as argamassas conforme traços informados no *item 4.3*, de acordo com a tabela 1.

Após verificação das respectivas NBR's e a disponibilidade dos aparelhos no laboratório disponibilizado pela Faculdade Doctum, foram realizados os ensaios, conforme descrito abaixo:

### 5.1. Resistência à compressão axial

É determinada de acordo com a NBR 13279/2005 – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos*, e expressa em megapascal (MPa), sendo considerada a carga máxima suportada pela argamassa na compressão axial.

De acordo com a norma, o laboratório estava na temperatura de 23° + ou – 2 (do ar) e 60 + ou – 5% de umidade relativa do ar. Foi realizado o ensaio para

determinar a resistência à compressão. Utilizaram-se nove moldes para cada traço, onde as argamassas foram espalhadas com o nivelador de camadas sob metade da camada dos moldes que se encontravam na mesa de adensamento. Após essa etapa, foram aplicados trinta golpes através da mesa; logo em seguida foi introduzido mais uma camada de argamassa no restante do molde e aplicado novamente mais trinta quedas através da mesa.

Os corpos de prova foram rasados com a régua e mantidos nas condições climáticas informadas durante 48h, antes do desmolde. Os corpos de prova foram rompidos com as seguintes idades: 7 dias, 14 dias e 28 dias. A figura 2 apresenta os corpos de prova após o rompimento.

Figura 2: Comparação dos corpos de prova T1 antes e após o rompimento



Fonte: Autores (2018).

Os valores obtidos em tf (tonelada força), no ensaio de compressão axial foram registrados na tabela 2:

Tabela 2: Valores obtidos no ensaio de compressão axial

VALORES OBTIDOS NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA AXIAL (tf)								
IDADE	T0 (SEM ADIÇÃO DE PET)				T1 (COM ADIÇÃO DE PET)			
	CP1	CP2	CP3	MÉDIA	CP1	CP2	CP3	MÉDIA
7	1,41	1,41	1,44	1,42	0,45	0,58	0,55	0,53
14	1,48	1,23	1,50	1,40	0,61	0,53	0,59	0,58
28	1,32	1,26	1,26	1,28	0,48	0,50	0,44	0,47

Fonte: Autores (2018).

## 5.2. Absorção de água por capilaridade

A absorção da água por capilaridade é determinada de acordo com a NBR 15259/2005 – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade*.

Para execução do ensaio, foram utilizados seis corpos de provas, sendo três de cada traço, moldados conforme a própria norma. Estes foram ensaiados após 28 dias da moldagem, com condições de laboratório com temperatura do ar de 23 à 27°C. Para início do ensaio, após o lixamento e limpeza da superfície, cada corpo de prova foi pesado para determinação da massa inicial ( $m_0$ ). Após a pesagem, os corpos de provas foram colocados em uma bandeja quadrada onde foi preenchido com 5mm +/- 1mm de água, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3: Corpos de prova durante o ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Autores (2021).

Decorridos 10 minutos que os corpos de prova estavam em contato com a água, estes foram pesados, tiveram suas massas registradas e retornaram para a bandeja com água. Totalizando 90 minutos do início do ensaio, o procedimento de pesagem foi repetido. Ressalta-se que os corpos-de-prova foram enxutos com panos úmidos antes de cada pesagem.

Os valores registrados nas pesagens de cada corpo de prova em 10 minutos e em 90 minutos, foram registrados na tabela 3:

Tabela 3: Valores obtidos no ensaio de absorção por capilaridade

VALORES OBTIDOS NO ENSAIO DE COEFICIENTE DE CAPILARIDADE								
TEMPO (min)	MASSA DOS CORPOS DE PROVA (g)							
	T0 (SEM ADIÇÃO DE PET)				T1 (COM ADIÇÃO DE PET)			
	CP1	CP2	CP3	MÉDIA	CP1	CP2	CP3	MÉDIA
0	236,10	236,40	237,10	236,53	199,00	198,20	197,90	198,37
10"	236,30	236,60	237,30	236,73	199,10	198,30	198,00	198,47
90"	237,30	237,40	238,20	237,63	199,70	199,10	198,70	199,17

Fonte: Autores (2021).

A absorção de água por capilaridade é calculada para cada tempo, e expressa em gramas/cm<sup>2</sup>, dividindo a variação da massa no determinado tempo pela área de seção transversal do corpo-de-prova em contato com a água.

### 5.3. Densidade de massa no estado endurecido

É determinada de acordo com a NBR 13280/2005 - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, densidade de massa aparente no estado endurecido*. Foram utilizados seis corpos de provas, sendo três de cada traço de argamassa, estes foram moldados a partir da NBR 13279/2005. Os corpos de prova foram ensaiados após 28 dias da moldagem, com condições de laboratório com temperatura do ar de 23 à 25°C e umidade relativa do ar de (60 a 5)%. Os corpos de prova utilizados são apresentados na figura 4.

Figura 4: Corpos de prova utilizados no ensaio de densidade de massa



Fonte: Autores (2021).

Após os 28 dias com o auxílio de uma régua metálica, foi determinado o diâmetro e a altura de cada corpo de prova. Para cálculo dos resultados foi dado o volume ( $v$ ) dos corpos de prova, em  $\text{cm}^3$ .

Os valores obtidos neste ensaio foram registrados na tabela 4:

Tabela 4: Valores obtidos no ensaio de densidade de massa

VALORES OBTIDOS NO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA								
DIMENSÕES	T0 (SEM ADIÇÃO DE PET)				T1 (COM ADIÇÃO DE PET)			
	CP4	CP5	CP6	MÉDIA	CP4	CP5	CP6	MÉDIA
MASSA (g)	233,70	234,00	238,00	235,23	197,00	200,00	198,50	198,50
DIÂMETRO (cm)	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40
ALTURA (cm)	9,20	9,30	9,40	9,30	9,20	9,40	9,20	9,27
VOLUME ( $\text{cm}^3$ )	139,82	141,34	142,86	141,34	139,82	142,86	139,82	140,83

Fonte: Autores (2021).

A densidade de massa é dada pela fórmula  $\rho_{\text{max}} = (m/v) * 1000$ , o resultado é expresso em  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

## 6. ANÁLISES

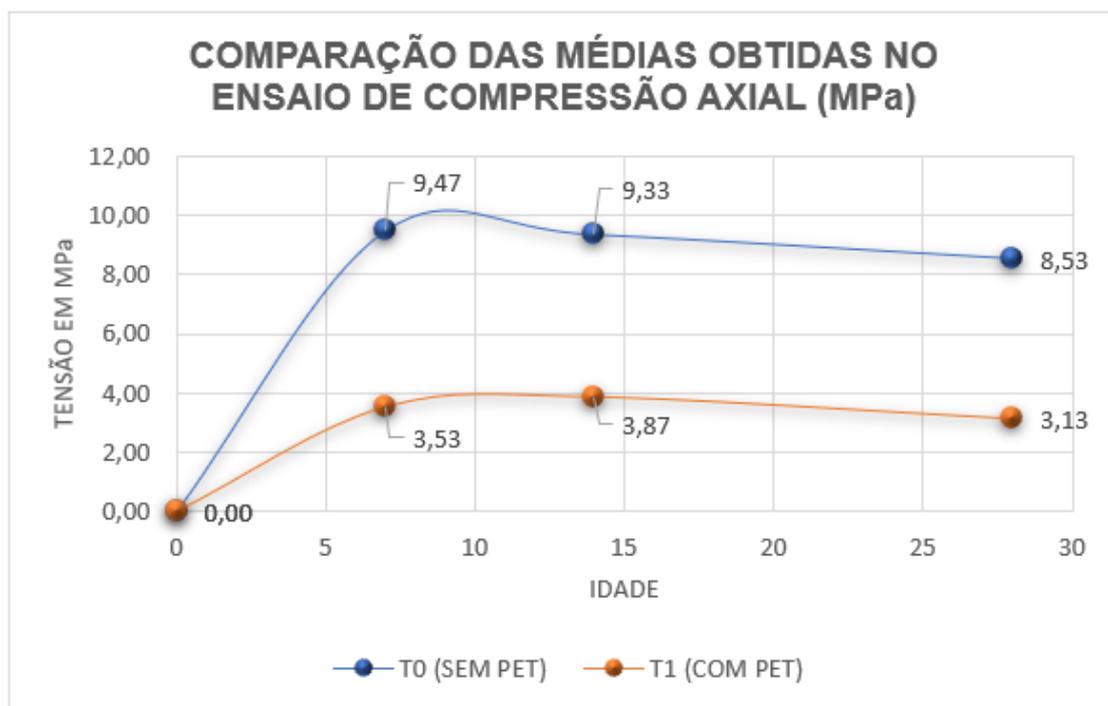
Serão apresentados os valores médios encontrados após os ensaios descritos no capítulo 5. Os dados exibidos estão de acordo com as normas apresentadas e são mostrados em tabelas, gráficos e imagens.

### 6.1. Resistência à compressão axial

A resistência mecânica das argamassas diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos de diversas origens, que são as tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento (CARASEK, 2018).

Para a análise dos valores registrados em ensaio, foi realizada a conversão de  $tf$  (tonelada força) obtidos no ensaio para  $MPa$  (Mega Pascoal), unidade convencional utilizada para se medir a tensão máxima empregada nos corpos de prova até seu rompimento, através do conhecimento básico de que:  $T=F/A$ , onde  $T$  é a tensão em  $MPa$ ,  $F$  é a leitura feita na máquina de ensaio em  $tf$  e  $A$  é a área da seção do corpo de prova em  $\text{metros}$ . Os valores em  $MPa$ , e a comparação entre os traços T0 (sem adição de PET) e o traço T1 (com adição de PET), são apresentados no gráfico 2:

Gráfico 2: Comparação das médias de resistência à compressão axial



Fonte: Autores (2018).

No ensaio de compressão axial, pode-se observar uma diferença significativa na resistência dos corpos de prova com a utilização do pó de PET em relação ao traço base, nas três idades que foram realizadas o rompimento, 7, 14 e 28 dias.

Contudo, a ASTM C 270 (2007), prevê para as argamassas de revestimento uma resistência média à compressão superior a 2,40 MPa. Sendo assim, a argamassa com adição de pó de PET atende a este quesito.

Segundo a NBR 13281/2005 existem alguns limites mínimos aceitáveis para os valores de resistência alcançados com o ensaio de compressão aos 28 dias. Dessa forma a argamassa referente ao traço T0, sem a adição de PET, é classificada como P6 com limite de resistência > 8 MPa, enquanto a argamassa com adição de PET, T1, é classificada como P2 com limite de resistência entre 1,50 e 3,00 MPa.

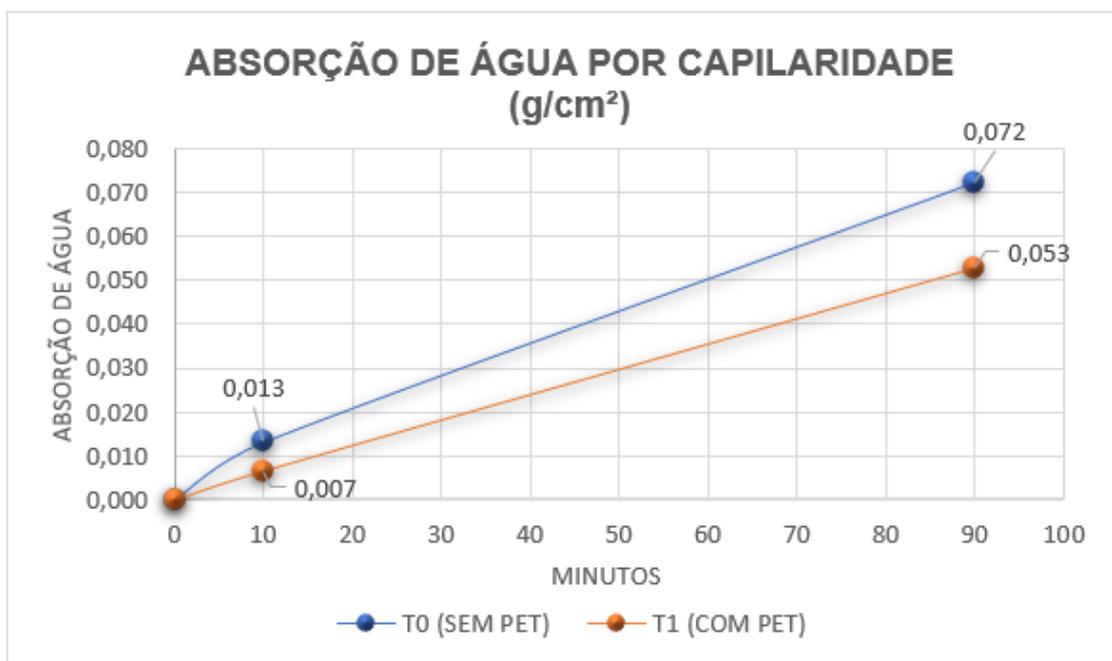
## 6.2. Absorção de água por capilaridade

De acordo com a absorção da água por capilaridade em uma argamassa de revestimento, é possível verificar a capacidade da argamassa de diminuir a propagação da umidade de forma ascendente (SALOMÃO, 2012).

Com os valores obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade, é calculado o teor de absorção para cada tempo, através da divisão da variação da

massa no determinado tempo pela área da seção transversal. Os resultados encontrados estão expressos no gráfico 3:

Gráfico 3 - Comparação das médias de absorção da água por capilaridade



Fonte: Autores (2021).

Verifica-se que o traço T1, com a adição do pó de PET, apresenta melhor eficiência na redução da absorção da água por capilaridade em comparação ao T0, traço base de argamassa, tendo absorvido ao final dos 90 minutos cerca de 26,38% de água a menos que a argamassa de referência. Porém, a argamassa com a adição, não pode ser considerada impermeável, visto que NBR 16072/2012, define uma porcentagem mínima de redução de 50% para que uma argamassa seja considerada impermeável.

Mesmo visualmente, os corpos de prova com adição de PET parecerem externamente mais porosos, acredita-se que devido ao pó de PET, possuir partículas de teor fino, este diminuiu a quantidade de vazios em contato entre si no interior do corpo de prova, o que dificulta a percolação da água entre os vazios. Ainda, sendo este um material considerado hidrofóbico, conforme visto anteriormente, este pode ter interrompido a transferência da umidade de um grão para o outro.

De acordo com a NBR 15259/2005, o coeficiente de capilaridade é aproximadamente igual ao valor médio das diferenças de massa aos 10 minutos e aos 90 minutos. Considerando esta definição, tem-se que o coeficiente de capilaridade na argamassa T0 é de  $0,59 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$  e na argamassa T1 é de  $0,46$

$\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ . Considerando ainda as classificações definidas na NBR 13281/2005, as argamassas T0 e T1 são consideradas da classe C1, por possuírem coeficiente de capilaridade  $<1,50 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ .

### 6.3. Densidade de massa no estado endurecido

A densidade de massa no estado endurecido de uma argamassa é calculada pela equação  $\rho_{\text{max}} = m/v * 1000$  onde,  $\rho$  é a densidade,  $m$  a massa do corpo de prova e  $v$  o volume do corpo de prova. Os resultados obtidos são expressos em  $\text{Kg/m}^3$  e estão apresentados no gráfico 4:

Gráfico 4 - Comparação das médias de densidade de massa



Fonte: Autores (2021).

Verifica-se no gráfico uma diferença de  $255,00 \text{ kg/m}^3$  entre os traços T0 e T1. Essa diferença, pode ser explicada através de uma análise simples, entre o peso específico da areia e a do pó de PET. Para essa análise o pó de PET foi inserido em um recipiente de volume conhecido, com  $200 \text{ cm}^3$ , e teve sua massa registrada, conforme Figura 5.

Figura 5 - Pesagem do pó de PET



Fonte: Autores (2021).

Levando em consideração que o peso específico de um material é definido como o peso por unidade de volume, em  $Kg/m^3$ . Sendo assim  $\gamma_{PET} = 0,556g/cm^3$  ou  $556Kg/m^3$ . Enquanto a areia fina, utilizada nos corpos de prova possui peso específico em torno de  $1.400Kg/m^3$ .

De acordo com Carasek (2018, p.15), as argamassas podem ser classificadas como leve, utilizadas para isolamento termo-acústico, quando estas possuem densidade de massa menor que  $1.400 kg/m^3$ , normal, quando estas possuem densidade de massa entre  $1.400kg/m^3$  e  $2.300Kg/m^3$  e pesadas, utilizadas para blindagem de radiação, quando possuem densidade de massa maior que  $2.300Kg/m^3$ . Exposto isso, observa-se que a argamassa T1, com adição de PET, mesmo estando classificada como normal, se aproxima bastante ao limite das argamassas com características termo-acústicas.

Considerando que neste trabalho foi utilizado uma porcentagem de 25% de substituição do agregado miúdo por pó de PET, acredita-se que um novo estudo com um traço modificado, poderá posteriormente chegar às características ideais de uma argamassa termo-acústica.

Importante ressaltar ainda que alguns dos corpos de provas apresentavam-se com aspecto esfarelado, conforme pode-se observar na Figura 6, podendo gerar variações nas medidas aferidas de volume, pois no volume foi considerado o valor do corpo de prova inteiro.

Figura 6 - Corpos de prova com adição de PET



Fonte: Autores (2021).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, no setor da construção civil, tem-se falado muito sobre a reciclagem de materiais, visto que é uma das áreas que mais atingem o meio ambiente, devido principalmente ao consumo dos recursos naturais. Por esse motivo, o presente estudo abordou através de ensaios e pesquisas a viabilidade da utilização do pó de PET em argamassas para revestimento.

Buscou-se realizar uma análise das principais características das argamassas de acordo com a NBR 13281/2005, onde foram determinados três ensaios para esse estudo.

Os ensaios realizados em laboratório de acordo com as NBR's foram feitos utilizando dois traços de argamassa, sendo um com substituição de 25% do agregado miúdo por pó de PET e outro convencional. Buscou-se analisar os requisitos quanto a resistência à compressão axial, densidade de massa e absorção de água por capilaridade.

No ensaio de compressão axial foi verificado que a argamassa convencional obteve um desempenho consideravelmente superior em relação à argamassa com adição de PET. Já no ensaio de absorção de água por capilaridade, verifica-se que a argamassa convencional obteve um resultado inferior em relação a argamassa com adição de PET. No terceiro ensaio foi verificado novamente uma superioridade da argamassa com adição de PET em relação à convencional.

De acordo com o exposto, verifica-se a possibilidade de utilização da argamassa com adição de PET para emboço de paredes de divisa entre unidades habitacionais, devido à melhora nas propriedades termo-acústicas, tendo em vista

que para essa utilização a argamassa deve apresentar uma densidade menor que  $1.400\text{Kg/m}^3$ , e a argamassa composta com PET apresentou valor próximo a esse de referência.

Verificou-se também, a possibilidade de utilizar a argamassa com adição de PET para emboço de áreas molhadas, como por exemplo cozinha e banheiro, e também para emboço de pavimentos térreos de edificações, levando em consideração que ela apresentou melhor desempenho, pois ao final do ensaio de absorção de água por capilaridade, absorveu aproximadamente 26% a menos de água do que a argamassa convencional.

Devido às limitações laboratoriais e de prazo, não foi possível a execução de todos os ensaios citados na NBR 13281/2005, portanto, para estudos futuros e para outras aplicações da argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por pó de PET, é sugerido a realização dos ensaios não realizados, previstos no item 4.4. Normatização para argamassas.

## **8. REFERÊNCIAS**

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281/2005: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15258/2005: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
8. ARAGON, A. T.; GHIRALDELLO, L. Produtos a base de polietileno (PET) na construção civil: um estudo diagnóstico no município de Poços de Caldas. *Gestão e Conhecimento*, edição 2014. Poços de Caldas/MG. Disponível em: <[https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/Artigo03\\_2014.pdf](https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/Artigo03_2014.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2021.
9. BARSANO, Paulo Roberto. *Meio Ambiente: guia prático e didático* / Paulo Roberto Barsano, Rildo Pereira Barbosa. – 1 ed. São Paulo: Érica, 2012.
10. BRASILEIRO, L.; MATOS, I. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica (online)*, vol. 61, no. 358, 2015, pp. 178-189. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2021.
11. CABRAL, E. *Materiais de Construção. Argamassas*. 2017, Instituto Federal de Educação do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora, MG.
12. CARASEK, H. *Materiais Naturais e Artificiais. Argamassas*. 4 ed., Geraldo Cechella Isaía, 2016, pp. 1-4.
13. CARASEK, H. *Materiais de Construção Civil. Argamassas*. 6 ed., Geraldo Cechella Isaía, 2018, cap 36 pp. 44-45.
14. CARRARO, C. L. *Análise pós-obra de habitações de interesse social visando a identificação de manifestações patológicas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
15. CAVALCANTE, et al. Design para a Sustentabilidade – um conceito interdisciplinar em construção. *Projética. Revista Científica de Design*. Londrina, v.3, nº 1 - julho, 2012.
16. COELHO, A. Z. G. *et al.* A Cal na Construção. Repositório online Universidade do Minho. Guimarães, 2017. Disponível: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/28972/1/A%20cal%20na%20onstru%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2021.
17. COURA, C. V. *Materiais de Construção. Argamassas*. 2015, Instituto Federal de Educação do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora, MG.

18. DAMINELI, B. L. Estudo de Métodos para Caracterização de Propriedades Físicas de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados. São Paulo, 2013, p. 120-125. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/7183/4909>>. Acesso em: 05 jul. 2021.
19. FRANÇA, G. L. Utilização de garrafas PET na construção de uma sala de aula no CEF - 02 de Planaltina – DF. 2011”. 28 f., il. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas). Consórcio Setentrional de Educação a Distância, Universidade de Brasília, Universidade Estadual de Goiás, Brasília, 2011.
20. GORNI, A. A. Introdução aos Plásticos. Revista plástico industrial. Aranda. São Paulo. 2013.
21. HADDAD, E.. Riscos associados aos produtos perigosos. Revista saúde, 2013. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/Perigos%produtos%.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2021.
22. MANO. E. B. Polímeros como materiais de engenharia. 3 ed., Edgar Blucher, 2014.
23. MICHAELI, W. Tecnologia dos Plásticos. Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo. Introdução e Lição 1, p. 1 a 13, 2011.
24. MUSSUCATO, F. et al. Análise das propriedades mecânica de materiais polímeros. 2017. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/Projetos/2010/g5.pdf>>. Acesso em 26 mar. 2021.
25. OLIVEIRA, Adrielle. Quais são os principais impactos ambientais da construção civil? *Mobbus construção*, 2019. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/cursos-e-faculdades/engenharia/quais-sao-os-principais-impactos-ambientais-da-construcao-civil>>. Acesso em: 17 mar. 2021.
26. RECENA, F.. Conhecendo Argamassa. Conhecendo Argamassa, vol. 1, no. 1ª Reimpressão, 2011, p. 189. Conhecendo Argamassa. Disponível em: <[https://books.google.com.br/PTargamassaw\\_kjR16f7r5H3rofNHKKM#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/PTargamassaw_kjR16f7r5H3rofNHKKM#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 24 mar. 2021.
27. SALOMÃO, M. C. F. Estudo da umidade ascendente em painéis de alvenaria de blocos cerâmicos. Uberlândia, 2012. Disponível: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14174/1/d.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

28. THOMÉ, B. B. NR e NBR: quem é quem na construção civil?. Plataforma Sienge. São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/nr-e-nbr-quem-e-quem-na-construcao-civil/>>. Acesso em 21 de mai. 2021.

## ANEXO I

### LISTA DE ILUSTRAÇÕES, TABELAS E GRÁFICOS

#### **Figuras:**

Figura 1 - Conjunto de peneira e material passante.....	11
Figura 2 - Comparação dos corpos de prova T1 antes e após o rompimento.....	15
Figura 3 - Corpos de prova durante o ensaio de absorção por capilaridade.....	16
Figura 4 - Corpos de prova utilizados no ensaio de densidade de massa.....	17
Figura 5 - Pesagem do pó de PET.....	22
Figura 6 - Corpos de prova com adição de PET.....	23

#### **Tabelas:**

Tabela 1 - Quantificação dos traços.....	13
Tabela 2 - Valores obtidos no ensaio de compressão axial.....	15
Tabela 3 - Valores obtidos no ensaio de absorção por capilaridade.....	17
Tabela 4 - Valores obtidos no ensaio de densidade de massa .....	18

#### **Gráficos:**

Gráfico 1 - Curva granulométrica do pó de PET.....	11
Gráfico 2 - Comparação das médias de resistência à compressão axial.....	19
Gráfico 3 - Comparação das médias de absorção da água por capilaridade.....	20
Gráfico 4 - Comparação das médias de densidade de massa.....	21

**ANEXO II****LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**PET** - Politereftalato de etileno

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**NBR** - Norma Brasileira Regulamentadora

**ASTM** - American Society for Testing and Materials