



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB  
CAMPUS VIII  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE – CCTS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – CEC  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PEDRO VICTOR TARGINO MACÊDO

**ANÁLISE TEÓRICO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS  
DA ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR  
GRÃOS DE POLIPROPILENO RECICLADO**

ARARUNA – PB  
2022

PEDRO VICTOR TARGINO MACÊDO

**ANÁLISE TEÓRICO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS  
DA ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR  
GRÃOS DE POLIPROPILENO RECICLADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de Concentração:** Materiais de construção.

**Orientador:** Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos

ARARUNA – PB  
2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M141a Macedo, Pedro Victor Targino.

Análise teórico experimental das propriedades físico-mecânicas da argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por grãos de polipropileno reciclado [manuscrito] / Pedro Victor Targino Macedo. - 2022.

55 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Argamassa. 2. Reaproveitamento. 3. Materiais alternativos. I. Título

21. ed. CDD 691.5

PEDRO VICTOR TARGINO MACÊDO

ANÁLISE TEÓRICO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA  
ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR GRÃOS  
DE POLIPROPILENO RECICLADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de Concentração:** Materiais de construção.

Aprovado em: 14 / 12 / 2022

**BANCA EXAMINADORA**

*Daniel Baracuy da Cunha Campos*

---

Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Lays Rianne Azevedo da Costa*

---

Prof<sup>a</sup>. MSc. Lays Rianne Azevedo da Costa  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Karina dos Santos F. Souza*

---

Prof<sup>a</sup>. Esp. Karina dos Santos Fernandes de Souza  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta conquista ao meu Deus  
e a minha família!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar presente na minha vida, por ter me guiado e amparado sempre que precisei, especialmente durante o longo período de graduação.

À minha família, em especial aos meus pais Roberto Macêdo e Gilka Macêdo.

À Suellen Rabelo, por todo apoio e incentivo.

À minha avó, Socorro, pela figura de mãe e por todas as tardes juntos.

Aos amigos que a universidade me concedeu, que tanto foram presentes nas longas e difíceis noites de estudo, em especial à Alexandre Pimenta, Arthur Victor, Carlos Macêdo, João Victor Guedes, Joel Victor, Maria Ana, William Carlos e Wilton Severiano, e aos demais nos quais foram um dos meus pilares na trajetória acadêmica.

Ao meu professor e orientador Daniel Baracuy da Cunha Campos, pela amizade, paciência e por ter me ajudado com este trabalho.

A Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, por ter sido o lugar onde fiz grandes amizades e me tornei um profissional.

A todos os professores e funcionários da UEPB, que contribuíram de forma direta e indireta para minha graduação.

Muito obrigado!

*"O maior inimigo do conhecimento não é a  
ignorância, é a ilusão do conhecimento."*

*(STEPHEN HAWKING)*

## RESUMO

Atualmente o cenário da indústria mundial vem sofrendo mudanças, materiais mais sustentáveis ganham mais credibilidade no mercado, e tendo em vista a alta capacidade da construção civil em reaproveitamento de materiais, o setor pode contribuir com a redução desses resíduos em lixões e aterros sanitários. Sabendo da vasta utilização de plástico em todo o mundo, no Brasil polipropileno é o termoplástico mais consumido pela indústria e sabendo da larga extração de areia dos leitos dos rios no país, a pesquisa busca na substituição, um agregado alternativo para argamassa, assim como uma solução para reutilização dos resíduos poliméricos. O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência e viabilidade da substituição do agregado miúdo natural por grão de polipropileno reciclado nas propriedades da argamassa. Foram definidos três teores de substituição de areia por polipropileno cujos são: 5%, 10% e 20%. Inicialmente os materiais foram caracterizados físico-mecanicamente, e em seguida foram moldados os corpos de prova padrão e com substituição da areia por polipropileno, em seguida foram analisadas as propriedades de absorção de água, índices de vazios, massa específica e resistência a compressão aos 7, 14 e 28 dias de cura. De acordo com os ensaios realizados, observou-se que as substituições de 5 e 10% alcançaram resultados pertinentes quanto a absorção de água, índice de vazios, massa específica e resistência a compressão. A substituição com os melhores resultados, foi a de 5% do agregado miúdo por PP, obteve-se bons resultados quando comparada a argamassa padrão, conseguindo numericamente manter a resistência a compressão axial, reduzir em 1,987% a absorção de água, reduzir em 7,91% o índice de vazios e reduzir a massa específica em 8,1%.

**Palavras-chave:** Polímeros. Reaproveitamento. Materiais alternativos.



## ABSTRACT

Currently, the world industry scenario has been undergoing changes, more sustainable materials gain more credibility in the market, and in view of the high capacity of civil construction in the reuse of materials, the sector can contribute to the reduction of this waste in dumps and landfills. Knowing the vast use of plastic around the world, in Brazil polypropylene is the most consumed thermoplastic by the industry and knowing the large extraction of sand from the beds of rivers in the country, the research seeks to replace it, an alternative aggregate for mortar, as well as a solution for reuse of polymer waste. This work aimed to analyze the influence and viability of replacing fine natural aggregate with recycled polypropylene grain on mortar properties. Three levels of replacement of sand by polypropylene were defined, which are: 5%, 10% and 20%. Initially, the materials were physically and mechanically characterized, and then the standard specimens were molded and sand was replaced by polypropylene, then the water absorption properties, void ratios, specific mass and resistance to compression at 7, 14 and 28 days of curing. According to the tests carried out, it was observed that the substitutions of 5 and 10% achieved pertinent results regarding water absorption, voids index, specific mass and resistance to compression. The replacement with the best results was 5% of the fine aggregate by PP, good results were obtained when compared to the standard mortar, numerically managing to maintain the resistance to axial compression, reduce water absorption by 1.987%, reduce by 7.91% the voids index and reduce the specific mass by 8.1%.

**Keywords:** Polymers. Reuse. Alternative materials.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 01</b> - Aplicação do plástico por tipo de resina no Brasil .....	21
<b>Figura 02</b> - Identificação do polipropileno .....	22
<b>Figura 03</b> - Camadas de argamassa de revestimento .....	25
<b>Figura 04</b> - Fluxograma do planeamento metodológico .....	27
<b>Figura 05</b> - Aspecto visual do polipropileno granulado .....	28
<b>Figura 06</b> - Aspecto visual do aglomerante .....	30
<b>Figura 07</b> - Curva granulométrica do agregado miúdo .....	36
<b>Figura 08</b> - Aspecto visual do agregado natural .....	36
<b>Figura 09</b> - Aspecto visual do agregado miúdo .....	36
<b>Figura 10</b> - Aspecto visual da areia grossa .....	37
<b>Figura 11</b> - Aspecto visual da areia média grossa .....	37
<b>Figura 12</b> - Aspecto visual da areia média fina .....	37
<b>Figura 13</b> - Aspecto visual da areia fina .....	37
<b>Figura 14</b> - Absorção de água média (%) .....	39
<b>Figura 15</b> - Índice de vazio médio (%) .....	41
<b>Figura 16</b> - Massa específica .....	42
<b>Figura 17</b> - CP padrão .....	45
<b>Figura 18</b> - CP PP5% .....	46
<b>Figura 19</b> - CP PP10% .....	48
<b>Figura 20</b> - CP PP20% .....	49

<b>Figura 21 - Resistência a compressão média.....</b>	<b>50</b>
--	-----------

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> - Teores dos componentes do cimento Portland .....	19
<b>Tabela 02</b> - Quantitativo dos CP's para o ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	31
<b>Tabela 03</b> - Quantidades de materiais para o traço padrão .....	33
<b>Tabela 04</b> - Traços utilizados.....	33
<b>Tabela 05</b> - Quantitativo dos CP's. ....	34
<b>Tabela 06</b> - Módulo de finura e diâmetro máximo do agregado miúdo. ....	35
<b>Tabela 07</b> - Módulo de finura do cimento .....	37
<b>Tabela 08</b> - Dados para o cálculo da massa específica do CP padrão .....	38
<b>Tabela 09</b> - Dados para o cálculo da massa específica do CP com 5% de substituição.....	38
<b>Tabela 10</b> - Dados para o cálculo da massa específica do CP com 10% de substituição.....	39
<b>Tabela 11</b> - Dados para o cálculo da massa específica do CP com 20% de substituição.....	39
<b>Tabela 12</b> – Absorção de água (%).....	40
<b>Tabela 13</b> – Índice de vazios (%) .....	41
<b>Tabela 14</b> - Massa específica da amostra seca.....	42
<b>Tabela 15</b> - Massa específica da amostra saturada .....	43
<b>Tabela 16</b> - Massa específica real.....	43
<b>Tabela 17</b> - Resistência a compressão dos CP's padrão .....	44
<b>Tabela 18</b> - Resistência a compressão dos CP's com substituição de 5%.....	45
<b>Tabela 19</b> - Análise comparativa da resistência a compressão entre o traço padrão e com substituição de 5% .....	46
<b>Tabela 20</b> - Resistência a compressão dos CP's com substituição de 10%.....	47
<b>Tabela 21</b> - Análise comparativa resistência a compressão entre o traço padrão e com substituição de 10% .....	47
<b>Tabela 22</b> - Resistência a compressão dos CP's com substituição de 20%.....	48

<b>Tabela 23</b> - Análise comparativa resistência a compressão entre o traço padrão e com substituição de 20% .....	49
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CP's	Corpos de prova
EPS	Poliestireno Expandido
EVA	Poliaceto de Elileno Vinil
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
OS	Poliestireno
PCV	Policloreto de Vinila
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEBDL	Polietileno Linear de Baixa Densidade
PET	Polietileno Tereftalato
PP	Polipropileno
PP10%	Argamassa com 10% de substituição do agregado miúdo por Polipropileno
PP20%	Argamassa com 10% de substituição do agregado miúdo por Polipropileno
PP5%	Argamassa com 5% de substituição do agregado miúdo por Polipropileno

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Cimento Portland .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Agregado miúdo .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Polímeros.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Polipropileno.....</i></b>	<b><i>22</i></b>
<b>3.4</b>	<b>Argamassa.....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Materiais.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização dos materiais .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Composição granulométrica do agregado miúdo .....</i></b>	<b><i>28</i></b>
<b>4.2.1.1</b>	<b><i>Areia.....</i></b>	<b><i>28</i></b>
<b>4.2.1.2</b>	<b><i>Polipropileno.....</i></b>	<b><i>29</i></b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Ensaio de modulo de finura do cimento Portland .....</i></b>	<b><i>29</i></b>
<b>4.2.3</b>	<b><i>Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica.....</i></b>	<b><i>30</i></b>
<b>4.2.3.1</b>	<b><i>Absorção de água por imersão .....</i></b>	<b><i>31</i></b>
<b>4.2.3.2</b>	<b><i>Índice de vazios.....</i></b>	<b><i>31</i></b>
<b>4.2.3.3</b>	<b><i>Massa específica.....</i></b>	<b><i>32</i></b>
<b>4.2.4</b>	<b><i>Ensaio de resistência a compressão axial .....</i></b>	<b><i>32</i></b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise granulométrica do agregado miúdo .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2</b>	<b>Modulo de finura do cimento .....</b>	<b>37</b>

<b>5.3</b>	<b>Absorção de água, índice de vazios e massa específica .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3.1</b>	<b><i>Absorção de água por imersão .....</i></b>	<b>39</b>
<b>5.3.2</b>	<b><i>Índice de vazios .....</i></b>	<b>40</b>
<b>5.3.3</b>	<b><i>Massa específica .....</i></b>	<b>42</b>
<b>5.4</b>	<b>Ensaio de resistência a compressão axial .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente as discussões no tocante das questões ambientais vêm se tornando mais constantes, com mais relevância e tornando-se pauta em importantes cenários, por efeito da crise global de poluição, principalmente devido aos grandes impactos ambientais nos quais o planeta vem enfrentando, em razão do excesso de plásticos não biodegradáveis descartados, sendo a poluição plástica uma ameaça crescente em todos os ecossistemas, de onde a poluição se origina (ALANI et al, 2019).

De acordo com Almeida (2000), grande parte do agregado miúdo natural (areia) é extraída de leitos de rios, por essa razão, ocorre a retirada da cobertura vegetal e a degradação dos cursos d'água, entre outros impactos, causando descontrole ao meio ambiente. Órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente, como o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), cujo é responsável pelo meio ambiente, vêm fiscalizando esta prática e dessa forma, tenta reduzir a extração de areia dos leitos dos rios. Dessa maneira, empresas mineradoras buscam extrair a areia em regiões mais distantes e com difícil acesso, resultando no aumento de preço do produto, por esse motivo se vê a necessidade de substituição desse agregado, por materiais alternativos (OLIVEIRA et al, 2012).

Uma das alternativas para com a substituição do agregado miúdo na formulação de argamassas e concretos, é a substituição parcial do agregado miúdo por polímeros reciclados com granulometria adequada, sendo uma alternativa para reduzir a extração do agregado natural e para reutilização de polímeros. Diante disso, os polímeros têm sido amplamente pesquisados no âmbito da construção civil, cujo estudos os relacionam com argamassas e concretos, intensificando gradativamente pesquisas nessa área de estudos. A adição ou substituição parcial do agregado natural por polímeros promove alterações nas propriedades das argamassas e concretos, conforme a literatura, tais como: redução na trabalhabilidade, redução da resistência mecânica, redução do peso específico e do módulo de elasticidade (MELLO, 2011).

De acordo com Corrêa (2009), práticas sustentáveis no setor da construção civil estão em ascendência no mercado, pois, é fomentada e incentivada pelos governos, consumidores, investidores e apoiadas pela mídia, tornando assim, efetivamente permanente. Com isso, cresce o investimento aplicado por empresas em equipamentos e capacitação de mão de obra, para reduzir o desperdício e firmar a cultura da redução de perdas, reciclagem e reutilização de resíduos.

Sabendo da importância e responsabilidade da construção civil, as causas ambientais devem ser tratadas de maneira singular, em virtude das grandes obras, cujas envolvem grandes volumes de argamassas e concretos. Dessa maneira, projetos e tecnologias que abrangem os conceitos sustentáveis ganham cada vez mais relevância no mercado, buscando reduzir o impacto ambiental e promover o desenvolvimento sustentável do setor.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

- Analisar as propriedades físico-mecânicas de argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por polipropileno reciclado.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar físico-mecanicamente a areia e o polipropileno;
- Caracterizar fisicamente quanto ao tamanho de partículas, o cimento Portland;
- Analisar a resistência a compressão da argamassa padrão e com substituição parcial do agregado miúdo por 5, 10 e 20% de polipropileno;
- Analisar a absorção de água, massa específica e índices de vazios da argamassa padrão e como substituição parcial do agregado miúdo por 5, 10 e 20% de polipropileno.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Cimento Portland**

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, produzido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados (ABNT NBR 5732).

O cimento Portland constitui-se de silicatos reativos de cálcio, alumina e óxido de ferro, responsáveis pela propriedade adesiva do aglomerante em meio aquoso, quando hidratado. A argila e o calcário são a base da matéria-prima do cimento, encarregados de fornecer cálcio e sílica, para a formação dos compostos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A fabricação de diferentes tipos de cimento Portland no País, nos quais podem ser diferenciados pelas quantidades dos compostos que são utilizados em sua fabricação, são apresentados conforme mostrado na Tabela 01.

**Tabela 01-** Teores dos componentes do cimento Portland

Sigla	Classe De resistência	Componentes - massa (%)			
		Clínquer + Sulfatos de cálcio	Escória granulada De alto-forno	Material Pozolânico	Material carbonático
CP I	25	95 - 100		0 - 5	
	32				
	40				
CP II - E	25	51 - 94	6 - 34	-	0 - 15
	32				
	40				
CP II - Z	25	71 - 94	-	6 - 14	0 - 15
	32				
	40				
CP II - F	25	75 - 89	-	-	11 - 25
	32				
	40				
CP III	25	25 - 65	35 - 75	-	0 - 10
	32				
	40				
CP IV	25	45 - 85	-	15 - 50	0 - 10
	32				
	40				
CP V	ARI RS	90 - 100	-	-	0 - 10
CPB (estrutural)	25	75 - 100	-	-	0 - 25
	32				
	40				
CPB (não estrutural)	-	50 - 74	-	-	26 - 50

**Fonte:** Adaptado, ABNT NBR 16697, 2018

A Tabela 01 fornece a classificação dos tipos de cimento de acordo com sua composição e classe de resistência indicadas: 25, 32, 40 e ARI, que fornece os valores mínimos de resistência à compressão em MPa, garantidos pelos fabricantes, após os 28 dias de cura submersa, as siglas referentes aos tipos dos cimentos estão indicadas abaixo.

- CP I - Cimento Portland comum;
- CP II-E - Cimento Portland composto com escória;
- CP II-Z - Cimento Portland composto com pozolâna;
- CP II-F - Cimento Portland composto com fíler;
- CP III - Cimento Portland de alto forno;
- CP IV - Cimento Portland pozolânico;
- CP V ARI RS - Cimento Portland de alta resistência inicial;
- CPB (estrutural): Cimento Portland branco estrutural;

- CPB (não estrutural): Cimento Portland branco não estrutural.

### **3.2 Agregado miúdo**

O agregado miúdo é um material muito utilizado na construção civil para composição de argamassas e concretos. Para a argamassa, a areia é o material responsável por fornecer a coesão, textura e cor, sendo de suma importância, para prezar a qualidade da argamassa, o agregado utilizado deve estar livre de impurezas, como: sais, argilas e matéria orgânica, caso contenha, é possível retirá-las através de processos mecânicos, como lavagem e peneiramento (CARASEK, 2007).

De acordo com Falcão, 2008, a utilização do agregado natural na produção de argamassa consegue aliar a questão preço/desempenho perfeitamente, sua escolha quanto à natureza, peso específico, dimensão e o formato das partículas influencia no seu desempenho. Com base nisso, para análise quantitativa e da distribuição de tamanhos dos grãos do agregado é necessário um estudo granulométrico, com base na norma da ABNT NBR NM 248, 2003.

Segundo estabelecido pela ABNT NBR 7211, que determina os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos, sendo então, agregados miúdos os “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu\text{m}$ ”, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248.

De modo geral, algumas exigências da ABNT NBR 7211:2005, destinada à especificação de agregados para concretos, também são utilizadas na seleção dos agregados miúdos para argamassas, tais como a distribuição granulométrica, massa específica, massa unitária e alguns parâmetros relacionados à forma do grão e espaços vazios. A ABNT NBR 7211: 2005, também aborda que os agregados devem ser compostos por grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, não devem conter substâncias de natureza nociva em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento e sua durabilidade.

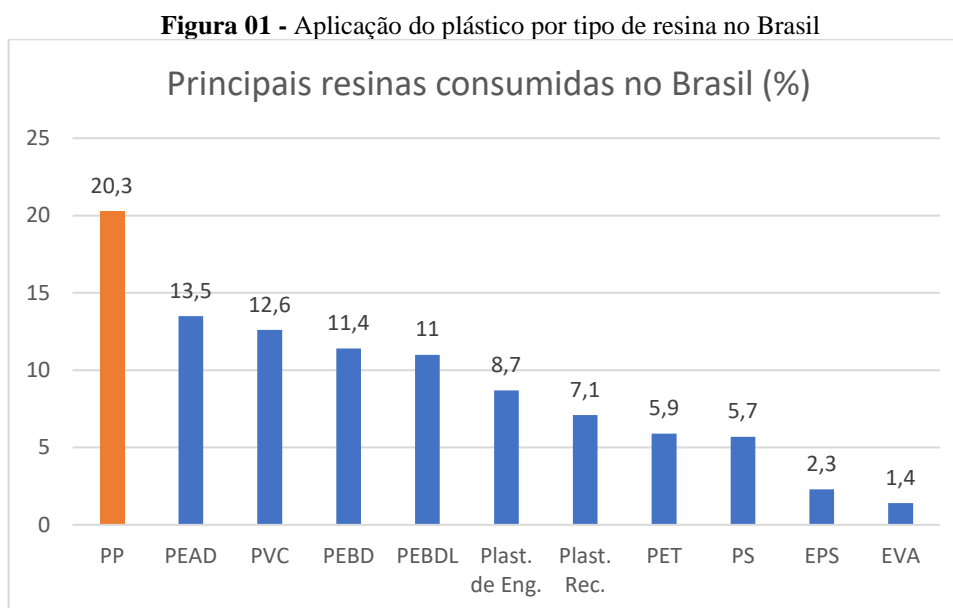
### **3.3 Polímeros**

Os polímeros naturais como a seda, celulose e fibra de algodão sempre estiveram presentes na história, toda via, de acordo com Parente, 2009, somente no início do século XX

foram produzidos os primeiros polímeros sintéticos, como o polipropileno (PP), o poli tereftalato de etileno (PET), o polietileno (PE), o poli cloreto de vinila (PVC), entre outros.

Os plásticos são produzidos através dos polímeros, que segundo Callister, Rethwisch, 2016, são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, sua estrutura química e interações intra e intermoleculares, possuem unidades químicas menores, e repetidas, identificadas como monômeros, unidas por ligações covalentes, que se repetem ao longo da cadeia. Classificados como termoplásticos: plásticos que não sofrem reações químicas quando submetidos ao calor e como termofixos: borrachas e fibras que alteram sua composição sob aquecimento.

Devido a sua versatilidade, as inúmeras aplicações em diversos ramos da indústria, o plástico é um material fundamental para o desenvolvimento de pesquisas voltadas para o avanço do setor industrial. O plástico está presente na grande maioria dos produtos industrializados, atuando de forma intensa em praticamente todos os setores, fornecendo produtos e/ou embalagens para indústrias (MEIRELES, 2016), a Figura 01, permite visualizar a aplicação dos plásticos por tipo de resina no Brasil em percentual.



Fonte: Adaptado, ABIPLAST (2018).

Conforme observado na Figura 01, dados da ABIPLAST 2018, o plástico mais consumido na indústria brasileira é o polipropileno (PP).

### 3.3.1 Polipropileno

Polipropileno (PP) é um polímero termoplástico, pois pode ser moldado usando apenas o aquecimento, é derivado do propeno ou propileno reciclável. Ele pode ser identificado em materiais através do símbolo triangular de reciclável, com um número “5” por dentro e as letras “PP” por baixo, como mostrado na Figura 02. O PP é um material bastante industrial, devido às suas características, como boa resistência mecânica, pode ser aplicado em meios corrosivos, produção rápida e de baixo custo (SANTOS, 2006).

**Figura 02** – Identificação do polipropileno



**Fonte:** mais polímeros.

Em meio aos polímeros existentes, tem-se o polipropileno (PP), que devido a sua versatilidade, resistência mecânica, baixo custo de produção, elevada resistência química, fácil moldagem e coloração, além de altas resistências a impactos de fraturas em comparação com outras resinas plásticas, o que faz com que seja amplamente utilizado na indústria automobilística, na fabricação de autopeças (MEIRELES, 2016). Utilizado também na fabricação de embalagens flexíveis e rígidas, cadeiras plásticas, brinquedos, copos plásticos, eletrodomésticos, tampas de refrigerantes, seringas etc (AKCELRUD, 2007). O que resulta em grandes volumes resíduos plásticos presentes nos lixões e aterros, em sua maioria devido ao grande volume de resíduos de PP, por seu baixo custo, constituiu-se uma ampla problemática em seu tratamento adequado e destinação. Então, surge a necessidade de estratégias par a reutilização do polímero, evitando impactos ambientais por conta da disposição inadequada de resíduos sólidos.



### 3.4 Argamassa

De acordo com a ABNT NBR: 13281/2005, a argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

As argamassas são classificadas de acordo com sua aplicação, normatizada pela ABNT NBR 13281/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. No Brasil, a forma mais comum de utilização da argamassa é para assentamento de alvenaria e revestimento de alvenaria e teto, devido a larga utilização de tijolos cerâmicos no país.

A argamassa de assentamento é utilizada para unir os tijolos/blocos para que possa ser levantada a alvenaria de vedação, formando uma única estrutura, tendo como principais funções, distribuir de maneira uniforme as cargas que atuam na parede e selar as juntas, garantindo a estanqueidade e o isolamento térmico e acústico (ABNT NBR 13281/2005).

As argamassas de assentamento, são classificadas de acordo com a ABNT NBR 13281/2005, em:

- Argamassa para assentamento em alvenaria de vedação: indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação;
- Argamassa para assentamento em alvenaria de estrutural: indicadas para a ligação de componente de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural;
- Argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento): indicada para fechamento de vedação, após a última fiada de componentes, na maioria dos casos, é a camada de argamassa que une a alvenaria de vedação com a estrutura em concreto.

Conforme Baía, Sabbatini (2000), as argamassas de revestimento podem ser classificadas de duas maneiras, de acordo com o número de camadas, sendo o revestimento de massa única, denominado de “reboco paulista”, ou de duas camadas, denominadas de emboço e reboco. Conforme a NBR 13529/2013 o revestimento de argamassa é o cobrimento de uma superfície

com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento. Dentre as principais funções da argamassa de revestimento, destacam-se a contribuição na estanqueidade da parede, conforto térmico e acústico dos ambientes e a contribuição estética da construção. No estado da Paraíba, a maneira mais comum de aplicação de argamassa de revestimento é com Emboço e Reboco, sempre preparando a alvenaria com uma fina camada de chapisco.

A massa única, ou emboço paulista, é o revestimento de um único tipo de argamassa aplicado sobre a base de revestimento, em uma ou mais demãos. Neste caso, a argamassa utilizada e a técnica de execução deverão resultar em um revestimento capaz de cumprir as funções tanto do emboço quanto do reboco, ou seja, regularização da base e acabamento (ABNT NBR 13529/2013).

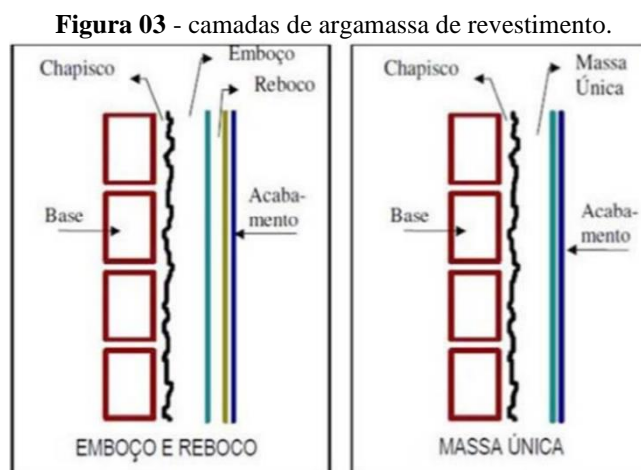
O chapisco não é considerado como uma camada de revestimento, é um procedimento de preparação da base, de espessura irregular, sendo necessário ou não, conforme a necessidade de aumento da aderência dos tijolos da alvenaria. O chapisco tem por objetivo melhorar as condições de aderência da primeira camada do revestimento ao substrato, em situações críticas, como limitações na capacidade de aderência da alvenaria, revestimento sujeito a ações de maior intensidade: os revestimentos externos em geral e revestimentos de teto, além de contribuir quanto a absorção (ABNT NBR 13529/2013). Estas características são responsáveis pela aderência mecânica e química do revestimento (MOURA, 2007). Segundo Baía, Sabbatini (2001), antes da aplicação do chapisco deve-se proceder uma sequência, completa ou não, que consiste na preparação da base, realizando a limpeza do substrato, eliminação das irregularidades superficiais e remoção das incrustações metálicas.

O emboço, também conhecido por massa grossa, é uma camada cuja principal função é a regularização da superfície de alvenaria, devendo apresentar espessura média entre 15 mm e 25 mm. É aplicado diretamente sobre a base previamente preparada (com ou sem chapisco) e se destina a receber as camadas posteriores do revestimento (reboco, revestimento cerâmico, ou qualquer outro revestimento final). Para tanto, deve apresentar porosidade e textura superficiais compatíveis com a capacidade de aderência do acabamento previsto (ABNT NBR 13529/2013).

O reboco, ou massa fina, é a camada de acabamento dos revestimentos de argamassa, aplicada sobre o emboço, e sua espessura é apenas o suficiente para constituir uma película contínua e íntegra sobre o emboço, com no máximo 5 mm de espessura. É o reboco que confere a textura superficial final aos revestimentos de múltiplas camadas, sendo a pintura ou revestimento cerâmico, aplicados diretamente sobre ele (ABNT NBR 13529/2013). Portanto,

não deve apresentar fissuras, principalmente em aplicações externas. Para isto, a argamassa deverá apresentar elevada capacidade de acomodar deformações.

As camadas componentes da massa única, do chapisco, emboço e reboco podem ser visualizadas na Figura 03.



Fonte: BAÍA, SABBATINI, 2000

As argamassas para revestimento de paredes e tetos são classificadas segundo a ABNT NBR 13281/2005, em:

- Argamassa para revestimento interno: indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única);
- Argamassa para revestimento externo: indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única);
- Argamassa de uso geral: indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos;
- Argamassa para reboco: indicada para cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina;
- Argamassa decorativa em camada fina: indicada para acabamento em geral e revestimentos com fins decorativos, em camada fina;

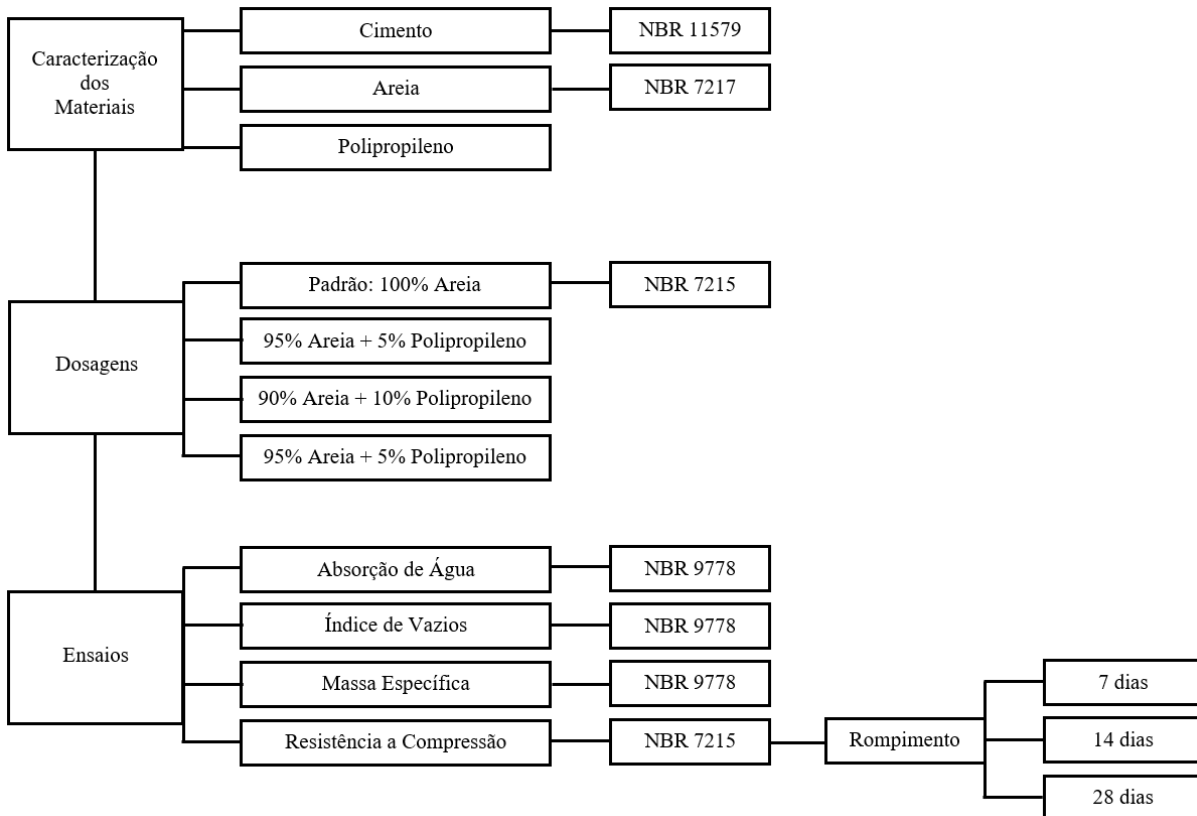
- Argamassa decorativa em monocamada: Argamassa de acabamento indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico refere-se à definição do percurso metodológico desta pesquisa, visualizado resumidamente no Fluxograma apresentado na Figura 04. Esta pesquisa é classificada como teórico experimental, na qual consiste na produção e análise dos comportamentos físico-mecânicos da argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por polímero reciclado.

Para a coleta e análise dos dados da pesquisa, foram utilizados o laboratório de materiais e geotecnia e o laboratório de estruturas, pertencentes a Universidade Estadual da Paraíba, campus VIII, no município de Araruna-PB.

**Figura 04** – Fluxograma do planejamento metodológico.



Fonte: autor, 2022.

## 4.1 Materiais

### 4.1.1 Cimento Portland

O Cimento Portland utilizado na pesquisa foi do tipo CP II-Z-32 da marca Zebu, escolhido por ser um dos cimentos mais comercializados no estado da Paraíba;

### 4.1.2 Agregado miúdo

Como agregado miúdo, foi utilizado areia retirada e comercializada na cidade de Araruna-PB e o polipropileno reciclado foi fornecido pela empresa Plástico CVS Industria e Comércio Eireli LTDA, na cidade de Cabedelo-PB.

### 4.1.3 Água

Foi utilizada água potável, fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA).

## 4.2 Caracterização dos materiais

### 4.2.1 Composição granulométrica do agregado miúdo

#### 4.2.1.1 Areia

Processo realizado de acordo com a ABNT NBR 7217/1987, esta norma prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto, e conseqüentemente também é utilizada para caracterização do agregado miúdo para argamassas.

O módulo de finura do agregado miúdo é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (NBR 7217/1987), como mostra a Equação 01.

$$MF = \frac{\sum \%acumulado(exceto\ o\ fundo)}{100} \quad (Eq. 01)$$

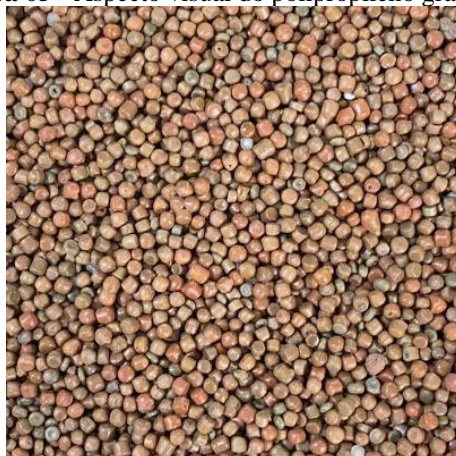
O diâmetro máximo é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa (NBR 7217/1987).

O desempenho da argamassa é diretamente influenciado pela composição granulométrica do agregado, alterações na trabalhabilidade, consumo de água e aglomerantes, acabamento, fissuras, rugosidade, permeabilidade, aderência e resistência podem variar de acordo com a sua composição (ANGELIM, ANGELIM, CARASEK, 2003).

#### *4.2.1.2 Polipropileno*

O polipropileno reciclado, utilizado como agregado miúdo, na substituição parcial do agregado natural, foi passado na peneira 4,75mm, sendo de acordo com a ABNT NBR 7211:2005, classificado como agregado miúdo. O aspecto visual do polipropileno utilizado pode ser observado pela Figura 05.

**Figura 05** - Aspecto visual do polipropileno granulado



**Fonte:** autor, 2022.

#### *4.2.2 Ensaio de modulo de finura do cimento Portland*

Normatizado pela ABNT NBR 11579/1991, esta norma prescreve o método de ensaio para a determinação da finura de cimento Portland, calculado através da Equação 02, analisando 3 amostras de 50g, com o emprego da peneira 75  $\mu\text{m}$  (nº 200), pelos procedimentos manual e mecânico. É determinada a porcentagem, em massa, de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 75  $\mu\text{m}$  (fração retida).

A finura do cimento pode ser um indicativo da qualidade e validade, cimento mal armazenado tende a “emprender” tornando-se impróprio para o uso. Além disso, a finura está diretamente relacionada ao poder de reação do cimento com a água, a Figura 06 apresenta o aspecto visual do cimento utilizado.

$$F = \frac{R}{P} \cdot 100 \quad (\text{Eq.02})$$

Onde:

*F*: Finura do cimento em %;

*R*: Peso do resíduo de cimento retido na peneira;

*P*: Peso da amostra em gramas.

**Figura 06** - Aspecto visual do aglomerante.



**Fonte:** autor, 2022.

#### ***4.2.3 Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica***

A determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, aos 7 dias, foi realizada de acordo com a ABNT NBR 9778 – argamassa e concreto endurecido. Para realização do ensaio foram moldados por três CP's para cada dosagem substituída (0%, 5%, 10 e 20%), pois o ensaio é executado em triplicata. Os corpos de prova foram secos em estufa por 72 horas a uma temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , em seguida ficaram submersos em água à temperatura ambiente por mais 72 horas. Por fim, foram aferidas as massas: massa seca em estufa, massa saturada e massa saturada submersa.

A quantidade de corpos de prova moldados para execução do ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica, está apresentado na Tabela 02, já relacionando os CP's com substituição do agregado miúdo em 5, 10 e 20% e os CP's padrão.



**Tabela 02** - Quantitativo dos CP's para o ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica

QUANTIDADE CORPO DE PROVA (50mm x 10mm)			
MATERIAL	PERC. SUBSTITUIDO	Nº CORPO DE PROVAS	SUBTOTAL
PADRÃO	0%	3 CP's	3 CP's
PP	5%	3 CP's	9 CP's
	10%	3 CP's	
	20%	3 CP's	
TOTAL: 12 CP's			

**Fonte:** autor, 2022

#### 4.2.3.1 Absorção de água por imersão

De acordo com a ABNT NBR 9778 a absorção de água por imersão é o procedimento no qual faz com que a água tenda a se conduzir para os poros permeáveis de determinado corpo poroso com o intuito de preenchê-los, a absorção pode ser calculada de acordo com a equação 03:

$$Ab = \frac{M_{Sat} - M_S}{M_S} \cdot 100 \quad (Eq. 03)$$

Onde:

$M_{Sat}$ : Massa saturada;

$M_S$ : Massa seca em estufa;

$M_I$ : Massa saturada imersa em água.

#### 4.2.3.2 Índice de vazios

O índice de vazios é a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total da amostra, calculada através da equação 04 (ABNT NBR 9778).

$$Iv = \frac{M_{Sat} - M_S}{M_{Sat} - M_I} \cdot 100 \quad (Eq. 04)$$

Onde:

$M_{Sat}$ : Massa saturada;

$M_S$ : Massa seca em estufa;

$M_I$ : Massa saturada imersa em água.

#### 4.2.3.3 Massa específica

A massa específica é entendida como a relação entre a massa seca do material e seu volume total, nisso inclui os poros permeáveis e impermeáveis. Podemos calcular a massa específica da amostra seca através da equação 05 e da amostra saturada pela equação 06, para o cálculo da massa específica real utiliza-se a equação 07, sabendo que a parcela dos poros permeáveis não é levada em conta (ABNT NBR 9778).

Massa Específica da amostra seca ( $\rho_s$ ):

$$\rho_s = \frac{M_S}{M_{Sat} - M_I} \quad (Eq. 05)$$

Massa Específica da amostra saturada ( $\rho_{sat}$ ):

$$\rho_{sat} = \frac{M_{Sat}}{M_{Sat} - M_I} \quad (Eq. 06)$$

Massa Específica Real ( $\rho_R$ ):

$$\rho_R = \frac{M_S}{M_S - M_I} \quad (Eq. 07)$$

Onde:

$M_{Sat}$ : Massa saturada;

$M_S$ : Massa seca em estufa;

$M_I$ : Massa saturada imersa em água.

#### 4.2.4 Ensaio de resistência a compressão axial

Os corpos-de-prova foram confeccionados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia, em massa, e a relação ao fator água/cimento é de 0,48, as quantidades e frações específicas dos materiais são mostradas na Tabela 03, de acordo com a ABNT NBR: 7215/1996.

**Tabela 03** - Quantidades de materiais para o traço padrão

QUANTIDADES DE MATERIAIS – TRAÇO PADRÃO	
Material	Massa (g)
Cimento Portland	624
Água	300
Areia:	
Fração grossa	468
Fração média grossa	468
Fração média fina	468
Fração fina	468

Fonte: NBR 7215, 1996.

As quantidades de materiais fornecidas pela norma, são para produção de 6 CP's, todavia para realizar o ensaio de resistência a compressão axial foi necessário 9 CP's para cada dosagem, visto que são necessários 3 CP's para cada idade de rompimento, no qual aconteceu aos 7, 14 e 28 dias, sendo assim foi preciso aumentar a quantidade de materiais.

No estudo realizado, foram analisados corpos de prova de argamassa padrão normatizada pela NBR 7215, e com substituição parcial do agregado miúdo por polipropileno reciclado, nos percentuais de 5, 10 e 20%, mantendo as quantidades de água e cimento regulamentadas pela norma. A Tabela 04, expõe os traços utilizados para realização dos ensaios, incluindo o polipropileno.

**Tabela 04** – Traços utilizados.

TRAÇO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS					
MATERIAL	CIMENTO	:	ÁGUA	:	AREIA :POLIPROPILENO
PADRÃO	1		0,48		3 0
PP5%	1		0,48		2,85 0,15
PP10%	1		0,48		2,7 0,3
PP20%	1		0,48		2,4 0,6

Fonte: adaptada, NBR 7215, 1996.

A moldagem e cura dos corpos de prova de argamassa foram realizados de acordo com a NBR 7215/1996, Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Para confecção dos CP's foram utilizados moldes cilíndricos com altura igual ao dobro do diâmetro, no caso utilizamos o corpo de prova disponível nos laboratórios da UEPB, com 100mm de altura e 50mm de diâmetro. As medidas diamétricas têm tolerância de  $\pm 1$ mm e a altura pode ter  $\pm 2$ mm.

A quantidade de corpos de prova moldados para execução do ensaio de compressão axial, está apresentado na Tabela 05, já relacionando os CP's com substituição do agregado miúdo e o padrão.

**Tabela 05 - Quantitativo dos CP's.**

QUANTIDADE CORPO DE PROVA (100mm x 50mm)			
MATERIAL	PERC. SUBSTITUIDO	Nº CORPO DE PROVAS	SUBTOTAL
PADRAO	0%	9CP's	9 CP's
PP	5%	9 CP's	27 CP's
	10%	9 CP's	
	20%	9 CP's	
<b>TOTAL: 36 CP's</b>			

**Fonte:** autor, 2022.

A cura inicial é equivalente as primeiras 24 horas do material no molde, após essa etapa os corpos de provas são imersos em cura saturada de cal, onde permanecem até completar as idades para ruptura, são elas: 7, 14 e 28 dias. Desde que são retirados da câmara úmida e até o instante do ensaio de compressão, os corpos de prova devem ser protegidos de maneira que toda a superfície exterior permaneça úmida (ABNT NBR 7215/1996).

A determinação da carga de ruptura foi realizada através do ensaio de compressão axial, utilizando a prensa hidráulica, os corpos-de-prova foram ensaiados nas mesmas condições de sazonalidade em que se encontravam na câmara úmida. Seguindo conforme recomendado pela norma, o ensaio deve ser realizado, tanto quanto possível, imediatamente após a remoção do corpo-de-prova do seu local de cura saturada. As faces dos pratos de carga e do corpo-de-prova foram limpas e secas antes do corpo-de-prova ser colocado em posição de ensaio. Os corpos-de-prova foram cuidadosamente centralizados no prato inferior, com auxílio dos círculos de referência gravados no prato.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados obtidos de acordo com os ensaios realizados, e exibidos conforme as normas apresentadas, por meio de tabelas, gráficos e imagens.

### 5.1 Análise granulométrica do agregado miúdo

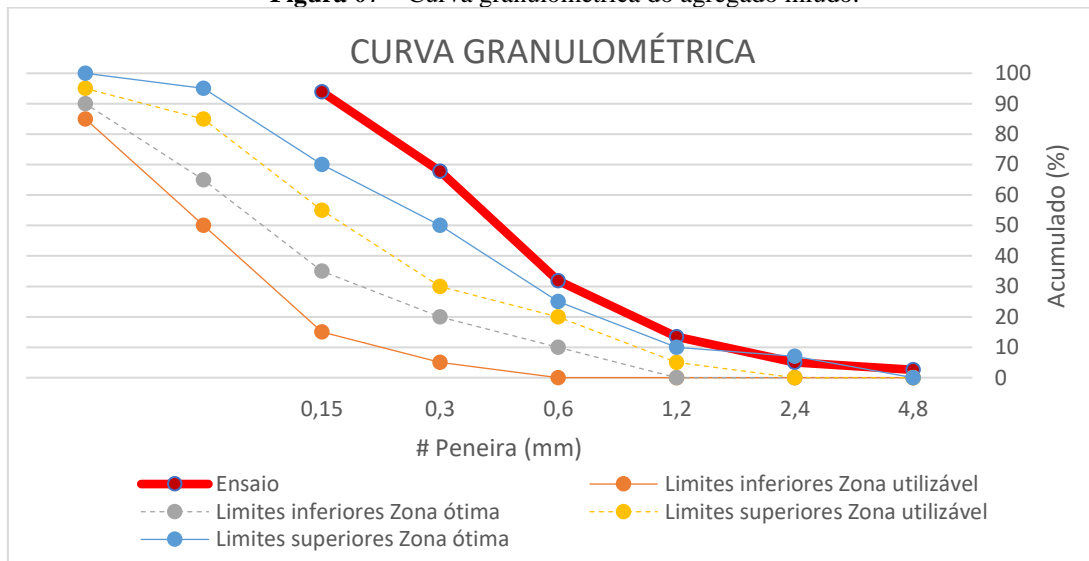
Quanto a análise da composição granulométrica do agregado miúdo, que é proporção relativa das massas dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado, expressa em percentagem, os resultados obtidos para o módulo de finura e o diâmetro máximo podem ser analisados de acordo com os dados fornecidos na Tabela 06.

**Tabela 06** – Módulo de finura e diâmetro máximo do agregado miúdo.

MODULO DE FINURA E DIAMETRO MÁXIMO			
Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Retido (%)	Acumulado (%)
4,8	25,81	2,59	2,59
2,4	24,62	2,47	5,06
1,2	83,64	8,41	13,47
0,6	182,82	18,40	31,87
0,3	356,72	35,91	67,78
0,15	259,40	26,11	93,89
Fundo	60,35	6,07	99,96
$\Sigma$	993,36	-	-
<b>MF</b>	<b>2,147</b>	-	-
<b>Dmáx</b>	<b>2,4mm</b>	-	-

Fonte: autor, 2022.

De acordo com o módulo de finura e diâmetro máximo obtidos na Tabela 06, sendo 2,147 e 2,4mm respectivamente, a areia utilizada é classificada como areia fina. Com os resultados obtidos para granulometria do agregado miúdo, foi possível traçar a curva granulométrica ilustrada na Figura 07.

**Figura 07** – Curva granulométrica do agregado miúdo.

De acordo com a Figura 07, o agregado miúdo pertence zona utilizável inferior, não apresentando excesso de qualquer tamanho de partícula, produzindo assim uma argamassa caracterizada por ter boa trabalhabilidade.

A Figura 08, mostra o aspecto visual do agregado miúdo natural, antes do peneiramento, já a Figura 09 apresenta o aspecto do agregado miúdo após peneiramento na peneira de abertura 4,75mm.

**Figura 08** - Aspecto visual do agregado natural.

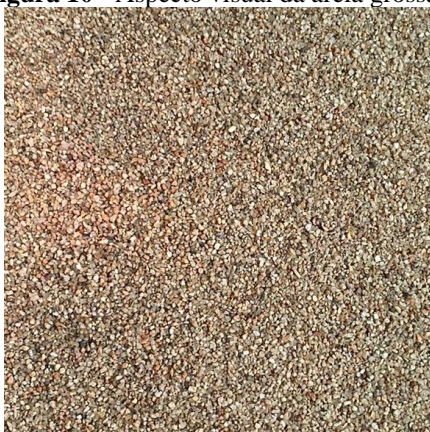
Fonte: autor, 2022.

**Figura 09** - Aspecto visual do agregado miúdo

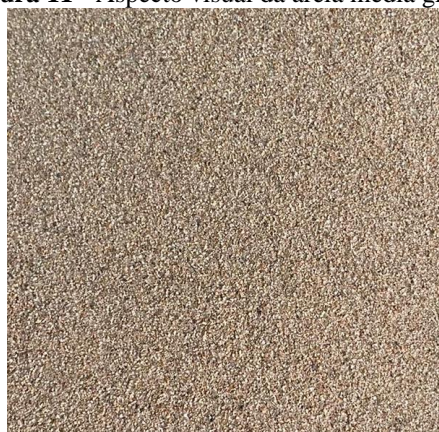
Fonte: autor, 2022.

Ao observar as Figuras 08 e 09, é notório que há uma fração considerável de agregado graúdo na composição do agregado natural.

As Figuras 10, 11, 12 e 13 mostram o aspecto visual das frações de areia fina, média fina, média grossa e grossa, respectivamente.

**Figura 10** - Aspecto visual da areia grossa.

Fonte: autor, 2022.

**Figura 11** - Aspecto visual da areia média grossa.

Fonte: autor, 2022.

**Figura 12** - Aspecto visual da areia média fina.

Fonte: autor, 2022.

**Figura 13** - Aspecto visual da areia fina.

Fonte: autor, 2022.

## 5.2 Modulo de finura do cimento

Seguindo a ABNT NBR 11579/1991 - Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75  $\mu\text{m}$ , os resultados obtidos quanto ao modulo de finura do cimento utilizado, é exposto através da Tabela 07.

**Tabela 07** - Módulo de finura do cimento

MÓDULO DE FINURA DO CIMENTO			
Amostra	P (g)	R (g)	F (%)
01	50,060	0,350	0,699
02	50,020	0,480	0,959
03	50,030	0,450	0,899
Média			<b>0,852</b>
Desvio Padrão			<b>0,136</b>

Fonte: autor, 2022.

Conforme a Tabela 07, podemos analisar os resultados obtidos para as 3 amostras, onde:

- P: é a massa das amostras, em gramas;

- R: é resíduo do cimento retido na peneira 75  $\mu\text{m}$ , em gramas;
- F: é o modulo de finura do cimento, em percentual.

O resultado obtido para o modulo de finura do cimento utilizado foi de 0,83%, portanto ficou dentro dos limites de acordo com a norma NBR 5732, que fixa um limite de  $\leq 10\%$ .

### 5.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os resultados para absorção de água, índice de vazios e massa específica das argamassas padrão e com substituição, foram analisados a partir de 3 CP's para cada uma das dosagens, para isso foi pesado as amostras no estado seco, saturado e saturado submerso.

A Tabela 08, fornece os valores das pesagens dos CP's de referência: massa seca, massa satura e massa saturada submersa.

**Tabela 08** - Dados para o cálculo da massa específica do CP padrão

COMPOSIÇÃO DO AGREGADO: 100% AREIA					
Nº do CP:	CP1 (g)	CP2 (g)	CP3 (g)	MÉDIA (g)	Desvio Padrão
Massa seca (g)	379,32	380,47	380,55	380,11	0,688
Massa saturada (g)	423,24	423,66	423,86	423,58	0,316
Massa sat. submersa (g)	225,74	226,86	226,98	226,52	0,683

**Fonte:** autor, 2022

A Tabela 09, fornece os valores das pesagens dos CP's com 5% de substituição do agregado miúdo por polipropileno: massa seca, massa satura e massa saturada submersa, assim como suas médias.

**Tabela 09** - Dados para o cálculo da massa específica do CP com 5% de substituição

COMPOSIÇÃO DO AGREGADO: 95% AREIA + 5% PP					
Nº do CP:	CP1 (g)	CP2 (g)	CP3 (g)	Média (g)	Desvio Padrão
Massa seca (g)	355,83	359,23	359,95	358,33	2,200
Massa saturada (g)	396,08	399,31	400,12	398,50	2,137
Massa sat. submersa (g)	199,00	201,60	201,80	200,80	1,562

**Fonte:** autor, 2022

A Tabela 10, fornece os valores das pesagens dos CP's com 10% de substituição do agregado miúdo por polipropileno: massa seca, massa satura e massa saturada submersa, assim como suas médias.



**Tabela 10** - Dados para o cálculo da massa específica do CP com 10% de substituição

COMPOSIÇÃO DO AGREGADO: 90% AREIA + 10% PP					
Nº do CP:	CP1 (g)	CP2 (g)	CP3 (g)	Média (g)	Desvio Padrão
Massa seca (g)	335,48	335,83	335,97	335,76	0,252
Massa saturada (g)	371,03	371,87	372,05	371,65	0,544
Massa sat. submersa (g)	176,22	176,99	177,11	176,77	0,482

Fonte: autor, 2022

A Tabela 11, fornece os valores das pesagens dos CP's com 20% de substituição do agregado miúdo por polipropileno: massa seca, massa satura e massa saturada submersa, assim como suas médias.

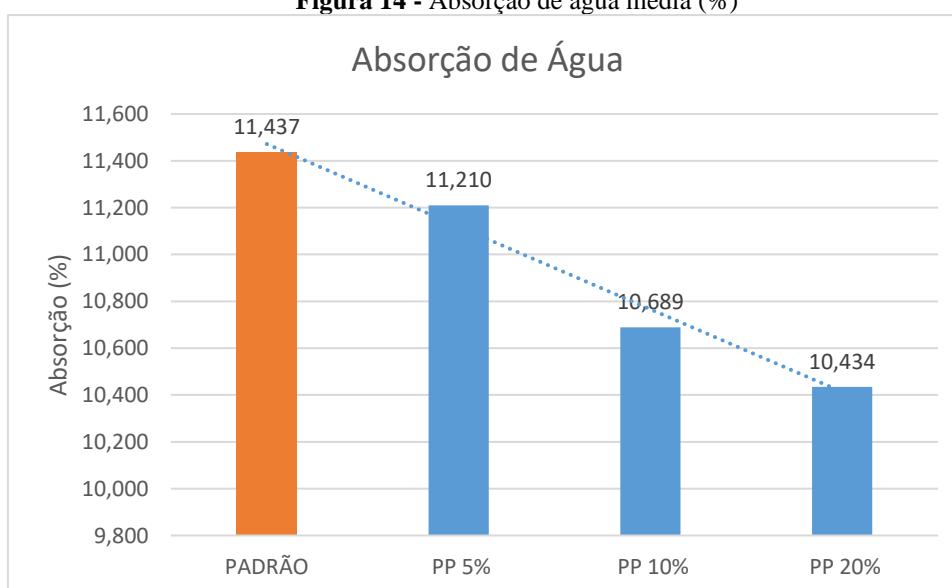
**Tabela 11** - Dados para o cálculo da massa específica do CP com 20% de substituição

COMPOSIÇÃO DO AGREGADO: 80% AREIA + 20% PP					
Nº do CP:	CP1 (g)	CP2 (g)	CP3 (g)	Média (g)	Desvio Padrão
Massa seca (g)	300,63	301,13	301,51	301,09	0,441
Massa saturada (g)	331,81	332,77	332,94	332,50	0,609
Massa sat. submersa (g)	135,99	137,61	137,82	137,14	1,001

Fonte: autor, 2022

### 5.3.1 Absorção de água por imersão

De acordo com a Figura 14, partindo do gráfico apresentado, pode-se verificar os resultados de absorção de água média da argamassa de referência, e das argamassas com substituição nos teores de 5, 10 e 20% do agregado natural por polipropileno.

**Figura 14** - Absorção de água média (%)

Fonte: autor, 2022.

De acordo com a Figura 14, fica evidente que o potencial de absorção de água tende a decrescer a medida que o teor de polipropileno é aumentado. Conforme a Tabela 12, pode-se observar os resultados obtidos por cada CP, assim como o desvio padrão e as alterações quanto a absorção de água das argamassas com substituição quando comparadas a argamassa de referência (padrão).

**Tabela 12 – Absorção de água (%)**

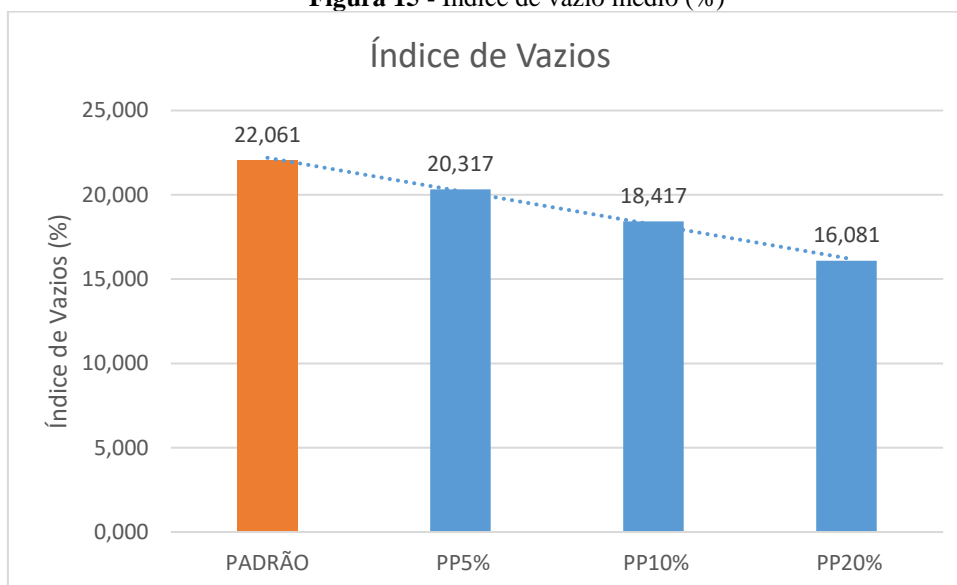
ANÁLISE COMPARATIVA - ABSORÇÃO DE ÁGUA						
Argamassa	CP1	CP2	CP3	Absorção Méd.	Desvio Padrão	Alterações (%)
Padrão	11,579	11,352	11,381	11,437	0,12354	0
PP5%	11,312	11,157	11,16	11,210	0,08864	-1,9877
PP10%	10,597	10,732	10,739	10,689	0,08004	-6,5373
PP20%	10,372	10,507	10,424	10,434	0,06809	-8,7669

**Fonte:** Autor, 2022.

A partir da Tabela 12, percebe-se que as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por PP, tiveram como resultado uma menor absorção de água, quando comparado com a argamassa de referência (padrão). As argamassas com substituição obtiveram um caráter menos permeável, a diminuição da absorção de água nos CP's com substituição ocorreu à medida que foi sendo aumentado o teor de polipropileno substituído, desse modo, a argamassa com o percentual de absorção de água mais baixo foi a PP20%, com 10,434% de absorção, o maior potencial de absorção de água foi da argamassa padrão com 11,437%, uma redução de 8,76% no potencial de absorção, isso acontece pois o polipropileno tem características hidrofóbicas, desta forma não absorve água. Trabalhando com PET, Canellas, 2005 obteve para substituição de 10% do agregado natural por PET, uma absorção de 12%, sendo resultados semelhantes aos presentes nesta pesquisa.

### 5.3.2 Índice de vazios

Conforme os dados fornecidos pelo gráfico da Figura 15, pode-se analisar os resultados obtidos quanto ao índice de vazios médio das amostras padrão e com as substituições de 5, 10 e 20% do agregado miúdo por PP.

**Figura 15 - Índice de vazio médio (%)**

Fonte: Autor, 2022.

Conforme a Figura 15, é notório que o índice de vazios, assim como a absorção tende a decrescer a medida de o teor de polipropileno é aumentado. Partindo da Tabela 13, é possível observar os resultados de cada CP quanto ao índice de vazios, desvio padrão e as alterações em porcentagens das argamassas com substituição quando comparadas a argamassa padrão.

**Tabela 13 – Índice de vazios (%)**

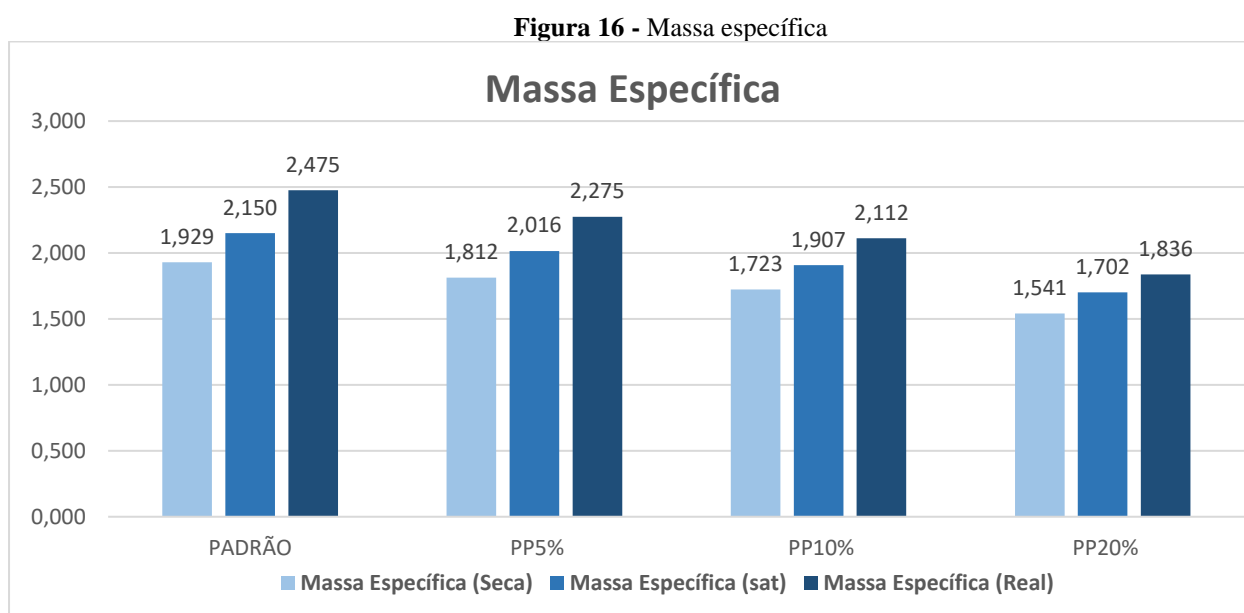
ANÁLISE COMPARATIVA - ÍNDICE DE VAZIOS						
Argamassa	CP1	CP2	CP3	Índ. de V. Méd.	Desvio Padrão	Alterações (%)
Padrão	22,238	21,946	21,998	22,061	0,15576	0
PP5%	20,423	20,272	20,255	20,317	0,09248	-7,9069
PP10%	18,249	18,493	18,508	18,417	0,14540	-16,5193
PP20%	15,923	16,212	16,108	16,081	0,14638	-27,1067

Fonte: Autor, 2022.

Para os valores de índice de vazios, é verificado através da Tabela 13 que, as argamassas com os maiores teores de substituição apresentaram menores índices de vazios, relação que garante a coerência do ensaio, pois isso ocorre devido a diminuição na absorção de água, portanto quanto menor a absorção de água, menor o índice de vazios. O índice de vazios decresce, à medida que o teor de substituição foi aumentando, o maior índice de vazios foi encontrado na argamassa padrão com 22,061%, e como pode ser observado o menor índice de vazios foi obtido na argamassa PP20% com 16,081%.

### 5.3.3 Massa específica

A Figura 16, apresenta através de um gráfico as massas específicas das amostras secas, saturadas e a massa específica real, determinadas através do ensaio normatizado pela ABNT NBR 9778.



**FONTE:** Autor, 2022.

Ao analisar a Figura 16, os resultados obtidos constataam que as argamassas com substituição apresentaram massa específica inferior aos resultados da argamassa padrão. O fato da diminuição da massa específica ocorrer conforme o aumento do teor agregado substituído por PP, pode ser explicado devido ao polímero possuir uma massa específica real e unitária inferior a obtida pela areia. Portanto, por meio do uso de grãos de PP reciclado na argamassa consegue-se obter um material mais leve.

A partir da Tabela 14, podemos analisar particularmente, os resultados obtidos por cada CP, quanto a massa específica da amostra seca.

**Tabela 14 - Massa específica da amostra seca**

ANÁLISE COMPARATIVA - MASSA ESPECÍFICA (AMOSTRA SECA)						
Argamassa	CP1	CP2	CP3	Massa Esp. Méd.	Desvio Padrão	Alterações (%)
Padrão	1,921	1,933	1,933	1,929	0,00693	0,000
PP5%	1,806	1,817	1,815	1,812	0,00586	-6,065
PP10%	1,722	1,723	1,723	1,723	0,00058	-10,679
PP20%	1,535	1,543	1,545	1,541	0,00529	-20,114

**Fonte:** autor, 2022.

De acordo com os dados fornecidos pela Tabela 14, pode-se analisar as alterações que ocorreram quanto a massa específica das amostras secas, das argamassas com substituição do agregado por PP em relação a argamassa padrão. Tomando como base a argamassa padrão, foi identificado reduções na massa específica das amostras secas de: -6,065%, -10,679% e -20,114%, resultados das argamassas com 5, 10 e 20% de substituição respectivamente.

Partindo da Tabela 15, pode-se analisar os resultados quanto a massa específica da amostra saturada, desvio padrão e as alterações ocorridas por influência das substituições do agregado natural por PP.

**Tabela 15** - Massa específica da amostra saturada

ANÁLISE COMPARATIVA - MASSA ESPECÍFICA (AMOSTRA SAT.)						
Argamassa	CP1	CP2	CP3	Massa Esp. Méd.	Desvio Padrão	Alterações (%)
Padrão	2,143	2,153	2,153	2,15	0,00577	0,000
PP5%	2,010	2,020	2,018	2,016	0,00529	-6,233
PP10%	1,905	1,908	1,909	1,907	0,00208	-11,302
PP20%	1,694	1,705	1,706	1,702	0,00666	-20,837

**Fonte:** autor, 2022.

Com base nos dados fornecidos pela Tabela 15, são evidenciadas as variações que ocorreram na massa específica da amostra saturada, entre a argamassa de referência e as argamassas com substituição do agregado por PP. Foi identificado reduções na massa específica das amostras saturadas nos seguintes percentuais: -6,233%, -11,302% e -20,837%, foram as alterações sofridas pelas argamassas com PP5%, PP10% e PP20%, quando comparadas a argamassa padrão.

De acordo com a Tabela 16, é possível analisar os resultados quanto a massa específica real, desvio padrão e as alterações ocorridas por influência das substituições do agregado natural por PP.

**Tabela 16** - Massa específica real

ANÁLISE COMPARATIVA - MASSA ESPECÍFICA (REAL)						
Argamassa	CP1	CP2	CP3	Massa Esp. Méd.	Desvio Padrão	Alterações (%)
Padrão	2,470	2,477	2,478	2,475	0,00436	0,000
PP5%	2,269	2,279	2,276	2,275	0,00513	-8,081
PP10%	2,106	2,114	2,115	2,112	0,00493	-14,667
PP20%	1,826	1,842	1,842	1,836	0,00924	-25,818

**Fonte:** autor, 2022.

Conforme mostrado na Tabela 16, são notórias as variações na massa específica da amostra real, entre a argamassa de referência e as argamassas com substituição do agregado por PP. Foram identificadas reduções na massa específica real nos seguintes percentuais: -0,081%,

-14,667% e -25,818%, foram as alterações sofridas pelas argamassas com 5, 10 e 20% de substituição respectivamente.

#### 5.4 Ensaio de resistência a compressão axial

No que se refere aos resultados de resistência a compressão axial, foram elaborados gráficos e tabelas de acordo com os teores de substituição. A partir dos resultados das argamassas com substituição do agregado miúdo por PP e da argamassa referência (padrão), foram feitas análises comparativas, com intuito de avaliar a efetividade das substituições do agregado por polipropileno reciclado.

Para uma melhor visualização na leitura dos resultados, utilizou-se nos gráficos as nomenclaturas: PP5%, PP10% e PP20%, nas quais correspondem as argamassas com porcentagens de 5%, 10% e 20%, respectivamente de agregado miúdo substituído por polipropileno (PP).

Os resultados de resistência à compressão axial característica aos 7, 14 e 28 dias argamassa produzida com traço padrão, normatizado a NBR 5732 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão, estão apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17** - Resistência a compressão dos CP's padrão

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL DOS CP's PADRAO				
Nº do CP	Idade (dias)	Resistencia a comp. (mpa)	Resistencia a comp. Média (mpa)	Desvio Padrão
1		9,386 MPa		
2	7 dias	11,161 MPa	10,950 MPa	1,470
3		12,303 MPa		
4		16,303 MPa		
5	14 dias	17,254 MPa	17,078 MPa	0,703
6		17,676 MPa		
7		18,462 MPa		
8	28 dias	19,500 MPa	19,362 MPa	0,840
9		20,124 MPa		

**Fonte:** autor, 2022.

Por meio dos dados apresentados na Tabela 17, pode ser observado o aumento da resistência à compressão ao longo dos 28 dias de cura dos CP's de argamassa padrão, onde ocorre um aumento na resistência a compressão axial de 76,2% entre 7º e 28º dia de cura saturada, o aspecto visual do corpo de prova produzido com o traço de referência (padrão), pode ser visualizado na Figura 17.

**Figura 17** – CP padrão

**Fonte:** autor, 2022.

A Tabela 18, permite visualizar os resultados das resistências a compressão axial dos corpos de prova, produzidos a partir do traço com 5% de substituição do agregado miúdo por polipropileno.

**Tabela 18** - Resistência a compressão dos CP's com substituição de 5%

RESISTENCIA A COMPRESSÃO AXIAL DOS CP's COM 5% DE SUBSTITUIÇÃO				
Nº do CP	Idade	Resistencia a comp.	Resistencia a comp. Média	Desvio Padrão
1		12,000 MPa		
2	7 dias	12,831 MPa	12,798 MPa	0,783
3		13,564 MPa		
4		14,746 MPa		
5	14 dias	15,749 MPa	16,097 MPa	1,554
6		17,795 MPa		
7		18,943 MPa		
8	28 dias	19,531 MPa	19,509 MPa	0,555
9		20,052 MPa		

**Fonte:** autor, 2022.

De acordo com a Tabela 18, baseando-se nas médias das resistências a compressão axial fornecidas de acordo com o tempo de cura, a resistência entre o 7° e o 28° dia de cura, alcançou um aumento de 52,43%. A partir da Tabela 19, podemos observar a análise comparativa entre a argamassa de referência e a PP5%.

**Tabela 19** - Análise comparativa da resistência a compressão entre o traço padrão e com substituição de 5%

ANÁLISE COMPARATIVA - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO			
Idade do CP (dias)	CP padrão (MPa)	CP PP5% (MPa)	Alteração da res. a comp. (%)
7	10,95	12,798	+16,87
14	17,078	16,097	-5,74
28	19,362	19,509	<b>+0,75</b>

FONTE: Autor, 2022.

De acordo com a Tabela 19, podemos observar de forma simples, por meio de uma análise comparativa, entre a argamassa padrão e a com substituição de 5% do agregado miúdo por PP, as alterações que ocorreram quanto a resistência a compressão axial. Quando comparado com o traço padrão, nas idades de 7, 14 e 28 dias, temos os seguintes ganhos (representados pelo sinal “ + ”) ou perdas (representadas pelo sinal “ - ”):

A argamassa com 5% de substituição do agregado miúdo por polipropileno (PP), teve um desempenho superior aos 7 e aos 28 dias, a vantagem mais expressiva foi aos 7 dias, sendo 16,87% mais resistente do que a argamassa padrão, aos 28 dias mesmo que sendo uma baixa vantagem, a argamassa com 5% de substituição foi 0,75% mais resistente que a argamassa padrão, o corpo de prova moldado para a PP5%, é exibido na Figura 18. Canellas, 2005, trabalhou com substituição do agregado miúdo por PET e obteve aos 28 dias de cura, com a substituição de 5%.

**Figura 18** – CP PP5%

Fonte: autor, 2022.



A argamassa com 10% de substituição do agregado miúdo por PP, em termos de resistência a compressão, teve resultados inferiores quando comparado ao traço padrão e também quando comparado ao PP5%. Os corpos de prova, produzidos a partir do traço com 10% de substituição do agregado miúdo por polipropileno, teve os seguintes resultados de resistência a compressão axial, dispostos na Tabela 20.

**Tabela 20 - Resistência a compressão dos CP's com substituição de 10%**

RESISTENCIA A COMPRESSÃO AXIAL DOS CP's COM 10% DE SUBSTITUIÇÃO				
Nº do CP	Idade	Resistencia a comp.	Resistencia a comp. Média	Desvio Padrão
1		8,053 MPa		
2	7 dias	8,930 MPa	8,660 Mpa	0,527
3		8,997 Mpa		
4		11,027 Mpa		
5	14 dias	11,029 Mpa	11,059 MPa	0,054
6		11,122 Mpa		
7		12,198 Mpa		
8	28 dias	13,115 Mpa	12,957 MPa	0,693
9		13,557 MPa		

**Fonte:** Autor, 2022.

De acordo com os dados contidos na Tabela 20, tomando como base nas médias das resistências a compressão axial fornecidas de acordo com o tempo de cura, a resistência à compressão axial entre o 7º e o 28º dia de cura, alcançou um aumento de 49,618%. A partir da Tabela 21, podemos observar a análise comparativa entre a argamassa de referência e a PP10%.

**Tabela 21 - Análise comparativa resistência a compressão entre o traço padrão e com substituição de 10%**

ANÁLISE COMPARATIVA - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO			
Idade do CP (dias)	CP padrão (Mpa)	CP PP10% (Mpa)	Alteração da res. a comp. (%)
7	10,95	8,66	-20,913
14	17,078	11,059	-35,244
28	19,362	12,957	<b>-33,080</b>

**Fonte:** autor, 2022.

Como base na Tabela 21, fica evidente a perda considerável da resistência a compressão aos 7, 14 e 28 dias, quando comparado ao traço da argamassa padrão, sendo de -20,91%, -35,24% e -33,08%, respectivamente, menos resistente, o CP moldado para a PP10%, é apresentado na Figura 19.

**Figura 19 – CP PP10%**

**Fonte:** autor, 2022.

A argamassa com 20% de agregado miúdo substituído por PP (PP20%), não obteve um bom desempenho quanto a resistência a compressão axial, os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 22.

**Tabela 22 - Resistência a compressão dos CP's com substituição de 20%**

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL DOS CP's COM 20% DE SUBSTITUIÇÃO				
N° do CP	Idade	Resistencia a comp.	Resistencia a comp. Média	Desvio padrão
1		7,841 MPa		
2	7 dias	8,330 MPa	8,372 MPa	0,553
3		8,944 MPa		
4		9,406 MPa		
5	14 dias	9,492 MPa	9,633 MPa	0,322
6		10,002 MPa		
7		9,690 MPa		
8	28 dias	10,600 MPa	10,545 MPa	0,829
9		11,346 MPa		

**Fonte:** Autor, 2022

A partir da Tabela 22, podemos verificar que, de acordo com médias das resistências a compressão axial fornecidas, a resistência entre o 7° e o 28° dia de cura, resultou em um pequeno aumento de 25,95%. A partir da Tabela 23, podemos observar a análise comparativa entre a argamassa de referência e a PP20%.

**Tabela 23:** Análise comparativa resistência a compressão entre o traço padrão e com substituição de 20%

ANÁLISE COMPARATIVA - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO			
Idade do CP (dias)	CP padrão (Mpa)	CP PP20% (Mpa)	Alteração da res. a comp. (%)
7	10,95	8,372	-23,543
14	17,078	9,633	-43,594
28	19,362	10,545	<b>-45,537</b>

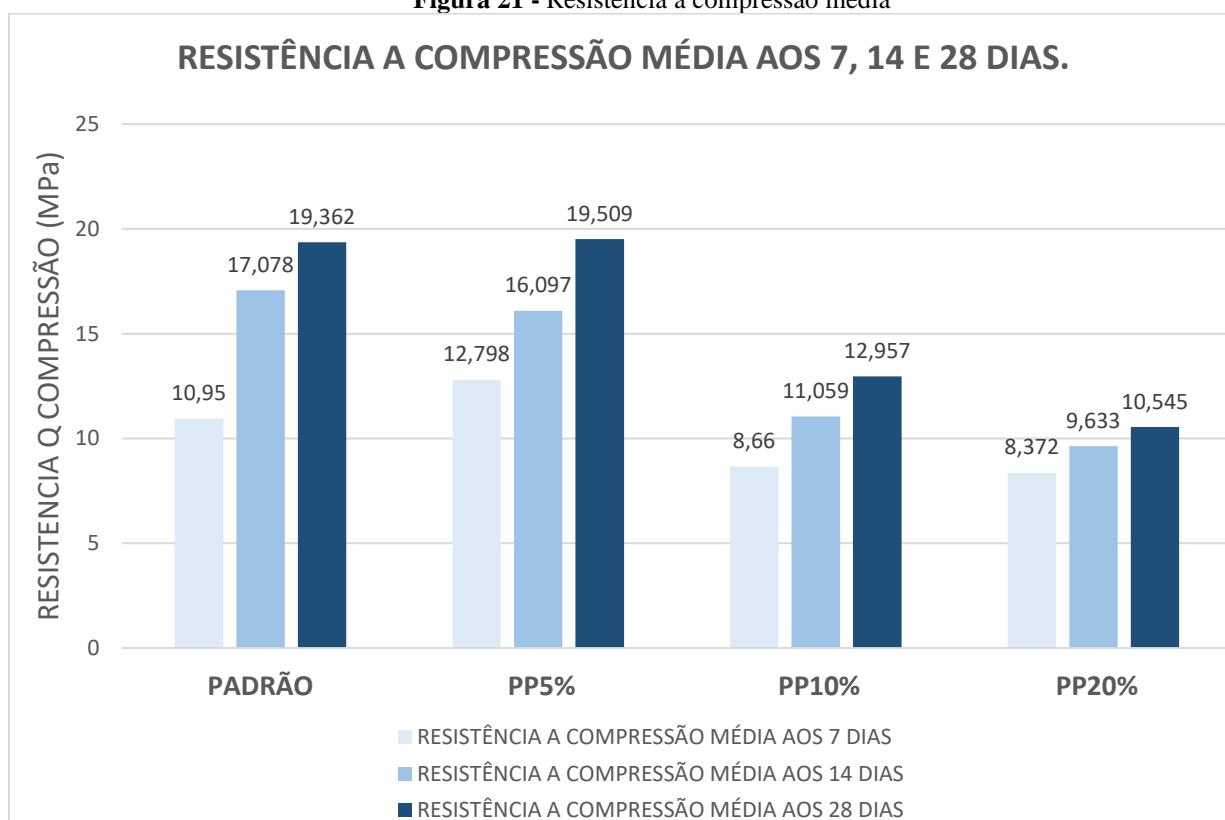
Fonte: Autor, 2022.

Ao analisar a Tabela 23, fica evidente a perda da resistência da argamassa PP20%, pode-se afirmar que são as reduções mais expressivas, sendo aos 7, 14 e 28 dias, -23,54%, -43,59% e -45,53% respectivamente. Podemos concluir que o resultado do traço não foi satisfatório, visto que a resistência a compressão foi reduzida em aproximadamente 50%, o CP para a PP20% é apresentado na Figura 20.

**Figura 20 – CP PP20%**

Fonte: autor, 2022.

Para análise dos dados das resistências a compressão axial média aos 7, 14 e 28 dias das argamassas pesquisadas, pode ser observado o gráfico, apresentado pela Figura 21.

**Figura 21 - Resistência a compressão média**

**FONTE:** Autor, 2022.

Ao analisar os resultados mostrados no gráfico, presente na Figura 21, nota-se que todas as argamassas com substituição do agregado miúdo natural pelo PP, obtiveram resistências a compressão inferiores a argamassa referência (traço padrão), exceto a argamassa PP5%.

Para as argamassas com substituição, o decréscimo na resistência à compressão axial se mostra sempre mais elevado conforme o aumento na porcentagem de substituição do agregado, sendo diferente apenas na substituição de 5% do agregado, onde apresenta aos 28 dias, uma resistência 0,75% maior que a argamassa padrão, sendo o melhor resultado analisado na pesquisa. Os resultados mostram que a argamassa que possui a menor resistência a compressão axial, com relação a argamassa referência, é a argamassa PP20%, reduzindo 45,53% da resistência a compressão axial. Alcantara et al, 2019, trabalhou com a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de PET, nos teores de 5, 10 e 15%, para substituição de 10% obteve o resultado quanto a compressão axial aos 28 dias de 15,95Mpa, resultado no qual se equipara ao da presente pesquisa, na qual para o mesmo teor de substituição, sendo por PP alcançou a resistência de 12,95Mpa.

Baseado nos resultados médios obtidos no ensaio, fornecidos pelo gráfico, da Figura 21, é possível verificar que à medida que é feito o aumento na porcentagem do teor de

polipropileno, ocorre uma diminuição na resistência à compressão axial. Este fato pode ter sido ocasionado devido ao termoplástico ser um material com menor resistência do que o agregado natural, a areia, e/ou por motivos das condições laboratoriais, como a falta do misturador e do agitador de peneiras.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nos ensaios descritos nesta pesquisa, algumas conclusões podem ser observadas, quanto a absorção de água, índice de vazios, massa específica e resistência à compressão. As principais considerações serão apresentadas a seguir:

- Os resultados obtidos no ensaio de absorção, índices de vazios e massa específica mostraram que a argamassa com 5% de substituição do agregado miúdo por PP foi a que mais absorveu água, visto que possuía maior índice de vazios, o que torna coerente o resultado, enquanto as demais apresentaram resultados sem grandes variações entre si. A argamassa padrão, foi a que apresentou o maior teor de absorção de água, o que a torna mais porosa, justificando os resultados de índice de vazios e massa específica.
- Nos ensaios de resistência à compressão axial, foi verificado que na argamassa com 5% do agregado miúdo substituído por PP foi possível manter a resistência da argamassa padrão, já com aumento de incorporação de polipropileno para 10 e 20% resultaram em diminuições significativas da resistência a compressão, sendo que a mistura com menor resistência foi a com maior substituição de agregado pelo termoplástico.
- Por tanto, conclui-se que a utilização de polipropileno em argamassas provoca mudanças no seu comportamento/propriedades. Apesar dos valores de resistência a compressão obtidos a partir dos traços com substituição de 10 e 20% serem menores, seu emprego pode ser viável, pois em muitas utilizações, a resistência não é o ponto mais importante. Sendo assim, o uso do polipropileno em substituição ao agregado natural, pode ser visto como alternativa viável, tanto ambiental quanto de desempenho, pois seu uso incorporado no revestimento argamassado não apresentou mudanças significativas de comportamento quanto à absorção de água em relação ao revestimento argamassado referência.

## REFERÊNCIAS

- ABNT 11579: **Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2013
- ABNT NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT NBR 13529: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT NBR 16697: **Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018
- ABNT NBR 5732: **Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991.
- ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT NBR 7215: **Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.
- ABNT NBR 7217: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT NBR NM 248: **agregados – determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- AKCELRUD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. São Paulo: Manole Ltda, 2007.
- ALANI, A. H.; BUNNORI, M.; NOAMAN, A. T.; MAJID, T. A. **Durability performance of a novel ultra-high performance PET green concrete (UHPPGC)**. Construction and Building Materials, 2019.
- ALCANTARA, M. A.; TREVISAN, M.; ASSUNÇÃO, C. C.; BIGOTTO, S. A. **Produção de Argamassas com Substituição Parcial de Areia Natural por Resíduo de PET**, ANAP Brasil, 2019.
- ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia**. São Paulo, 2000. 118 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia e Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANGELIM, R.R.; ANGELIM, S.C.M.; CARASEK, H. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Perfil 2018**. 2018.

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**, 2001.

BAÍA, L. L.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa. Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras**. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro, 9. ed, 2016.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo. IBRACON, 2007.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. MONOGRAFIA. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. Volume 1. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEIRELES V. **Gestão e tratamento dos resíduos sólidos plásticos produzidos pelo Polo Industrial de Manaus: tecnologias e sustentabilidade**. Dissertação - Universidade Federal do Amazonas, 2016.

MELLO, A. L. **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

MOURA, C. B. **Aderência de Revestimentos Externos de Argamassa em Substratos de Concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco**. 2007.



OLIVEIRA, M. S.; SILVEIRA, J. S.; MORATO, J. B.; AVELLAR, G.; VALADÃO, R. C. **Impactos ambientais decorrentes da extração de areia, Cachoeira Da Prata – MG.** In: 9º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2012. Rio de Janeiro-RJ.

PARENTE, R. A. **Elementos estruturais de plástico reciclado.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2009.

SANTOS, A. M. dos. **Estudo de Compósitos Híbridos de Polipropileno / Fibras de Vidro e Coco para Aplicação em Engenharia.** 2006. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.