



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

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE  
ARGAMASSAS INCORPORADAS COM POLÍMERO**

**CARLOS ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA NETO**

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Campina Grande-PB, 07/05/2021

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE  
ARGAMASSAS INCORPORADAS COM POLÍMERO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 07/05/2021

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

**CARLOS ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA NETO**

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: Estruturas.

Orientador: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

Maio/2021

# FOLHA DE APROVAÇÃO

**CARLOS ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA NETO**

## **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS INCORPORADAS COM POLÍMERO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 07/05/2021  
perante a seguinte Comissão Julgadora:

---

Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues  
Orientador

Dr. em Engenharia de Transportes  
Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

*Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça*

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Ana Maria G. Duarte Mendonça  
Orientadora

Dr<sup>ª</sup> em Ciências e Engenharia de Materiais  
Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Carina Silvani  
Membro Interno

Dr<sup>ª</sup> em Engenharia Civil  
Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

*Osires de Medeiros Melo Neto*

---

Osires de Medeiros Melo Neto  
Membro Externo

Mestrando em Eng. Civil e Ambiental - UFCG  
Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente a Deus, por tudo que Ele fez e ainda faz em minha vida. Por todas as portas que Ele abriu, pela vida abençoada e por me guiar em todas as decisões que eu venha a tomar.

Agradeço aos meus pais, Marcos e Cláudia, por aceitarem junto comigo o desafio de morar em outra cidade e por sempre acreditar em mim e me aconselhar em tudo que eu faço.

Agradeço a todo o restante da minha família pelo apoio e por sempre me incentivar a buscar aquilo que almejo.

Agradeço a minha companheira, Ana Letícia, por todo o incentivo, apoio, carinho, compreensão e por sempre me dar discernimento nas escolhas.

Agradeço a todos os meus colegas de curso que compartilharam comigo essa caminhada, que não é fácil, porém é compensatória.

Agradeço aos meus amigos de infância que, mesmo em outra cidade, sempre se fizeram presentes nessa trajetória acadêmica.

Agradeço a professora Ana Maria, pelo empenho no seu trabalho, pela boa vontade em ajudar e preocupação com os seus orientandos.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a minha família por todo apoio e incentivo ao longo dessa caminhada, por todos os conselhos e pelas lições que carregarei comigo por toda a minha vida, na intenção de sempre ser uma pessoa cada vez mais fiel a Deus e um profissional responsável, comprometido, honesto, reconhecedor das minhas imperfeições e trabalhar para melhora-las diariamente.

## EPÍGRAFE

“Nas adversidades, uns  
desistem, outros batem  
recordes”

Ayrton Senna

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Grão de areia e argamassa, formando a estrutura responsável pela microaderência.....	24
FIGURA 2: Estrutura interna do cimento, com a formação dos produtos de hidratação.....	27
FIGURA 3: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	33
FIGURA 4: Fluxograma explicativo do quantitativo de corpos de prova para o ensaio de ataque por sulfatos.....	37
FIGURA 5: Painéis de argamassa para determinação de resistência à aderência.....	38
FIGURA 6: Ensaio de resistência à compressão axial.....	39
FIGURA 7: Localização das linhas de referência para medições dos corpos de prova .....	40
FIGURA 8: Corpos de prova imersos em água.....	41
FIGURA 9: Corpos de provas imersos em solução de sulfato de sódio.....	41
FIGURA 10: Cortes circulares utilizados no arrancamento dos corpos de prova: a) argamassa de referência; b) argamassa com 5% de areia substituída por PET; c) argamassa com 10% de areia substituída por PET .....	43
FIGURA 11 Formas de ruptura dos corpos de prova para a resistência de aderência à tração .....	44
FIGURA 12: Limites de resistência de aderência à tração ( $R_a$ ).....	56

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Traço em massa para os corpos de prova de cada teor.....	36
QUADRO 2: Quantitativo de corpos de prova para cada teor e tempo de cura.....	36
QUADRO 3: Caracterização física do agregado miúdo.....	45
QUADRO 4: Composição granulométrica do agregado miúdo.....	45
QUADRO 5: Caracterização física do CPII-Z.....	47
QUADRO 6: Caracterização física da cal.....	47
QUADRO 7: Caracterização física do PET.....	48
QUADRO 8: Caracterização física do agregado polimérico.....	48
QUADRO 9: Expansão resultante para cada teor.....	52
QUADRO 10: Relação das expansões resultantes ao longo das idades.....	54
QUADRO 11: Resistência média à tração para cada teor estudado.....	57

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Curva granulométrica da areia e os limites superior e inferior utilizável.....	46
GRÁFICO 2: Curva granulométrica do PET e os limites superior e inferior utilizável.....	49
GRÁFICO 3: Resistência à compressão média dos corpos de prova por teor e idade do ensaio .....	50
GRÁFICO 4: Comportamento linear da argamassa para cada teor estudado.....	53
GRÁFICO 5: Expansão resultante ao fim de 42 dias para cada teor em estudo...	54
GRÁFICO 6: Resistência média de aderência à tração para cada teor em estudo, relacionando com valores mínimos exigidos por norma.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABIPET – Associação Brasileira de Indústria do PET

ASTM – American Society for Testing and Materials

C-S-H – Silicato de Cálcio Hidratado

CAGEPA – Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba

Ca(OH)<sub>2</sub> – Hidróxido de cálcio

Cimento RS – Cimento com resistência à sulfatos

CPII-Z – Cimento Portland composto por pozolana

CH – Cal hidratada

C<sub>3</sub>S – Alita

C<sub>2</sub>S – Belita

C<sub>3</sub>A – Celita

C<sub>4</sub>A<sub>F</sub> – Ferrita

DEF – Etringita tardia

FQ – Filer quartzoso

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

PC – Policarbonato

PCTFE - Politrifluorocloretoetileno

PET – politereftalato de etileno

PE – Polietileno

PP – Polipropileno

PPO - Polióxifenileno

PS – Poliestireno

PVAs – Poliacerato de vinila

PVC – Policloreto de vinila

SA – Sílica ativa

SCA – Sílica de casca de arroz

## LISTA DE SÍMBOLOS

cm – centímetros

g – grama

g/cm<sup>3</sup> - grama por centímetro cúbico

ml – mililitro

mm – milímetros

MPa – mega pascal

N - Newton

°C – Graus Celsius

## RESUMO

A construção civil é a principal indústria que move a economia de um país. Dessa forma, na medida que a engenharia evolui, a sociedade obtém ganhos em infraestrutura, geração de empregos, qualidade de vida, inovações tecnológicas. Em contrapartida, é um dos setores onde mais se consome matéria prima, além de ser detentor de título da fábrica que mais consome insumos da sociedade. A partir dessa realidade, a busca por soluções sustentáveis se tornou frequente no setor da construção civil. A adição de polímeros nos processos construtivos é uma das principais frentes para combater essa estatística. Esses polímeros incrementam nas argamassas, concretos e demais insumos, propriedades importantes que melhoram seu desempenho e tornam os processos mais eficazes. Os polímeros reciclados vêm crescendo em aplicação na construção civil justamente pelo fato de que essa interação traz ganhos em propriedades, além de ter um viés ambiental importante. Este estudo tem como objetivo analisar o efeito da adição do Politereftalato de etileno (PET) nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas. Foram realizados ensaios de caracterização do aglomerante cimentício, do agregado miúdo e do PET. Após a definição traço, foram moldados corpos de prova com dimensões de 5 cm x 10 cm, com teores de PET nos valores de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%. Foi determinado a resistência à compressão axial, resistência ao ataque por sulfatos e resistência de aderência à tração. Para o estado endurecido, a adição desse agregado não trouxe ganhos significativos nos ensaios de compressão e aderência à tração, já com relação ao ataque por sulfatos, o agregado polimérico se comportou de forma negativa. Entretanto, o polímero traz ganhos importantes no estado fresco da argamassa, aumentando sua absorção de água, trabalhabilidade, consistência, densidade de massa.

**Palavras-chave:** Argamassa; PET; propriedades.

## ABSTRACT

Civil construction is the main industry that drives the economy of a country. Thus, as engineering evolves, society gains in infrastructure, job creation, quality of life, technological innovations. On the other hand, it is one of the sectors where most raw material is consumed, in addition to holding the title of the factory that consumes the most inputs from society. Bases on this reality, the search for sustainable solutions has become frequent in the civil construction sector. The addition of polymers in the construction processes is one of the main fronts to combat this statistic. These polymers increase in mortars, concretes and other inputs, important properties that improve their performance and make processes more effective. Recycled polymers have been growing in application in civil construction precisely because this interaction brings gains in properties in addition to having an important environmental bias. This study aims to analyze the effect of adding ethylene polythepththalate (PET) on the physical and mechanical properties of mortars. Characterization tests were carried out on cementitious binder, fine aggregate and PET. After the trace definition specimens with dimensions of 5 x 10 cm were molded with PET contents in the values of 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. Resistance to axial compression, resistance to attack by sulphates and resistance to tensile adhesion were determined. For the hardened state, the addition of this aggregate did not bring significant gains in the tests of compression and tensile adhesion, since relation to attack by sulfates, the polymer aggregate behaved in a negative way. However, the polymer brings important gains in the fresh state of the mortar, increasing its water absorption, workability, consistency, mass density.

**Key-words:** Mortar; PET; properties.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
1.2.1 Objetivo Geral .....	18
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 Histórico.....	19
2.2 Definição e conceito de argamassa. ....	19
2.3 Serventia do revestimento da argamassa .....	20
2.4 Propriedades das argamassas.....	21
2.4.1 Consistência .....	21
2.4.2 Trabalhabilidade .....	21
2.4.3 Durabilidade.....	22
2.4.4 Retenção de água .....	23
2.4.5 Aderência ao substrato .....	23
2.4.6 Resistência mecânica .....	25
2.5 Expansão por Sulfatos .....	26
2.6 Classificação das argamassas.....	28
2.7 Polímeros .....	28
2.7.1 Definição e classificação .....	28
2.7.2 Uso na construção civil .....	29
2.7.3 Politereftalato de Etileno - PET .....	30
2.7.4 Argamassa polimérica .....	31
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
3.1 Materiais .....	32
3.2 Metodologia .....	33
3.2.1 Caracterização física da areia, cimento, cal e PET.....	33
3.2.2 Moldagem dos corpos de prova.....	35
3.2.3 Ensaio no estado endurecido .....	38

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>44</b>
4.1 Caracterização física dos materiais .....	44
4.1.1 Caracterização do agregado miúdo .....	44
4.1.2 Caracterização do cimento .....	46
4.1.3 Caracterização da cal .....	47
4.1.4 Caracterização do PET .....	47
4.2 Propriedade das argamassas.....	50
4.2.1 Determinação da resistência á compressão .....	50
4.2.2 Determinação da resistência ao ataque por sulfatos.....	52
4.2.3 Determinação da resistência de aderência à tração .....	55
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....</b>	<b>58</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>7. APÊNDICES .....</b>	<b>65</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Brasileiro e Matos (2015) a construção civil faz parte das atividades mais primordiais registradas pela humanidade. Desde sempre, é um exercício onde há grande consumo de recursos naturais provenientes de fontes não renováveis. Nos dias atuais, essa indústria é conhecida como uma das mais importantes no impulsionamento econômico e social do país, responsável pela infraestrutura, geração de empregos, invenção de novas tecnologias.

Em contrapartida, os agregados utilizados na construção civil são os insumos minerais mais consumidos do mundo, a partir dos dados fornecidos pelos Anuários Minerais. De acordo com John (2000) o grande desafio da ciência para o século XXI é de desenvolver medidas sustentáveis no setor de construção civil, na intenção de reduzir o consumo exacerbado de matéria prima e descartes de formas indevidas na natureza.

John (2000) ainda completa que as razões para esses estudos estão justificadas no esgotamento de matérias primas não renováveis, redução do consumo de energia, diminuição na emissão de gases, redução de custos, melhoria na saúde e segurança da população,

Segundo Mansur (2007) o uso de polímeros na construção civil se torna cada vez mais frequente. Essa interação traz ganhos importantes nas principais propriedades físicas e químicas das argamassas. Não obstante essa vantagem, a inserção de resíduos poliméricos nas misturas é compreendida como uma medida sustentável na indústria da construção, visto que essa interação é capaz de reduzir consumos de cimentos e agregados convencionais, além de evitar despesas indiretas como menor geração de resíduo, menos gastos com transporte e maior produtividade na execução dos serviços.

Enquadrado no grupo de materiais alternativos na construção civil, o PET (Politereftalato de Etileno), que segundo a Associação Brasileira de Indústria do PET (ABIPET), é um poliéster, polímero termoplástico, 100% reciclado e possui diversas aplicações, nas mais diversas indústrias. É possível usar esse polímero

para fabricação de garrafas plásticas, fibras têxteis, adesivos, papéis, tapetes, resinas para produção de tintas, resinas poliéster, calçados.

De acordo com Galli et al (2012) a incorporação do PET na construção civil é uma alternativa considerável para amenizar os impactos ambientais causadas por esse material. Além disso, essa interação também tem objetivos para contribuição desse material diretamente no setor da construção civil.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo convencional por um agregado polimérico.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização de novos materiais na produção de argamassas vem crescendo nos últimos anos 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. Desse modo, o uso de resíduos originários dos diversos setores da indústria na construção civil possui inúmeras vantagens, dentre elas estão a produção de novos produtos, a diminuição da extração de matérias primas e a diminuição do descarte inapropriado destes resíduos no meio ambiente.

A procura por produtos que sejam eficientes e não acarretem danos ao meio ambiente vem crescendo nos últimos anos, indicando que a utilização de resíduos tem se revelado como uma 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

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo convencional por um agregado polimérico.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento a resistência à compressão simples de argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo convencional por resíduo polimérico;
- Avaliar o desempenho no estado endurecido da resistência de aderência à tração a partir do incremento do agregado polimérico;
- Avaliar o desempenho na resistência ao ataque por sulfatos de argamassas produzidas com a substituição do agregado miúdo convencional por PET.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Histórico**

De acordo com Selmo (1989) a utilização de “argamassas” foi vista já na Grécia Antiga (por volta dos 2000 a.C.). Nesta época era utilizada a argila como função de argamassa colante nas estruturas de taipa ou pau a pique, na intenção de fixar as estruturas nas bases de madeira. Essa mesma técnica foi aderida pelos romanos (séculos VII ao VI a.C.). No Egito, de 1600 a 1100 a.C., a argila em pasta era aplicada objetivando a armação estrutural das casas, nas edificações mais simples, que eram feitas com caules de plantas ou troncos de árvores.

Ainda de acordo com Selmo (1989) os gregos e os romanos foram as primeiras civilizações a misturarem a cal, areia e água, acrescentavam até mesmo o gesso, para obter o estuque, neste caso, como sendo uma particularidade de revestimento interno. Os gregos utilizavam muito a argila cozida como revestimento das pedras das fachadas. Já os romanos, foram responsáveis por difundir o uso de argamassas para assentamento de alvenarias e também para revestimento de fachadas. Com isso, a técnica foi se espelhando e se firmando nas civilizações, perpetuando até os dias atuais. Ou seja, usamos hoje uma técnica construtiva que já vem sendo aplicada e estudada há mais de 4 mil anos.

### **2.2 Definição e conceito de argamassa**

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define a argamassa para revestimento como sendo “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(es) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência ou endurecimento”. A norma também nos mostra algumas definições envolvendo o revestimento executado a base de cimento e cal, de acordo com sua aplicação. Nela, encontramos definições como:

– Adições: materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração na dosagem;

- Argamassa de cal: argamassa preparada com cal como único aglomerante;
- Argamassa de cimento: argamassa preparada com cimento como único aglomerante;
- Revestimento: É o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta para receber um acabamento final.

### **2.3 Serventia do revestimento de argamassa**

Segundo Sabbatini (1984), os revestimentos de argamassa possuem, de forma geral, as seguintes funções:

- Proteger as vedações e a própria estrutura contra a agressividade do meio, evitando assim a depreciação prematura da mesma. Além disso, tem a função de aumentar a vida útil e diminuir os custos com manutenção e reparo das edificações;
- Contribuir para com que as vedações cumpram suas funções, como por exemplo: isolamento termo acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo;
- Estéticas, de acabamento e todas aquelas que estão ligadas a valorização da construção ou determinação do padrão da edificação.

### **2.4 Propriedades das argamassas**

#### **2.4.1 Consistência**

De acordo com Cincotto et al. (1995), é a propriedade em que a argamassa no estado fresco tende a resistir a deformação. A classificação das argamassas, de acordo com a sua pesquisa, para a consistência é feita da seguinte forma:

- Secas: a pasta irá preencher os poros vazios entre os grãos;
- Plásticas: a massa forma uma película fina e atua como um lubrificante na superfície das partículas;

– Fluidas: os grãos ficam imersos na pasta.

As argamassas tidas como plásticas e fluidas podem sofrer de exsudação da água, acarretado principalmente por uma alta relação de água cimento. Esse ocorrido irá interferir diretamente na consistência e trabalhabilidade, onde será exigido misturas frequentes para homogeneização do material e pode acabar interferindo na capacidade de adesão dessa argamassa ao substrato. (SELMO, 1989).

Para a verificação da consistência da argamassa é utilizada, de forma geral no Brasil, a mesa de consistência (flow table) prescrita pela NBR 7215 (ABNT, 2019) e são realizados procedimentos de ensaio para determinação do índice de consistência prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2016).

Segundo Bauer et al. (2005) hoje já temos tecnologias que são capazes de realizar uma avaliação mais ampla do comportamento reológico das argamassas, nos provendo parâmetros como viscosidade e tensão de escoamento, sendo possível chegar a uma precisão mais assertiva de como está a consistência da pasta.

#### 2.4.2 Trabalhabilidade

Essa propriedade está diretamente relacionada com a consistência. Isso porque trabalhabilidade, em termos práticos, quer dizer facilidade de manuseio. É coerente dizer que uma argamassa é tida como trabalhável, quando ela é capaz de se espalhar, ou seja, se distribui com facilidade a ser assentada, quando não segrega a ser transportada, não endurece quando entra em contato com substratos absorvíveis e se mantém na forma plástica durante tempo suficiente para que a execução seja finalizada. Essa propriedade também está diretamente relacionada com o fator de água/cimento da mistura. (SABBATINI, 1984).

Os meios de obtenção de resultados numéricos que possam avaliar, quantificar ou prescrever valores de trabalhabilidade é tarefa muito difícil a ser feita. Isso acontece porque essa propriedade é influenciada por diversas características intrínsecas pelas próprias argamassas, mas também da particularidade do substrato, técnica de aplicação e, até mesmo, da habilidade

do profissional responsável pela aplicação dessa argamassa (CASCUDO et al., 2005).

Recena (2012) disserta que a trabalhabilidade de qualquer argamassa deve estar relacionada diretamente com a aplicação na qual ela for destinada, pois ela deverá apresentar características específicas para a função que irá desempenhar. Como por exemplo, argamassas utilizadas para assentamento possuirão trabalhabilidade diferente das que serão aplicadas para revestimento externo. Essa modificação estará sempre relacionada a quantidade de água empregada em sua preparação. Caso ocorra um excesso de água na mistura, rompendo a coesão, acarretará em uma pasta fluida, porém menos trabalhável devido a esse rompimento, isso deixará a argamassa incapacitada para realizar a função na qual ela foi destinada.

Estudando a definição e como a propriedade da trabalhabilidade se manifesta, é coerente entender que o conceito desse atributo é a correta interação entre dois aspectos: consistência e coesão. Isso quer dizer que, argamassas muito fluidas ou com grande coesão, igualmente apresentarão comprometimento em desempenhar seu papel na qual foi planejada (RECENA, 2012).

#### 2.4.3 Durabilidade

Essa propriedade pode ser entendida através de uma forma simplificada, como sendo a capacidade de uma argamassa em manter sua estabilidade química e física, durante um período de tempo, em condições normais exposição a um meio, desde que seja submetida aos esforços na qual foi projetada, sem deixar de cumprir as funções nas quais foram previstas. Ou seja, ela está diretamente relacionada a vida útil desse material, é a capacidade de manter seu desempenho projetado ao longo do tempo (RECENA, 2012).

Farias Filho (2007) define essa propriedade como sendo a capacidade da argamassa de manter, em níveis aceitáveis, suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, na qual fora projetada e mantendo esses níveis durante um certo tempo. Para verificação dessa propriedade, deve ser analisada a sua capacidade de resistir a agentes que possam deteriorar esse material,

comprometendo o seu desempenho ao longo do tempo de vida ou em anos de utilização.

#### 2.4.4 Retenção de água

A retenção de água é a capacidade da pasta, no estado fresco, de manter sua consistência e trabalhabilidade, ou seja, ela é responsável por manter essas duas em níveis aceitáveis para que seja possível a sua aplicação. Ela será analisada quando submetida a solicitações que estimulem a perda de água por evaporação, sucção do substrato ou através da hidratação do cimento e carbonatação da cal (CINCOTTO et al, 1995).

Recena (2012) ressalva que quanto maior a quantidade de água presente na mistura, volume de água evaporado na superfície da pasta crescerá proporcionalmente, por maior que seja a capacidade de reter água da mistura. Essa capacidade será fator primordial na garantia de aderência ao substrato, para que não ocorra o descolamento de parte da argamassa empregada em revestimento de paredes e garantindo também, uma homogeneidade pela manutenção da união dos vários elementos que a compõem na formação de um elemento compacto.

#### 2.4.5 Aderência ao substrato

De acordo com Sabbatini (1984) essa propriedade pode ser entendida como a capacidade que a área que fica em contato com o substrato possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem haver rompimento da mesma. Ainda segundo o autor, não é possível fazer uma relação entre algum parâmetro e a capacidade de aderência que se chegue a uma discussão conclusiva do seu desempenho, isso porque essa propriedade dependerá também do substrato. Tendo como exemplo, se aumentar a quantidade do aglomerante (cimento) não quer dizer, necessariamente, que haverá um aumento na capacidade de aderência dessa argamassa ao substrato.

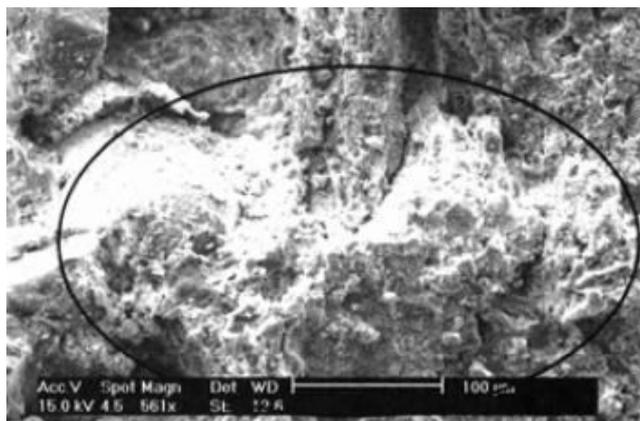
Segundo Recena (2012) garantir a correta eficiência de aplicação é um desafio a ser cumprido, pois dependerá da competência humana, onde essa é a variável mais importante de todo o processo. Superfícies muito lisas serão, com toda certeza, substratos com baixa aderência, por mais que a argamassa utilizada seja a melhor. O substrato deve ser preparado para receber essa pasta,

para que garanta a aderência almejada. O autor considera três sistemas de aderência que atuam de forma conjunta:

- a. a aderência instantânea;
- b. a microaderência;
- c. a macroaderência.

A aderência instantânea implica na capacidade da argamassa em se manter fixa ao substrato por um período de tempo considerado curto. Essa aderência dependerá criteriosamente da capacidade de coesão e plasticidade da argamassa. A segunda forma corresponde a parte da observação a nível microscópico, ou seja, essa irá depender da estrutura interna da pasta, onde dependerá principalmente das características do agregado miúdo, que também serão influenciadas pelo teor de água na mistura, assim como do material aglomerante. Já o terceiro mecanismo é a observação a olho nu, onde será analisado sua aderência superficial. A Figura 1 ilustra o grão de areia e argamassa, formando a estrutura responsável pela microaderência.

**Figura 1:** Grão de areia e argamassa, formando a estrutura responsável pela microaderência



**FONTE:** Recena (2012).

Segundo Gonçalves (2004) não é difícil quantificar a capacidade que uma argamassa tem de se aderir a um substrato, mas temos diversos fatores que podem influenciar nesse atributo. Dentre eles, pode-se dizer que os principais são: fatores relacionados a execução do revestimento, materiais empregados e as condições climáticas onde for feito o ensaio. De acordo com o autor, esses

componentes podem alterar o valor de um ensaio de aderência em até 33%. Ainda assim, os resultados desses ensaios devem ser interpretados de acordo com a forma que aconteceu a ruptura. Isso porque uma ruptura na interface do substrato com a pasta, quer dizer que houve uma falha na aderência pura, superficial. Já uma ruptura no interior dos materiais implica em falha de estruturação interna, ou seja, erro de dosagem da mistura. Todos esses fatores acarretarão em fraturas no sistema do revestimento e comprometimento no desempenho.

Segundo Silva (2005) a aderência é fortemente influenciada pelas condições da base, levando em conta sua porosidade e absorção da água, a resistência mecânica, textura superficial e pelas condições na execução do revestimento. Focando diretamente na argamassa, essa propriedade será instigada principalmente da capacidade de retenção de água, da sua consistência e do índice de vazios dessa pasta, além de do teor de finos do agregado miúdo.

#### 2.4.6 Resistência Mecânica

Recena (2012) explica que a principal questão, o maior mérito analisado estar no valor quantificado, ou seja, no valor que será obtido através dos ensaios de laboratório e como deve ser feita essa medição. Para isso, temos que nos preocupar com a idade do ensaio, qual método será empregado e qual o corpo de prova a ser adotado. De certa forma é lógico dizer que essa resposta está diretamente relacionada ao emprego e as solicitações previstas em projeto para essa argamassa. A resistência mecânica é um fator de controle de avaliação da qualidade, através da verificação da homogeneidade das operações de produção.

Segundo Tachard (2006) o ganho de resistência ao longo dos dias acontece devido a reação de hidratação lenta dos componentes do cimento. Principalmente pela formação do C-S-H (Silicato de cálcio hidratado) que é um produto de hidratação do cimento e é responsável pelo ganho de resistência do elemento. O autor ainda ressalva a relação inversa entre resistência e porosidade. Para analisar o nível de poros do elemento, deve ser estudado a absorção da água (quantidade de água necessária para o enchimento dos

poros), além do índice de vazios. O nível de porosidade também tem relação direta com a facilidade de penetração de agentes de degradação nas estruturas

A NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a compressão – define os corpos de provas em formato prismático para a determinação da resistência à compressão obtidos com metade dos corpos de prova prismáticos rompidos previamente por flexão.

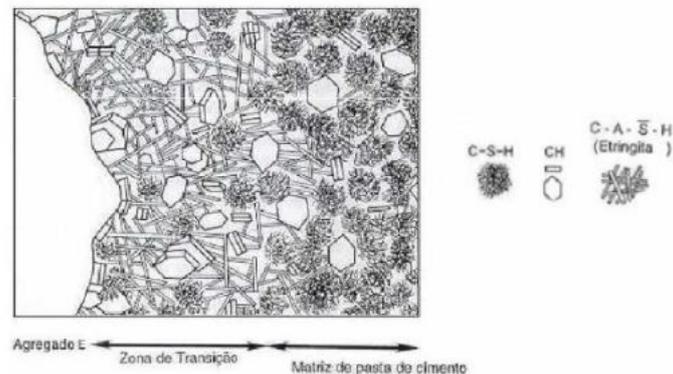
## 2.5 Expansão por sulfato

Leoni et al. (2020), explica que os íons sulfatos podem ser altamente deteriorantes em estruturas de concreto. Isso acontece devido ao mecanismo de hidratação do cimento. Essa reação pode ser explicitada da seguinte forma:



Para explicar esse procedimento, devemos entender o processo de fabricação do cimento. As matérias primas desse material são o calcário, argila, alumínio e ferro. Esses elementos são misturados em um forno e formam o clínquer. Dentro desse clínquer teremos os silicatos ( $\text{C}_3\text{S}$  e  $\text{C}_2\text{S}$ ) e os aluminatos ( $\text{C}_3\text{A}$  e  $\text{C}_4\text{AF}$ ). Os silicatos são responsáveis por fornecer resistência e os aluminatos pelo tempo de pega, eles são elementos instáveis. Os silicatos serão responsáveis pela formação do C-S-H e do  $\text{Ca(OH)}_2$ . Para estabilizar esses aluminatos, ou seja, para não termos pega imediata, adicionamos o gesso (sulfato), na mistura. Esse gesso se juntará aos aluminatos, estabilizando-os, e formando a etringita, que é um elemento expansivo. Essa é a chamada etringita primária, que não causa danos a estrutura, pois é um produto de hidratação do cimento, ela é uma reação endógena. A Figura 2 ilustra esses três elementos formados no processo de hidratação do cimento. Quando a estrutura entra em contato com sulfatos de fontes externas, esse processo de formação da etringita continuará a acontecer, porém o elemento já está endurecido, isso provocará uma fissuração, devido as reações expansivas.

**Figura 2:** Estrutura interna do cimento, com a formação dos produtos de hidratação.



**FONTE:** Mehta e Monteiro (2014).

Segundo Mehta e Monteiro (2014) a etringita que causa danos a estrutura é aquela chamada de etringita tardia (DEF). Para que ela ocorra, é necessário que a estrutura esteja em contato com água e possua fontes internas de íons sulfato presentes em agregados com gipsita ou cimentos com alto teor de sulfatos. Então haverá reações posteriores, com produtos à base de sulfato, nesse caso a etringita tardia, durante a vida útil da estrutura. Para simplificar, a definição da DEF é a formação de etringita no concreto após o endurecimento e sem qualquer fornecimento externo de sulfato, mas exposto a umidade.

Ainda de acordo com Leoni et al. (2020), há um favorecimento de formação de etringita em concretagens acima de 65°C. Isso seria um problema em concretos que sofrerão cura à vapor e em grandes blocos, como barragens ou sapatas com alto volume de concreto. Essa formação acontece porque após essa temperatura, a etringita se torna instável e decompõe-se, formando o monossulfato hidratado. Esse composto libera íons sulfato e eles serão adsorvidos pelo C-S-H. Esse mecanismo acontece durante a utilização da estrutura, então esses sulfatos entrarão em reação e se formará novas etringitas, gerando processos expansivos e fissurando o elemento.

Bertolini (2010) explica que a gravidade da reação é relacionada diretamente ao teor de sulfatos que estão presentes no solo ou na água na qual essa estrutura esteja em contato, além das características desse concreto. Como prevenção ao ataque contra sulfatos, pode ser feita uma prevenção ainda na fase de projetos, diminuindo o fator água/cimento, utilizando cimentos com maior adição de pozolana, escória de alto forno ou sílica ativa, ou com a

utilização de cimentos resistentes a sulfatos (RS), que são cimentos com baixo teor de  $C_3A$  e  $C_4AF$ .

## 2.6 Classificação das argamassas

A NBR 13529:013 classifica as argamassas segundo diversos critérios:

- Quanto à natureza do aglomerante: argamassa aérea e hidráulica;
- Quanto ao número de aglomerantes: argamassa simples e mista;
- Quanto ao tipo de aglomerante: argamassa de cal, de cimento e de cimento de cal;
- Quanto à função do revestimento: argamassa de chapisco, de emboço e de reboco;
- Quanto à forma de preparo ou fornecimento: argamassa dosada em central, preparada em obra, industrializada e mistura semipronta para argamassa;
- Quanto a propriedades especiais: argamassa aditivada, de aderência melhorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófuga e termoisolante.

Usualmente nas obras é utilizado argamassas de cal, de cimento e areia e as argamassas de cimento, mais conhecida como argamassa mista.

Segundo Recena (2012) as argamassas também são produzidas utilizando um agregado polimérico, através de resinas nas suas mais variadas composições químicas. Essa pasta é obtida a partir de uma adição de uma carga, o agregado miúdo, a resina. Em outras palavras, o rendimento da argamassa pode ser aumentado em certos aspectos pelo uso de pequenas percentagens de resinas poliméricas.

## 2.7 Polímeros

### 2.7.1 Definição e classificação

A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Ou seja, um polímero nada mais é que uma macromolécula composta

por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição chamadas de meros, conectados através de uma ligação covalente. A matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição (CANEVAROLO, 2002).

Canevarolo (2002) classifica os polímeros da seguinte forma:

- a) Quanto à estrutura química: polímeros de cadeia carbônica e de cadeia heterogênea;
- b) Quanto ao método de preparação: polímeros de adição e de condensação;
- c) Quanto ao comportamento mecânico: polímeros plásticos, elastômeros e de fibras;
- d) Quanto ao desempenho mecânico: termoplásticos convencionais, termoplásticos especiais, termoplásticos de engenharia (TE), termoplásticos de engenharia especiais.

#### 2.7.2 Uso na construção civil

O uso dos polímeros na indústria da construção é diverso. Segundo HIPOLITO (2013) as principais aplicabilidades desses compostos químicos na construção civil são:

– Instalações Hidráulicas: Uso do PVC (poli cloreto de vinila) para a condução e manuseio da água;

– Instalações Elétricas: Uso do PVC, PS (poliestireno), PE (polietileno), PP (polipropileno), PPO (polióxifenileno) e o PCTFE (politrifluorcloroetileno) para isolamentos de cabos elétricos, interruptores, cabos elétricos, conduítes.

– Fechamento de Cobertas: Uso do PVC, PP, PC (policarbonato) para a confecção de telhas de diversas propriedades e características específicas.

– Pisos, revestimentos e forros: Os pisos vinílicos, alguns papéis de paredes, forros de gesso são exemplos de materiais produzidos a partir do PVC. Para o uso de tintas e vernizes, também encontramos a aplicação do PVAs (poliacerato de vinila);

– Argamassas Poliméricas: As principais aplicações dessas argamassas estão em serviços de impermeabilização, reforço estrutural, assentamentos de

alvenaria, aplicação de revestimentos, ganhos em propriedades específicas e os polímeros utilizados são diversos, como o PP, PET, polímeros acrílicos.

### 2.7.3 Politereftalato de Etileno – PET

Segundo Teixeira (2013) a primeira aparição do PET foi na década de 1940, quando Whinfield e Dickson descobriram a utilização do material para a fabricação têxtil. Porém, apenas em 1973 que Du Pont desenvolveu um processo um processo de injeção e sopro com biorientação, isso consagrou a introdução do PET na aplicação de garrafas. A partir do ano de 1993 que esse processo ganhou escala e passou a ser fortemente utilizada. Nos dias atuais, essa se tornou a maior aplicação desse polímero na indústria, com destaque para bebidas gaseificadas.

Montenegro (1996) citado por Junior (2010) disserta que o PET é uma resina extremamente versátil, tendo diversas áreas de atuações. Essa vantagem se dá, principalmente, porque esse polímero pode ser fabricado com diversas propriedades, a depender de sua aplicação. Para se chegar a essa variedade, esse polímero passa por diversos tratamentos térmicos e o uso de um método para a orientação das cadeias (uni e biaxial).

A Associação Brasileira da indústria do Pet argumenta que o PET é um polímero termoplástico e destaca que suas principais vantagens é a grande variabilidade de utilização e a possibilidade de reciclagem. Acrescenta ainda que esse material é muito resistente para a fabricação de garrafas, frascos e embalagens para água, refrigerantes, sucos, medicamentos, entre outros produtos no estado líquido. Esse polímero é capaz de proteger os produtos com segurança e higiene, resistindo bem aos agentes agressivos do meio, graças a sua ótima resistência mecânica e química, além de características como leveza e transparência.

As variadas aplicações do PET na indústria geram altas demandas na produção desse material. De acordo com Duarte (2014) esse polímero pode chegar até 400 anos para completa degradação, isso chama atenção para a reciclagem desse produto, pois essa característica o torna extremamente agressivo ao meio ambiente. Diante de toda essa problemática, a sua reciclagem

é uma das maiores reivindicações de grupos ativistas e ambientais, além da própria população e indústria.

A ABIPET também informa que, especificamente na construção civil, as principais aplicações do PET estão na fabricação de tubos e conexões, material de caixa d'água, torneiras, piscinas e telhas. A reciclagem desse polímero pode ser aproveitada na confecção de pias e bancadas, além de tintas e vernizes. Esse material, reciclado, pode servir também de decoração em residências ou suporte para plantas.

#### 2.7.4 Argamassa polimérica

Pode-se dizer que argamassa polimérica é um composto que possui um material de enchimento mineral, no caso, um agregado graúdo, que pode ser de pedra, brita e cascalho, juntamente com um aglomerante polimérico, podendo ser uma resina termoplástica ou termofixa, como é na maioria das vezes (MOTTA, 2014).

De acordo com Mansur (2007) as formas mais comuns para a inserção dos polímeros em argamassas é aplicando-os na forma de latexes, como dispersões poliméricas aquosas, ou na forma de pó redispersíveis. No caso de polímeros que são solúveis em água, esses serão adicionados durante a mistura da pasta e são adicionados na forma de pó ou soluções. A grande vantagem desse tipo de interação é o ganho na trabalhabilidade graças a atividade superficial desses polímeros. Mais ainda, outro benefício dessa relação é o aumento da capacidade de reter água favorecida pelo aumento da viscosidade da fase que contém água, assim como pela formação de um filme fino impermeável sobre essa fase.

Os tipos de compostos poliméricos mais empregados em materiais cimentícios são: pós-poliméricos redispersíveis, látices poliméricos (dispersões), polímeros líquidos ou polímeros solúveis em água. Isso implica que, o que governa a mudança das propriedades das matrizes cimentícias com adição de polímeros é a relação entre polímero e cimento (OHAMA, 1998; SILVA, 2001).

Segundo Raymundo (2017) além de todas os benefícios em termos de propriedades e desempenho, a adição de polímeros em argamassas também gera benefícios na temática que envolvida de construção enxuta. Isso ocorre

porque essa argamassa já vem misturada de fábrica, ou seja, esse fato já elimina uma série de outras atividades que seriam dispendiosos nos quesitos financeiro e humano, que são: misturas a água com materiais secos, estabelecer retoques para a argamassa convencional, manuseio da betoneira e alocação de funcionário para a execução da tarefa. Além disso, ainda gera uma obra mais limpa, com menos entulho. Tendo em vista essa perspectiva, é justo falar que a organização do processo é otimizada, há um aumento na produtividade e diminui o risco de se obter uma argamassa com erro de dosagem.

Mansur (2003) revela que o uso de argamassas poliméricas vem sendo amplamente difundidas na indústria da construção civil, graças as suas vantagens com relação a argamassas convencionais. Citando algumas dessas principais serventias, podemos mencionar o aumento na trabalhabilidade e retenção de água, maiores resistências á flexão e tração, aumento na deformabilidade e da adesão.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 *Materials***

Os materiais utilizados para desenvolvimento deste trabalho, foram:

- Agregado miúdo: O agregado miúdo, utilizado na pesquisa, será do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba.
- Cimento: Cimento Portland CII-Z 32. Obtido no comércio de Campina Grande.
- Cal: A Cal utilizada foi a Carbomil, que é uma cal hidratada, do tipo CH-I fabricada a partir do puro calcário cretáceo. Obtida no comércio de Campina Grande.
- Agregado polimérico: O polímero utilizado foi do tipo triturado, obtido da reciclagem de garrafas PET, classificado como plastômero, e com a denominação de Politereftalato de etileno, adquirido na indústria DEPET Reciclagem localizada no município de Campina Grande-PB;
- Sulfato: Sulfato de sódio em pó, que será utilizado para o preparo da solução que servira como base para esse estudo, na concentração de 100g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  por litro;
- Água: fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

#### **3.2 *Metodologia***

Para efetivação desta pesquisa serão realizadas as etapas apresentadas no Fluxograma da Figura 3.

**Figura 3:** Fluxograma das etapas da pesquisa.

**FONTE:** Dados da Pesquisa (2021)

### 3.2.1 Caracterização física da Areia, Cimento, Cal e PET

#### 3.2.1.1 Análise granulométrica

O ensaio de granulometria determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de distribuição granulométrica que mostra o percentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira. Com a granulometria, também foi possível obter o módulo de finura, que consiste na soma das porcentagens retidas acumuladas em massa, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

O ensaio de composição granulométrica para o e agregado miúdo e para o PET foi realizado segundo o método de ensaio da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

#### 3.2.1.2 Determinação da massa específica

A massa específica do agregado é a relação da massa e o seu volume, não considerando os vazios permeáveis da água. Este valor tem importância no cálculo do consumo dos materiais a serem determinados no traço de argamassa.

A determinação da massa específica da areia e do PET foi realizada por meio do frasco de Chapman, segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Para o

cimento e a cal, o ensaio foi realizado seguindo a norma NBR NM 23 (ABNT, 2001).

#### 3.2.1.4 Determinação da massa unitária

A massa unitária do agregado no estado solto corresponde ao quociente da massa do agregado lançado no recipiente e o volume do mesmo. Este ensaio tem como objetivo principal verificar a massa unitária do agregado miúdo, incluindo os vazios, e umidade que existem entre os grãos, e determinar sua utilização no traço de concreto. Com essa determinação pode-se ser feito as transformações dos traços de massa para volume durante o procedimento de dosagem.

O ensaio foi realizado com os agregados miúdos (areia e PET), cal e cimento segundo o método de ensaio NBR NM 45 (ABNT, 2006).

A massa específica real do cimento, propriedade relacionada à razão entre a massa e o volume dos grãos do cimento, foi determinada com o uso do frasco volumétrico de *Le Chatelier* seguindo os procedimentos da NBR 16605 (ABNT, 2017).

#### 3.2.1.5 Ensaio de finura

É a determinação da porcentagem, em massa, de cimento Portland cujas dimensões de grãos são superiores a  $75\mu\text{m}$  através do método de peneiramento manual de acordo com a norma NBR 11579 (ABNT, 2012).

É importante se conhecer o valor da finura dos cimentos, pois quanto mais fino for o cimento melhor é a sua reação de hidratação e a resistência mecânica da argamassa.

### 3.2.2 Moldagem dos corpos de prova

#### 3.2.2.1 Ensaio de resistência à compressão

Depois de realizada a caracterização dos materiais, estudou-se a dosagem das argamassas de revestimento, com o intuito de determinar a quantidade necessária de material para moldagem de todos os corpos de prova.

Dessa forma, foram definidos dois traços diferentes, que dependerão do ensaio em questão.

Para o ensaio de resistência à compressão simples, o traço utilizado foi 1:2:9 (cimento;cal;areia). Os corpos de prova foram moldados com dimensões de 5 x10 (cm). Os teores de PET nos corpos de prova variam de 5%, 10% e 15%, em substituição ao agregado miúdo convencional. A relação água/, por sua vez, variou para cada teor. Foram moldados 12 corpos de prova para a argamassa de referência, que é aquela que não possui adição de polímero na mistura. O Quadro 1 apresenta a dosagem adotada.

**Quadro 1:** Traço em massa para os corpos de prova de cada teor.

Argamassa	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	PET (g)	Relação a/c	Água (ml)
REF	1575	1150	17273	0	1,75	4770
5% PET	1576	1150	16406	866	1,52	4143
10% PET	1576	1150	15546	1727	1,54	4198
15% PET	1576	1150	14682	2591	1,55	4225

**FONTE:** Dados da Pesquisa (2021)

Para esse ensaio foram moldados 48 corpos de prova, dessa forma, temos 9 moldes para teor em estudo, nas idades de cura de 7, 14, 28 e 56 dias. O Quadro 2 explicita a quantidade exata de corpos de prova para teor e idade de cura estudado.

**Quadro 2:** Quantitativo de corpos de prova para cada teor e idade de cura.

Idade de Cura	Teores de Pet			
	0%	5%	10%	15%
7	3	3	3	3
14	3	3	3	3
28	3	3	3	3
56	3	3	3	3

**FONTE:** Dados da Pesquisa (2021)

A moldagem para os três ensaios de estudo seguiu os procedimentos previstos na NBR 7215 (ABNT, 1997), sendo a colocação da argamassa feita em quatro camadas, aplicando 30 golpes uniformes com soquete normal em cada camada. Por fim, realizou-se a rasadura por meio da régua.

Após 24 horas, os corpos de prova eram desmoldados, identificados e colocados na areia úmida para, posteriormente, serem submetidos aos ensaios de caracterização física.

### 3.2.2.2 Ensaio de ataque por sulfatos

Para o ensaio de resistência ao ataque por sulfatos, o traço adotado foi de 1:1:6 (cimento;cal;areia). Os teores de PET nos corpos variam de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%. Os corpos de provas moldados foram curados por um período de 28 dias em câmara úmida com umidade relativa do ar de 100%. Após o período de cura, foram imersos em água saturada com cal por 48 horas.

Nesse ensaio, serão moldados 36 corpos de prova cilíndricos 5 x 10 (cm), sendo 6 desses corpos para a argamassa de referência. O restante dos corpos foi dividido igualmente para cada teor em estudo.

Para cada dosagem serão contabilizados 6 corpos de prova. Dentro desses 6 corpos, para cada concentração, metade dos corpos serão para análise feita submersas na água saturada com cal e a outra parte submersa em solução de sulfato de sódio (10%).

Para a resistência de ataque aos sulfatos será feita a análise para as idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias. A Figura 4 informa quantidade exata de corpos de prova para teor e idade de cura estudado.

**Figura 4:** Fluxograma explicativo do quantitativo de corpos de prova para o ensaio de ataque por sulfatos.



**FONTE:** Dados da Pesquisa (2020)

### 3.2.2.3 Ensaio da resistência de aderência ao substrato

Para esse ensaio foram executados painéis de emboço com traço 1:1:6 (cimento;cal;areia), sendo um para referência e outros com adição do agregado polimérico nos teores de 5%, 10% e 15% sobre uma alvenaria já com chapisco. O volume de água utilizado foi definido como o necessário na intenção de prover trabalhabilidade para a execução do revestimento. A Figura 5 expõe o modelo de painéis executados.

**Figura 5:** Painéis de argamassa para determinação da resistência a aderência.



**FONTE:** Dados da Pesquisa (2020)

Cada painel possuía dimensões de 97 cm de altura, 85 cm de largura e aproximadamente 2 cm de espessura. A projeção da argamassa ao substrato foi feita manualmente.

### 3.2.3 Ensaio no estado endurecido

#### Resistência à compressão simples

Técnica utilizada para a verificação da resistência à compressão de argamassas feitas de cimento Portland, em seu estado endurecido. Todo o procedimento é feito através de uma adaptação da NBR 7215 (ABNT, 1996), que especifica a determinação de resistência à compressão de cimento Portland, e que foi modificada para a mensuração desta propriedade em argamassas.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos da UFCG, como mostra a Figura 6, com o equipamento Shimadzu Servopulser, modelo EHF-EM100K1-020-0A de capacidade máxima de 100KN.

**Figura 6:** Ensaio de resistência à compressão axial.



**FONTE:** Dados da Pesquisa (2020)

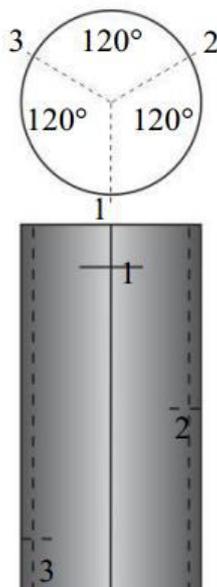
### Resistência ao ataque por sulfatos

A durabilidade das argamassas incorporadas com resíduos de PET ao ataque por sulfatos foi avaliada pela variação dimensional dessas quando imersas em solução de sulfato de sódio, seguindo a metodologia da norma NBR 13583 (ABNT, 2014), adaptando as necessidades desse estudo. Serão mantidas as recomendações quanto ao período de exposição e teor da solução de sulfato de sódio (10%).

A realização da medição para verificação da variação dimensional será realizada nas idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias, realizando três medições (mm) de altura para cada corpo de prova, utilizando um paquímetro, colocando 3 corpos de prova para cada composição de solução. A localização das alturas e dos diâmetros foram marcadas com tinta permanente no início do ensaio, para

que as medições fossem efetuadas sempre nos mesmos pontos conforme ilustrado na Figura 7.

**Figura 7:** Localização das linhas de referência para medições dos corpos de prova.



**FONTE:** Rezende (2013).

Os corpos de prova, após o período de cura e devidamente identificados, foram imersos em água por 48 horas, sendo então retirados e, após secagem da água superficial com um pano úmido, feita a leitura inicial das dimensões em milímetros, com duas casas decimais, nas linhas previamente marcadas.

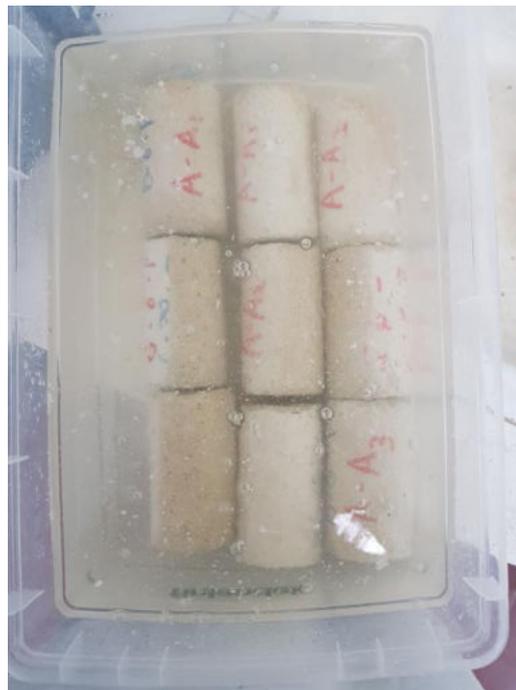
Os corpos de prova foram divididos em dois grupos: um grupo foi imerso em solução de sulfato de sódio (10%) e outro em água, a uma temperatura de  $(23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$ , em recipientes plásticos devidamente vedados, com o objetivo de evitar a evaporação. As Figuras 8 e 9 mostram a imersão desses dois grupos de corpos de provas em suas respectivas soluções. Para identificação dos corpos de prova, os que foram submersos em água saturada com cal têm a nomenclatura A-1, A-2, A-3, e para os imersos em solução de sulfato de sódio, receberam a simbologia A-A1, A-A-2 e A-A-3.

**Figura 8:** Corpos de prova imersos em água.



**FONTE:** Dados da Pesquisa (2020)

**Figura 9:** Corpos de prova imersos solução de sulfato de sódio.



**FONTE:** Dados da Pesquisa (2020)

As medições foram feitas no início do ensaio e a cada sete dias, durante seis semanas, ou seja, 42 dias após a imersão. A expansão das argamassas,

em porcentagem, foi determinada aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após inserção, sendo a expansão individual calculada por meio da equação 1:

$$E_{id} = \frac{(M_{idade} - M_{inicial})}{M_{inicial}} \times 100$$

Onde:

$E_{id}$  = expansão individual (%);

$M_{inicial}$  = média das medições iniciais em cada corpo de prova (mm);

$M_{idade}$  = média das medições efetuadas na idade correspondente em cada corpo de prova (mm);

Essa média é obtida a partir da soma das medições de alturas e diâmetros de cada corpo de prova.

A expansão resultante é a diferença entre a expansão dos corpos de prova imersos. Como a NBR 13583 (ABNT, 2014) não especifica um valor limite para expansão aos 42 dias de imersão em solução de sulfato de sódio para considerar a argamassa resistente ao ataque por sulfatos, adotou-se o limite de 0,06% estabelecido pela norma ASTM C 452 (2019) à medida que se trata de uma metodologia apropriada para avaliação de cimento Portland sem adições minerais como o utilizado nessa pesquisa. Essa expansão resultante é calculada pela seguinte fórmula.

$$A_e = E_s - E_a$$

Onde:

$A_e$  = expansão resultante, em %;

$E_s$  = expansão média de corpos de prova imersos em soluções agressiva de sulfato de sódio, em %;

$E_a$  = expansão média dos corpos de prova imersos em solução com água saturada com cal, em %.

Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração dos painéis foi determinada segundo a NBR 13528 (ABNT, 2010).

O ensaio consiste em realizar, com auxílio de uma furadeira, cortes circulares com 50 mm de diâmetro, espaçados 50 mm entre si e das extremidades do revestimento, no painel até atingir a alvenaria visando a aferição da resistência de aderência à tração. Esses foram feitos a seco, conforme pode ser visto na Figura 10.

Como a própria NBR 13528-3 (ABNT, 2019) comenta, em nenhum caso o corte deve prejudicar a integridade do revestimento, razão pela qual se percebe um número superior de cortes realizados em relação ao efetivamente aproveitado na pesquisa devido ao fato de que na menor das percepções de prejuízo da integridade da amostra, como falha de colagem ou movimento brusco na execução do corte, descartou-se o uso da mesma de modo a obter um resultado mais próximo da realidade.

**Figura 10:** Cortes circulares utilizados no arrancamento dos corpos de prova: a) argamassa de referência; b) argamassa com 5% da areia substituída por PET; c) argamassa com 10% da areia substituída por PET.



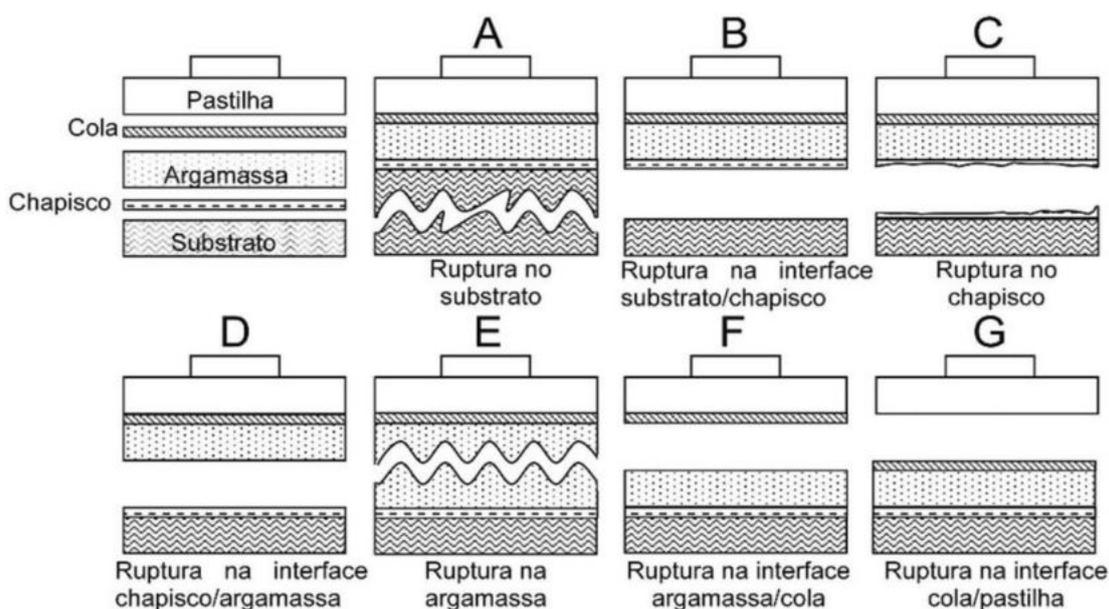
**FONTE:** Dados da pesquisa.

Em seguida, são coladas pastilhas, por onde a argamassa será arrancada, sobre o revestimento cortado. Antes de ser feita a inserção da cola, foi realizada uma limpeza no painel com o objetivo de eliminar partículas soltas que possam interferir no resultado do ensaio. Posteriormente faz-se o arrancamento dos corpos de prova através das pastilhas com um equipamento capaz de aferir a tensão necessária para arrancar o revestimento e que garanta a aplicação da carga de maneira centrada e ortogonal ao plano do revestimento. A aplicação da carga deve ser constante até a ruptura do corpo de prova.

A norma prescreve que sejam realizados 12 arrancamentos para a idade de 28 dias no caso de argamassas mistas ou de cimento e areia, ou 56 dias no caso de argamassas executadas com cal e areia. Dessa forma, o ensaio foi realizado aos 28 dias contados após a aplicação da argamassa ao revestimento.

A forma de ruptura foi analisada conforme a Figura 11. A depender da forma como o corpo de prova se romper, pode-se inferir se a resistência medida pelo equipamento aferidor é a real ou está sub mensurada.

**Figura 11:** Formas de ruptura dos corpos de prova para a resistência de aderência à tração.



**FONTE:** NBR 13528 (ABNT, 2010).

No caso de ruptura na interface argamassa/substrato, substrato/chapisco e chapisco/argamassa, representados respectivamente pelas figuras C, B e D o valor da resistência de aderência à tração é igual ao obtido. Nos demais casos de ruptura apresentados na Figura 11 o valor de resistência de aderência é maior do que o obtido.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização física dos materiais

#### 4.1.1 Caracterização do Agregado Miúdo

A classificação do agregado miúdo foi feita de acordo com a NBR 7211 (ABNT,2009), neste caso, a amostra adotada foi de 1.000 gramas. O Quadro 3 apresenta os obtidos para a caracterização física do agregado miúdo utilizado nessa pesquisa.

**Quadro 3:** Caracterização física do agregado miúdo.

Parâmetro estudado	Média dos Valores
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,40
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,56

De acordo com Recena (2012) os valores de massa unitária e específica para areias são de aproximadamente 1,50 g/cm<sup>3</sup> e 2,63 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Como os resultados do experimentam deram próximos aos valores teóricos, pode-se dizer que essa areia se adequa aos parâmetros para uso.

O Quadro 4 informa a granulometria do agregado em estudo. O módulo de finura foi calculado pela soma das porcentagens retidas acumuladas, nas peneiras de série normal, dividida por 100. O diâmetro máximo característico corresponde a abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa, que no caso desse estudo, chegou a um resultado de 2,40mm.

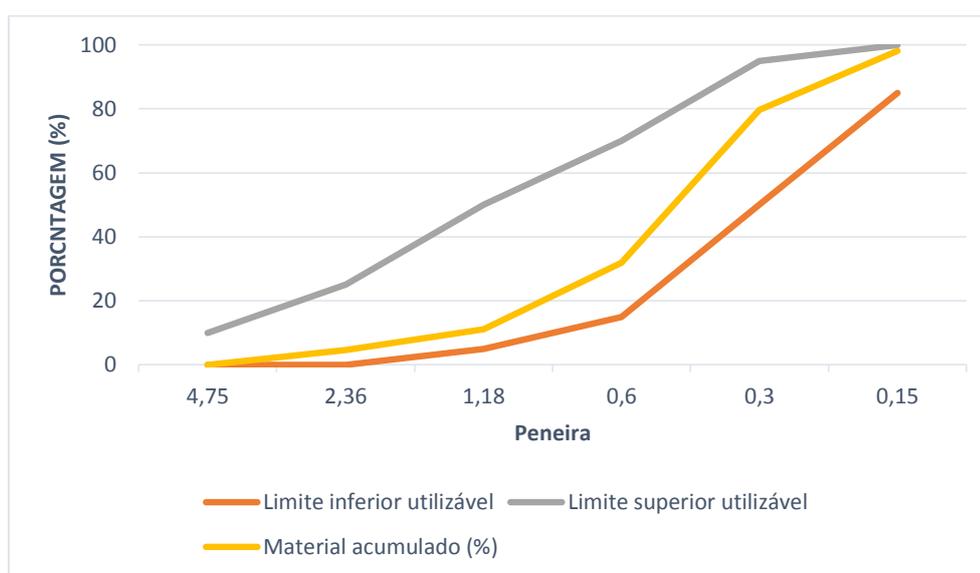
**Quadro 4:** Composição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira (mm)	Material Retido			Material passante da amostra total (%)
	Peso Retido (g)	Material retido (%)	Material acumulado (%)	
4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
2,36	45,22	4,52	4,52	95,48
1,18	65,73	6,57	11,09	88,91
0,6	208,82	20,88	31,97	68,03
0,3	476,28	47,63	79,60	20,40
0,15	184,77	47,63	98,08	20,40

Fundo	19,18	1,92	100,00	0,00
Módulo de finura	2,25			
Diâmetro máximo	2,40mm			

Levando em consideração que a norma estabelece um intervalo definido de finura entre 2,20 e 2,90, podemos dizer que a areia em estudo se encontra dentro da zona ótima definida por norma, pois o módulo de finura foi de 2,25. Já a NBR NM 248 (ABNT, 2013), considera que agregados com módulo de finura abaixo de 2,40 serão classificados como agregados finos. O Gráfico 1 mostra a curva granulométrica do agregado miúdo em estudo.

**Gráfico 1:** Curva granulométrica da areia e os limites superior e inferior utilizável.



Um dos intuitos do ensaio de granulometria do agregado em estudo é a comparação da distribuição granulométrica do mesmo com a que é determinada por normas específicas para cada uso. A NBR 7211 (ABNT, 2009), que trata dos requisitos mínimos dos agregados miúdos para uso em concreto, apresenta os limites superior e inferior da distribuição granulométrica que o agregado miúdo deve ter para ser apropriado, assim como a zona utilizável e ótima para cada limite.

A partir dos resultados obtidos, é compreensível dizer que essa areia é considerada bem graduada, promovendo assim uma argamassa com uma melhor trabalhabilidade e uma pequena quantidade de vazios entre os grãos.

#### 4.1.2 Caracterização do Cimento

Os ensaios de caracterização do cimento Portland CII-Z 32 utilizado neste estudo se encontra no Quadro 5.

**Quadro 5:** Caracterização física do cimento CII-Z.

Parâmetro	Valor encontrado
Massa Específica	2,91 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária	1,15 g/cm <sup>3</sup>
Finura	2,84%

O valor limite para finura exigido pela norma regulamentadora do ensaio é de 12%, dessa forma, o cimento em estudo atende essa condição, pois o resultado encontrado de finura foi de 2,84%.

Já em relação ao aglomerante cimentício, Recena (2012) diz que a massa específica real e unitária do cimento é de aproximadamente 2,70 g/cm<sup>3</sup> e 1,0 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Os valores obtidos através dos ensaios estão próximos do valor referencial, logo, podemos dizer que esse cimento é adequado para o uso experimental.

#### 4.1.3 Caracterização da Cal

Os ensaios de caracterização da cal utilizada neste estudo estão apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6:** Caracterização física da cal.

Parâmetro	Valor Encontrado
Massa Específica	2,63 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária	0,42 g/cm <sup>3</sup>

De acordo com Recena (2012) os valores característicos para a cal com relação a massa específica e massa unitária são de 2,57 g/cm<sup>3</sup> e 0,65 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Como os resultados deram consideravelmente próximos, a cal em questão foi aceita para o estudo.

#### 4.1.4 Caracterização do PET

A caracterização do agregado polimérico foi feita de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2008). O Quadro 7 apresenta os resultados dos ensaios para a caracterização física do PET.

**Quadro 7:** Caracterização física do PET.

Parâmetro	Valor encontrado
Massa Específica	0,54 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária	1,45 g/cm <sup>3</sup>

De posse desses resultados, é possível perceber que os valores de massa do PET são consideravelmente inferiores aos da areia (1,40 g/cm<sup>3</sup> para massa específica e 2,56 g/cm<sup>3</sup> para massa unitária). Observa-se, que ao substituir uma parcela do agregado miúdo por esse agregado polimérico, teremos, pelo menos, uma diminuição da densidade de massa total, obteremos uma pasta mais leve.

Os resultados do ensaio de granulometria desse PET estão representados no Quadro 8.

**Quadro 8:** Caracterização física do agregado polimérico.

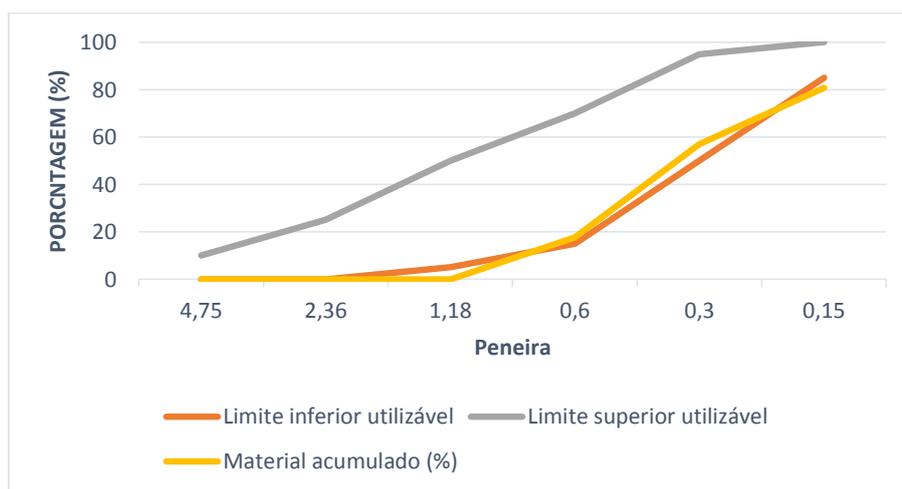
Peneira (mm)	Material Retido			Material passante da amostra total (%)
	Peso Retido (g)	Material retido (%)	Material acumulado (%)	
4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
2,36	0,00	0,00	0,00	100,00
1,18	0,00	0,00	0,00	100,00
0,6	176,97	17,69	17,69	82,31
0,3	392,05	39,20	56,89	43,11
0,15	238,24	23,82	80,71	19,29
Fundo	192,74	19,28	100,00	0,00
Módulo de finura			1,55	
Diâmetro máximo			0,6mm	

O módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado foi calculado da mesma forma que foi feito para o agregado miúdo, já que a norma adotada foi a mesma. Como o módulo de finura encontrado foi menor que 2,20, a norma estabelece classifica o agregado como pertence a zona utilizável. Essa zona tem um limite inferior de 1,50 e um superior de 2,20. O resultado encontrado de 1,55

enquadra esse polímero nesta zona, obtivemos também um diâmetro máximo de 0,6mm, isso quer dizer que podemos classifica-lo como agregado miúdo muito fino.

O Gráfico 2 apresenta a curva granulométrica do PET em estudo, relacionando com os limites inferior e superior da zona utilizável estabelecida pela norma regulamentadora do ensaio.

**Gráfico 2:** Curva granulométrica do PET em estudo e os limites superior e inferior utilizáveis.



Sabendo que o PET irá substituir a areia na mistura, é de suma importância que se compreenda sua curva granulométrica, visando compreender a diferença que ele causará nas propriedades da argamassa. Suas dimensões certamente influenciarão na trabalhabilidade no estado fresco, fator água/cimento e, por consequência, no índice de vazios após o estado endurecido.

Em comparação com a areia, podemos perceber que essa se encontra dentro da zona ótima de utilização. Já o PET possui pontos fora da zona utilizável estabelecida por norma. Em uma situação real, esse agregado seria inadequado ao uso. Mas, a nível de pesquisa e tendo a consciência de que esses limites estabelecidos pela norma são levando em consideração um agregado miúdo, como a areia, podemos dizer que o resultado do PET é satisfatório. Também porque as características naturais dele são bem distintas da areia. Além de que,

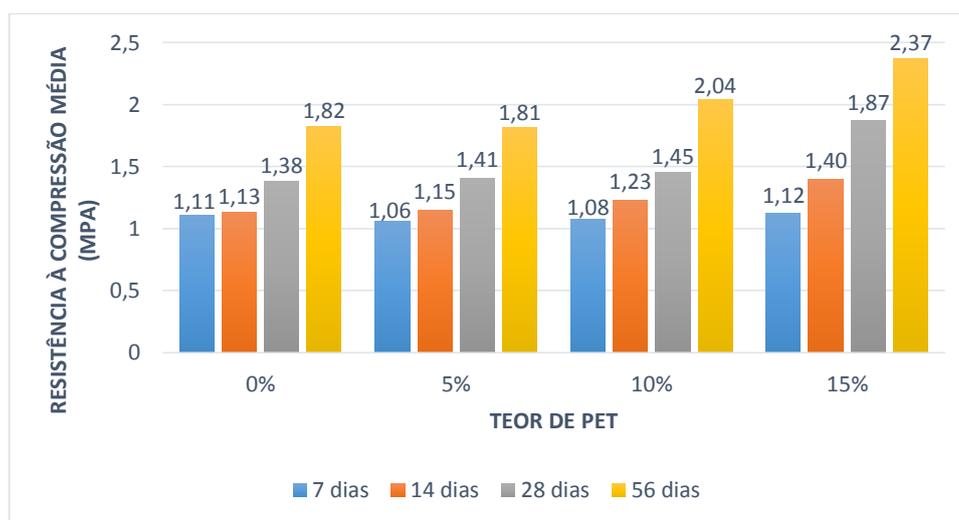
por mais que existam pontos fora da curva, na sua grande maioria, o material se encontra dentro dos limites de utilização.

## 4.2 Propriedades das argamassas

### 4.2.1 Determinação da resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado nas idades de 7, 14, 28 e 56 dias. Os resultados na sua integridade encontram-se no Apêndice 1. No Gráfico 3 temos o valor médio resultante para cada teor de incremento do agregado polimérico.

**Gráfico 3:** Resistência à compressão média dos corpos de prova em estudo, por teor e pela idade do ensaio



Com a obtenção desses resultados, é possível notar que até os 28 dias de cura, houve um acréscimo no valor da resistência. Após os 56 dias de cura, novamente obteve-se um ganho de resistência na argamassa.

A termo de comparação, o ganho na resistência de concentração com 15% de PET e cura a 28 dias, comparada a resistência a 28 dias da argamassa de referência chega a 35,51%. Essa relação faz acreditar que, quanto mais incremento de PET a mistura, maior a tendência de obtermos argamassas com maiores valores de resistência à compressão. Porém, deve-se atentar também ao fato de que a relação água/cimento foi diminuindo, de acordo com a adição do agregado polimérico e isso, certamente, influenciou na resistência final.

Segundo a tabela 1 da NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as amostras estudadas neste trabalho, quanto à compressão simples, tendo em vista que o maior valor obtido foi de 2,42 MPa, como sendo argamassa de revestimento interno e argamassa de uso geral, da classe P1 (com valores menores que 2,0 Mpa) e P2 (entre 1,5 e 3,0 Mpa).

Mendonça et al (2021) obteve um resultado oposto em seu estudo que o aumento no teor de PET, cresceu a absorção de água e o índice de vazios da pasta. Isso acontece graças as propriedades higroscópicas da argamassa, que retém água, além da má interação química entre o polímero e a matriz cimentícia, gerando mais vazios na estrutura da argamassa. Esses fatores influenciarão diretamente na resistência do elemento.

Em sua pesquisa, Duarte (2014) incorporou teores de PET em 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80%. A única mistura que houve um expressivo ganho de resistência, foi o corpo de prova com 20% de teor de PET. O autor também notou que a absorção de água aumentou, juntamente com a adição do agregado polimérico. Os resultados obtidos pelo autor explanam uma certa aleatoriedade nos maiores ganhos de resistência, com relação as idades de cura. Ele conclui que a adição de PET na mistura não implica em, necessariamente, ganho de resistência à compressão, já que esse polímero é um material inerte, não reagindo com o aglomerante.

A melhor explicação para a diferença dos resultados desse estudo com os autores referenciados é explicada por Bauer (2019) que afirma que distribuição granulométricas contínuas resultarão em volumes menores de vazios, quando comparadas com distribuições uniformes. Isso quer dizer que, quando partículas extremamente finas são incluídas na mistura, os vazios deixados pelos agregados de maior tamanho serão preenchidos, acarretando em um melhor empacotamento e maior resistência.

O agregado polimérico em estudo foi classificado como muito fino, isso confirma a teoria definida pelo autor. Além disso, os fatores de água/cimento nos ensaios feitos por Mendonça (2021) e Duarte (2014) foram fixados durante todo o ensaio, favorecendo assim o aumento do excesso de água de amassamento nas amostras com polímero, e por consequência, o aumento no número de

vazios. No presente estudo, a água é adicionada apenas até atingir a consistência almejada, reduzindo assim o excesso.

Ainda segundo Bauer (2019) o autor acrescenta que a diminuição do excesso de água de amassamento contribui para a redução da exsudação. A diminuição dos espaços intergranulares proverá um melhor empacotamento das partículas constituintes da mistura, esse bom arranjo também diminuirá a exsudação, que por sua vez, aumenta a resistência.

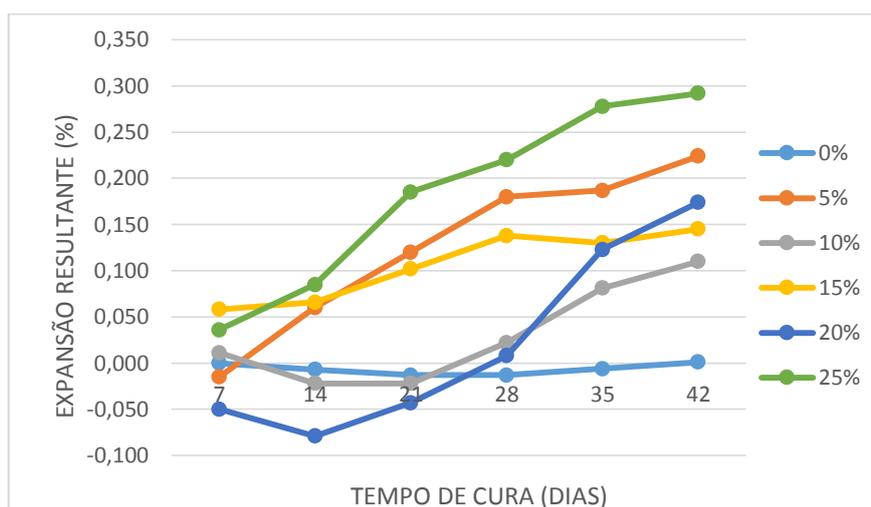
#### 4.2.2 Determinação da resistência ao ataque por sulfatos

O ensaio de resistência ao ataque por sulfatos foi realizado nas idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias. Os valores de expansão resultante dos corpos de prova, com base no teor, ao longo dos 42 dias estão representados no Quadro 9.

**Quadro 9:** Expansão resultante para cada teor estudado

Teor de substituição (%)	Tempo de imersão (dias)					
	7	14	21	28	35	42
0	0,000	-0,007	-0,013	-0,013	-0,006	0,001
5	-0,015	0,060	0,120	0,180	0,187	0,224
10	0,011	-0,022	-0,022	0,022	0,081	0,110
15	0,058	0,066	0,102	0,138	0,130	0,145
20	-0,050	-0,079	-0,043	0,008	0,123	0,174
25	0,036	0,085	0,185	0,220	0,278	0,292

O Gráfico 4 ilustra o andamento linear das expansões resultantes obtidas pelos ensaios. Com essa informação, pode-se visualizar e analisar o comportamento da argamassa ao longo dos dias.

**Gráfico 4:** Comportamento linear da argamassa para cada teor em estudo.

A partir da análise do gráfico, pode se perceber a diferença no comportamento das argamassas com adição polimérica com relação a argamassa de referência, que se permaneceu quase que constante ao longo dos dias. As argamassas com teores de 10% e 20% tiveram uma tendência inicial de retração, expandindo-se apenas após 21 dias de ensaio. Nos corpos de prova com incremento do PET, todos eles, tiveram aumentos consideráveis em suas dimensões, em algum momento ao longo do ensaio, ultrapassando, inclusive, o limite de 0,06% estabelecida pela norma americana ASTM C 452 (2019).

Em seu estudo Shmalz (2018) também obteve argamassas apresentando retrações, no estudo de argamassas com e sem adição de nanosílica. Duas argamassas de referências, A4-REF e A5-REF obtiveram retrações finais de 0,034% e 0,037%. Enquanto que as argamassas com nanosílica e sílica ativa, não tiveram alterações em suas dimensões. O autor atribui essa retração ao fato de que o índice de vazios da pasta era maior que o compostos expansivos da reação por sulfatos.

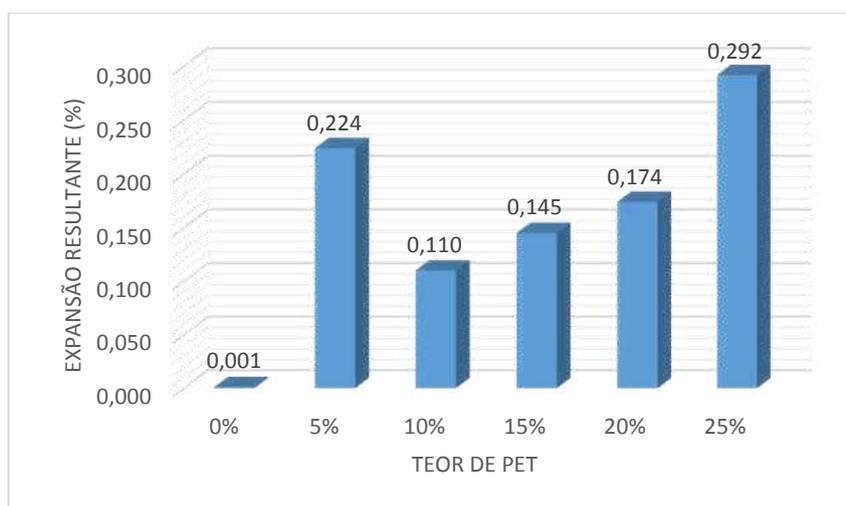
O Quadro 10 apresenta as relações das expansões resultantes para cada idade de ensaio. Os valores estão em módulo, pois houveram retrações durante esse período de tempo.

**Quadro 10:** Relação das expansões resultantes ao longo das idades.

Teor de PET (%)	Tempo de cura (dias)						Relação entre as expansões resultantes nas respectivas idades				
	7	14	21	28	35	42	ER14/ER7	ER21/ER14	ER28/ER21	ER35/ER28	ER42/ER35
0	0,000	-0,007	-0,013	-0,013	-0,006	0,001		1,86	1	0,46	0,17
5	-0,015	0,060	0,120	0,180	0,187	0,224	4	2,00	1,5	1,04	1,20
10	0,011	-0,022	-0,022	0,022	0,081	0,110	2	1,00	1	3,68	1,36
15	0,058	0,066	0,102	0,138	0,130	0,145	1,14	1,55	1,35	0,94	1,12
20	-0,050	-0,079	-0,043	0,008	0,123	0,174	1,58	0,54	0,19	15,38	1,41
25	0,036	0,085	0,185	0,220	0,278	0,292	2,36	2,18	1,19	1,26	1,05

Percebe-se pela tabela que há uma variabilidade nas relações dessas expansões. A argamassa de referência foi a mais regular durante o intervalo de tempo, havendo apenas um acréscimo considerável aos 21 dias, porém retornando as dimensões originais ao fim dos 42 dias. A argamassa com 20% de agregado polimérico teve o maior aumento entre as idades, que ocorreu no período de 28 a 35 dias, com um crescimento de 15 vezes com relação à conferência de 7 dias antes. O corpo de prova com 15% de incremento de PET foi o que mais se aproximou, com relação a variação de expansão, com a argamassa de referência.

O Gráfico 5 apresenta as expansões resultantes para cada teor ao fim dos 42 dias. Com esse resultado, é possível comparar as diferenças obtidas e analisar a influência do agregado polimérico na resistência ao ataque por sulfatos.

**Gráfico 5:** Expansão resultante ao fim dos 42 dias para cada teor em estudo.

Observa-se que o incremento do agregado polimérico na mistura não implicou em alteração na resistência ao ataque por sulfatos, independente da dosagem. Também é perceptível que a expansão resultante aumentou simultaneamente à concentração do PET.

Hope Filho et al. (2015) realizou um estudo em barras de argamassa na intenção analisar a capacidade resistiva contra ao ataque de sulfatos. Diferente do presente estudo, ele acrescentou sílica ativa na composição da argamassa. Comparando com a argamassa de referência, foi obtido uma expansão resultante de 0,049%, valor bem superior ao obtido neste ensaio. A pasta com maior concentração de sílica obteve uma expansão resultante de 0,012%. Em seu estudo, não houve retração, como aconteceu no presente ensaio.

Souza (2016) adicionou a mistura minerais inertes e pozolânicas e pôs os corpos de prova em soluções de sulfato de sódio e magnésio. Foram obtidos resultados satisfatórios no experimento, nas argamassas com adição de fíler quartzoso (FQ), sílica ativa (SA) e sílica de casca de arroz (SCA), obtendo resultados de expansão inferiores a 0,03%.

Ainda segundo Souza (2016), revela que o intervalo de tempo estabelecido por norma, que são 42 dias, é um período curto de tempo, pois esse resultado pode ser incompatível com a realidade ao longo de maiores períodos de exposição. Isso porque, em seu estudo, argamassas FQ apresentava um desempenho superior a MT (metacaulim), porém aos 140 dias de ensaio, esse cenário se inverteu. É importante salientar que no curto tempo de exposição, a resistência ou não de íons sulfato está associada as características físicas das adições, como finura e superfície de específica. Já nos períodos prolongados, as características químicas prevalecem, apresentando resultados mais próximos da realidade.

#### 4.2.3 Determinação da resistência de aderência à tração

Segundo Shimtzt e Araújo (2014) a propriedade de aderência a tração influencia diretamente na resistência ao descolamento, a fissuração e aumento da durabilidade, evitando assim, possíveis manifestações patológicas.

A NBR 13749 (ABNT, 2013), trata de especificações para revestimentos de paredes e tetos, em função de sua aplicação. Os valores limites de resistência para cada aplicação estão explicitados na Figura 12.

**Figura 12:** Limites de resistência de aderência à tração (Ra).

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

**FONTE:** NBR 13749 (ABNT, 2013).

A norma determina que para um revestimento ser aprovado, é exigido que a cada grupo de 12 ensaios, pelo menos oito apresentem valores iguais ou superiores aos da tabela acima.

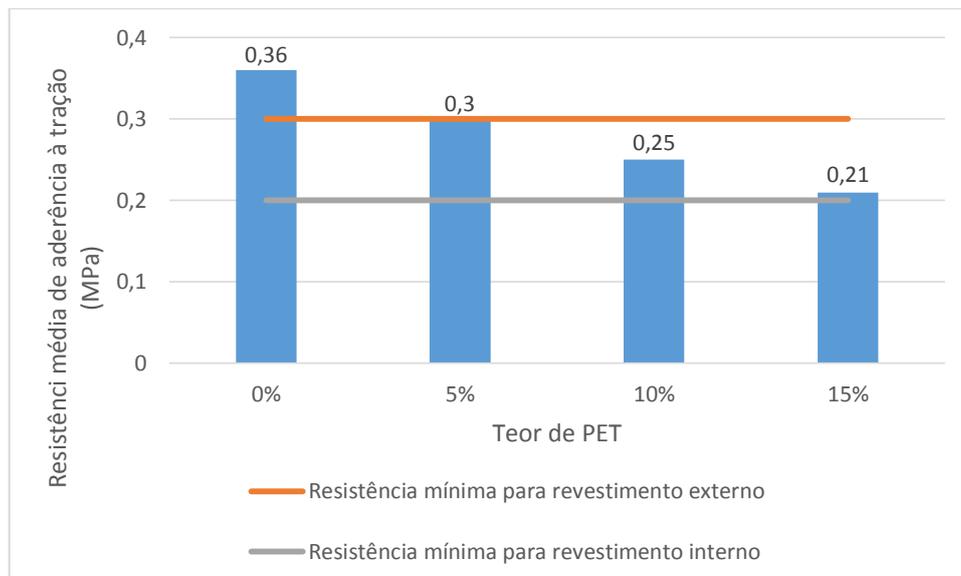
Os valores de resistência a tração para cada corpo de prova, levando em consideração os teores de PET, estão apresentados no Apêndice 4. Os valores médios para cada porcentagem de adição do agregado polimérico estão explicitados no Quadro 12.

**Quadro 11:** Resistência média à tração para cada teor estudado.

Teor de PET (%)	Resistência média a tração (Mpa)
0%	0,36
5%	0,3
10%	0,25
15%	0,21

O Gráfico 6 ilustra a resistência média de aderência à tração, também considerando os valores mínimos estabelecidos por norma para revestimentos internos e externos.

**Gráfico 6:** Resistência média de aderência à tração para cada teor estudado, relacionando com valores mínimos exigidos por norma



A partir da obtenção dos resultados, nota-se que apenas a argamassa com teor de 5% atende o limite estabelecido por norma para aplicação em revestimento externo, valor esse que não foi atendido para os demais teores. De qualquer forma, todos atendem o critério para aplicação em revestimentos internos, desde que o acabamento seja pintura ou sirva de base para o reboco.

Levando em consideração o critério padrão estabelecido pela norma NBR 13479 (ABNT, 2013), que demanda pelo menos 8 amostras com resistência acima dos valores evidenciados na Tabela 13, apenas a argamassa de referência atende essa exigência para aplicação externa, as demais se limitam apenas a aplicação interna.

Quanto ao local de ruptura, na argamassa de referência apenas uma amostra obteve ruptura no substrato, assim como na argamassa de 15%. Nas amostras com 5% de teor de agregado polimérico, todas as rupturas foram na argamassa. Para o teor de 10%, obtivemos quatro amostras com ruptura no substrato. A NBR 13538 (ABNT, 2010) afirma que quando as rupturas ocorrem predominantemente na argamassa, isso implica que a resistência à tração real é superior a obtida no ensaio.

De acordo com Shmitz e Araújo (2014) quando a ruptura ocorre na interface argamassa/substrato, ela é considerada do tipo adesiva. Tendo a ciência de que o ponto de ruptura indica um local frágil do sistema, eles concluem que há uma certa tendência para que ocorra manifestações patológicas de aderência das argamassas ao substrato para as amostras que apresentarem rupturas do tipo adesivas.

Machado (2019) realizou ensaios de aderência à tração com incorporação do PET reciclado nos teores de 5% e 15%. Em seus resultados, chegou-se à conclusão de que o incremento desse agregado polimérica não influi, necessariamente, em ganho de resistência, pois não houve ganhos consideráveis. A argamassa de referência obteve valor de 0,35 MPa, a 5% de PET com 0,37 MPa e com 15% de incremento chegou a um valor de 0,31 MPa. Esses resultados se assemelham com o dessa pesquisa, pois houve uma influência negativa ou neutra da adição do PET.

Apesar do cenário de queda na resistência, foi considerado que os resultados do ensaio foram satisfatórios, visto que os valores obtidos estão contemplados pela norma, além de que esses resultados estão, provavelmente, subestimados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

### 5.1 Considerações Finais

O trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas incorporadas com agregado polimérico, no presente estudo, o polímero utilizado foi o politereftalato de etileno. Todos os ensaios foram realizados no estado endurecido da argamassa. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios.

Com relação a resistência à compressão, houve um ganho considerável ao fim dos 56 dias das amostras com incremento do agregado polimérico, com parâmetro a argamassa de referência. Esse acréscimo de resistência teve influência direta ao fator água/cimento incorporado na mistura, além da granulometria do agregado polimérico. Os estudos de referência obtiveram resultados opostos. Com isso, é possível concluir que o incremento do PET, em si, não implica em necessariamente, ganho de resistência, mas sim a granulometria do agregado e fator água/aglomerante.

Para o ensaio de resistência ao ataque por sulfatos, notou-se que o agregado polimérico não conseguiu resistir a expansão por sulfatos, visto que, para todos os teores estudados, foi ultrapassado o limite de 0,06% estabelecido pela norma ASTM C 452, enquanto que a argamassa de referência permaneceu quase que inalterada. De qualquer forma, não se pode concluir que o PET influí negativamente na resistência aos sulfatos, pois o traço utilizado no ensaio não foi feito igualmente como exigido na norma, além da própria moldagem dos corpos de prova.

Quanto a resistência de aderência à tração, todos os teores de incremento do agregado apresentam-se dentro dos padrões exigidos pela norma. Também é importante frisar na forma de ruptura, que em sua grande maioria ocorreram na argamassa, não implicando assim, em manifestações patológicas futuras. Apesar da adição do PET ter diminuído os valores de resistência, é importante dizer que um ganho excessivo de resistência também pode acarretar em problemas futuros, pois implicará em argamassas muito rígidas e isso facilita o surgimento de fissuras decorrentes de movimentações térmicas, principalmente em ambientes externos. Também foi concluído que os valores obtidos estão subestimados, visto que a norma afirma que, para rupturas decorrentes da

argamassa, implica dizer que a resistência real da pasta é superior àquela obtida no ensaio.

Todavia, foi possível comprovar a viabilidade técnica da utilização do PET, principalmente em características no estado fresco, em substituição parcial ao agregado miúdo convencional, em argamassas para revestimentos. Além de que, o incremento do PET na construção civil tem fatores ambientais importantes, pois haverá uma diminuição exagerada do agregado miúdo convencional, além de que é possível reciclar o PET para aplicação na indústria da construção, tornando assim, essa característica tida como sustentável.

## ***5.2 Sugestões para Pesquisas Futuras***

Na intenção de aprofundamento da pesquisa sobre o tema abordado, propõem-se as seguintes análises:

- Análise do PET nas reações álcali-agregados;
- Realização de ensaios com mais tempo de exposição aos sulfatos;
- Análise da viabilidade econômica do processo de reciclagem e utilização do PET na construção civil.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento portland – determinação da resistência à compressão de corpos cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579**: Determinação do índice de finura do cimento. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528-3**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13583**: Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas - especificações. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ABIPET – **Associação Brasileira da Indústria do PET**. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=7>. Acesso em: 09/04/2021.

ASTM C 452: **Standard Test Method for Potential Expansion of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate**, 2019.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A. **Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologias e Argamassas, VI., 2005, Florianópolis.

BAUER, L. A. FA. **Materiais de construção**. Volume 1. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: Patologia, reabilitação e prevenção**. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição da indústria da construção civil**. Cerâmica. Vol. 61 no. 358. São Paulo, 2015.

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. **Ciência dos Polímeros – Um Texto Básico para Tecnólogos e Engenheiros**. Artliber Editora. São Paulo, 2002.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. **Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologias e Argamassas, VI., 2005, Florianópolis.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68.

DUARTE, E. B. L. **Resistência à compressão de argamassa composta por resíduo de construção e demolição e politereftalato de etileno (PET) em flocos**. Dissertação, Uninove, São Paulo, 2014

FARIAS FILHO, J. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito/** João de Farias Filho - Campina Grande: 2007.

GALLI, B.; MAGINA, C.; MENEZES, R.; PEREZ, P.; UENO, H. **Uso de garrafas de poli-tereftalato de etileno – PET como insumo alternativo na construção de edificações residenciais**. Revista de Arquitetura da IMED, v.1, n. 2, p.174-181, 2012.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso**. Brasília, 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

HIPOLITO, I. **Polímeros na construção civil**. Rio de Janeiro, 2013. X Simpósio de Excelência em Gestão de Tecnologia (SEGeT).

HOPPE FILHO, J.; SOUZA, D. J.; MEDEIROS, M. H. F.; PEREIRA, E.; PORTELLA, K. F. **Ataque de matrizes cimentícias por sulfatos de sódio: adições minerais como agentes mitigadores**. Cerâmica. vol. 61, 2015.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. 2000. 102 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JUNIOR, A. B. S. **Produção do Poli (Tereftalato de Etileno) modificado com glicerol e derivados**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, 2010.

LEONI, M.; OLIVEIRA G.; CARIM A.; LIMA N. **Patologia das Construções**. Salvador: Oficina de Textos. 2020.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismos Físico-Químicos de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento**. 2007. Dissertação (Doutorado) - Escola de Engenharia da UFMG.

MANSUR, A. A. P. **Estudo de destacamento de argamassas modificadas com polímeros**. Belo Horizonte, 2003. 7º Congresso Brasileiro de Polímeros.

MACHADO, B. M. ***Influência de aditivo incorporador de ar em argamassas mistas com agregado reciclado de PET***. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Pampa, 2019.

MENDONÇA, A. M. G.; COSTA, L. M.; VITORINO, C. C.; SOUSA, V. F.; GUERRA, T. D.; NUNES, C. G.; PEREIRA, P. H.; NEGREIROS, E. V. ***Avaliação da absorção de água e índice de vazios de argamassas incorporadas com politereftalato de etileno***. "Brazilian Journal of Development", Curitiba, v.7, n.3, p.26877, 2021.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. ***Concreto: estrutura, propriedades e materiais***. São Paulo: PINI, 2014.

MOTTA, E. P. ***Caracterização mecânica de argamassas poliméricas de óleo de mamona reforçadas com fibra natural de piaçava***. Niterói. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense.

OHAMA, Y. ***Polymer-based admixtures. Cement and Concrete composites***, v. 20, p. 189-212, 1998.

OLIVEIRA, H. M. ***Cimento Portland. In: Materiais de construção***. Ed. L. A. Falcão Bauer. 5ª ed. revisada. Rio de Janeiro, 2012.

RAYMUNDO, C. A. C.; PARSEKIAN, G. A.; RAYMUNDO, H. ***Utilização da argamassa polimérica com junta fina em alvenarias***. 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos – TECSIC 2017

RECENA, F. A. P. ***Conhecendo Argamassa***. 2. ed. Porto Alegre: ediPUCRS, 2012. v. 500. NDp

REZENDE, M. L. S. ***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.

SABBATINI, F. H. ***O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílicocalcária***. São Paulo. 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SELMO, S. M. S. ***Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios***. São Paulo, 1989. 227 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SCHMALZ, R. ***Durabilidade de argamassas submetidas ao ataque de sulfatos: efeito da adição da nanosílica.*** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2018.

SCHMITZ, L. B.; ARAÚJO, J. F. B. ***Análise experimental da resistência de aderência à tração em revestimentos argamassados.*** Trabalho de conclusão de curso. UNESC, 2014/02.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. ***A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento.*** In: Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem II., 2005b, São Paulo.

SILVA, D. A. ***Efeitos dos polímeros HEC E EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland.*** Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina. 2001.

SOUZA, D. J. ***Capacidade de adições minerais em mitigar o ataque por sulfatos de sódio e magnésio em argamassas de cimento Portland.*** Programa de Pós Graduação em engenharia de construção civil, Universidade Federal do Paraná, 2016.

TACHARD, A. L. R. S.; RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. ***Avaliação da resistência de argamassas de cimento portland contendo serragem de couro tratada em meio ácido.*** In: XVII CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu. ***XVII CBECiMat*** - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006.

TEIXEIRA, M. F. H. B. I. ***Espectroscopia no infravermelho próximo associada à modelagem empírica multivariada para previsão da resistência a tração do poli(tereftalato de etileno)-PET reciclado.*** 2013. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

## 6. APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – Determinação de resistência à compressão

Resultados do ensaio de resistência à compressão simples de cada corpo de prova do experimento. Também apresenta a resistência média para as idades de cura de 7, 14, 28 e 56 dias.

Teor de PET (%)	Idade do ensaio	Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão média (MPa)
0%	7 dias	1	1,06	1,11
		2	1,11	
		3	1,15	
	14 dias	4	1,14	1,13
		5	1,09	
		6	1,17	
	28 dias	7	1,34	1,38
		8	1,37	
		9	1,42	
	56 dias	10	1,78	1,82
		11	1,84	
		12	1,83	
5%	7 dias	1	1,01	1,06
		2	1,10	
		3	1,08	
	14 dias	4	1,11	1,15
		5	1,15	
		6	1,20	
	28 dias	7	1,43	1,41
		8	1,38	
		9	1,42	
	56 dias	10	1,79	1,81
		11	1,82	
		12	1,82	
10%	7 dias	1	1,05	1,08
		2	1,08	
		3	1,10	
	14 dias	4	1,22	1,23
		5	1,21	
		6	1,27	
	28 dias	7	1,45	1,45
		8	1,42	
		9	1,48	
	56 dias	10	2,10	2,04
		11	2,03	
		12	1,98	
15%	7 dias	1	1,09	1,12
		2	1,12	
		3	1,15	

	14 dias	4	1,43	1,40
		5	1,4	
		6	1,38	
	28 dias	7	1,87	1,87
		8	1,92	
		9	1,83	
	56 dias	10	2,36	2,37
		11	2,33	
		12	2,42	

## APÊNDICE 2 – Resultados do ensaio de expansão por sulfato

A Tabela abaixo apresenta os resultados de expansão dos corpos de prova que foram imersos nas duas soluções.

Teor de PET (%)	Cura	CP	Massa (g)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)
0%	0 dia	A-1	429,68	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	427,72	10,00	10,00	10,03	5,22	5,21	5,20
		A-3	423,96	10,00	10,00	9,90	5,24	5,23	5,25
		A-A-1	480,56	10,05	10,05	10,07	5,55	5,55	5,55
		A-A-2	478,64	10,07	10,07	10,08	5,55	5,51	5,51
		A-A-3	483,19	10,08	10,08	10,12	5,55	5,51	5,52
	7 dias	A-1	431,42	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	429,01	10,00	10,00	10,03	5,22	5,21	5,20
		A-3	425,49	10,00	10,00	9,90	5,24	5,23	5,25
		A-A-1	485,50	10,05	10,05	10,07	5,55	5,55	5,55
		A-A-2	483,70	10,07	10,07	10,08	5,55	5,51	5,51
		A-A-3	488,57	10,10	10,06	10,12	5,55	5,51	5,52
	14 dias	A-1	431,73	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	429,13	10,00	9,96	10,05	5,22	5,21	5,20
		A-3	425,85	10,00	10,00	9,90	5,24	5,23	5,25
		A-A-1	490,57	10,02	10,02	10,06	5,55	5,55	5,55
		A-A-2	487,44	10,05	10,07	10,05	5,55	5,52	5,51
		A-A-3	492,28	10,10	10,06	10,12	5,55	5,51	5,52
	21 dias	A-1	431,96	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	429,05	9,99	9,96	10,02	5,22	5,21	5,20
		A-3	425,95	10,00	10,00	9,90	5,24	5,23	5,24
		A-A-1	491,48	10,02	10,02	10,06	5,55	5,55	5,55
		A-A-2	488,22	10,05	10,07	10,05	5,55	5,52	5,51
		A-A-3	493,21	10,10	10,06	10,12	5,55	5,52	5,53

	28 dias	A-1	432,27	10,00	10,00	10,01	5,20	5,20	5,20
		A-2	429,05	9,99	9,96	10,02	5,22	5,21	5,20
		A-3	426,24	10,00	9,99	9,90	5,24	5,23	5,24
		A-A-1	492,66	10,02	10,02	10,06	5,55	5,55	5,54
		A-A-2	489,45	10,05	10,07	10,05	5,55	5,52	5,51
		A-A-3	494,47	10,10	10,06	10,12	5,55	5,52	5,53
	35 dias	A-1	432,41	10,00	10,00	10,02	5,21	5,21	5,20
		A-2	429,09	9,98	9,96	10,02	5,22	5,21	5,20
		A-3	426,45	10,00	9,99	9,90	5,24	5,22	5,24
		A-A-1	493,14	10,02	10,02	10,06	5,55	5,54	5,53
		A-A-2	489,94	10,06	10,08	10,06	5,55	5,52	5,51
		A-A-3	494,87	10,11	10,08	10,11	5,54	5,52	5,53
	42 dias	A-1	432,44	10,00	10,00	10,02	5,21	5,21	5,20
		A-2	429,06	9,98	9,96	10,02	5,22	5,21	5,20
		A-3	426,43	10,00	9,99	9,90	5,24	5,22	5,24
		A-A-1	493,66	10,02	10,02	10,06	5,56	5,53	5,53
		A-A-2	490,58	10,06	10,08	10,07	5,55	5,52	5,51
		A-A-3	495,43	10,11	10,08	10,11	5,54	5,52	5,53
5%	0 dia	A-1	373,85	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	374,29	9,72	9,72	9,71	4,98	4,99	5,00
		A-3	378,75	9,95	9,95	9,90	5,00	5,00	5,00
		A-A-1	380,93	9,82	9,80	9,81	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	425,00	9,85	9,95	9,82	5,21	5,21	5,20
		A-A-3	431,47	9,79	9,79	9,75	5,30	5,30	5,30
	7 dias	A-1	375,00	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	375,40	9,72	9,72	9,71	4,98	4,99	5,00
		A-3	380,29	9,95	9,95	9,90	5,00	5,00	5,00
		A-A-1	385,63	9,81	9,80	9,80	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	430,28	9,85	9,95	9,82	5,21	5,21	5,20
		A-A-3	436,72	9,79	9,79	9,75	5,30	5,30	5,30
	14 dias	A-1	375,78	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	376,01	9,72	9,72	9,70	4,98	4,99	4,99
		A-3	381,74	9,93	9,90	9,88	4,99	4,99	5,00
		A-A-1	388,27	9,82	9,79	9,80	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	432,87	9,85	9,93	9,81	5,21	5,21	5,21
		A-A-3	439,48	9,78	9,78	9,75	5,31	5,30	5,30
	21 dias	A-1	375,98	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92
		A-2	376,26	9,70	9,71	9,70	4,98	4,98	4,99
		A-3	382,14	9,93	9,90	9,86	4,99	4,99	4,99
		A-A-1	389,43	9,82	9,79	9,81	5,00	5,00	5,00
		A-A-2	434,08	9,85	9,93	9,81	5,21	5,21	5,21
		A-A-3	440,68	9,78	9,78	9,75	5,31	5,30	5,30
28 dias	A-1	376,23	9,75	9,70	9,80	4,95	4,92	4,92	
	A-2	376,46	9,70	9,71	9,70	4,97	4,96	4,98	
	A-3	382,41	9,93	9,90	9,86	4,98	4,98	4,99	



	35 dias	A-1	417,04	9,90	9,95	9,93	5,21	5,20	5,20
		A-2	411,19	9,78	9,90	9,82	5,16	5,16	5,16
		A-3	414,12	9,85	9,93	9,88	5,19	5,18	5,19
		A-A-1	471,07	9,86	9,81	9,80	5,52	5,51	5,53
		A-A-2	431,02	9,95	9,91	9,94	5,26	5,24	5,24
		A-A-3	451,05	9,89	9,85	9,86	5,39	5,38	5,38
	42 dias	A-1	416,81	9,90	9,95	9,93	5,21	5,20	5,20
		A-2	410,94	9,78	9,90	9,82	5,16	5,16	5,16
		A-3	413,88	9,84	9,93	9,88	5,19	5,18	5,18
		A-A-1	471,78	9,85	9,80	9,80	5,52	5,51	5,53
		A-A-2	431,60	9,93	9,90	9,95	5,25	5,23	5,22
		A-A-3	431,60	9,93	9,90	9,95	5,25	5,23	5,22
15%	0 dia	A-1	439,91	9,95	10,03	10,00	5,50	5,50	5,50
		A-2	399,03	9,95	10,05	10,00	5,15	5,15	5,15
		A-3	441,53	9,90	9,98	9,95	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	397,98	10,00	9,99	9,99	5,15	5,17	5,18
		A-A-2	440,97	10,00	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	449,67	10,10	10,10	10,17	5,58	5,57	5,56
	7 dias	A-1	443,27	9,95	10,03	10,00	5,50	5,50	5,50
		A-2	400,90	9,95	10,05	10,00	5,15	5,15	5,15
		A-3	443,55	9,90	9,98	9,95	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	403,45	10,02	9,99	9,99	5,18	5,18	5,19
		A-A-2	446,88	10,00	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	456,73	10,10	10,10	10,17	5,58	5,57	5,57
	14 dias	A-1	444,27	9,95	10,03	10,00	5,50	5,50	5,50
		A-2	402,14	9,95	10,03	10,00	5,15	5,15	5,15
		A-3	444,16	9,90	9,98	9,95	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	406,21	10,02	9,99	9,99	5,18	5,18	5,19
		A-A-2	449,25	10,01	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	459,39	10,10	10,10	10,18	5,59	5,55	5,55
	21 dias	A-1	444,27	9,95	10,01	9,99	5,50	5,50	5,50
		A-2	402,15	9,95	10,02	10,00	5,15	5,15	5,14
		A-3	444,18	9,90	9,98	9,95	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	407,81	10,03	9,99	9,99	5,17	5,18	5,19
		A-A-2	450,42	10,01	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50
		A-A-3	461,05	10,10	10,10	10,18	5,59	5,55	5,55
28 dias	A-1	444,87	9,95	10,01	9,99	5,50	5,50	5,50	
	A-2	402,92	9,95	10,02	10,00	5,15	5,15	5,14	
	A-3	444,74	9,90	9,95	9,95	5,55	5,52	5,52	
	A-A-1	409,20	10,03	10,00	9,99	5,17	5,18	5,18	
	A-A-2	451,48	10,01	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50	
	A-A-3	462,29	10,11	10,11	10,18	5,59	5,55	5,55	
35 dias	A-1	445,66	9,95	10,01	9,99	5,50	5,50	5,50	
	A-2	403,48	9,95	10,02	10,00	5,15	5,15	5,14	
	A-3	445,32	9,90	9,95	9,95	5,55	5,52	5,52	

		A-A-1	410,21	10,04	9,99	9,99	5,17	5,16	5,18	
		A-A-2	452,33	10,00	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50	
		A-A-3	463,48	10,11	10,12	10,18	5,59	5,56	5,55	
	42 dias	A-1	446,11	9,95	10,01	9,99	5,50	5,50	5,50	
		A-2	403,95	9,95	10,02	10,00	5,15	5,15	5,14	
		A-3	445,78	9,90	9,95	9,95	5,55	5,52	5,52	
		A-A-1	410,86	10,04	9,99	9,99	5,17	5,17	5,18	
		A-A-2	452,77	10,00	10,00	10,02	5,50	5,50	5,50	
		A-A-3	463,77	10,11	10,12	10,18	5,59	5,57	5,55	
	20%	0 dia	A-1	399,83	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30
			A-2	435,18	10,08	10,08	10,05	5,50	5,50	5,50
			A-3	412,48	9,99	9,99	9,99	5,38	5,38	5,39
A-A-1			388,83	9,90	10,05	10,00	5,25	5,25	5,28	
A-A-2			426,47	9,95	9,95	9,90	5,50	5,50	5,50	
A-A-3			433,01	10,05	10,08	10,08	5,50	5,52	5,52	
7 dias		A-1	401,73	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30	
		A-2	437,65	10,08	10,08	10,05	5,50	5,50	5,50	
		A-3	414,11	9,99	9,99	9,99	5,38	5,38	5,39	
		A-A-1	394,10	9,90	10,05	10,00	5,25	5,25	5,28	
		A-A-2	432,03	9,95	9,96	9,92	5,50	5,49	5,50	
		A-A-3	438,94	10,00	10,05	10,05	5,52	5,52	5,52	
14 dias		A-1	402,43	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30	
		A-2	438,52	10,08	10,08	10,05	5,50	5,50	5,50	
		A-3	414,88	9,98	10,00	9,98	5,36	5,38	5,39	
		A-A-1	396,46	9,90	10,05	10,00	5,25	5,25	5,26	
		A-A-2	434,43	9,95	9,95	9,91	5,49	5,49	5,49	
		A-A-3	441,29	10,01	10,05	10,06	5,52	5,51	5,50	
21 dias		A-1	402,86	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30	
		A-2	439,15	10,05	10,07	10,05	5,50	5,50	5,50	
		A-3	415,30	10,00	9,98	9,98	5,35	5,38	5,39	
		A-A-1	397,99	9,90	10,05	10,00	5,25	5,25	5,26	
		A-A-2	435,94	9,95	9,95	9,91	5,49	5,49	5,49	
		A-A-3	442,70	10,01	10,05	10,06	5,52	5,51	5,50	
28 dias	A-1	403,29	9,88	9,95	9,85	5,30	5,30	5,30		
	A-2	439,68	10,05	10,07	10,05	5,50	5,50	5,50		
	A-3	415,70	10,00	9,98	9,96	5,35	5,35	5,38		
	A-A-1	399,02	9,91	10,04	10,00	5,26	5,25	5,26		
	A-A-2	437,11	9,95	9,95	9,91	5,49	5,48	5,49		
	A-A-3	443,91	10,01	10,05	10,08	5,52	5,50	5,50		
35 dias	A-1	403,59	9,88	9,92	9,82	5,30	5,30	5,30		
	A-2	440,02	10,02	10,07	10,05	5,50	5,50	5,50		
	A-3	416,02	10,01	9,97	9,96	5,35	5,35	5,38		
	A-A-1	400,18	9,92	10,05	10,00	5,27	5,24	5,26		
	A-A-2	438,28	9,97	9,94	9,92	5,49	5,48	5,49		
	A-A-3	445,11	10,02	10,06	10,09	5,52	5,50	5,50		

	42 dias	A-1	403,47	9,88	9,92	9,82	5,30	5,30	5,30
		A-2	440,00	10,02	10,07	10,05	5,50	5,50	5,50
		A-3	415,96	10,01	9,97	9,96	5,35	5,35	5,38
		A-A-1	400,55	9,92	10,05	10,00	5,28	5,25	5,26
		A-A-2	438,73	9,98	9,94	9,92	5,49	5,48	5,49
		A-A-3	445,26	10,03	10,07	10,09	5,53	5,50	5,51
25%	0 dia	A-1	429,99	10,00	10,09	10,10	5,59	5,60	5,60
		A-2	421,29	10,05	10,05	10,05	5,50	5,52	5,55
		A-3	421,24	10,10	10,10	10,05	5,55	5,52	5,55
		A-A-1	415,18	9,95	9,90	9,90	5,50	5,50	5,50
		A-A-2	419,98	9,90	9,90	9,95	5,50	5,51	5,52
		A-A-3	425,62	9,95	10,05	10,00	5,50	5,52	5,52
	7 dias	A-1	432,35	10,00	10,09	10,10	5,59	5,60	5,60
		A-2	423,68	10,05	10,05	10,05	5,50	5,52	5,55
		A-3	424,16	10,10	10,10	10,05	5,55	5,52	5,55
		A-A-1	420,21	9,95	9,90	9,91	5,50	5,50	5,50
		A-A-2	424,64	9,90	9,90	9,95	5,51	5,51	5,52
		A-A-3	431,12	9,95	10,05	10,00	5,51	5,53	5,53
	14 dias	A-1	433,34	10,00	10,09	10,10	5,59	5,59	5,59
		A-2	424,40	10,05	10,05	10,05	5,50	5,52	5,52
		A-3	424,85	10,10	10,05	10,05	5,55	5,52	5,52
		A-A-1	422,63	9,94	9,91	9,90	5,49	5,49	5,50
		A-A-2	427,06	9,90	9,91	9,94	5,51	5,50	5,51
		A-A-3	434,14	9,94	10,04	10,00	5,52	5,52	5,54
	21 dias	A-1	433,41	10,00	10,09	10,10	5,58	5,58	5,58
		A-2	424,12	10,04	10,03	10,05	5,50	5,51	5,51
		A-3	424,58	10,10	10,05	10,02	5,55	5,50	5,50
		A-A-1	423,96	9,94	9,91	9,90	5,49	5,49	5,50
		A-A-2	428,51	9,90	9,91	9,94	5,50	5,50	5,51
		A-A-3	435,80	9,94	10,04	10,01	5,52	5,52	5,53
	28 dias	A-1	434,69	10,00	10,06	10,10	5,58	5,56	5,58
		A-2	425,38	10,03	10,02	10,06	5,50	5,52	5,52
		A-3	425,98	10,10	10,04	10,02	5,55	5,50	5,51
		A-A-1	425,39	9,94	9,92	9,91	5,49	5,48	5,50
		A-A-2	429,99	9,90	9,91	9,94	5,50	5,50	5,51
		A-A-3	437,35	9,94	10,04	10,01	5,52	5,52	5,53
	35 dias	A-1	434,98	10,00	10,06	10,10	5,56	5,58	5,58
		A-2	425,79	10,03	10,02	10,06	5,50	5,51	5,52
		A-3	426,25	10,10	10,04	10,00	5,55	5,50	5,51
		A-A-1	426,46	9,94	9,93	9,91	5,48	5,48	5,50
		A-A-2	431,01	9,91	9,92	9,95	5,50	5,50	5,51
		A-A-3	438,37	9,94	10,05	10,02	5,52	5,52	5,53
	42 dias	A-1	435,11	10,00	10,06	10,10	5,56	5,58	5,58
		A-2	425,94	10,03	10,02	10,06	5,50	5,51	5,52
		A-3	426,20	10,10	10,04	10,00	5,55	5,50	5,51

	A-A-1	426,72	9,95	9,93	9,91	5,48	5,48	5,50
	A-A-2	430,99	9,91	9,92	9,95	5,50	5,50	5,51
	A-A-3	438,44	9,95	10,05	10,02	5,52	5,52	5,53

APÊNDICE 3 – Expansão individual e resultante dos corpos de prova.

Teor de PET (%)	Cura	CP	Mincial (mm)	Midade (mm)	Eind (%)	Eméd (%)	Ae (%)
0%	7 dias	A-1	7,60	7,60	0,000	0,000	0,000
		A-2	7,61	7,61	0,000		
		A-3	7,60	7,60	0,000		
		A-A-1	7,80	7,80	0,000	0,000	
		A-A-2	7,80	7,80	0,000		
		A-A-3	7,81	7,81	0,000		
	14 dias	A-1	7,60	7,60	0,000	-0,015	-0,064
		A-2	7,61	7,61	-0,044		
		A-3	7,60	7,60	0,000		
		A-A-1	7,80	7,79	-0,150	-0,078	
		A-A-2	7,80	7,79	-0,085		
		A-A-3	7,81	7,81	0,000		
	21 dias	A-1	7,60	7,60	0,000	-0,051	-0,013
		A-2	7,61	7,60	-0,131		
		A-3	7,60	7,60	-0,022		
		A-A-1	7,80	7,79	-0,150	-0,064	
		A-A-2	7,80	7,79	-0,085		
		A-A-3	7,81	7,81	0,043		
	28 dias	A-1	7,60	7,60	0,000	-0,058	-0,013
		A-2	7,61	7,60	-0,131		
		A-3	7,60	7,60	-0,044		
		A-A-1	7,80	7,79	-0,171	-0,071	
		A-A-2	7,80	7,79	-0,085		
		A-A-3	7,81	7,81	0,043		
35 dias	A-1	7,60	7,61	0,066	-0,051	-0,006	
	A-2	7,61	7,60	-0,153			
	A-3	7,60	7,60	-0,066			
	A-A-1	7,80	7,79	-0,214	-0,057		
	A-A-2	7,80	7,80	-0,021			
	A-A-3	7,81	7,82	0,064			
42 dias	A-1	7,60	7,61	0,066	-0,051	0,001	
	A-2	7,61	7,60	-0,153			
	A-3	7,60	7,60	-0,066			
	A-A-1	7,80	7,79	-0,214	-0,050		
	A-A-2	7,80	7,80	0,000			
	A-A-3	7,81	7,82	0,064			

5%	7 dias	A-1	7,34	7,34	0,000	0,000	-0,015
		A-2	7,35	7,35	0,000		
		A-3	7,47	7,47	0,000		
		A-A-1	7,41	7,40	-0,045	-0,015	
		A-A-2	7,54	7,54	0,000		
		A-A-3	7,54	7,54	0,000		
	14 dias	A-1	7,34	7,34	0,000	-0,097	0,060
		A-2	7,35	7,35	-0,045		
		A-3	7,47	7,45	-0,246		
		A-A-1	7,41	7,40	-0,045	-0,037	
		A-A-2	7,54	7,54	-0,044		
		A-A-3	7,54	7,54	-0,022		
	21 dias	A-1	7,34	7,34	0,000	-0,149	0,120
		A-2	7,35	7,34	-0,136		
		A-3	7,47	7,44	-0,312		
		A-A-1	7,41	7,40	-0,023	-0,030	
		A-A-2	7,54	7,54	-0,044		
		A-A-3	7,54	7,54	-0,022		
	28 dias	A-1	7,34	7,34	0,000	-0,195	0,180
		A-2	7,35	7,34	-0,227		
		A-3	7,47	7,44	-0,357		
		A-A-1	7,41	7,41	0,023	-0,015	
		A-A-2	7,54	7,54	-0,044		
		A-A-3	7,54	7,54	-0,022		
35 dias	A-1	7,34	7,34	0,000	-0,195	0,187	
	A-2	7,35	7,34	-0,227			
	A-3	7,47	7,44	-0,357			
	A-A-1	7,41	7,41	0,023	-0,007		
	A-A-2	7,54	7,54	-0,044			
	A-A-3	7,54	7,54	0,000			
42 dias	A-1	7,34	7,34	0,000	-0,195	0,224	
	A-2	7,35	7,34	-0,227			
	A-3	7,47	7,44	-0,357			
	A-A-1	7,41	7,41	0,068	0,030		
	A-A-2	7,54	7,54	0,022			
	A-A-3	7,54	7,54	0,000			
10%	7 dias	A-1	7,57	7,57	0,000	0,000	0,011
		A-2	7,51	7,51	0,000		
		A-3	7,54	7,54	0,000		
		A-A-1	7,66	7,67	0,022	0,011	
		A-A-2	7,58	7,58	0,000		
		A-A-3	7,62	7,62	0,011		
	14 dias	A-1	7,57	7,57	0,000	-0,011	-0,022
		A-2	7,51	7,50	-0,022		
		A-3	7,54	7,54	-0,011		

		A-A-1	7,66	7,67	0,022	-0,033		
		A-A-2	7,58	7,57	-0,088			
		A-A-3	7,62	7,62	-0,033			
	21 dias	A-1	A-1	7,57	7,57	0,000	-0,011	-0,022
			A-2	7,51	7,50	-0,022		
			A-3	7,54	7,54	-0,011		
		A-A-1	A-A-1	7,66	7,67	0,022	-0,033	
			A-A-2	7,58	7,57	-0,088		
			A-A-3	7,62	7,62	-0,033		
	28 dias	A-1	A-1	7,57	7,57	0,000	-0,033	0,022
			A-2	7,51	7,50	-0,067		
			A-3	7,54	7,53	-0,033		
		A-A-1	A-A-1	7,66	7,67	0,043	-0,011	
			A-A-2	7,58	7,57	-0,066		
			A-A-3	7,62	7,62	-0,011		
	35 dias	A-1	A-1	7,57	7,57	-0,022	-0,037	0,081
			A-2	7,51	7,50	-0,067		
			A-3	7,54	7,53	-0,022		
		A-A-1	A-A-1	7,66	7,67	0,087	0,044	
			A-A-2	7,58	7,59	0,000		
			A-A-3	7,62	7,62	0,044		
42 dias	A-1	A-1	7,57	7,57	-0,022	-0,066	0,110	
		A-2	7,51	7,50	-0,111			
		A-3	7,54	7,53	-0,066			
	A-A-1	A-A-1	7,66	7,67	0,065	0,044		
		A-A-2	7,58	7,58	0,022			
		A-A-3	7,62	7,62	0,044			
15%	7 dias	A-1	7,75	7,75	0,000	0,000	0,058	
		A-2	7,58	7,58	0,000			
		A-3	7,74	7,74	0,000			
		A-A-1	A-A-1	7,58	7,59	0,154		0,058
			A-A-2	7,75	7,75	0,000		
			A-A-3	7,85	7,85	0,021		
	14 dias	A-1	A-1	7,75	7,75	0,000	-0,015	0,066
			A-2	7,58	7,57	-0,044		
			A-3	7,74	7,74	0,000		
		A-A-1	A-A-1	7,58	7,59	0,154	0,051	
			A-A-2	7,75	7,76	0,021		
			A-A-3	7,85	7,85	-0,021		
	21 dias	A-1	A-1	7,75	7,74	-0,065	-0,051	0,102
			A-2	7,58	7,57	-0,088		
			A-3	7,74	7,74	0,000		
		A-A-1	A-A-1	7,58	7,59	0,154	0,051	
			A-A-2	7,75	7,76	0,021		
			A-A-3	7,85	7,85	-0,021		

	28 dias	A-1	7,75	7,74	-0,065	-0,072	0,138
		A-2	7,58	7,57	-0,088		
		A-3	7,74	7,73	-0,065		
		A-A-1	7,58	7,59	0,154	0,066	
		A-A-2	7,75	7,76	0,021		
		A-A-3	7,85	7,85	0,021		
	35 dias	A-1	7,75	7,74	-0,065	-0,072	0,130
		A-2	7,58	7,57	-0,088		
		A-3	7,74	7,73	-0,065		
		A-A-1	7,58	7,59	0,110	0,058	
		A-A-2	7,75	7,75	0,000		
		A-A-3	7,85	7,85	0,064		
	42 dias	A-1	7,75	7,74	-0,065	-0,072	0,145
		A-2	7,58	7,57	-0,088		
		A-3	7,74	7,73	-0,065		
		A-A-1	7,58	7,59	0,132	0,072	
		A-A-2	7,75	7,75	0,000		
		A-A-3	7,85	7,85	0,085		
20%	7 dias	A-1	7,60	7,60	0,000	0,000	-0,050
		A-2	7,79	7,79	0,000		
		A-3	7,69	7,69	0,000		
		A-A-1	7,62	7,62	0,000	-0,050	
		A-A-2	7,72	7,72	0,043		
		A-A-3	7,79	7,78	-0,193		
	14 dias	A-1	7,60	7,60	0,000	-0,022	-0,079
		A-2	7,79	7,79	0,000		
		A-3	7,69	7,68	-0,065		
		A-A-1	7,62	7,62	-0,044	-0,100	
		A-A-2	7,72	7,71	-0,043		
		A-A-3	7,79	7,78	-0,214		
	21 dias	A-1	7,60	7,60	0,000	-0,057	-0,043
		A-2	7,79	7,78	-0,086		
		A-3	7,69	7,68	-0,087		
		A-A-1	7,62	7,62	-0,044	-0,100	
		A-A-2	7,72	7,71	-0,043		
		A-A-3	7,79	7,78	-0,214		
28 dias	A-1	7,60	7,60	0,000	-0,101	0,008	
	A-2	7,79	7,78	-0,086			
	A-3	7,69	7,67	-0,217			
	A-A-1	7,62	7,62	-0,022	-0,093		
	A-A-2	7,72	7,71	-0,065			
	A-A-3	7,79	7,78	-0,193			
35 dias	A-1	7,60	7,59	-0,132	-0,166	0,123	
	A-2	7,79	7,77	-0,150			
	A-3	7,69	7,67	-0,217			

		A-A-1	7,62	7,62	0,022	-0,043	0,174	
		A-A-2	7,72	7,72	-0,022			
		A-A-3	7,79	7,78	-0,128			
	42 dias	A-1	7,60	7,59	-0,132	-0,166		
		A-2	7,79	7,77	-0,150			
		A-3	7,69	7,67	-0,217			
		A-A-1	7,62	7,63	0,066	0,008		
		A-A-2	7,72	7,72	0,000			
		A-A-3	7,79	7,79	-0,043			
	7 dias	A-1	7,83	7,83	0,000	0,000		0,036
		A-2	7,79	7,79	0,000			
		A-3	7,81	7,81	0,000			
A-A-1		7,71	7,71	0,022	0,036			
A-A-2		7,71	7,72	0,022				
A-A-3		7,76	7,76	0,064				
14 dias	A-1	7,83	7,83	-0,043	-0,092	0,085		
	A-2	7,79	7,78	-0,064				
	A-3	7,81	7,80	-0,171				
	A-A-1	7,71	7,71	-0,043	-0,007			
	A-A-2	7,71	7,71	-0,022				
	A-A-3	7,76	7,76	0,043				
21 dias	A-1	7,83	7,82	-0,106	-0,199	0,185		
	A-2	7,79	7,77	-0,171				
	A-3	7,81	7,79	-0,320				
	A-A-1	7,71	7,71	-0,043	-0,014			
	A-A-2	7,71	7,71	-0,043				
	A-A-3	7,76	7,76	0,043				
28 dias	A-1	7,83	7,81	-0,213	-0,228	0,220		
	A-2	7,79	7,78	-0,150				
	A-3	7,81	7,79	-0,320				
	A-A-1	7,71	7,71	-0,022	-0,007			
	A-A-2	7,71	7,71	-0,043				
	A-A-3	7,76	7,76	0,043				
35 dias	A-1	7,83	7,81	-0,213	-0,249	0,278		
	A-2	7,79	7,77	-0,171				
	A-3	7,81	7,78	-0,363				
	A-A-1	7,71	7,71	-0,022	0,029			
	A-A-2	7,71	7,72	0,022				
	A-A-3	7,76	7,76	0,086				
42 dias	A-1	7,83	7,81	-0,213	-0,249	0,292		
	A-2	7,79	7,77	-0,171				
	A-3	7,81	7,78	-0,363				
	A-A-1	7,71	7,71	0,000	0,043			
	A-A-2	7,71	7,72	0,022				
	A-A-3	7,76	7,77	0,107				

## APÊNDICE 4 – Resistência a aderência à tração para cada corpo de prova.

Resistência de aderência à tração (MPa) - Traço 1:1:6 - 28 dias			
Teor de PET (%)	Corpo de Prova	Resistência de aderência à tração (Mpa)	Forma de ruptura
0%	1	0,42	Argamassa
	2	0,46	Argamassa
	3	0,36	Argamassa
	4	0,37	Argamassa
	5	0,41	Argamassa
	6	0,25	Argamassa
	7	0,26	Substrato
	8	0,41	Argamassa
	9	0,28	Argamassa
	10	0,38	Argamassa
	11	0,39	Argamassa
	12	0,28	Argamassa
5%	1	0,33	Argamassa
	2	0,38	Argamassa
	3	0,38	Argamassa
	4	0,26	Argamassa
	5	0,28	Argamassa
	6	0,20	Argamassa
	7	0,35	Argamassa
	8	0,20	Argamassa
	9	0,28	Argamassa
	10	0,32	Argamassa
	11	0,35	Argamassa
	12	0,24	Argamassa
10%	1	0,24	Substrato
	2	0,22	Argamassa
	3	0,30	Argamassa
	4	0,29	Argamassa
	5	0,26	Argamassa
	6	0,21	Argamassa
	7	0,23	Argamassa
	8	0,27	Substrato
	9	0,24	Argamassa
	10	0,22	Argamassa
	11	0,23	Substrato
	12	0,24	Substrato
10%	1	0,23	Substrato

	2	0,2	Argamassa
	3	0,22	Argamassa
	4	0,20	Argamassa
	5	0,20	Argamassa
	6	0,19	Argamassa
	7	0,22	Argamassa
	8	0,22	Argamassa
	9	0,21	Argamassa
	10	0,20	Argamassa
	11	0,22	Argamassa
	12	0,21	Argamassa