



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

ADSON DE SOUSA GARCIA

BARBARA CRISTINA SOARES SILVA

**PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM A SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE POLIPROPILENO**

TUCURUÍ
2022

ADSON DE SOUSA GARCIA
BARBARA CRISTINA SOARES SILVA

**PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM A SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE POLIPROPILENO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil do Campus
Universitário de Tucuruí, da Universidade
Federal do Pará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientadora: Ma. Grazielle Tigre de Souza
Coorientador: Me. Sabino Alves Aguiar Neto

TUCURUÍ
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G216p Garcia, Adson de Sousa.
PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM
A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO NATURAL
POR RESÍDUO DE POLIPROPILENO / Adson de Sousa Garcia,
Barbara Cristina Soares Silva . — 2022.
93 f. : il.

Orientador(a): Profª. MSc. Grazielle Tigre de Souza
Coorientador(a): Prof. Me. Sabino Alves Aguiar
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de
Engenharia Civil, Tucuruí, 2022.

1. argamassa de revestimento. 2. agregado miúdo. 3.
polímero. 4. resíduo polimérico. I. Título.

CDD 620

ADSON DE SOUSA GARCIA
BARBARA CRISTINA SOARES SILVA

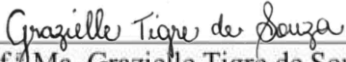
**PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM A
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO NATURAL POR**

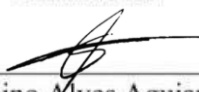
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil, do Campus
Universitário de Tucuruí, da Universidade
Federal do Pará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

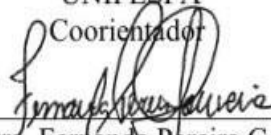
Data da aprovação: 20/07/2022

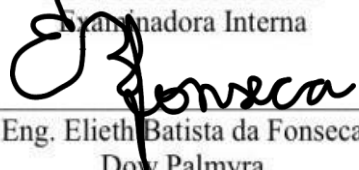
Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Ma. Grazielle Tigre de Souza
FEC/UFPA/CAMTUC
Orientadora


Me. Sabino Alves Aguiar Neto
UNIFESPA
Coorientador


Prof.^a Dra. Fernanda Pereira Gouveia
FEC/UFPA/CAMTUC
Examinadora Interna


Eng. Elieth Batista da Fonseca
Dow Palmyra
Examinadora Externa

AGRADECIMENTOS – ADSON GARCIA

Agradeço primeiramente a minha mãe, Luciene Ferreira de Sousa, por todo o suporte que me foi dado durante esses cinco anos.

Agradeço a minha orientadora Grazielle Tigre de Souza a qual foi a primeira pessoa a me conceder a oportunidade de realizar pesquisa.

Agradeço a equipe técnica do Laboratório de Engenharia Civil, em especial a Francirene Bonfim, pois todo conhecimento presente neste trabalho é fruto dos seus ensinamentos.

Agradeço as minhas duas melhores amigas dentro da UFPA, Bárbara Cristina Soares da Silva e Elizete Gomes Moraes, as quais foram meus pilares durante a graduação.

Agradeço a Juliana Conceição de Sousa, tia Júlia, por ter sido minha psicóloga particular, amiga e a melhor atendente da lanchonete do campus.

Agradeço ao meu irmão Witalo de Sousa Garcia pela ajuda na hora de realizar a construção das paredes de revestimento.

AGRADECIMENTOS – BÁRBARA SOARES

Sem os meus pais e o meu irmão, eu não teria chegado tão longe, neles estão meu eterno amor e gratidão por terem me apoiado até aqui, principalmente por acreditarem quando nem eu mesma acreditei.

Também minha eterna gratidão aos meus anjos de guarda dentro da faculdade, Elizeth que não mediu esforços para aliviar minhas cargas quando eu achei que tudo iria desmoronar e ao melhor amigo que uma graduanda poderia ter, Adson, meu parceiro de ciências, novas aventuras e os vários desafios que enfrentamos juntos. Obrigada por sempre topar as ideias mais insanas e engenhosas que dois estudantes de engenharia poderiam ter. Sem você, toda a minha graduação seria sem cor, você aqueceu meu coração.

E por fim, obrigada a todos os meus amigos, em especial minha melhor amiga, Kanandra, que sempre me acalentou e teve fé em mim. Ela sempre esteve nos momentos mais difíceis da minha graduação, nunca saiu do meu lado e consegui me manter forte, porque ela estava lá por mim. Então, muito obrigada pela sua lealdade, saiba que você me sustentou até aqui também.

“É preciso que eu suporte duas ou três larvas se quiser conhecer as borboletas. Dizem que são tão belas.” (EXUPÉRY, 1943, 28 p.)

RESUMO

A geração de resíduos poliméricos tem apresentado um amplo debate ambiental, devido ao longo prazo de decomposição desses materiais. Dentre eles, destacam-se os resíduos de Polipropileno (PP). O material desenvolvido para facilitar um mercado consumidor cada vez mais crescente e dinâmico, trouxe consigo o aumento no volume de resíduos poluentes, sobretudo no cenário pandêmico do COVID-19. Em consonância a este problema, o consumo de recursos minerais pela construção civil também é responsável por grandes impactos ambientais. Nesse sentido, buscou-se avaliar a viabilidade técnica de argamassas para revestimento produzidas com resíduo de polipropileno triturado. Com a finalidade de atender a proposta desta pesquisa, a metodologia baseou-se primeiramente na caracterização dos agregados constituintes da argamassa (granulometria, massa unitária, absorção de água e densidade). Posteriormente a isto, foi definido um traço rico para reboco 1;2,5 com fator a/c de 0,6 com substituição parcial do agregado natural pelo agregado artificial nas proporções de 0%, 2%, 4% e 6% em massa. Após a definição do traço, foram realizados os ensaios no estado fresco (consistência, teor de ar incorporado, densidade de massa e retenção de água). Em sequência, foram moldados os corpos de prova e submetidos aos ensaios de compressão axial, tração na flexão, densidade aparente, tração por compressão diametral, aderência à tração, módulo de elasticidade, absorção por capilaridade, absorção por imersão e índice de vazios. Diante dos resultados, destacou-se o traço RPT-6, tendo esse apresentado o melhor comportamento em relação a densidade de massa, com aumento de 21%. Além disso, para o mesmo traço, observou-se melhoria na ductibilidade das argamassas, com redução do módulo de elasticidade em aproximadamente 49%. Com relação à aderência, os revestimentos contendo resíduo de polipropileno permaneceram dentro da faixa de 0,50 MPa, assim como o traço de referência. Desta forma, observa-se que a utilização de resíduo de polipropileno possui viabilidade técnica para aplicação como agregado em argamassas de revestimento. Isso porque, mesmo os resultados apresentando reduções de resistências mecânicas, as argamassas de revestimento não desempenham função estrutural e, portanto, não foram encontrados impedimentos quanto a sua utilização. Além disso, constatou-se que a adição desses resíduos não resultou perda de trabalhabilidade das argamassas avaliadas.

Palavras-chave: argamassa de revestimento; agregado miúdo; polímero; resíduo polimérico.

ABSTRACT

The generation of polymeric waste has presented a broad environmental debate, due to the long decomposition time of these materials. Among them, Polypropylene (PP) waste stands out. The material, developed to facilitate an increasingly growing and dynamic consumer market, has brought with it an increase in the volume of polluting residues, especially in the pandemic scenario of COVID-19. In line with this problem, the consumption of mineral resources by civil construction is also responsible for major environmental impacts. In this sense, we sought to evaluate the technical feasibility of mortars for coating produced with crushed polypropylene waste. In order to meet the proposal of this research, the methodology was first based on the characterization of the aggregates constituting the mortar (granulometry, unit mass, water absorption and density). Subsequently, a rich mixture was defined for rendering 1;2.5 with a w/c factor of 0.6 with partial substitution of natural aggregate by artificial aggregate in the proportions of 0%, 2%, 4% and 6% by mass. After defining the mix, the fresh state tests were performed (consistency, incorporated air content, bulk density, and water retention). Then, the samples were molded and subjected to axial compression tests, flexural traction, bulk density, traction by diametrical compression, traction adhesion, modulus of elasticity, absorption by capillarity, absorption by immersion, and void index. Given the results, the mixture RPT-6 stood out, having presented the best behavior in relation to mass density, with an increase of 21%. Moreover, for the same mix, an improvement in mortar ductility was observed, with a reduction in elasticity modulus of approximately 49%. Regarding adherence, the coatings containing polypropylene residue remained within the range of 0.50 MPa, as well as the reference mixture. Thus, it is observed that the use of polymeric waste has technical feasibility for application as an aggregate in coating mortars. This is because, even though the results show reductions in mechanical strength, the lining mortars do not have a structural function and, therefore, no impediments were found regarding its use. Furthermore, it was found that the addition of this waste did not result in a loss of workability of the mortars evaluated.

Keywords: coating mortar; fine aggregate; polymer; polymeric waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Principais resinas consumidas no Brasil	20
Figura 2 - Produção e reciclagem de plástico no mundo	22
Figura 3 - Localização de empresas e emprego no setor de transformação do plástico no Brasil	23
Figura 4 - Alta produção de plástico usadas em atividades durante a pandemia	23
Figura 5 - Solicitações sobre o sistema de revestimento	28
Figura 6 - Opções de revestimento: (a) emboço + reboco + pintura (clássico); (b) camada única + pintura (mais utilizado); (c) revestimento decorativo monocamada (RDM)	29
Figura 7 - Resíduo de polipropileno triturado: a) Visto ao olho nu e b) visto pelo microscópio com ampliação de 40 vezes	37
Figura 8 - Areia quartzosa: a) Vista pelo olho nu e b) vista pelo microscópio com ampliação de 40 vezes	37
Figura 9 - Esquema metodológico da pesquisa	39
Figura 10 - Garras PET separadas por cores	39
Figura 11 - Triagem dos resíduos plásticos coletados	40
Figura 12 - Amostra de plástico retida nas peneiras	41
Figura 13 - Ensaio para determinação da massa unitária: a) recipiente com areia e b) recipiente com PP	42
Figura 14 - Ensaio de absorção de água: a) Amostra compactada; b) amostra de areia no estado saturado e c) amostra de areia no estado de superfície seca saturada	42
Figura 15 - Ensaio para determinação da densidade da areia com balão volumétrico	43
Figura 16 - Ensaio para determinação da densidade do PP com frasco de Le Chatelier	44
Figura 17 - Moldagem e cura dos corpos de prova prismáticos	46
Figura 18 - Ensaio para determinação da consistência: a) argamassa no molde após a compactação das camadas b) retirada do molde e c) espalhamento da argamassa após as quedas da mesa de consistência	47
Figura 19 - Bomba de vácuo anexada ao funil de Buchner	48
Figura 20 - Ensaio de para determinação da retenção de água: a) Disco com argamassa após rasamento e b) argamassa submetida ao vácuo no funil de Buchner	49

Figura 21 - Recipiente preenchido com argamassa para determinar o teor de ar incorporado	49
Figura 22 - Ensaio para determinação da resistência à flexão: a) corpo de prova posicionado na prensa e b) corpo de prova após a ruptura	51
Figura 23 - Corpo de prova centralizado na prensa para determinação da resistência à compressão axial.....	52
Figura 24 - Corpo de prova centralizado na prensa para determinação da resistência à tração por compressão diametral	53
Figura 25 - Preparação das paredes a serem ensaiadas: a) Substrato de tijolos b) Chapisco e c) Reboco.....	53
Figura 26 - Ensaio para determinação da aderência à tração: a) Parede após a extração a realização do ensaio e b) corpos de prova retirados das paredes.....	54
Figura 27 - Corpos de prova cilíndricos utilizados para determinação do módulo de elasticidade	55
Figura 28 - Ensaio para determinação do módulo de elasticidade: a) Aplicação do método de carregamento e descarregamento e b) corpo de prova rompido por compressão axial	56
Figura 29 - Medição das dimensões do corpo de prova	57
Figura 30 - Corpos de prova prismáticos colocados sob a coluna de água	58
Figura 31 - Corpos de prova cilíndricos submersos em água.....	59
Figura 32 - Curva granulométrica para o agregado mineral e polimérico.....	60
Figura 33 - Valor médio e desvio padrão, para índice de consistência	61
Figura 34 - Valor médio e desvio padrão, para retenção de água	62
Figura 35 - Valor médio e desvio padrão, para teor de ar incorporado	62
Figura 36 - Valor médio e desvio padrão, para densidade de massa no estado fresco.....	63
Figura 37 - Valor médio e desvio padrão, para resistência à tração na flexão	64
Figura 38 - Valores médios com desvio absoluto máximo de 0,3 Mpa, para resistência à tração na flexão	64
Figura 39 - Valor médio e desvio padrão, para resistência à compressão axial	65
Figura 40 - Valores médios com desvio absoluto máximo, para resistência à compressão axial	66

Figura 41 - Valor médio e desvio padrão, para resistência a tração por compressão diametral	67
Figura 42 - Valor médio e desvio padrão, para resistência a tração por compressão diametral	68
Figura 43 - Valor médio e desvio padrão, para resistência a tração por compressão diametral	68
Figura 44 - Tipos de ruptura dos corpos de prova	69
Figura 45 - Valor médio e desvio padrão, para módulo de elasticidade	69
Figura 46 - Valor médio e desvio padrão, para densidade aparente, seca saturada e real	70
Figura 47 - Valor médio e desvio padrão, para absorção de água por capilaridade	71
Figura 48 - Valor médio e desvio padrão, para absorção de água por capilaridade	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos agregados segundo sua massa unitária	25
Tabela 2 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	26
Tabela 3 - Espessuras indicadas para revestimentos internos e externos	28
Tabela 4 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua retenção de água	31
Tabela 5 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua densidade de massa no estado fresco	32
Tabela 6 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua resistência à flexão e à compressão	33
Tabela 7 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua resistência à aderência	34
Tabela 8 - Classe das argamassas de revestimento, conforme seu coeficiente de capilaridade	35
Tabela 9 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua densidade aparente no estado endurecido	35
Tabela 10 - Dados da caracterização do aglomerante	38
Tabela 12 - Traço utilizado para a moldagem	45
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados	59
Tabela 14 - Classificação das argamassas	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1.	Considerações iniciais.....	16
1.2	Objetivos.....	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	Justificativa	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Polímeros	19
2.1.1	Polipropileno (PP)	20
2.1.2	Problemática dos resíduos plásticos	21
2.1.3	Os resíduos plásticos no cenário da pandemia.....	23
2.2	Agregados na construção civil	24
2.2.1	Classificação dos agregados	25
2.2.2	Problemática da extração de agregados usados na construção civil.....	26
2.3	Argamassa para revestimento	27
2.3.1	Tipos de argamassa para revestimento	28
2.3.1.1	Chapisco	29
2.3.1.2	Emboço	29
2.3.1.3	Reboco	30
2.3.2	Propriedade das argamassas de revestimento	30
2.3.2.1	Consistência	30
2.3.2.2	Retenção de água	31
2.3.2.3	Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	32
2.3.2.4	Resistência à tração na flexão e à compressão axial.....	32
2.3.2.5	Aderência.....	33
2.3.2.6	Absorção por capilaridade	34
2.3.2.7	Densidade aparente no estado endurecido	35
2.3.3	Aplicação de resíduos poliméricos em argamassas	36

3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	Materiais	36
3.1.1	Resíduo de polipropileno	36
3.1.2	Areia	37
3.1.3	Cimento.....	37
3.1.4	Água.....	38
3.2	Métodos.....	38
3.2.1	Coleta do resíduo polimérico triturado	39
3.2.2	Caracterização dos agregados	40
3.2.2.1	Determinação da composição granulométrica	40
3.2.2.2	Determinação da massa unitária	41
3.2.2.3	Determinação da absorção de água.....	42
3.2.2.4	Determinação da densidade	43
3.2.3	Preparação das argamassas	45
3.2.4	Ensaio no estado fresco	46
3.2.4.1	Determinação do índice de consistência.....	46
3.2.4.2	Determinação da retenção de água	47
3.2.4.3	Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado	49
3.2.5	Ensaio no estado endurecido	50
3.2.5.1	Determinação da resistência a tração na flexão	50
3.2.6	Determinação da resistência à compressão.....	51
3.2.6.1	Determinação da resistência a tração por compressão diametral	52
3.2.6.2	Determinação da resistência potencial de aderência à tração	53
3.2.6.3	Determinação do módulo de elasticidade	54
3.2.6.4	Determinação da densidade seca aparente	56
3.2.6.5	Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade	57
3.2.6.6	Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1	Caracterização dos agregados	59
4.2	Resultados das propriedades no estado fresco	60
4.2.1	Índice de Consistência	60

4.2.2	Retenção de água	61
4.2.3	Teor de ar incorporado e densidade de massa	62
4.3	Resultados das propriedades no estado endurecido	63
4.3.1	Resistência à tração na flexão	63
4.3.2	Resistência à compressão axial.....	65
4.3.3	Resistência à tração por compressão diametral	66
4.3.4	Aderência à tração	67
4.3.5	Módulo de elasticidade	69
4.3.6	Densidade seca, aparente, saturada e real	70
4.3.7	Absorção por capilaridade	71
4.3.8	Absorção por imersão	71
4.4	Classificação das argamassas.....	72
5	CONCLUSÕES.....	73
	REFERÊNCIAS	75
	APÊNDICE A – Índice de Consistência	84
	APÊNDICE B– Retenção de água.....	85
	APÊNDICE C– Densidade de massa e teor de ar incorporado	86
	APÊNDICE D – Tração na Flexão	87
	APÊNDICE E – Compressão axial.....	89
	APÊNDICE F - Tração por compressão diametral.....	90
	APÊNDICE G – Aderência à tração.....	90
	APÊNDICE H - Módulo de elasticidade	90
	APÊNDICE I - Massa específica.....	91
	APÊNDICE J - Absorção por capilaridade	92
	APÊNDICE K - Absorção por imersão e índice de vazios.....	93

1 INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

O meio ambiente vem sendo poluído por múltiplos segmentos de resíduos poliméricos, utilizados de uso diário da população, como embalagem alimentícias, garrafas de água e sacolas plásticas (MOHAMMED *et al.*, 2019). Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2019), esses materiais demoram cerca de 400 anos para se decompor, logo, se tornam potenciais poluentes do solo e da água.

Nesse contexto, o processo de urbanização, segundo Singh e Sharma (2016) e Awoyera e Adesina (2020), atrelado ao crescimento populacional e a mudança no estilo de vida humano, são os principais contribuintes para o aumento do volume de resíduos poliméricos no mundo, que são gerados e descartados anualmente. Outro motivo do aumento da demanda, de acordo com Gu e Ozbakkaloglu, (2016), é possivelmente devido às propriedades vantajosas dos polímeros, como baixa densidade, alta relação resistência/peso e alta durabilidade, que compõem como principal material dos produtos de grandes potências mundiais.

O estudo realizado pelo World Wide Fund for Nature - WWF (2019), revelou que os Estados Unidos da América, China e Índia são os três maiores produtores de lixo polimérico do mundo seguidos pelo Brasil que produz cerca de 11 milhões de toneladas, do qual somente 1,3% desses resíduos recebem uma destinação adequada, sendo que a média mundial de reciclagem é de 9%.

Durante o período de pandemia ocasionado pelo novo coronavírus (COVID-19) esse cenário tornou-se mais crítico, segundo Filimonau (2020), o consumo de embalagens plásticas aumentou devido à grande demanda por utensílios descartáveis por parte do comércio alimentício fomentado pela praticidade do *delivery*. Outro fator que influenciou diretamente na geração de resíduos plásticos, de acordo com Chowdhury *et al.* (2021), esteve relacionado aos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) utilizados pela população e profissionais de saúde para evitar o contágio do vírus.

Já com relação ao cenário da construção civil, segundo Cabeza *et al.* (2014), a construção civil além de exigir altas taxas de matéria prima para produção de serviços, também contribui para o processo negligente de sintetizar e retirar matéria prima do meio ambiente em largas escalas, sem o devido tratamento e reposição. Esse setor é indispensável no desenvolvimento econômico do país, mas ainda engloba a problemática de processos não limpos e insustentáveis do ponto de vista ambiental. Um fato disso é registrado pela demanda

de 740 milhões de toneladas de brita e areia em 2014, com projeção de 543 milhões de toneladas em 2019, de acordo com a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANAPEC.

Uma das aplicações em larga escala de agregados nesse ramo industrial é através da produção de argamassa para revestimento, por exemplo, reboco e chapisco. Sendo assim, Biava (2017) propõe como uma alternativa sustentável a inserção de polímeros como agregado em argamassa, pois assim, ter-se-ia um rendimento maior devido ao aumento de ar incorporado ocasionado pelo resíduo sendo assim, conforme constatado por Almeshal *et al.* (2020), Santos *et al.* (2019) e Sule *et al.* (2016). Além da redução do peso imposto à estrutura e às fundações, essas argamassas contendo agregados leves podem representar certa economia no que tange ao custo total da obra.

Neste contexto, destaca-se o intuito do desenvolvimento do presente trabalho referente à utilização de resíduo de polipropileno triturado como substituição parcial da areia natural na produção de argamassa para reboco. Com base no exposto, o estudo buscou verificar a viabilidade técnica da inserção de um material alternativo na matriz cimentícia afim de avaliar seus comportamentos físicos e mecânicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica da produção de argamassas para reboco com substituição parcial de areia natural por resíduo de polipropileno triturado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o resíduo de polipropileno triturado para utilização como agregado miúdo;
- Avaliar as propriedades físicas das argamassas no estado fresco;
- Analisar a influência da substituição parcial de resíduo de polipropileno pela areia natural nos teores de 2%, 4% e 6% em massa; e
- Avaliar o comportamento mecânico das argamassas no estado endurecido.

1.3 Justificativa

Segundo Awoyera e Adesina (2020), os plásticos são utilizados em grandes quantidades devido às suas propriedades benéficas para a indústria. Esse crescimento no consumo de plásticos resultou em um aumento significativo no volume de polímeros gerados anualmente e despejados na natureza. A gestão inadequada desses resíduos sólidos resulta no descarte em locais inapropriados como, por exemplo, os oceanos. Posteriormente a isto, esses materiais são ingeridos por animais de vida marinha e eventualmente, consumidos por humanos.

O ano de 2020 ficou marcado pela pandemia de Covid-19 e pelo aumento do contato com o plástico, principalmente pelo elevado número de pedidos e compras em supermercado por delivery e de equipamentos de proteção como o uso máscaras descartáveis, tornando o plástico um dos principais agentes antimicrobiana para evitar a proliferação do vírus (CAPELEZZO *et al.*, 2018).

A construção civil também gera grande quantidade de resíduos de diferentes fontes da natureza, de acordo com o Boletim do Setor Mineral (2020), a produção nacional de areia destinada para construção civil em 2017 foi de aproximadamente 294 milhões de toneladas. Por meio do Produto Interno Bruto (PIB) e da crescente demanda por cimento, estima -se que em 2022 será consumido 1,12 bilhão de tonelada de agregados (IBRAM, 2012).

Ainda nesse aspecto, o Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2020), ressalta que a extração mineral da areia é uma atividade importante no ponto de vista econômico entretanto, essa atividade impacta negativamente aos meios físicos e biológicos causando sérios danos ao meio ambiente como a perda de vidas aquáticas, alteração da qualidade de água e danos ao habitat a diversas espécies de animais.

Vale ressaltar ainda, que de acordo com Awoyera e Adesina (2020), a aplicação de resíduos poliméricos na construção civil como agregado, aglutinante ou fibras, destaca-se como uma alternativa eficaz para a utilização e processamento sustentável, da problematização e gerenciamento de resíduos sólidos, quanto ao esgotamento de matérias-primas utilizadas para fins de construção civil. Além de que, segundo Thorneycroft *et al.* (2018) substituir 10% de areia em volume por plástico reciclado, é uma proposição viável com potencial para economizar 820 milhões de toneladas de areia todos os anos.

Diante disso, a presente pesquisa se apresenta de forma valiosa, pois busca inserir um resíduo poluente na produção de novos materiais visando a viabilidade técnica de novas tecnologia aliado ao conceito de economia circular.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Polímeros

De acordo com a Encyclopedia Britannica (2022), polímeros são caracterizados como substâncias natural ou sintética compostas de moléculas maiores, chamadas macromoléculas, que são formadas por uma cadeia de unidades químicas mais simples chamadas monômeros. Os polímeros constituem muitos dos materiais nos organismos vivos, incluindo, por exemplo, proteínas, celulose e ácidos nucleicos.

Nesse contexto, polímeros naturais podem ser divididos em orgânicos e inorgânicos, desempenhando um papel crucial nos seres vivos, esses fornecem materiais estruturais básicos e constituem processos vitais na cadeia animal, por exemplo, as partes sólidas de todas as plantas são feitas de polímeros (WAN *et al.*, 2001).

Portanto, os polímeros naturais são macromoléculas de origem natural que incluem ácido desoxirribonucleico (DNA), ácido ribonucleico (RNA), proteínas, enzimas, celulose, colágeno, seda, algodão, lã e borracha natural. A celulose é o polímero mais abundante, natural ou sintético, na terra (SILBERMANN, 2017). Além disso, compõem um dos maiores recursos renováveis disponíveis no planeta, com uma taxa de regeneração de 3% ao ano (SHEN *et al.*, 2009). Além de sua abundância, a biomassa celulósica apresenta uma infinidade de funcionalidades e estruturas diferentes como resultado de seus diferentes componentes, como celulose, hemiceluloses e lignina (TOMASZEWSKA *et al.*, 2018).

Já os polímeros sintéticos são constituídos por monômeros de carbono e são obtidos através de reações de polimerização (SCICOLONE, 2009). Comumente denominados de "plásticos", esses polímeros na verdade, possuem propriedades termoplásticas, grupo específico no qual no qual abrange materiais que amolecem e se fundem por ação do calor. Basicamente, os termoplásticos são constituídos por moléculas lineares ou ligeiramente ramificadas.

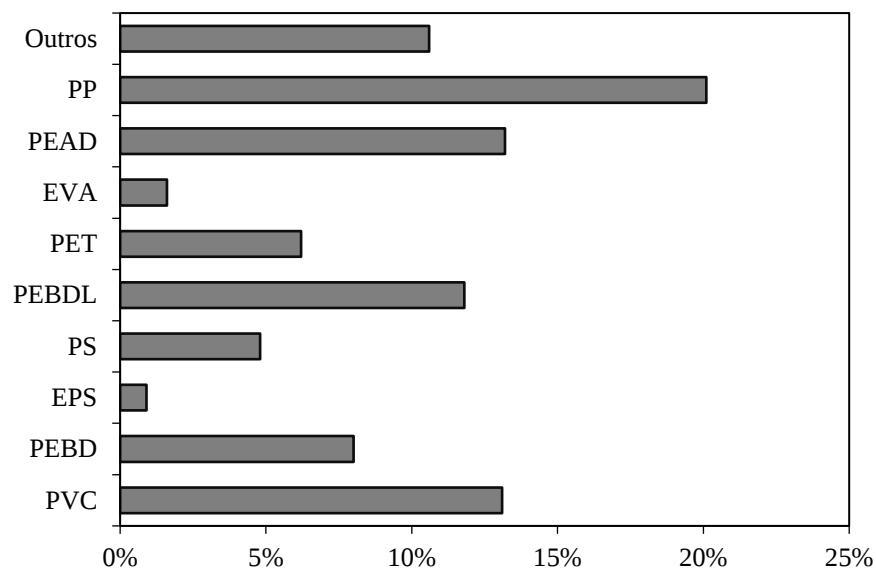
Nesse contexto, a indústria é o maior agente na produção de polímeros sintéticos, devido ao mercado precisar de materiais cada vez mais resistentes. Esse fato se dá pelo seu descarte, que quase não sofrem alterações físicas e químicas, por possuírem propriedades estáveis de absorção de radiação ultravioleta e à degradação enzimática por microrganismos (FECHINE, 2013). Logo, os polímeros produzidos em maior massa, são: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli (tereftalato de etileno) (PET) e poli (cloreto de vinila) (PVC) (LANDIM, 2016).

Os plásticos podem ser divididos também em termofixos, materiais estes que não sofrem diferença ao serem expostos a temperatura e sofrem processo de cura, que consiste na formação de ligações cruzadas entre cadeias poliméricas, ou seja, não poderão ser remoldados, pois mesmo após ao reaquecimento, o polímero irá somente degradar, tornando este processamento inicial uma transformação química no qual não poderá se reverter Xiang et al., (2021).

2.1.1 Polipropileno (PP)

O polipropileno (PP) é um polímero termoplástico resistente, amplamente utilizado em todo o mundo, produzido a partir de monômero de propeno ou propileno (FEDERATION, Britânica de Plásticos, 2022). Considerado uma das resinas plásticas mais utilizadas do Brasil, com 20,1% (ABIPLAST, 2020), conforme pode ser observado pela Figura 1.

Figura 1 - Principais resinas consumidas no Brasil



Fonte: Adaptado ABIPLAST (2020)

O PP está entre os plásticos mais baratos disponíveis hoje no mercado, além de ser amplamente utilizado devido à sua baixa densidade, boa resistência mecânica, elétrica e química, também pode ser utilizado em diversos processos de conversão. Esse material foi amplamente desenvolvido e produzido em grande escala, tornando-se ainda um material de baixo valor comercial (SOARES, 2020).

Comparado com outros polímeros, o PP tem outra vantagem de ser amplamente utilizado, ou seja, é de fácil processamento, sendo que o mesmo pode ser usado como matéria-

prima para quase todos os processos de conversão da indústria. No processo de injeção, sua fluidez é combinada com baixa temperatura de processo e moldes de resfriamento, que podem atingir rápida circulação e alta produtividade. Também é usado em moldagem por sopro, extrusão, termoformação, rotomoldagem, impressão 3D, usinagem etc. (SOARES, 2020).

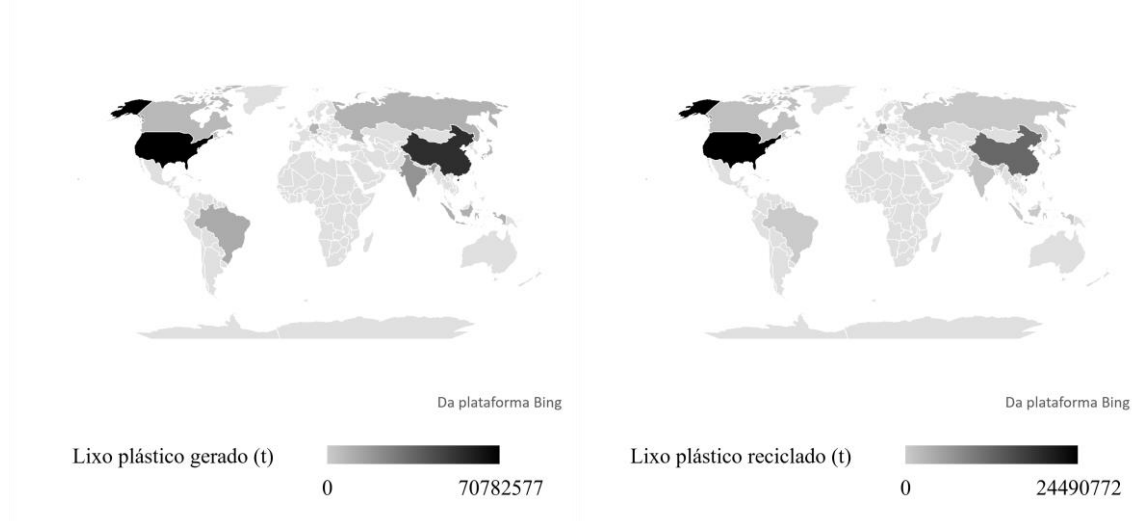
Embora as propriedades do PP sejam semelhantes às do polietileno, existem diferenças específicas. Estes incluem uma densidade mais baixa, um ponto de amolecimento mais alto (o PP não derrete abaixo de 160 °C, enquanto o polietileno, um plástico mais comum, em torno de 100 °C) e maior rigidez e dureza. Os aditivos são aplicados a todas as resinas de polipropileno produzidas comercialmente, principalmente para proteger o polímero durante o processamento e melhorar o desempenho de uso final (FEDERATION, Britânica de Plásticos, 2022).

2.1.2 Problemática dos resíduos plásticos

É perceptível a presença constante de materiais plásticos no cotidiano da sociedade, desde materiais de embalagem e talheres, até artefatos de plástico e dispositivos médico (SARRIA-VILLA e GALLO-CORREDOR, 2016). A produção excessiva de material plástico tem gerado resíduos em proporções que ultrapassam a capacidade de controle do ser humano e sua presença se estende por todo o planeta. No entanto, aqueles de alto impacto ao meio ambiente são os plásticos de uso único, utilizados no dia a dia, como sacolas, garrafas, tampas ou embalagens que o consumidor utiliza por alguns minutos e depois é descartado na maioria das vezes de forma incorreta (OSPINA, 2019).

No Brasil são gerados mais de 11 milhões de toneladas lixo plástico, conforme os dados do Banco Mundial em 2019, o que coloca o país como quarto maior produtor de lixo plástico no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia. Desse total, mais de 10,3 milhões de toneladas (1,28%) são efetivamente recicladas, ou seja, reprocessadas na cadeia de produção como produto secundário. Esse é um dos menores índices da pesquisa e bem abaixo da média global de reciclagem plástica, que é de 9%, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Produção e reciclagem de plástico no mundo



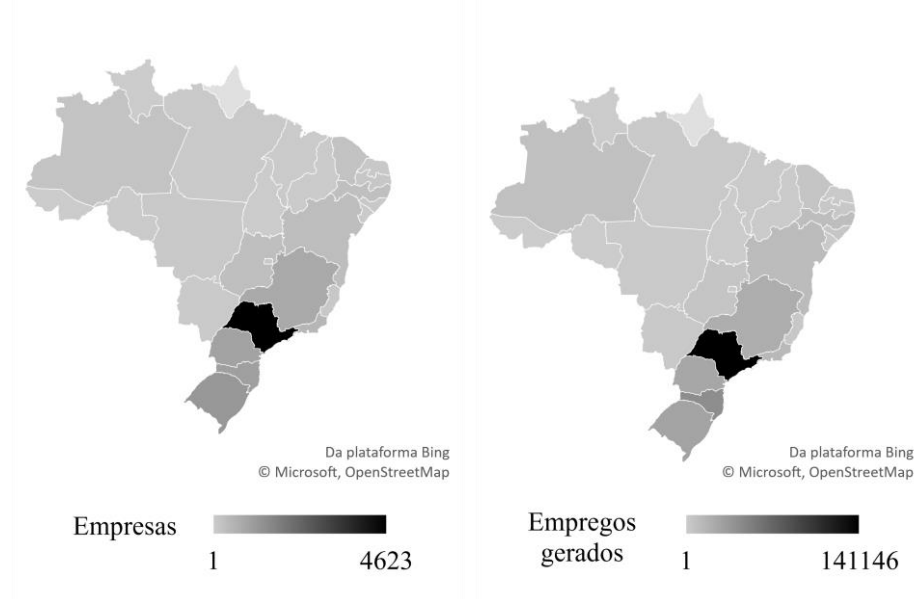
Fonte: Adaptado de WWF (2019)

A construção civil e a indústria alimentícia são os principais agentes de transformação e consumo de polímeros no mercado. De acordo com os dados do IBGE (2018), os usos de bens e serviços desses ramos correspondem a 23,1% e 20,4%, respectivamente, mostrando assim, o papel importante desses setores na economia circular polimérica.

Logo, os resíduos plásticos tem sido pauta no desafio ambiental global, tornando-se um grande vilão atualmente. Em 2016 o mundo gerou 242 milhões de toneladas de lixo plástico, sendo 12% de todo o lixo sólido (KAZA et al., 2021). Esses resíduos plásticos têm sua produção cada vez maior e sem manter um equilíbrio de reciclagem, ou seja, a expectativa é de que a produção mundial de lixo plástico acompanhe o crescimento populacional, que segundo estimativas, haverá até 2050 mais plásticos nos oceanos do que peixes se nada for feito (HAWKEN, 2017).

Atualmente no estado do Pará, existem 52 empresas que trabalham com a coleta e processamento de material polimérico gerando aproximadamente 1.157 empregos (ABIPLAST, 2020), como pode ser observado na Figura 2. Entretanto, o estado corresponde somente a 0,5% das empresas brasileiras que atuam no setor de reciclagem do plástico.

Figura 3 - Localização de empresas e emprego no setor de transformação do plástico no Brasil

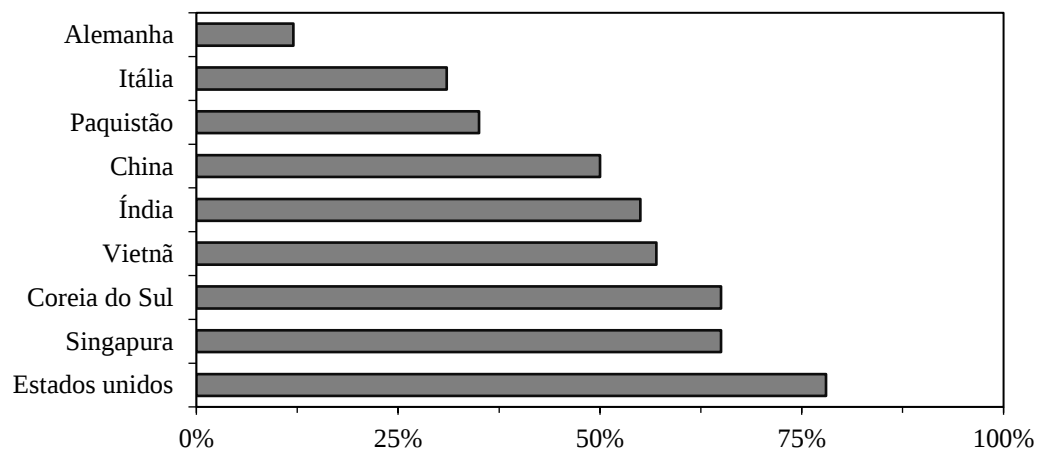


Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2020)

2.1.3 Os resíduos plásticos no cenário da pandemia

No ano de 2020, de acordo com Öztürk (2021), o COVID-19 modificou-se não só a dinâmica da saúde mundial, mas intensificou globalmente a geração de resíduos poliméricos, potencializando ainda mais a problemática da gestão dos resíduos. Desse modo, com o cenário do novo coronavírus, foram adotadas medidas sanitárias restritas para controlar o contágio do vírus, principalmente através do uso de matérias descartáveis, que, no entanto, conforme Stiftung (2020), ocasionou no alto consumo mundial de rejeitos de matérias poliméricos como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Alta produção de plástico usadas em atividades durante a pandemia



Fonte: Adaptado de Plastics in the time of COVID-19 (2020)

Os números apontam que houve um aumento de 25% a 30% na coleta de materiais recicláveis, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021), no período pandêmico em comparação ao ano anterior. Sendo assim, os resíduos plásticos, no Brasil, foram estimados em 2020, em mais de 13,35 milhões de toneladas. Esse cenário é um agravante, devido à grande parte do volume coletado, segundo Stifung (2020), ter sido encaminhado diretamente a aterros sanitários, devido à paralização ou redução das atividades de cooperativas e unidades de triagem.

Durante a pandemia do COVID-19, o comércio em geral passou a utilizar um volume maior de embalagens, seja para entregar os produtos aos consumidores, seja na substituição de utensílios de uso pessoal na alimentação como copos, talheres e pratos (FILIMONAU, 2020).

Outro ponto é a geração de resíduos sólidos relacionados com os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) utilizados pela população para evitar a propagação do vírus, como protetores faciais, toucas e luvas (CHOWDHURY *et al.*, 2021). Estudos conforme Tsai (2021), apresentam resíduos sólidos como: luvas, máscaras e protetores faciais, tubos e outros materiais utilizados no tratamento de pacientes infectados ou na realização de testes em casos suspeitos.

Estima-se de acordo com o Zamora *et al.* (2020), que 129 bilhões de máscaras faciais por mês foram utilizadas para atender toda a população mundial. No Brasil, o consumo mensal de máscaras seria de 3,5 bilhões por mês. Levando em conta de que cada máscara descartável pesa por volta de 3 gramas, isto levaria a uma dispersão de mais de 387 mil toneladas de plástico, o equivalente ao peso de 338 estátuas do Cristo Redentor por mês. Só no Brasil, seriam 10,5 mil toneladas de plástico, o equivalente ao peso de 9 estátuas do Cristo Redentor.

2.2 Agregados na construção civil

De acordo com Ricardo (2002), a palavra agregado é um termo geral para materiais adicionados ao cimento e água para fazer argamassa e concreto. Os agregados podem estar na forma de grânulos como areia e cascalho e devem ser inertes. Isto é, não deve causar uma reação em contato com os demais componentes presentes na mistura.

Segundo os estudos de Carasek (2016), as principais funções dos agregados consistem na redução do consumo de aglomerante, pois permite o preenchimento completo dos vazios. Neville (2015) complementa afirmando que os agregados são mais baratos quando comparados ao cimento, sendo mais econômico sua utilização em maior quantidade possível, diminuindo assim, a quantidade de cimento.

2.2.1 Classificação dos agregados

Os agregados podem ser classificados segundo sua massa unitária em leves, normais ou pesados, conforme a Tabela 1, o que influi no tipo de aplicação que se destinam. (RICARDO, 2002).

Tabela 1 - Classificação dos agregados segundo sua massa unitária

Classificação	Massa unitária	Exemplos de utilização
Leves	$\gamma < 1$	Pré-moldados
Normais	$1 < \gamma < 2$	Obras recorrentes
Pesados	$\gamma > 2$	Concreto de estruturas especiais

Fonte: Ricardo (2002)

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados também podem ser classificados segundo a dimensão de suas partículas. Os agregados miúdos, areias geralmente, são substâncias cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 micrómetro (μm). Já os agregados graúdos possuem grãos que passam pela peneira de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,8 mm, por exemplo, a brita e o seixo lavado.

Outra classificação que pode ser citada é a origem dos agregados, pois esses agregados podem ser obtidos diretamente na natureza em leitos de rios ou barrancos, ou seja origem natural, ou por processos artificiais como a fragmentação ou a trituração de materiais provenientes de extração, agregado artificial (RIBEIRO, 2002).

A granulometria é um parâmetro físico dos agregados, utilizada tanto para a caracterização quanto para a sua classificação, também tem grande influência sobre as propriedades do concreto (VIACELLI, 2012). Cabe ressaltar que a composição granulométrica tem influência direta sobre a qualidade desses produtos, principalmente nos aspectos relativos à trabalhabilidade, compacidade e resistência aos esforços mecânicos (RICARDO, 2002). Na Tabela 2 são apresentados os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 2 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona Utilizável	Zona ótima	Zona Utilizável	Zona ótima
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0
4,75	0	0	5	10,00
2,36	0	10	20	25,00
1,18	5	20	30	50,00
0,60	15	35	55	70,00
0,30	50	65	85	95,00
0,15	85	90	95	100,00

Fonte: Adaptado NBR 7211 (ABNT, 2009)

2.2.2 Problemática da extração de agregados usados na construção civil

Conforme o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2020) a construção civil sempre foi um dos maiores consumidores de matéria prima natural, como os agregados naturais. A areia e brita, agregados mais utilizados na confecção de materiais para atender as demandas do setor, estabelecem uma forte ligação com os centros urbanos, sendo o mercado brasileiro destes produtos atendidos por uma extensa e diversificada gama de produtores.

No Brasil, de acordo com Valverde (2020), existe uma falsa percepção de que os recursos de areia e rochas são inesgotáveis e podem ser explorados em larga escala. No entanto, não é a realidade do país, pois apesar de ter muitas reservas de agregados, existem casos em que a exploração é impedida de ocorrer devido à falta de planejamento, zoneamentos restritivos e disputas pelo uso do solo, deslocando os produtores de agregados a distâncias cada vez maiores dos grandes centros consumidores, elevando o custo do frete.

Em 2016, foram produzidas cerca de 230 milhões de toneladas de brita e 312 milhões de toneladas de areia, totalizando 542 milhões de toneladas de agregados, em território nacional, para construção civil (DNPM, 2018). Com isso, Almeida e Luz (2012) afirmam que a grande problemática foca principalmente na retirada desses recursos, pois em grande maioria, são extraídos dos leitos de rios e outros ambientes de sedimentação, que vem causando sérios danos

ao meio ambiente, em consequência da retirada da cobertura vegetal nas áreas a serem lavradas, como o assoreamento dos rios, a erosão, a supressão da vegetação.

Por isso, a contínua extração inadequada desse recurso e esgotamentos das jazidas próximas aos grandes mercados consumidores, têm tendenciando ao deslocamento das mineradoras para localidades cada vez mais distantes dos grandes aglomerados urbanos, acarretando na oneração do preço final da areia natural, em razão do aumento do custo do frete (ALMEIDA e LUZ, 2012). O que, naturalmente, tende a intensificar o consumo das areias artificiais a médio e longo prazo.

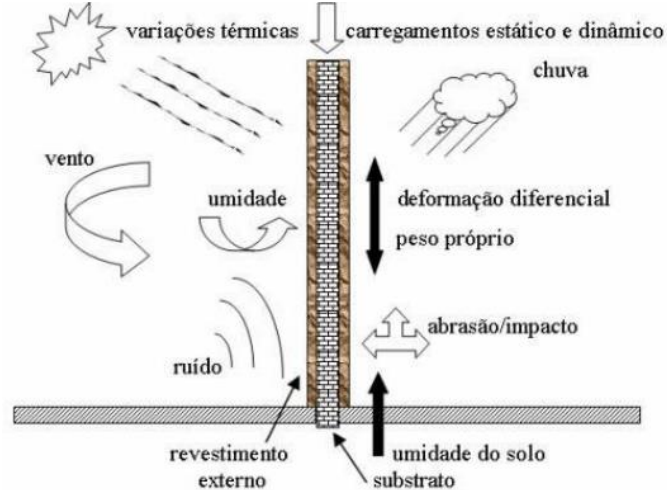
2.3 Argamassa para revestimento

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), a argamassa é um material de construção, que possui propriedades de aderência e endurecimento como sua principal função. De acordo com Matos (2013) e Santos e Dall'Oglio (2017), pode ser obtido através de uma mistura homogênea de um ou mais ligantes (cimento), água e agregado miúdo (areia), podendo conter aditivos. Por isso, é importante que os constituintes utilizados na confecção desse material sejam acompanhados de perto, pois de acordo com Matos (2013), as principais características e desempenho da argamassa dependem principalmente da dosagem e do tipo de materiais utilizados em sua produção.

Os revestimentos de argamassa são definidos pela NBR 13529 (ABNT, 2013) como o cobrimento de uma superfície, composto por uma ou mais camadas de argamassa, que se torna apto para receber o acabamento decorativo, ou se constitui no próprio acabamento final, decorativo ou não. Esta norma ainda ressalta que o sistema de revestimento deve estar de acordo com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.

De acordo com Carasek (2007), é fundamental que o revestimento proteja a estrutura e alvenaria contra a ação do intemperismo, integrando o sistema de vedação do edifício, conforme a Figura 5. A NBR 13749 (ABNT, 2013) ressalta que o revestimento argamassado deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como cavidades, fissuras e manchas.

Figura 5 - Solicitações sobre o sistema de revestimento



Fonte: Alves (2002)

A NBR 13749 (ABNT, 2013) define as espessuras máximas e mínimas dos revestimentos de argamassa conforme seu local de aplicação, como exposto na Tabela 03. A mesma norma indica tomar cuidados especiais, especificados na NBR 7200 (ABNT, 1998), para garantir a aderência da argamassa caso a espessura escolhida seja maior que as indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Espessuras indicadas para revestimentos internos e externos

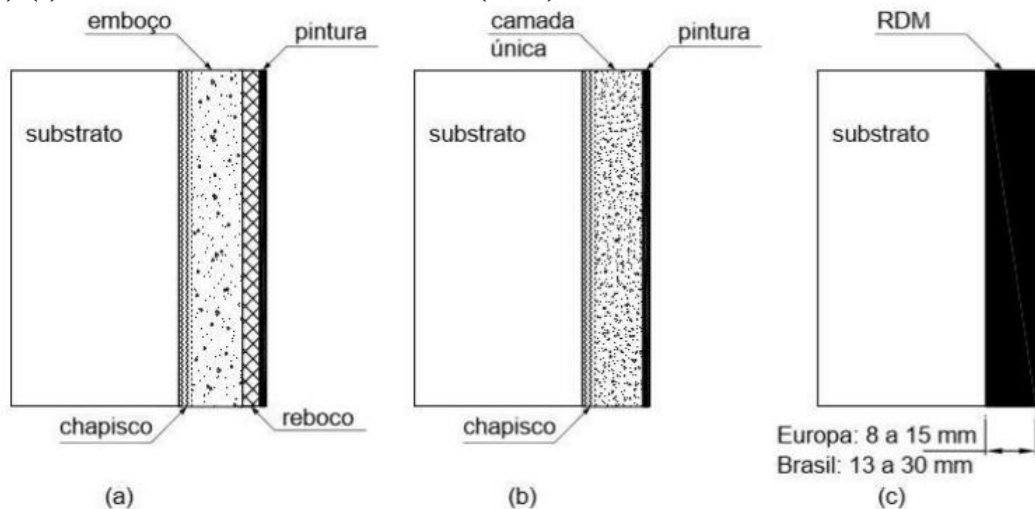
Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \geq e \geq 30$
Teto interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)

2.3.1 Tipos de argamassa para revestimento

De acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013), revestimentos argamassados devem ter sua resistência mecânica decrescente ou uniforme, partindo da camada em contato com o substrato. A ordem de aplicação das camadas deverá ser contínua, uniformes e compatíveis com o acabamento decorativos. A Figura 6 esboça as opções para aplicação de um revestimento.

Figura 6 - Opções de revestimento: (a) emboço + reboco + pintura (clássico); (b) camada única + pintura (mais utilizado); (c) revestimento decorativo monocamada (RDM)



Fonte: adaptado de Carasek (2007)

2.3.1.1 Chapisco

Conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013), o chapisco é uma camada de preparo da base, podendo ser contínua ou descontínua, e tem como objetivo melhorar a aderência do revestimento e uniformizar a superfície quanto à absorção.

O chapisco convencional é o método de aplicação mais comum, que envolve o operador lançar um chapisco com o uso de uma colher de pedreiro. Os traços deste chapisco variam de 1:2 a 1:4 (cimento: areia média ou grossa) e têm uma boa consistência para uma boa fluidez da superfície e um bom espalhamento (GASPERIN, 2011).

O chapisco desempenado, segundo Gasperin (2011), é geralmente aplicado com uma espátula com um entalhe sendo tecnicamente de fácil aplicação, pois geralmente é pré-fabricado e vendido em sachês e só precisa ser adicionado água. Estes produtos são altamente recomendados para substratos de baixa porosidade, por exemplo, estrutura de concreto. A sua principal característica é sua alta força adesiva em seu estado fresco e após sua cura. Um dos principais benefícios desse método é a redução do desperdício, porém consome mais produto durante a execução.

2.3.1.2 Emboço

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), o emboço, ou massa grossa, tem como objetivo cobrir e regularizar a base ou o chapisco, tornando a superfície apta para receber o reboco ou o revestimento decorativo. Conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013), o acabamento do emboço

pode ser sarrafeado se vier a receber o reboco e sarrafeado ou desempenado caso sirva de preparação para o revestimento cerâmico.

O traço ideal seria o traço em peso, por dar mais confiabilidade quanto à quantidade de material utilizado e a quanto ao consumo dos materiais, mas por ser mais viável, o mais usado é o traço em volume (NEVES, 2015). Segundo Fiorito (2009) o traço utilizado como emboço de regularização, para base do reboco é 1:2: 9, (cimento, cal e areia) e espessura de 2cm.

2.3.1.3 Reboco

O reboco, conhecido também como massa fina, é definido pela NBR 13529 (ABNT, 2013) como a camada que tem como objetivo cobrir o emboço e se tornar o acabamento final ou tornar a superfície apta para receber o revestimento decorativo. Segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), o acabamento do reboco poderá ser desempenhado, camuflado, raspado, chapiscado, lavado ou tratado com produtos químicos e imitação travertina.

De acordo com a NBR7200 (1998), a cada aplicação de uma nova camada de argamassa, a camada anterior deve ser umedecida, dependendo da finalidade e das condições climáticas. Não é adequado aplicar a argamassa a temperaturas inferiores a 5 °C e superiores a 30 °C. Algumas medidas precisam ser tomadas durante o processo de curar do reboco, umidificando o revestimento nas primeiras 24 horas.

2.3.2 Propriedade das argamassas de revestimento

2.3.2.1 Consistência

Uma das propriedades no estado fresco que está correlacionada a trabalhabilidade, é a consistência da argamassa, que conforme Herman e Rocha (2013), pode ser definida como a tendência de o material resistir à deformação, é uma propriedade que pode ser relacionada à trabalhabilidade, podendo ser quantificada através de um índice.

Alguns aspectos podem interferir nessa propriedade, segundo Carasek (2017), como as características dos materiais que a constituem, os aditivos utilizados em sua composição e o traço determinado. O uso de incorporadores de ar, por exemplo, influencia no índice de consistência, melhorando essa propriedade até um determinado limite. A norma supracitada

acaba não determinando valores, ou limites específicos para o índice, mas a argamassa deve apresentar consistência adequada de acordo com a finalidade de aplicação.

2.3.2.2 Retenção de água

A retenção de água é a capacidade da argamassa, no estado fresco, de manter sua consistência e trabalhabilidade, conforme Carasek (2017) e Bauer (2005), especialmente quando são submetidas a solicitações que provocam a perda de água de amassamento seja por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação.

Essa propriedade contribui para o desenvolvimento da hidratação em fases mais avançadas, segundo Bauer (2005), devido ao processo de cura do revestimento, tornando as reações de endurecimento da argamassa mais gradativas, com um consequente ganho de resistência, evitando-se, dessa forma, possíveis problemas de fissuração ocasionados por retração na secagem, fatores estes que implicam diretamente no desempenho dos sistemas de revestimento.

Segundo Baía e Sabbatini (2008), da mesma forma que a consistência, os fatores que influenciam na retenção de água da argamassa são as características e proporcionalidade dos materiais constituintes da argamassa (traço). No mesmo estudo, os autores apontam que a perda de água de forma rápida nos revestimentos prejudica a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento de vedação. Na Tabela 4, observa-se a classe das argamassas de acordo com a retenção de água.

Tabela 4 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua retenção de água

Classe	Retenção de água (%)
U1	≤ 78
U2	72 a 85
U3	80 a 90
U4	86 a 94
U5	91 a 97
U6	95 a 100

Fonte: Adaptado NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.3.2.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Segundo Baía e Sabbatini (2008), a massa específica diz respeito a relação entre a massa do material e o seu volume, já o teor de ar incorporado é a quantidade de ar existente em um certo volume de argamassa.

Quanto mais leve for a argamassa, conforme Carasek (2017), maior trabalhabilidade a mesma irá dispor a longo prazo, o que acaba por reduzir o esforço do profissional ao longo do período da sua aplicação, resultando em um aumento de produtividade ao final da jornada de trabalho. As duas propriedades são correlacionadas pois à medida que cresce o teor de ar incorporado na argamassa, a massa específica da mistura diminui.

O teor de ar da argamassa pode ser aumentado através dos aditivos incorporadores de ar, porém, como efeito é de se esperar redução nas resistências mecânicas. Para Cincotto *et al.* (1995), o teor de ar tem influência sobre a trabalhabilidade e também na resistência de aderência dos revestimentos. Um estudo comparativo entre argamassas estabilizadas e industrializadas, realizado por Trevisol (2015), constatou que a perda de ar incorporado nas argamassas está diretamente ligada à perda de consistência das mesmas. A Tabela 5 apresenta a classificação conforme a densidade de massa no estado fresco.

Tabela 5 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua densidade de massa no estado fresco

Classe	Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)
D1	≤ 1400
D2	1200 a 1600
D3	1 400 a 1 800
D4	1 600 a 2 000
D5	1 800 a 2 200
D6	> 2000

Fonte: Adaptado NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.3.2.4 Resistência à tração na flexão e à compressão axial

Barros *et al.* (1998), conceitual a resistência mecânica como a propriedade do revestimentos, responsável por suportar as ações mecânicas de diferentes naturezas, as quais as argamassas podem ser submetidas no estado endurecido, devido a abrasão superficial, impacto ou à contração termo higroscópica, em outras palavras, a argamassa de revestimento deve

apresentar resistência a movimentações do substrato, sejam elas decorrentes de recalques, ou variações dimensionais devido às oscilações de temperatura. O proporcionalmente dos materiais constituintes da argamassa (traço), assim como em inúmeras outras propriedades, também tem influência significativa sobre a resistência mecânica.

A resistência da argamassa varia, segundo Baía e Sabbatini (2008), inversamente com a relação água/cimento, além de ser condicionada pelo teor de ar incorporado, e da técnica de execução, que deve buscar a compactação da argamassa durante a sua aplicação e acabamento.

Apesar da resistência mecânica não ser uma propriedade tão importante para as argamassas como é para o concreto, é necessário a análise da resistência a tração na flexão e compressão, tendo-se em vista sua relação direta com o módulo de deformação do material, que para Cincotto *et al.* (1988), implica na capacidade dos revestimentos em absorver deformações e conseqüentemente no êxito do sistema perante as solicitações as quais serão submetidos. Na Tabela 6, é possível verificar as classes das argamassas de acordo com a resistência à flexão e à compressão.

Tabela 6 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua resistência à flexão e à compressão

Classe	Resistência à tração flexão (MPa)	Classe	Resistência à compressão axial (MPa)
P1	$\leq 2,0$	R1	$\leq 1,5$
P2	1,5 a 3,0	R2	1,0 a 2,0
P3	2,5 a 4,5	R3	1,5 a 2,7
P4	4,0 a 6,5	R4	2,0 a 3,5
P5	5,5 a 9,0	R5	2,7 a 4,5
P6	$> 8,0$	R6	$> 3,5$

Fonte: Adaptado NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.3.2.5 Aderência

Conforme Gomes (2006), a aderência da argamassa está diretamente relacionada às características reológicas da pasta aglomerante, pois ao se lançar a argamassa no estado fresco sobre o substrato que se pretende revestir espera-se que a mesma fique aderida a base sem se desprender. Nesse sentido, de acordo com Baía e Sabbatini (2008), Bauer (2005) e Cincotto *et al.* (1995), a aderência inicial corresponde à capacidade que a argamassa apresenta de ancorar-

se à superfície da base através da penetração da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguida do endurecimento gradativo da mesma.

Uma das principais funções da argamassa como agente aderente, segundo Recena (2007), é a união dos elementos da alvenaria ou do revestimento, mesmo sofrendo com dilatação térmica, impactos e movimentações. Nesse sentido, a competência que a argamassa dispõe de se manter fixa ao substrato diante das tensões normais e tangenciais que aparecem no substrato-argamassa está na propriedade de se fixar. A Tabela 7 identifica as argamassas conforme a classe do seu potencial de aderência à tração.

Tabela 7 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua resistência à aderência

Classe	Resistência potencial de aderência a tração (MPa)
A1	$\leq 0,20$
A2	$\geq 2,0$
A3	$\geq 3,0$

Fonte: Adaptado NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.3.2.6 Absorção por capilaridade

A permeabilidade é a propriedade que a argamassa, conforme Araújo Júnior (2004), designa a passagem de água em seu volume de material, podendo ocorrer por capilaridade, difusão ou osmose. Ela é afetada principalmente pelo tamanho das partículas e pela natureza do agregado, pelo teor de finos e pela presença de aditivos.

Conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005), a permeabilidade pode ser indicada pelo coeficiente de capilaridade, obtido através do ensaio de absorção por capilaridade. O fenômeno da capilaridade está diretamente ligado à estrutura de poros do material, que pode ser modificada por fatores como o tipo de cimento utilizado, a presença de aditivos ou adições, às características do agregado e a quantidade de água da mistura,

Uma das principais funções do revestimento é contribuir com a estanqueidade à água, evitando dessa forma a penetração da umidade, que é uma das maiores causas de deterioração das edificações, estando diretamente relacionado às características da base, a composição e dosagem da argamassa, a execução do revestimento, e a espessura da camada de revestimento (BAÍA e SABBATINI, 2008). Na Tabela 8, observa-se a classe das argamassas conforme seu coeficiente de capilaridade.

Tabela 8 - Classe das argamassas de revestimento, conforme seu coeficiente de capilaridade

Classe	Coeficiente de capilaridade (g/dm².min^{1/2})
C1	≤ 1,5
C2	1,0 a 2,5
C3	2,0 a 4,0
C4	3,0 a 7,0
C5	5,0 a 12,0
C6	> 10,0

Fonte: Adaptado NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.3.2.7 Densidade aparente no estado endurecido

Carasek (2010) afirma que corpos-de-prova cilíndricos apresentaram densidades cerca de 7% menores no estado endurecido após secagem ao ar, quando comparada com o estado fresco. Além disso, a densidade está relacionada com a granulometria e o teor de ar incorporado, argamassas com menor teor de ar e melhor granulometria apresentarão consequentemente menores densidades, como apresentado por Baali *et al.* (2011) que ao utilizar uma composição de areia ternária com resíduos obteve melhor distribuição granulométrica, diminuindo a quantidade de vazios, aumentando a densidade. A NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas conforme sua densidade aparente no estado endurecido, observado pela Tabela 9.

Tabela 9 - Classe das argamassas de revestimento, conforme sua densidade aparente no estado endurecido

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m³)
M1	≤ 1200
M2	1000 a 1400
M3	1 400 a 1600
M4	1400 a 1800
M5	1600 a 2000
M6	> 1800

Fonte: Adaptado NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.3.3 Aplicação de resíduos poliméricos em argamassas

As primeiras pesquisas sobre o uso de polímeros residuais, como agregado, remontam o final da década de 80 (ALMESHAL *et al.*, 2020). Um dos pioneiros nesta área foi Liu (1988), que utilizou o PET triturado, também conhecido comercialmente como flake, na mistura do concreto. Foi utilizada a borracha triturada residual, oriunda do processo de reciclagem mecânica de PET, nos estudos de Lennon *et al.* (1993) realizados na década de 90. A partir do início dos anos 2000, houve um aumento significativo de estudos nesta temática, como Choi *et al.* (2005) e Canellas e D'Abreu (2005), os quais utilizaram pó e lâ de PET, ambos subprodutos da reciclagem mecânica do polímero, segundo Park e Kim (2014).

Ruiz-Herrero *et al.* (2016) trabalharam com argamassa polimérica e encontraram redução na resistência à flexão cerca de três vezes do que a mistura de controle devido ao aumento da proporção de plástico de PVC. Da mesma forma, Saikia e Brito, (2012) encontraram diminuição da resistência à compressão usando uma variedade de agregados de PET na forma de granulado fino, grosso e granulado.

Com relação a absorção de água Akçaözoglu *et al.* (2010) registraram que os valores de absorção de água e porosidade aumentam para argamassa contendo agregado PET em comparação com matriz convencional de argamassa de cimento e concreto. Contudo, Safi *et al.* (2013), observaram que a densidade aparente da argamassa autoadensável contendo resíduos plásticos foi diminuindo continuamente até 50% de substituição da areia do rio.

Em vista destas premissas, é observado um hiato no que tange definições sobre características dos materiais empregados e a composição dos traços, para melhorar as propriedades físicas do concreto e da argamassa contendo resíduo polimérico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Resíduo de polipropileno

Como agregado miúdo alternativo foi utilizado o resíduo de polipropileno triturado de cor branca e formato laminar, conforme observado na Figura 7. Esse material foi adquirido através do processo de moagem oriundo da carcaça de máquinas de lavar, cadeiras e mesas plásticas.

Figura 7 - Resíduo de polipropileno triturado: a) Demonstração macroscópica b) Demonstração microscópica com ampliação de 40 vezes

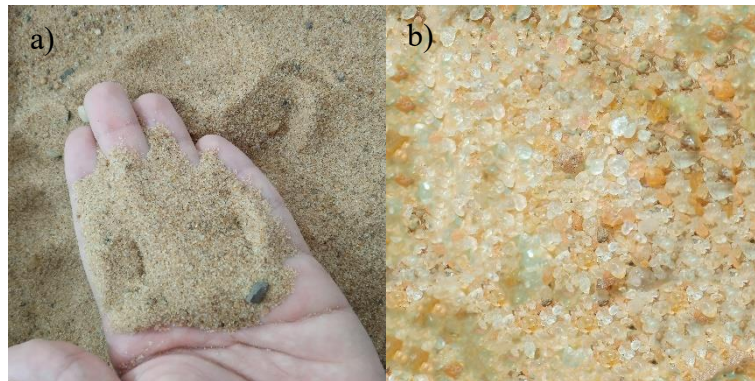


Fonte: Autores (2022).

3.1.2 Areia

O agregado miúdo natural empregado na pesquisa foi a areia quartzosa de cor amarela e formato granular, como pode ser observado na Figura 8, proveniente do município do Breu Branco sedimentadas as margens do rio Tocantins.

Figura 8 - Areia quartzosa: a) Demonstração macroscópica e b) Demonstração microscópica com ampliação de 40 vezes



Fonte: Autores (2022)

3.1.3 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CPV-ARI-RS 40 da marca CIPLAN adquirido no município de Marabá-Pa. A opção por este tipo de cimento é justificada em virtude da ausência de adições, apresentando-se como um cimento mais puro, sendo possível analisar com mais clareza a interação do resíduo com o cimento sem a interferência de reações pozolânicas. Os dados dos ensaios físicos, mecânicos e químicos do cimento foram cedidos pela empresa Cimento Planalto AS através de um laudo técnico que seguiu as recomendações da NBR 16697 (ABNT, 2018), onde os resultados podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados da caracterização do aglomerante

Ensaio	Valores médios	Desvio Padrão	Requisitos
Finura #200 (% retida)	0,8	0,1	$\leq 6,0$
Finura #325 (% retida)	6,4	0,7	-
Blaine (cm ² /g)	5881	358	-
Água de consistência (%)	30,3	0,2	-
Início de pega (min)	143	11	≥ 60
Fim de pega (min)	211	12	-
Resíduo Insolúvel (%)	13,9	1,3	-
Perda ao Fogo (%)	5,3	1,3	$\leq 6,5$
Óxido de Magnésio (%)	4,3	0,5	-
Trióxido de Enxofre (%)	3,3	0,8	$\leq 4,5$
Resistência à compressão a 1 dia (MPa)	14,0	2,2	≥ 14
Resistência à compressão aos 3 dias (MPa)	25,5	1,9	≥ 24
Resistência à compressão aos 7 dias (MPa)	34,2	1,5	≥ 34
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	42,3	-	-

Fonte: Ciplan (2022)

3.1.4 Água

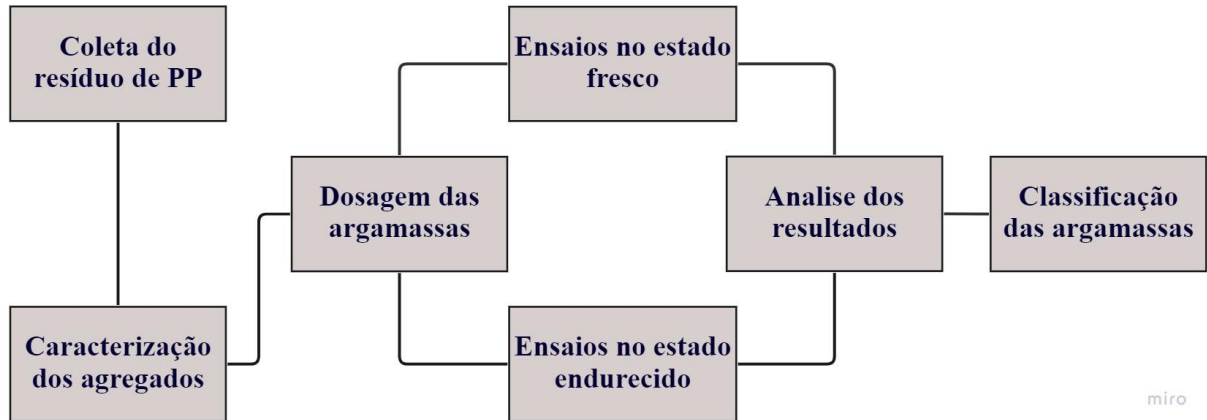
Para a produção das argamassas, utilizou-se como água de amassamento a água canalizada até o Laboratório de Engenharia Civil da UFPA – Campus de Tucuruí, que é proveniente da Estação de Tratamento de Água da Vila Permanente.

3.2 Métodos

O programa experimental utilizado na pesquisa está descrito pela Figura 9, que buscou inicialmente fazer o beneficiamento e coleta do resíduo de polipropileno. Em seguida avaliou-se os índices físicos dos agregados. Seguida a etapa de caracterização, a mistura foi preparada e realizou-se substituições em massa de 0%, 2%, 4% e 6% do resíduo de PP pela areia natural os quais foram denominados como: SRPT, RPT-2, RPT-4 e RPT-6, respectivamente. Posteriormente, foi realizada a análise do comportamento das argamassas através dos ensaios no estado fresco (consistência, teor de ar incorporado, densidade da massa e retenção de água) e no estado endurecido (compressão axial, tração na flexão, densidade aparente, tração por compressão diametral, aderência à tração, modulo de elasticidade, absorção por capilaridade,

absorção por imersão e índice de vazios). E por fim, após a análise dos resultados foram realizadas as classificações das argamassas.

Figura 9 - Esquema metodológico da pesquisa



Fonte: Autores (2022)

3.2.1 Coleta do resíduo polimérico triturado

A coleta do material primário é realizada por famílias de catadores que têm como principal fonte de renda essa atividade. Essas famílias atuam na cidade de Tucuruí, Breu Branco e Goianésia e vendem os resíduos plásticos no valor de aproximadamente R\$1,20 (um real e vinte centavos) por Kg (quilograma). Após a coleta manual, os plásticos são comprados pela empresa de reciclagem e encaminhados até a cooperativa onde os trabalhadores realizam o processo de triagem, levando em consideração alguns critérios de separação como classe, cor e família, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Garras PET separadas por cores



Fonte: Autores (2022)

Posteriormente os resíduos são transferidos para as esteiras e triturados pela máquina, assim como é apresentado na Figura 11. Durante o processo de moagem, os materiais passam

por três etapas. Na primeira, são retiradas impurezas como terra e poeiras aderidas à superfície dos plásticos. No segundo momento é retirada a fraude desses polímeros, pois alguns desses materiais são fraudados através da adição de cal ou outros produtos neutros que corrigem o PH e que aumentam seu peso. Por fim, o maquinário seca o material para posteriormente ser embalado e vendido.

Figura 11 - Triagem dos resíduos plásticos coletados



Fonte: Autores (2022)

Após esse processo as amostras foram coletadas e transportadas ao Laboratório de Engenharia Civil da UFPA, Campus de Tucuruí. O resíduo polimérico triturado (RPT) foi peneirado e submetido aos ensaios de caracterização a fim de verificar sua aplicação como agregado miúdo na construção civil.

3.2.2 Caracterização dos agregados

A compreensão do comportamento dos agregados é de suma importância para uma dosagem adequada e sem desperdício de materiais, além de permitir verificar a possibilidade da aplicação dos agregados para uso na construção civil. Portanto, a caracterização dos agregados foi realizada para a areia natural, e para o resíduo polimérico triturado. Vale ressaltar que os ensaios foram realizados em duplicatas tendo em vista as recomendações das normas brasileiras. Para isso, desenvolveu-se a coleta e redução de amostra de campo através do quarteamento, seguindo as recomendações da NBR 16915 (ABNT, 2021).

3.2.2.1 Determinação da composição granulométrica

Para a determinação da composição granulométrica seguiu-se as recomendações da norma de agregados NBR NM 248 (ABNT, 2003). Dessa maneira, as amostras foram

previamente secas em estufa e em seguida, utilizando as peneiras da série normal encaixadas em ordem crescente: fundo, 0,15 mm, 0,30 mm, 0,60 mm, 1,18 mm, 2,36 mm e 4,75 mm colocou-se as amostras sobre a peneira superior do conjunto e promoveu-se a agitação mecânica até a constância de massa. Por fim, o material retido nas peneiras, Figura 12, foi removido para uma bandeja e registou-se as massas retidas em cada peneira e no fundo do conjunto. Através dos resultados obtidos após a pesagem do material retido em cada peneira, determinou-se o diâmetro máximo, módulo de finura e a curva granulométrica dos agregados.

Figura 12 - Amostra de plástico retida nas peneiras



Fonte: Autores (2022)

3.2.2.2 Determinação da massa unitária

Para a determinação da massa unitária e índice de vazios, procedeu-se conforme o método C da norma de agregados NBR 16972 (ABNT, 2021). Assim sendo, inicialmente, foi determinada a massa e o volume do recipiente vazio. Em seguida, com auxílio de uma pá, a amostra foi transferida para o recipiente. Após o preenchimento total do recipiente, foi realizado o nivelamento da camada superficial do agregado, conforme a Figura 13, e por fim determinou-se a massa do recipiente cheio obtendo-se o valor da massa unitária através da Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

Onde:

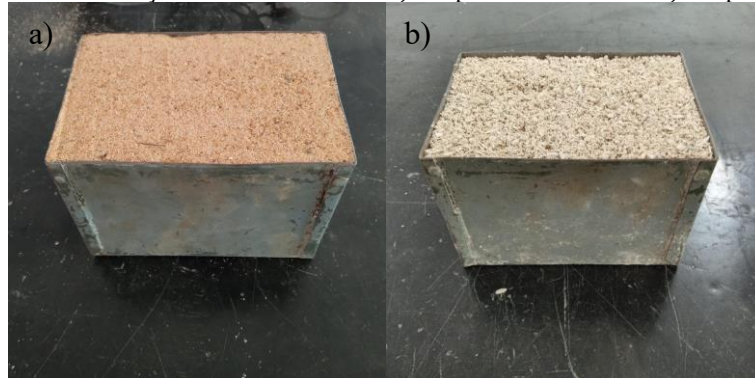
ρ_{ap} é a massa unitária do agregado em quilograma por metro cúbico (kg/m³);

m_{ar} é a massa do recipiente com agregado em quilograma (kg);

m_r é a massa do recipiente vazio em quilogramas (kg); e

V é o volume do recipiente em metro cúbico (m³).

Figura 13 - Ensaio para determinação da massa unitária: a) recipiente com areia e b) recipiente com PP

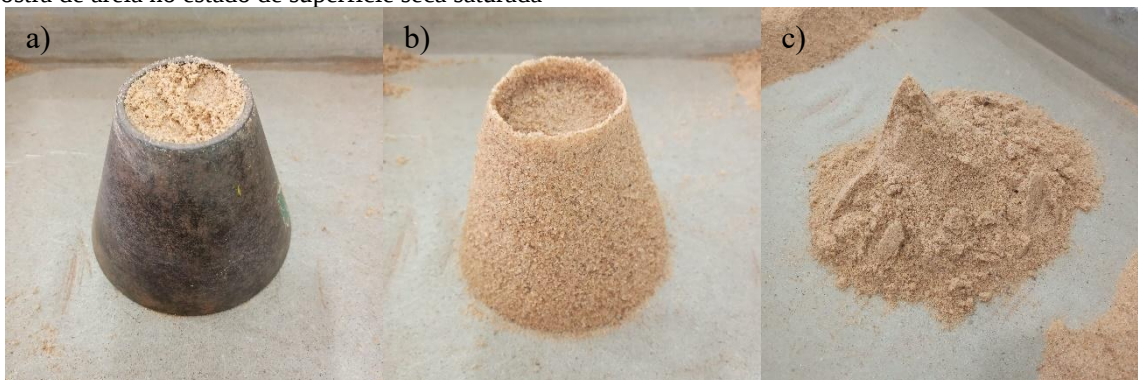


Fonte: Autores (2022)

3.2.2.3 Determinação da absorção de água

Para a determinação da absorção de água da areia procedeu-se conforme a norma de agregado miúdo NBR 16916 (ABNT, 2021). Inicialmente, a amostra foi espalhada nas bandejas e coberta com água, mantendo-a nesta condição durante 24 horas. Logo depois, foi retirada a amostra da água e estendeu-a sobre uma superfície plana, sendo submetida à ação de uma corrente de ar, e revolvendo-a com frequência para assegurar uma secagem uniforme. Em seguida a amostra foi colocada no molde e foram aplicados 25 golpes com a haste de compactação. Após a compactação, levantou-se verticalmente o molde e observou-se o comportamento dos grãos. Esse procedimento foi realizado até que a amostra atingisse o estado de superfície seca saturada, de acordo com a Figura 14.

Figura 14 - Ensaio de absorção de água: a) Amostra compactada; b) amostra de areia no estado saturado e c) amostra de areia no estado de superfície seca saturada



Fonte: Autores (2022)

Após a areia chegar ao estado de superfície seca saturada, tomou-se aproximadamente 500 gramas da amostra e foi colocada em estufa durante 24 horas. Por fim, retirou-se a amostra

da estufa e determinou a massa da amostra seca, obtendo a absorção de água através da Equação 2.

$$\text{Abs} = \frac{m_B - m_A}{m_A} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Abs é a absorção de água em porcentagem (%);

m_A é a massa da amostra seca em estufa em gramas (g); e

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca em gramas (g).

3.2.2.4 Determinação da densidade

Para a determinação da densidade da areia procedeu-se segundo a norma de agregado miúdo NBR 16916 (ABNT, 2021). A princípio, tomou-se aproximadamente 500 gramas da amostra, preparada conforme a seção 3.2.2.3, e acrescentou a areia ao balão volumétrico. Subsequentemente, encheu-se o frasco com água potável até próximo e abaixo da marca de 500 ml, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Ensaio para determinação da densidade da areia com balão volumétrico



Fonte: Autores (2022)

Em seguida, foram eliminadas as bolhas de ar presentes no frasco depois colocou-o em um banho com temperatura de 25 °C. Passada uma hora, completou com água até a marca de 500 mL e determinou-se a massa total. Por fim, a areia presente no frasco foi transferida para uma bandeja e seca em estufa. Após essa etapa, anotou-se a massa da amostra seca sendo determinada a densidade seca da areia através da Equação 3.

$$\rho_s = \frac{m_A}{V - \left(\frac{m_D - m_C}{\rho_a}\right)} \quad (3)$$

Onde:

ρ_s é a densidade seca da areia em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_A é a massa da amostra seca em estufa expressa em gramas (g);

V é o volume do frasco em centímetros cúbicos;

m_D é a massa do conjunto formado pela massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do balão volumétrico, expresso em gramas (g);

m_C é a massa da amostra na condição saturada superfície seca mais a massa do frasco, mais a massa da água, expressa em gramas (g); e

ρ_a é a densidade da água na temperatura do ensaio em gramas por centímetro cúbico (g/cm³).

Vale destacar que para a determinação da massa específica do resíduo de polipropileno triturado utilizou-se uma adaptação da norma de cimentos Portland e outros materiais em pó NBR 16605 (ABNT, 2017). Primeiramente, a amostra passou na peneira com abertura de malha de 150 µm. Em seguida, encheu-se o frasco com querosene até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a 0 e 1 cm³. Posteriormente, colocou-se o frasco no banho de água em posição vertical permanecendo submerso durante 30 minutos. Passado o tempo, registrou-se a leitura inicial. Após a primeira leitura, introduziu-se o material em pequenas porções no frasco, com auxílio do funil de haste curta até que provocasse o deslocamento do líquido no intervalo compreendido entre as marcas de 18 cm³ e 24 cm³, assim como pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16 - Ensaio para determinação da densidade do PP com frasco de Le Chatelier



Fonte: Autores (2022)

Por fim colocou-se novamente o frasco em banho maria por 30 minutos e passado o tempo realizou-se a leitura final. Com isso foram aplicados os dados na Equação 4 para determinar a massa específica do RPT.

$$\rho = \frac{m}{V_f - V_i} \quad (4)$$

Onde:

ρ é a massa específica do resíduo triturado em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m é a massa do material ensaiado em gramas (g)

V_i é o volume inicial do líquido no frasco em centímetro cúbico (cm³); e

V_f é o volume final do líquido deslocado pela amostra em centímetro cúbico.

3.2.3 Preparação das argamassas

Após a caracterização dos agregados, determinou-se um traço rico para reboco de 1:2,5, conforme Aguiar Neto (2020), e fator água cimento de 0,6 com substituição da areia pelo resíduo plástico triturado nas porcentagens de 0%, 2%, 4% e 6% em massa denominados SRPT, RPT-2, RPT-4 e RPT-6, respectivamente. As quantidades de materiais utilizados na mistura podem ser observadas na Tabela 11 com compensação de perda de 10%, vale ressaltar que a mistura foi repetida três vezes na argamassadeira para possibilitar a moldagem de todos os corpos de provas necessários para a execução dos ensaios.

Tabela 11 - Traço utilizado para a moldagem

Traço	Traço para moldagem dos CP's				Traço para o reboco			
	Cimento (g)	Areia (g)	PP (g)	Água (g)	Cimento (g)	Areia (g)	PP (g)	Água (g)
SRPT	2837,08	7092,69	0	1547,50	3529,13	8822,82	0	2117,48
RPT-2	2837,08	6944,21	148,48	1547,50	3529,13	8638,12	184,70	2117,48
RPT-4	2837,08	6795,73	296,97	1547,50	3529,13	8453,42	369,40	2117,48
RPT-6	2837,08	6647,24	445,45	1547,50	3529,13	8268,72	554,11	2117,48

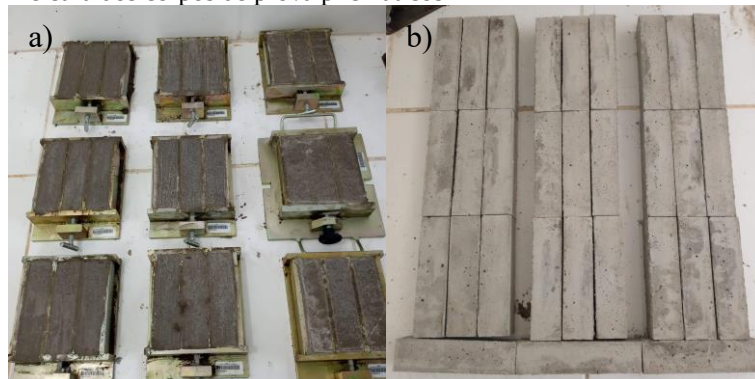
Fonte: Autores (2022)

O preparo da mistura para a realização dos ensaios seguiu as recomendações da norma de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos NBR 16541 (ABNT, 2016). A execução da mistura foi baseada no método de argamassa dosada em obra, na qual colocou-se todos os materiais secos na cuba do misturador. Em seguida, foi acionado o misturador na

velocidade baixa e adicionou 75% da água à mistura nos 10 segundos iniciais, até completar o tempo de 30 segundos. Passado o tempo, mudou para velocidade alta e misturou por mais 60 segundos. Imediatamente após o período determinado, o misturador foi desligado e raspou-se toda a superfície interna da cuba e da pá por 90 segundos. Por fim, misturador foi acionado na velocidade baixa e adicionou-se o restante da água em 10 segundos, continuando a mistura até completar 30 segundos.

Após a mistura, as argamassas foram submetidas aos ensaios no estado fresco e sendo desenvolvida a moldagem dos corpos de prova para a execução dos ensaios no estado endurecido. Ao total foram moldados 172 corpos de prova, após moldados todos os corpos de prova foram identificados e submetidos ao processo de cura, conforme a Figura 17. Para os corpos de prova prismáticos procedeu-se com a cura seca com temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 60%. Para os corpos de prova cilíndricos, o processo de cura foi realizado pela imersão em água com cal até a idade do ensaio.

Figura 17 - Moldagem e cura dos corpos de prova prismáticos



Fonte: Autores (2022)

3.2.4 Ensaios no estado fresco

Para a determinação das propriedades no estado fresco, preparou-se as argamassas de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005). Vale ressaltar que para cada execução dos ensaios das propriedades no estado fresco foram realizadas três repetições a fim de obter resultados estatisticamente mais precisos.

3.2.4.1 Determinação do índice de consistência

A execução do ensaio de determinação do índice de consistência foi realizada conforme as exigências da norma de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos NBR 13276 (ABNT, 2016).

Logo após a preparação da argamassa, utilizou-a para encher o molde de tronco cônico com três camadas e aplicou-se em cada uma delas, respectivamente, quinze, dez e cinco golpes com o soquete. Após o adensamento, rasou-se a argamassa com a régua metálica com movimentos curtos de vaivém ao longo de toda a superfície. Posteriormente a isto, o molde foi retirado verticalmente e acionou-se a manivela da mesa para índice de consistência, de modo que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 segundos. Imediatamente após a última queda da mesa, mediu-se com o paquímetro o espalhamento da argamassa. Foram realizadas a medição de três diâmetros distribuídos ao longo do perímetro da argamassa então pela média dessas medidas calculou-se o índice de consistência. As etapas descritas no texto podem ser visualizadas na Figura 18.

Figura 18 - Ensaio para determinação da consistência: a) argamassa no molde após a compactação das camadas b) retirada do molde e c) espalhamento da argamassa após as quedas da mesa de consistência



Fonte: Autores (2022)

3.2.4.2 Determinação da retenção de água

Para determinar a retenção de água das argamassas utilizou-se a norma de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos NBR 13277 (ABNT, 2005). Após a mistura dos materiais constituintes da argamassa, colocou-se o prato sobre o funil de Buchner, com o papel-filtro úmido sobre o fundo do prato, conforme observado na Figura 19. Em seguida, abriu-se a torneira por 90 segundos, e foram pesados o conjunto funil/papel filtro úmido na balança.

Figura 19 - Bomba de vácuo anexada ao funil de Buchner



Fonte: Autores (2022)

Após a primeira sucção, preencheu-se o prato com a argamassa adensando-a com 16 golpes nas bordas e 21 golpes em pontos distribuídos no centro do disco. Com isso, foi retirado o excesso de argamassa da borda do prato com o auxílio da régua metálica e pesou-se o conjunto na balança. Por fim, a torneira foi aberta e aplicou-se a sucção na amostra durante 15 minutos, essa etapa pode ser visualizada na Figura 20. Decorrido esse tempo, removeu-se o prato do funil e registou-se a massa do conjunto. Com isso, aplicou-se os dados na Equação 5 e determinou-se a retenção de água.

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] \times 100 \quad (5)$$

Sendo:

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (5.1)$$

Onde:

R_a é a retenção de água em porcentagem (%);

m_a é a massa do conjunto com argamassa em gramas (g);

m_s é a massa do conjunto após a sucção em gramas (g);

m_v é a massa do conjunto vazio em gramas (g);

AF é o fator água/argamassa fresca;

m_w é a massa total de água adicionada a mistura em gramas (g); e

m é a soma das massas dos componentes anídricos em gramas (g).

Figura 20 - Ensaio de para determinação da retenção de água: a) Disco com argamassa após rasamento e b) argamassa submetida ao vácuo no funil de Buchner



Fonte: Autores (2022)

3.2.4.3 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

Para o ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco, utilizou-se a NBR 13278 (ABNT, 2005). Após o preparo da mistura, introduziu-se porções de argamassa no recipiente cilíndrico formando três camadas de alturas aproximadamente iguais. Em cada camada, aplicou-se 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa. Após realizar os golpes, foram efetuadas três quedas do recipiente com altura aproximada de 3 cm e rasou-se a superfície da amostra com a espátula, conforme a Figura 21. Por fim, foram eliminadas as partículas de água aderida à parede externa do recipiente e registrou-se a massa do molde com argamassa.

Figura 21 - Recipiente preenchido com argamassa para determinar o teor de ar incorporado



Fonte: Autores (2022)

Determinou-se a densidade de massa da argamassa no estado fresco (d) em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3) através da Equação 6.

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} * 1000 \quad (6)$$

Onde:

m_c é a massa do recipiente cilíndrico contendo argamassa, em gramas (g);

m_v é a massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas (g)

v_r é o volume do recipiente cilíndrico, em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³)

Calculou-se o teor de ar incorporado na argamassa (A) em porcentagem através da Equação 7.

$$A = 100 \left(100 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (7)$$

Sendo:

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (7.1)$$

Onde:

d é a densidade de massa da argamassa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

d_t é a densidade de massa teórica da argamassa em grama por centímetros cúbicos (g/cm³);

m_i é a massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa da água; e

γ_i é a massa específica de cada componente da argamassa.

3.2.5 Ensaios no estado endurecido

3.2.5.1 Determinação da resistência a tração na flexão

Para determinar a resistência à compressão das argamassas utilizou-se a norma de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos NBR 13279 (ABNT, 2005). Para isso, moldou-se 25 corpos de prova por traço totalizando 100 amostras. Após a cura das argamassas, as rupturas dos CPs foram realizadas nas idades de 3, 7, 14, 28 e 91 dias. Para a execução do ensaio, posicionou-se os corpos de prova nos dispositivos de apoio do equipamento e aplicou-se carga de 50 N/s até a ruptura da argamassa, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Ensaio para determinação da resistência à flexão: a) corpo de prova posicionado na prensa e b) corpo de prova após a ruptura



Fonte: Autores (2022)

A resistência à flexão R_f foi expressa em megapascal (MPa) e determinada pela Equação 8. O desvio absoluto máximo (DAM) foi definido pela diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afastou da média para mais ou para menos.

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad (8)$$

Onde:

F_f é a carga máxima aplicada no centro do prisma em newtons (N); e

L é a distância entre os suportes em milímetros (mm).

3.2.6 Determinação da resistência à compressão

Para determinar a resistência à compressão das argamassas utilizou-se também a NBR 13279 (ABNT, 2005). No qual utilizou-se as metades dos corpos de prova do ensaio de flexão, ou seja, utilizou-se 50 corpos de prova por traço, totalizando 200 amostras ensaiadas. Após a cura das argamassas, as rupturas dos CPs foram realizadas nas idades de 3, 7, 14, 28 e 91 dias. Para a execução do ensaio, posicionou-se a amostra nos dispositivos de apoio do equipamento, conforme a Figura 23, e aplicou-se carga de 500 N/s até a ruptura do corpo-de-prova. Ao final do ensaio registou-se a resistência à compressão determinada pela prensa expressa em MPa.

Figura 23 - Corpo de prova centralizado na prensa para determinação da resistência à compressão axial



Fonte: Autores (2022)

A resistência à compressão axial foi expressa e determinada pela Equação 9. Já o DAM da série de corpos de prova foi definido pela diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afastou da média para mais ou para menos.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (9)$$

Onde:

F_c é a carga máxima aplicada em newtons (N); e

R_c é a resistência à compressão axial expressa em megapascal (MPa).

3.2.6.1 Determinação da resistência a tração por compressão diametral

Após a moldagem e cura de 28 dias, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral, conforme a norma de concreto e argamassas NBR 7222 (ABNT, 2011). Primeiramente posicionou-se o corpo de prova na prensa e adicionou-se entre o corpo de prova e os pratos da prensa duas taliscas de madeira, representado pela Figura 24. Logo após, aplicou-se continuamente uma carga com velocidade de 0,05 MPa/s até a ruptura da amostra. A resistência à tração por compressão diametral foi determinada pela Equação 10.

$$f_{ct} = \frac{2 F}{\pi d l} \quad (10)$$

Onde:

f_{ct} é a resistência a tração por compressão diametral em megapascal (MPa);

F é a carga máxima obtida no ensaio, em newtons (N);

d é o diâmetro do corpo de prova em milímetros (mm);

l é o comprimento do corpo de prova em milímetros (mm).

Figura 24 - Corpo de prova centralizado na prensa para determinação da resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Autores (2022)

3.2.6.2 Determinação da resistência potencial de aderência à tração

Para a determinação do potencial de aderência à tração utilizou-se a norma de argamassa para revestimento de paredes e tetos NBR 15258 (ABNT,2021). Portanto, desenvolveu-se este procedimento no LEC com a construção de 4 protótipos de alvenaria na posição vertical. Sobre as paredes de alvenaria foram aplicadas uma camada de chapisco e após sua cura de 28 dias assentou-se uma camada de reboco. Esta etapa pode ser visualizada através da Figura 25.

Figura 25 - Preparação das paredes a serem ensaiadas: a) Substrato de tijolos b) Chapisco e c) Reboco



Fonte: Autores (2022)

Em cada parede revestida foram realizados 10 cortes com a serra copo com profundidade próxima a 1 mm do substrato. Após a execução dos cortes, removeu-se as partículas soltas da superfície para eliminação de agentes contaminantes que pudessem prejudicar a aderência entre o revestimento e a base.

Seguida a etapa de limpeza das paredes, foram aplicadas as pastilhas com cola sobre a superfície do revestimento e aguardou-se o tempo indicado pelo fabricante para a secagem.

Após o tempo de secagem da cola, aplicou-se o carregamento perpendicular de maneira lenta, progressiva e sem interrupções até a ruptura do corpo de prova. Em seguida determinou-se o diâmetro dos corpos de prova, com auxílio do paquímetro. Por fim, foram registradas as formas de ruptura dos corpos de prova. A execução dessa etapa pode ser visualizada pela Figura 26. Para obter o valor da aderência à tração das argamassas utilizou-se a Equação 11.

$$R_a = \frac{F}{A} \quad (11)$$

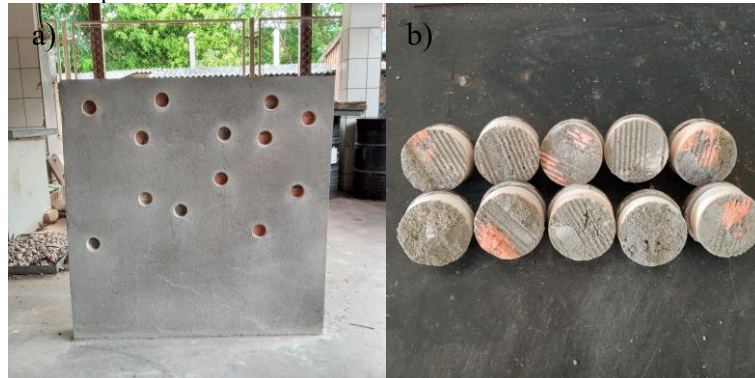
Onde:

R_a é a resistência potencial de aderência em megapascal (MPa);

F é a carga de ruptura do corpo de prova em newtons (N); e

A é a área do corpo de prova expressa em milímetros (mm).

Figura 26 - Ensaio para determinação da aderência à tração: a) Parede após a extração a realização do ensaio e b) corpos de prova retirados das paredes



Fonte: Autores (2022)

3.2.6.3 Determinação do módulo de elasticidade

A determinação do módulo de elasticidade e de deformação da argamassa foram determinados através de uma adaptação do método estático à compressão, seguindo as especificações da norma de concreto endurecido NBR 8522-1 (ABNT, 2021). Para esse ensaio foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm, conforme a Figura 27, para cada traço, totalizando 12 amostras. A resistência à compressão do concreto foi determinada pela média dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial, segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005), sendo provenientes da mesma mistura.

Figura 27 - Corpos de prova cilíndricos utilizados para determinação do módulo de elasticidade



Fonte: Autores (2022)

Para a execução do ensaio, o corpo de prova foi centralizado nos pratos da máquina de ensaios de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018). Em seguida, carregou-se o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior que corresponde a 30% da resistência média à compressão axial e manteve-se a força neste nível por 60 segundos. Em seguida, reduziu-se a carga para o limite inferior. Esse ciclo foi repetido por 3 vezes, ao final do terceiro ciclo, anotou-se as deformações correspondentes ao limite superior e inferior. Após o fim dos ciclos de carregamento e descarregamento aplicou-se a força até a ruptura do corpo de prova, a representação desse método está exemplificada na Figura 28. Com os valores das deformações foi possível aplicar os dados na Equação 12 e determinar o módulo de elasticidade das argamassas testadas.

$$E = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \times 10^{-3} \quad (12)$$

Onde:

E é o módulo de elasticidade expresso em gigapascals (GPa);

σ_b é a tensão maior considerada como 30% da resistência a compressão axial expressa em megapascals (MPa);

ε_a é a deformação específica do concreto sob a tensão básica; e

ε_b é a deformação específica do concreto sob a tensão maior.

a)

b)

Figura 28 - Ensaio para determinação do módulo de elasticidade: a) Aplicação do método de carregamento e descarregamento e b) corpo de prova rompido por compressão axial



Fonte: Autores (2022)

3.2.6.4 Determinação da densidade seca aparente

A determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido seguiu os critérios da norma de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos NBR 13280 (ABNT, 2005). Após a moldagem e cura dos corpos de prova até a idade de 28 dias. Determinou-se, com auxílio do paquímetro, a altura, a largura e o comprimento de cada CP, conforme a Figura 29. Por fim, foram determinadas as massas dos corpos de prova e registradas para cálculo através da Equação 13.

$$\rho_{max} = \frac{m}{v} \quad (13)$$

Onde:

ρ_{max} é a densidade seca aparente do corpo de prova expressa em grama por centímetro cúbico (g/cm³);

m é a massa do corpo de prova expressa em gramas (g); e

v é o volume do corpo de prova obtido através multiplicação de suas medidas, expresso em centímetros cúbicos (cm³).

Figura 29 - Medição das dimensões do corpo de prova



Fonte: Autores (2022)

3.2.6.5 Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

A determinação da absorção por capilaridade seguiu os critérios da norma de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, NBR 15259 (ABNT, 2005). Os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias de idade, sendo 5 amostras para cada traço, totalizando em 25 corpos de prova.

Primeiramente, lixou-se a superfície dos corpos de prova com lixa grossa e sua superfície foi limpa com pincel. Posteriormente determinou-se a massa inicial em gramas, de cada corpo de prova. Após a pesagem, posicionou-se os corpos de prova com a face quadrada em contato com a água, com altura da coluna de água de aproximadamente 5 milímetros, conforme exemplificado pela Figura 30. Por fim, pesou-se os corpos de prova após passados 10 e 90 minutos e anotou-se suas massas e aplicou os dados na Equação 14 para determinar a absorção de água por capilaridade.

$$A_t = \frac{m_t - m_o}{16} \quad (14)$$

Onde:

A_t é a absorção de água para cada tempo expressa em gramas por centímetro quadrados (g/cm²)

m_t é a massa do corpo de prova para cada tempo expressa em gramas (g);

m_o é a massa seca do corpo de prova; e

t corresponde aos tempos de 10 e 90 minutos expresso em segundos.

Figura 30 - Corpos de prova prismáticos colocados sob a coluna de água



Fonte: Autores (2022)

3.2.6.6 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

A determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica foi realizada conforme a norma de argamassa e concretos endurecidos NBR 9778 (ABNT, 2009). Para a execução do ensaio, foram moldados 25 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5x10 cm. Primeiramente, colocou-se os corpos de prova na estufa durante 72 horas. Após a secagem, foram registradas a massa seca das amostras. Em seguida, imergiu-se as amostras na água por um período de 72 horas, conforme representado pela Figura 31. Após a etapa de saturação em água, colocou-se os corpos de prova em um recipiente cheio de água que progressivamente foi levado à ebulição, mantida por um período de 5 horas. Após o tempo de resfriamento das amostras, registrou-se a massa submersa dos corpos de prova na balança hidrostática. Por fim, as amostras foram retiradas da água e determinou-se sua massa na condição saturada. Equação 15.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \quad (15)$$

Onde:

A é a absorção de água em porcentagem (%);

m_{sat} é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura; e

m_s é a massa da amostra seca em estufa.

Figura 31 - Corpos de prova cilíndricos submersos em água



Fonte: Autores (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos agregados

Na Tabela 13, podem ser observados os valores dos ensaios de caracterização da areia e do polipropileno triturado. Sendo assim, segundo Fusco (2012), o agregado de resíduo polimérico pode ser classificado como areia grossa, tendo módulo de finura entre 2,4 e 3,9, e o agregado natural é classificado como areia fina com MF menor que 2,4.

Tabela 12 - Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados

Método	Areia	PP
Dimensão máxima (mm)	1,18	2,36
Módulo de Finura	2,03	3,23
Densidade (g/cm ³)	2,67	1,12
Massa unitária (kg/m ³)	1563,00	386,57
Absorção (%)	0,30	0

Fonte: Autores (2022)

Com relação a massa específica, o resíduo de PP pode ser classificado como agregado leve segundo a NBR NM 35 (ABNT, 1995), enquadrando-se na faixa 3 da graduação de agregados, sendo aceitável seu uso como agregado leve. Com relação a areia, a NBR 9935 (ABNT, 2011) qualifica como um agregado de densidade normal, estando dentro dos limites entre 2,0 g/cm³ e 3,0 g/cm³.

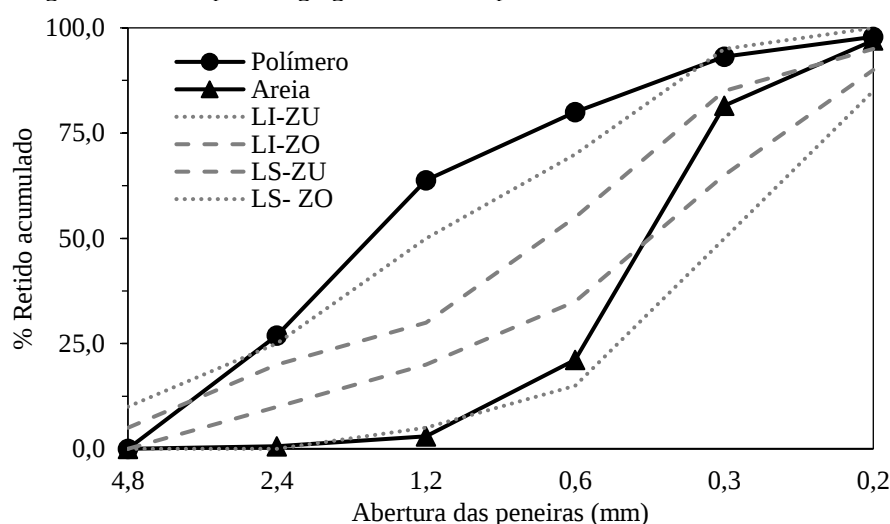
No que diz respeito a massa unitária observa-se que o agregado polimérico pode preencher espaços com menos material em massa em comparação a areia natural, esse

comportamento pode influenciar na economia em materiais no que tange a dosagem da argamassa.

Vale destacar que os resultados da absorção de água para o PP não foram realizados tendo em vista sua natureza hidrofóbica. Sendo um fator positivo, tendo em vista que o agregado deve ser inerte em contato com a água.

Na Figura 32 pode ser observada a curva granulométrica do agregado artificial e o agregado natural. Levando em consideração a NBR 7211 (ABNT, 2009), o desenho da curva não se encaixa dentro das faixas limítrofes da norma, sendo assim o RPT não deve ser utilizado como agregado para uso na construção civil devido sua composição mal graduada.

Figura 32 - Curva granulométrica para o agregado mineral e polimérico



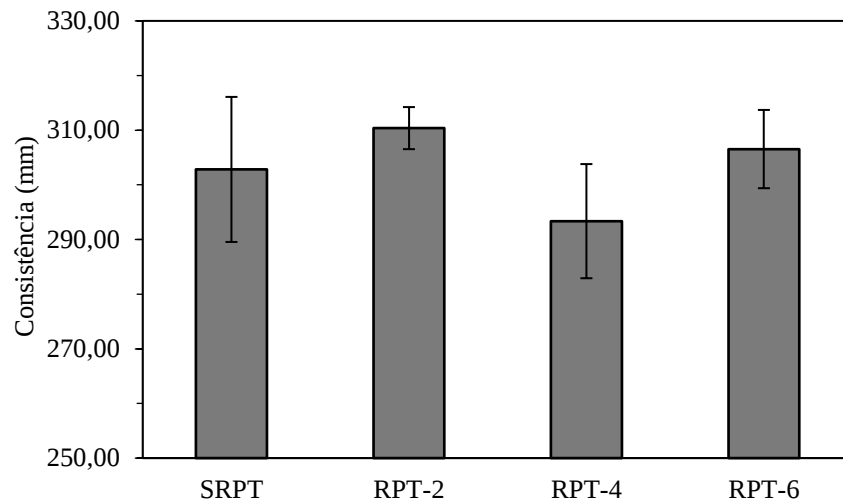
Fonte: Autores (2022)

4.2 Resultados das propriedades no estado fresco

4.2.1 Índice de Consistência

Na Figura 33 estão apresentados os resultados da média dos espalhamentos das argamassas. Observa-se que os resultados não apresentaram uma linearidade com o aumento de resíduo tendo em vista que a o traço RPT-2 aumentou 2,5% o seu índice de consistência, enquanto a mistura RPT-4 reduziu 3,1% e para o RPT-6 o espalhamento voltou a crescer aproximadamente 1,2%.

Figura 33 - Valor médio e desvio padrão, para índice de consistência



Fonte: Autores (2022)

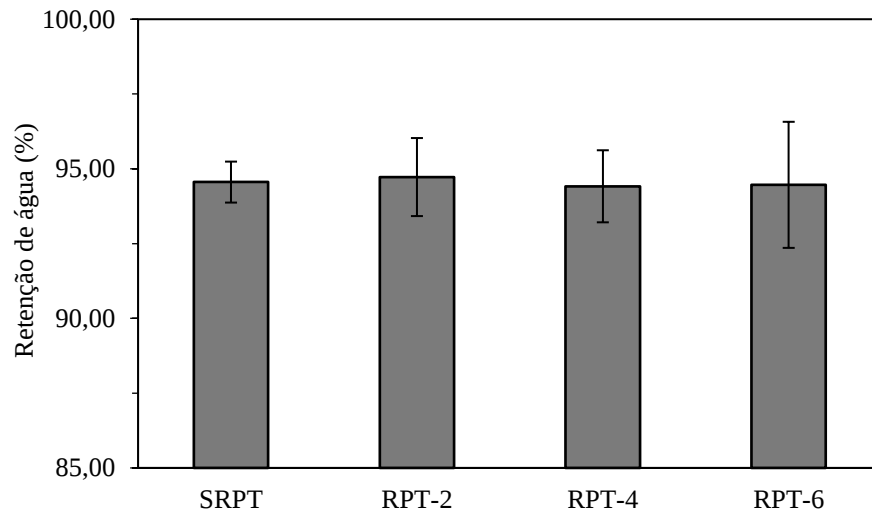
O comportamento observado neste trabalho difere das pesquisas de Venitez-Mosquera *et al.* (2017) na qual a substituição do PET em 5%, 7%, 9% e 10% resultou em uma redução de 5%, 8%, 16% e 17%, respectivamente, quando comparado ao traço de referência. Segundo os autores, esse fenômeno foi causado pela forma irregular do material que resultou entre o aumento do atrito entre as partículas e a diminuição da fluidez da mistura.

Haghighatnejad *et al.* (2016), também afirmam que o teor de PVC resultou na redução do abatimento do concreto, com a consistência de referência diminuindo para 5,2 cm para a incorporação 50% de agregado de polimérico. Em contrapartida, Correa *et al.* (2021), constataram que a adição de PP ao concreto fresco aumentou a trabalhabilidade devido à característica hidrofóbica do PP, que repele a água de sua superfície.

4.2.2 Retenção de água

Conforme apresentado na Figura 34, nota-se uma tendência na redução da retenção de água, esse comportamento ocorreu provavelmente devido ao aumento da água livre ocasionado pela adsorção de água do resíduo. Entretanto, todos os traços permaneceram dentro dos 94% isso ocorreu provavelmente devido aos baixos teores de substituição. E vale ressaltar que o aglomerante é o principal responsável pela capacidade de retenção de água, e devido á isto a inserção do agregado polimérico não foi significativa.

Figura 34 - Valor médio e desvio padrão, para retenção de água



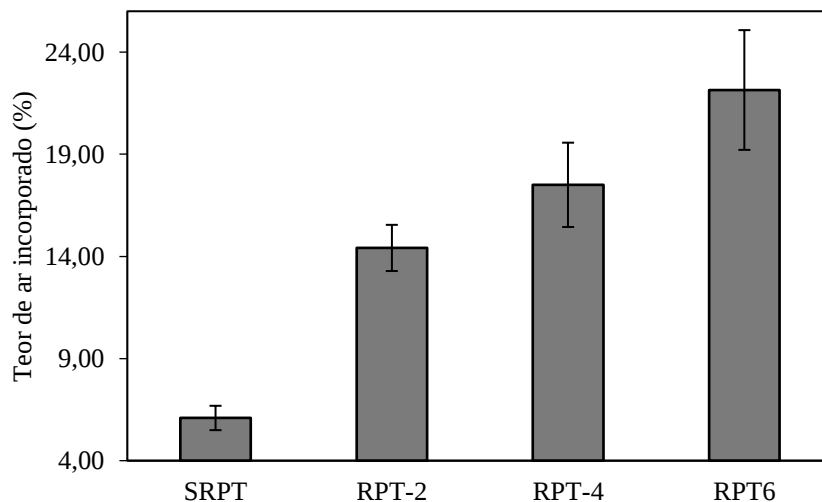
Fonte: Autores (2022)

4.2.3 Teor de ar incorporado e densidade de massa

Na Figura 35, pode-se observar que os valores do teor de ar incorporado com as substituições de RPT-2, RPT-4 e RPT-6 aumentaram em 136,5%, 187,4% e 253,6%, respectivamente. Segundo Correa et al. (2021), esse comportamento pode ser explicado pelo fato de os flocos terem uma geometria não esférica em comparação com a areia, que podem contribuir para o aprisionamento de ar durante a mistura.

É necessário salientar que esse comportamento pode ser benéfico, pois reduz o consumo de materiais bem como reduz também a densidade da mistura, entretanto a presença dessas microbolhas em teores elevados pode diminuir a resistência mecânica das argamassas.

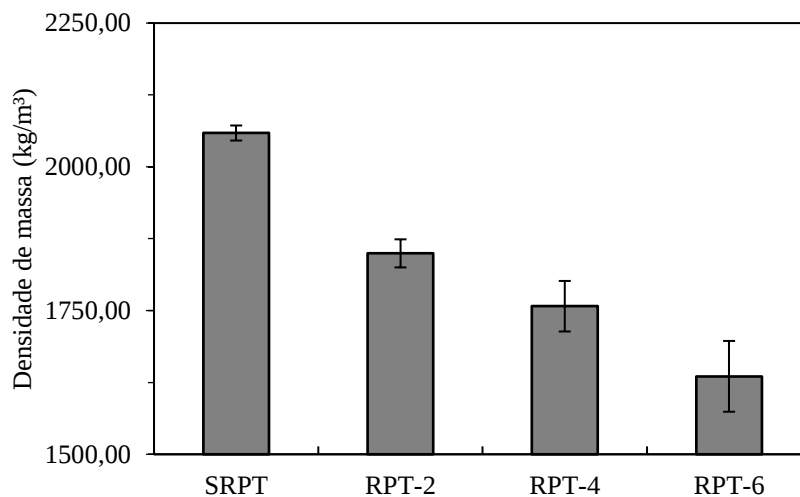
Figura 35 - Valor médio e desvio padrão, para teor de ar incorporado



Fonte: Autores (2022)

Como consequência do aumento do teor de ar incorporado temos uma redução de 10,17%, 14, 93 e 20,55% de densidade de massa no estado fresco, conforme a Figura 36, o que é atribuído também à menor densidade do PP. Esse comportamento foi validado pela pesquisa de Venitez-Mosquera (2020) que afirmou que a substituição de PET em 2,5%, 5%, 7,5% e 10%, as densidades foram de 96%, 94%, 91% e 90% da densidade do concreto.

Figura 36 - Valor médio e desvio padrão, para densidade de massa no estado fresco



Fonte: Autores (2022)

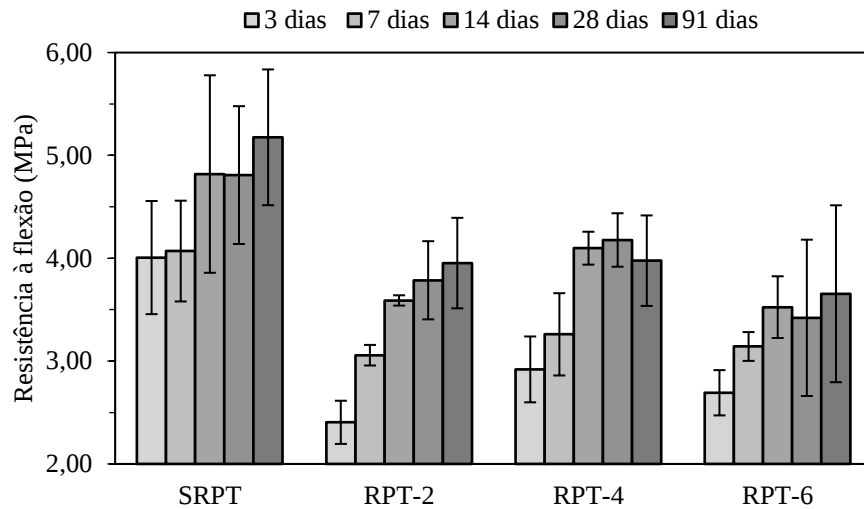
Segundo Bing e Ning (2014), a substituição de agregados miúdos por plástico, gera uma tendência a repelir a água e prender o ar dentro de sua superfície, isso explicaria o aumento do teor de ar incorporado e a redução da densidade.

4.3 Resultados das propriedades no estado endurecido

4.3.1 Resistência à tração na flexão

Os dados apresentados na Figura 37, tratam-se das médias dos resultados obtidos no ensaio de resistência a tração na flexão, no Apêndice D são demonstrados os valores individuais encontrados para cada traço, assim como o detalhamento da análise de variância.

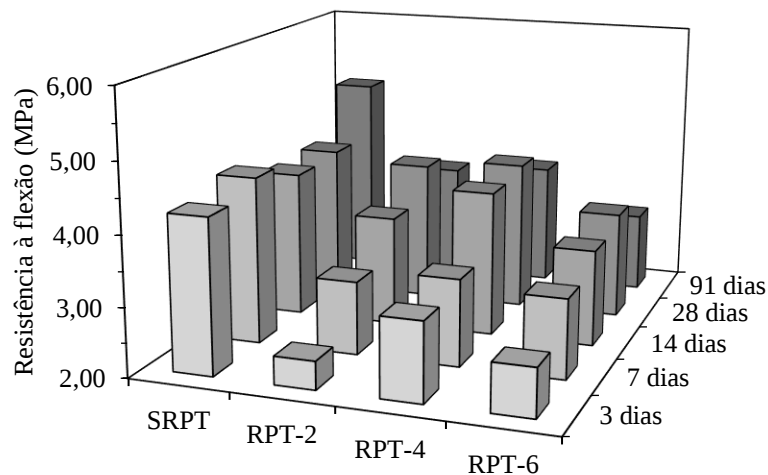
Figura 37 - Valor médio e desvio padrão, para resistência à tração na flexão



Fonte: Autores (2022)

Seguindo as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005), os resultados dos corpos de prova com desvio absoluto máximo superiores a 0,3 Mpa foram eliminados e calculada uma nova média que é representada pela Figura 38.

Figura 38 - Valores médios com desvio absoluto máximo de 0,3 Mpa, para resistência à tração na flexão



Fonte: Autores (2022)

Através dos resultados é possível visualizar que aos 28 dias as resistências a flexão mantiveram-se semelhantes, ou seja, a presença do resíduo de PP aos 28 dias não apresentou influencia ou reduziu a tração das argamassas. Entretanto aos 91 dias, o traço sem substituição apresentou ganho de resistências, enquanto que os traços contendo resíduos plástico apresentaram decréscimo na resistência quando comparadas as idades de 28 dias e 14 dias. Vale

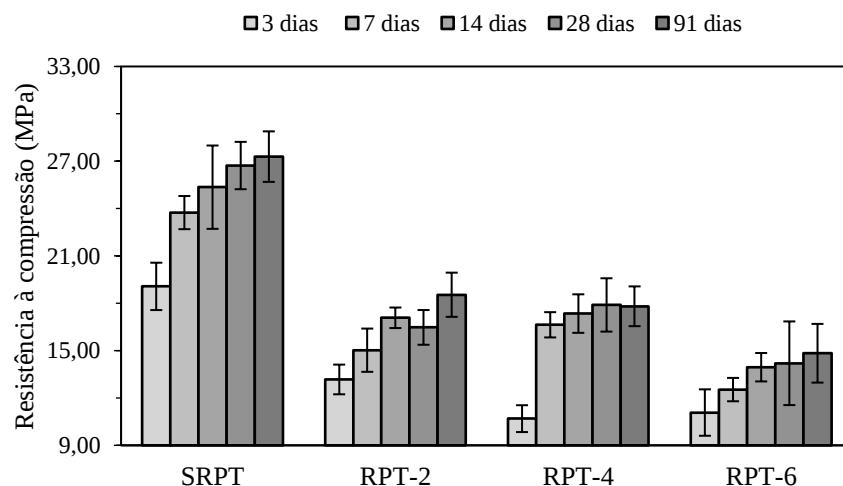
ressaltar que para a média sem o desvio absoluto máximo esse comportamento não foi observado.

Azharpour *et al* (2016) explica que a adição de partículas de plástico PET em pequenas quantidades aumenta a resistência de tração na flexão, o que pode explicar os ganhos de resistência aos 28 dias, no entanto, em quantidades elevadas, essa propriedade tende a apresentar redução. Hameeda *et al.*, (2018) complementou afirmando que a presença de resíduo plástico dentro de certas porcentagens na estrutura do concreto leva a interromper a propagação e crescimento de fissuras. E por esta razão, os valores de resistência à flexão aumentam com a inserção limitada de agregado polimérico, entretanto teores elevados apresentam alguns vazios no interior e posteriormente diminui a resistência.

4.3.2 Resistência à compressão axial

Os resultados individuais da resistência à compressão dos corpos de prova podem ser visualizados no Apêndice E, e com esses dados foram calculados as médias e os desvios padrão, representado pela Figura 39. Em vista disso, notou-se uma tendência de redução na resistência conforme adicionou-se o resíduo de polipropileno esse comportamento também foi notado por Mohammed *et al.* (2019) e Bigotto *et al.* (2019).

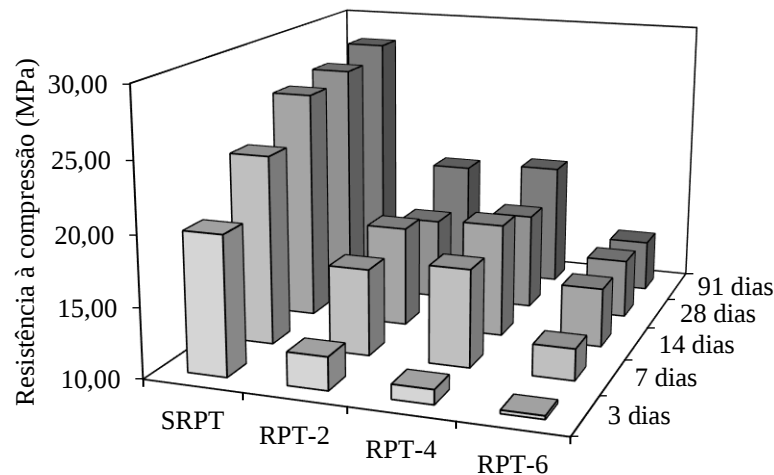
Figura 39 - Valor médio e desvio padrão, para resistência à compressão axial



Fonte: Autores (2022)

Seguindo as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005), os resultados dos corpos de prova com desvio absoluto máximo superiores a 0,5 Mpa foram eliminados e calculada uma nova média que é representada pela Figura 40.

Figura 40 - Valores médios com desvio absoluto máximo, para resistência à compressão axial



Fonte: Autores (2022)

Inicialmente, observa-se que em todas as idades o traço de referência apresentou resistências superior aos traços com substituição por resíduo polimérico. Com isso, aos 91 dias os traços RPT-2, RPT-4 e RPT-6 apresentaram redução na resistência em 33,9%, 32,2% e 51%, respectivamente.

A redução na resistência à compressão axial das argamassas contendo plástico pode estar relacionada à baixa força adesiva entre a superfície do plástico e a pasta de cimento, conforme foi relatado pelos autores Hameeda *et al.*, (2018), Shubbar e Al-Shadeedi (2017) Jaivignesh e Sofi (2017), Alqahtani *et al.* (2017) e Almeshal *et al.* (2020), uma vez que o PP não contribui no processo de hidratação com o cimento. Vale ainda ressaltar também a influência do aumento do teor de ar incorporado no estado fresco tornando o concreto mais poroso em seu estado endurecido, diminuindo assim sua resistência mecânica.

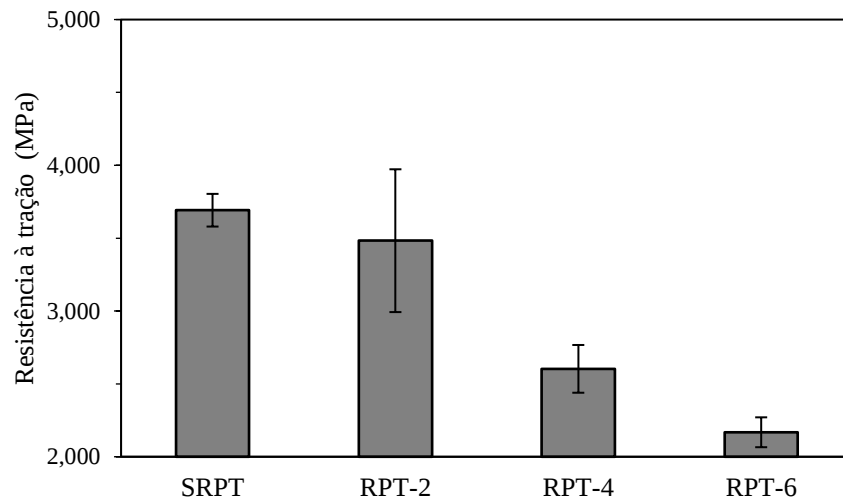
Outra dedução plausível que explicaria a redução da resistência mecânica das argamassas contendo resíduo polimérico seria o aumento do fator a/c, pois conforme adicionou-se PP o teor de água livre aumentou e como consequência a água foi absorvida pelo cimento, portanto comprometendo a resistência a compressão axial.

4.3.3 Resistência à tração por compressão diametral

Os resultados do ensaio de tração por compressão diametral aos 28 dias podem ser visualizados na Figura 41. De acordo com os dados, é possível observar os decréscimos em até 46,12% em relação a argamassa de referência. Segundo Akinyele e Ajede (2018), a redução da resistência a compressão diametral pode ser atribuída às mesmas razões que influenciam os

resultados do teste de resistência à compressão, sendo uma delas a superfície lisa do PP granulado que não dá lugar para a aderência adequada na matriz de concreto.

Figura 41 - Valor médio e desvio padrão, para resistência a tração por compressão diametral



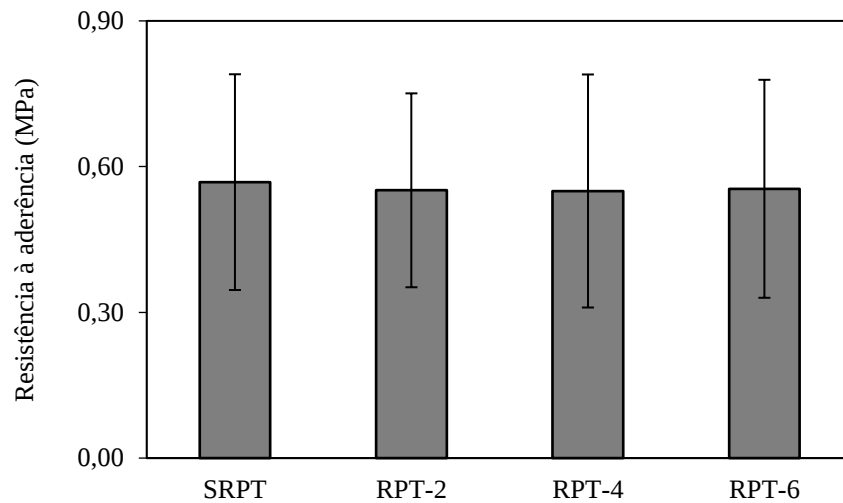
Fonte: Autores (2022)

Esse resultado apresentou-se negativo tendo em vista os estudos de Kolhapure *et al.* (2018) com PET que apresentaram ganhos de 0,23 Mpa com 2% de substituição e redução de 0,35 Mpa e 0,95 Mpa para a inserção de 4% e 6%, que corresponde a somente 8,43% e 22,9% de baixa na resistência a tração. Outro estudo que se contrapõe ao comportamento apresentado é o de Shubbar e Al-Shadeedi (2017) afirmando que ao realizar 2% de inserção de PET no concreto a resistência a tração aumentou em aproximadamente 13% seguido de queda que chega a cerca de 25% para 8% de substituição.

4.3.4 Aderência à tração

Os valores médios e desvios-padrão da resistência potencial de aderência à tração estão expostos na Figura 42, esses valores foram calculados utilizando os resultados individuais de cada corpo de prova que podem ser observados no Apêndice G.

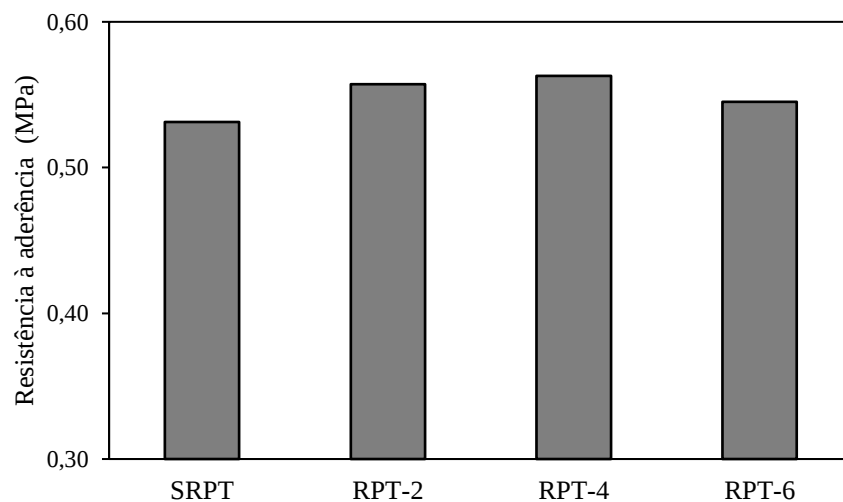
Figura 42 - Valor médio e desvio padrão, para resistência aderência à tração.



Fonte: Autores (2022)

Segundo a NBR 15258 (ABNT, 2015) o cálculo da resistência potencial média de aderência à tração deve ser realizado descartando-se os valores que se afastarem 30 % da média, portanto os corpos de prova que não atenderam essa condição foram descartados, e calculada uma nova média, representada pela Figura 43.

Figura 43 - Valor médio do potencial de aderência à tração considerando desvio relativo máximo de 30%

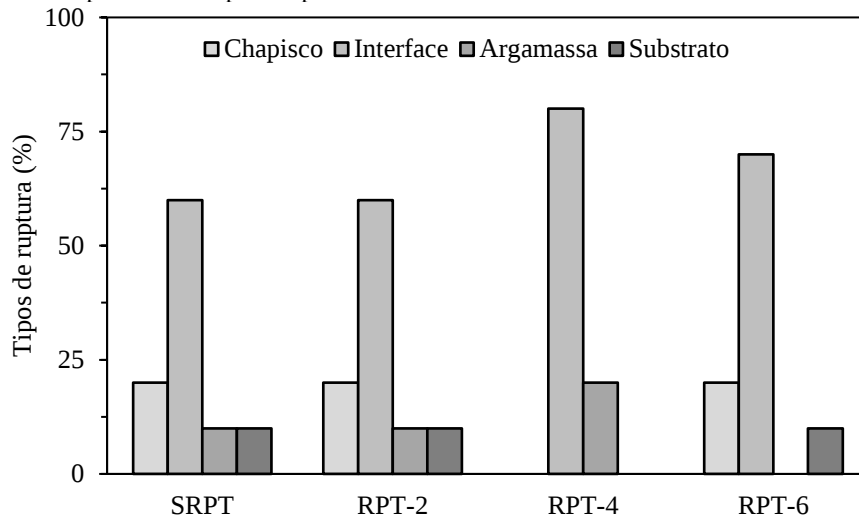


Fonte: Autores (2022)

Mello (2011), atribuiu a diminuição da aderência à tração ao menor contanto da argamassa com o substrato ocasionado pela redução da trabalhabilidade devido a inserção de polietileno de alta densidade (PEAD). Entretanto na presente pesquisa, as argamassas não se apresentaram menos trabalháveis, tendo em vista que os valores de consistência e retenção de água se mantiveram semelhantes o que pode justificar o comportamento observado na Figura 43 e 44.

Com relação ao tipo de ruptura observou-se na Figura 44, que para todos os traços o maior número de rupturas ocorrera na interface entre o chapisco e o reboco. Esse comportamento pode ser explicado, pois observou-se que o chapisco aplicado excedeu a espessura de 6 mm.

Figura 44 - Tipos de ruptura dos corpos de prova

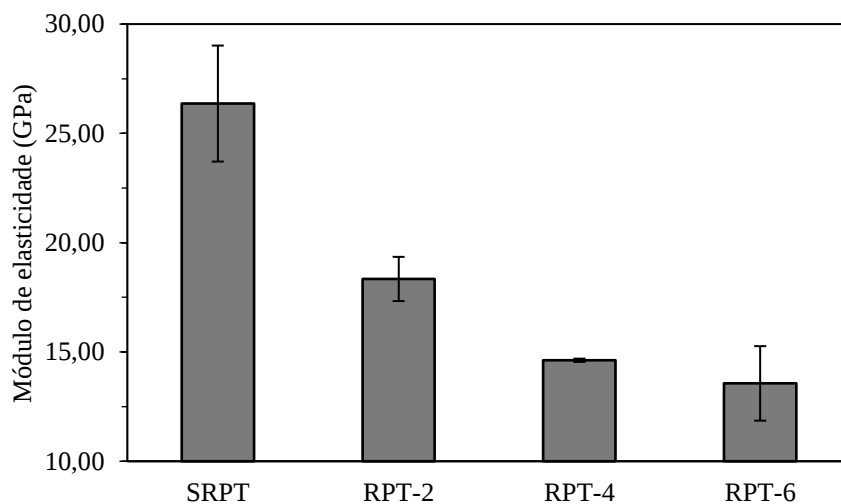


Fonte: Autores (2022)

4.3.5 Módulo de elasticidade

Os resultados observados na Figura 45, informa a redução no módulo de elasticidade em 30,4%, 44,5% e 48,6% essa tendência também foi observada nos estudos de Martins (2018) e Aguiar Neto (2020). Esse comportamento pode ser explicado pela incorporação de resíduo polimérico, que é um agregado com menor rigidez quando comparado ao agregado mineral.

Figura 45 - Valor médio e desvio padrão, para módulo de elasticidade



Fonte: Autores (2022)

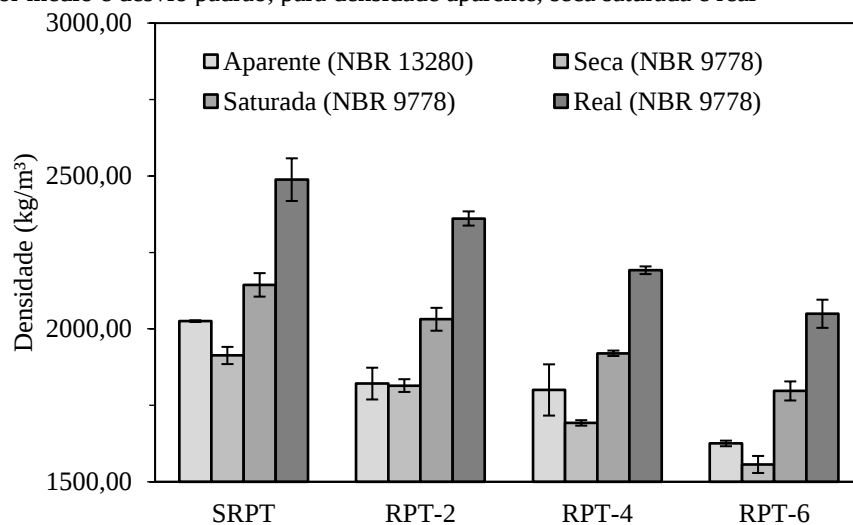
Segundo Hameeda *et al.*, (2018), a presença de agregado plástico torna o concreto mais dúctil e capaz de suportar a cargas de fendilhação e a fratura final correrá sem desintegração total da peça de concreto, ou seja, não apresentará uma ruptura frágil. Os autores ainda afirmam que tal característica são positivas pois evitariam rupturas catastrófica quando os edifícios fossem submetidos a cargas elevadas.

4.3.6 Densidade seca, aparente, saturada e real

Os resultados das densidades pelo método da massa aparente e pelo método de absorção de água por imersão estão expostos na Figura 46, assim como os valores individuais dos corpos de provas podem ser vistas no Apêndice I.

É notória a redução da massa específica das argamassas contendo PP, esse comportamento pode estar relacionado a menor densidade do PP que corresponde somente a 41% em relação ao agregado mineral diversos autores também atribuem a mesma causa Sule *et al.* (2017), e Santos e Ferrari (2018) também atribuem essa tendência a menor massa específica do resíduo polimérico. Hameeda *et al.* (2018) indica a utilização desse agregado plástico para a fabricação de concreto leve e Shubbar *et al.* (2017) afirma que esses concretos leves resultariam no menor custo com transporte de peças estruturais.

Figura 46 - Valor médio e desvio padrão, para densidade aparente, seca saturada e real

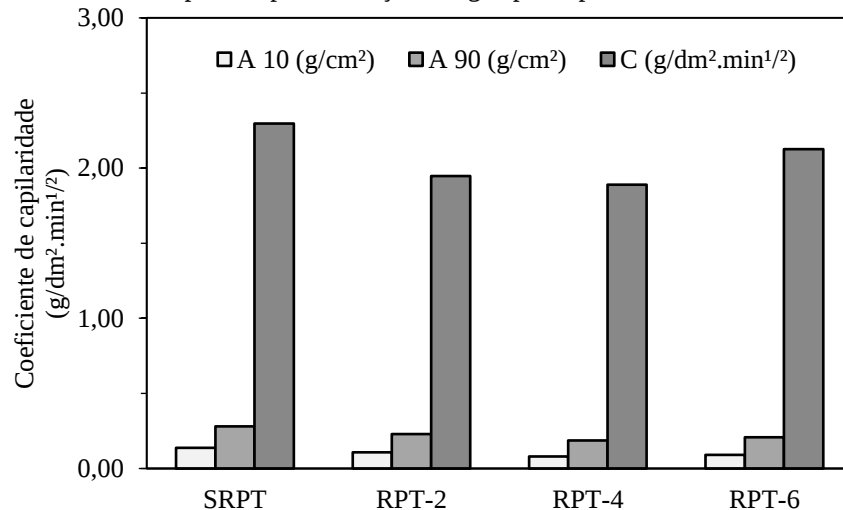


Fonte: Autores (2022)

4.3.7 Absorção por capilaridade

Na Figura 47, pode ser observado os valores referentes a média considerando o desvio relativo máximo que corresponde a 20% conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005), os valores necessários para obtenção desses valores podem ser visualizados no Apêndice J.

Figura 47 - Valor médio e desvio padrão, para absorção de água por capilaridade



Fonte: Autores (2022)

O comportamento da absorção de água por capilaridade foi oposto ao comportamento da absorção de água por imersão, pois a determinação do coeficiente de capilaridade se dá pela subida do líquido através dos poros e dos constituintes da argamassa. Esse comportamento só ocorre quando a água entra em contato com um material hidrófilo, segundo Bertolini (2010). Entretanto, com a inserção do agregado plástico houve a obstrução da passagem da água para a parte mais alta dos corpos de prova devido a sua característica hidrofóbica.

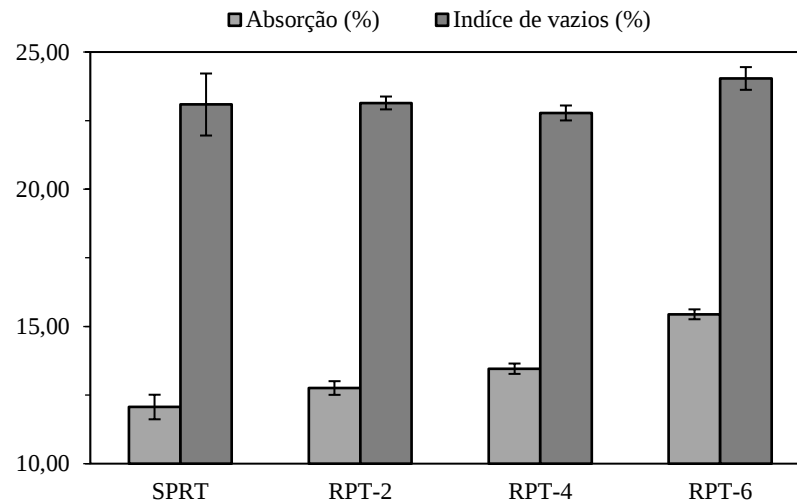
Para aplicação da argamassa como revestimento de paredes externas, a redução do coeficiente de capilaridade se apresenta de forma positiva, pois aumenta a resistência a patologias causadas pelas águas pluviais aumentando a durabilidade e a vida útil da alvenaria.

4.3.8 Absorção por imersão

Na Figura 48 estão expostos os resultados referentes a absorção de água e índice de vazios, os valores individuais para composição da média e desvio padrão pode ser visualizado no Apêndice K. Com isso, observa-se um pequeno aumento na absorção de água em até 28,0% em relação ao traço piloto. Esse comportamento também foi observado por Aguiar Neto (2020)

que atribui essa tendência à adsorção de água pela superfície do resíduo que após o processo de cura (evaporação da água) o volume de vazios aumentou devido ao aumento de resíduo plástico.

Figura 48 - Valor médio e desvio padrão, para absorção de água por capilaridade



Fonte: Autores (2022)

4.4 Classificação das argamassas

Após o tratamento dos dados e as discussões abordadas é necessário classificar as argamassas segundo os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005), conforme representado pela Tabela 13. Primeiramente, observa-se que independente do resíduo ter influenciado na redução da resistência à compressão axial e tração na flexão os traços permaneceram na mesma classe de resistência com valores maiores que 8 Mpa e 3,5 Mpa, respectivamente.

Tabela 13 - Classificação das argamassas

Método do ensaio / Teor	SRPT	RPT-2	RPT-4	RPT-6
Resistência à compressão (28 dias)	P6	P6	P6	P6
Densidade de massa aparente no estado endurecido	M6	M6	M5	M5
Resistência à tração na flexão (28 dias)	R6	R6	R6	R6
Coefficiente de capilaridade	C3	C2	C2	C3
Densidade de massa no estado fresco	D6	D5	D5	D4
Retenção de água	U6	U6	U5	U5
Resistência potencial de aderência à tração	A3	A3	A3	A3

Fonte: Autores (2022)

Outro ponto a ser levantado remete-se as densidades no estado fresco e endurecido, pois foram os ensaios que mais variam de classe, constatando que as argamassas se tornam mais leves ainda que com pequenas substituições de agregado plástico.

5 CONCLUSÕES

Considerando o intuito de avaliar o comportamento do resíduo polimérico como agregado miúdo na produção de argamassas, verificou-se que o agregado reciclado apresentou uma curva granulométrica mal graduada, ou seja, fora da zona ótima e utilizável para uso como agregado na construção civil. Além disso, o resíduo polimérico foi classificado como agregado leve tendo em vista sua baixa massa específica e unitária.

Com relação as propriedades no estado fresco, observou-se que o RPT não influenciou na trabalhabilidade das argamassas, modificando somente a densidade de massa fresca, sendo esse um dado positivo, tendo em vista, que esse comportamento impacta na redução de custos de materiais para obras. Deve-se levar em consideração também que para o dimensionamento de lajes, vigas, pilares e fundações o revestimento age como carga atuante, portanto a redução da densidade da argamassa com inserção do resíduo polimérico reduziria os esforços solicitantes nas estruturas.

E vale ressaltar também que a redução das resistências mecânicas não impossibilita a aplicação das argamassas com RPT porque os revestimentos não possuem aplicação estrutural. E além disso, a redução do coeficiente de capilaridade ocasionado pela inserção do resíduo polimérico implicaria em revestimentos mais duráveis e com menores penetrações de água.

Com isso, a hipótese da utilização do agregado polimérico em substituição parcial ao agregado natural para utilização em argamassa para reboco confirmou-se, pois as mesmas apresentaram constâncias nas propriedades de aderência à tração sendo essa uma das características mais significativas, além das citadas anteriormente, para revestimentos argamassados.

Portanto, em pesquisas futuras sugere-se realizar uma substituição em volume do resíduo polimérico pelo agregado natural. Ademais designa-se um tratamento granulométrico a fim de que o RPT atenda as especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009). Indica-se também a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para poder visualizar as interações entre o agregado plástico e o a matriz cimentícia. Por fim, se faz necessário a análise de

viabilidade econômica da substituição de resíduo polimérico pela areia natural na produção de concretos e argamassas.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, EMPRESAS ASSOCIADAS; ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. **São Paulo: Grappa**, 2021

AGUIAR NETO, S. A. **Produção de argamassas com aproveitamento de resíduos de polímeros etilenos e propilenos como materiais de construção civil**. 2020. 211 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

AKÇAÖZOĞLU, S.; ATIŞ, C. D.; AKÇAÖZOĞLU, K. An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. **Waste management**, v. 30, n. 2, p. 285-290, 2010.

AKINYELE, J. O.; AJEDE, A. The use of granulated plastic waste in structural concrete. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, v. 10, n. 2, p. 169-175, 2018.

ALMEIDA, S. L. M., LUZ, A. B. Manual de agregados para a construção civil. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 432p, 2012.

ALMESHAL, I. et al. Eco-friendly concrete containing recycled plastic as partial replacement for sand. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 3, p. 4631-4643, 2020.

ALMESHAL, I. et al. Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review. **Construction and Building Materials**, v. 253, p. 119146, 2020.

ALQAHTANI, F. K. et al. Novel lightweight concrete containing manufactured plastic aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 386-397, 2017.

ARAÚJO JÚNIOR, J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físicomecânicas das argamassas de revestimento**. 2004.175 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Estruturas e construção civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

Associação brasileira da indústria do plástico. **Perfil 2018**. São Paulo: ABIPLAST, 2018. Disponível em: http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web_VC.pdf. Acesso em: 12 jan. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258**: argamassa para revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: água para amassamento do concreto. Parte 1 — Requisitos. Rio de Janeiro, dezembro de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó — determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: cimento Portland - requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16915**: agregados - amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**: agregado miúdo - determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: agregados - determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: concreto e argamassa — determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-1**: concreto endurecido - determinação dos módulos de elasticidade e de deformação - parte 1: módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 35**: agregados leves para concreto estrutural - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 7211**: agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 9935**: agregados – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO- ANEPAC. **Mercado: perspectivas para o setor de agregados**. São Paulo: ANEPAC, 2016. Disponível em: <http://www.anepac.org.br/agregados/mercado>. Acesso em: 20 de mai. 2020.

AWOYERA, P. O.; ADESINA, A. Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective. **Case Studies in Construction Materials**, v. 12, p. e00330, 2020

AWOYERA, P.; ONOJA, E.; ADESINA, A. Fire resistance and thermal insulation properties of foamed concrete incorporating pulverized ceramics and mineral admixtures. **Asian Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 1, p. 147-156, 2020.

AZHARPOUR, A. M.; NIKOUDEL, M. R.; TAHERI, M. The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; a laboratory evaluation. **Construction and Building Materials**, v. 109, p. 55-62, 2016.

BAÍIA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa**. 4 ed. São Paulo: Nome da Rosa, 2008.

BARROS, D. T. et al. Avaliação de impacto ambiental na Extração de areia nos rios Canindé-CE. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, VI. 2017, Belém, PA.

BARROS, M. M. S. B.; MACIEL, L. L.; SABBATINI, F. H.; Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos. 1998. 40 f. São Paulo. Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1998.

BAUERA, E. et al. Avaliação da consistência das argamassas industrializadas projetadas utilizando o método vane Evaluation of prepackaged sprayed mortars consistency by vane test. BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, v. 2, 2010.

BIAVA, J. F. et al. **Contribuição ao estudo de argamassas de emboço com aditivo incorporador de ar**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BIGOTTO, S. A. M. et al. Produção de Argamassas com Substituição Parcial de Areia Natural por Resíduo de PET. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 12, n. 25, 2019.

BING, C.; NING, L. Pesquisa experimental sobre propriedades do concreto emborrachado fresco e endurecido. **Revista de Materiais em Engenharia Civil**, v. 26, n. 8, pág. 04014040, 2014.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2018. DNPM, 2018.: il.

BRITANNICA, The Editors of Encyclopaedia. "polymer". **Encyclopedia Britannica**, 22 Oct. 2021, <https://www.britannica.com/science/polymer>. Acesso: 31 de janeiro de 2022.

CABEZA, L. F. et al. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 394–416, 2014.

CANELLAS, S. S.; D'ABREU, J. C. Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas. **encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa, ENTMME**, v. 21, p. 299-304, 2005.

CAPELEZZO, A. P. et al. Polímero biodegradável antimicrobiano através da aditivação com compostos a base de zinco. **Química Nova**, v. 41, p. 367-374, 2018.

CARASEK, H. et al. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 21, p. 714-732, 2016.

CARASEK, H. Argamassas - Cap. 26. In: ISAIA, Geraldo C. (Org). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 3ª ed. v.2. 2017.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. Descolamento de Revestimentos de Argamassa Aplicados sobre Estruturas de Concreto—Estudos de casos brasileiros. In: **Lisboa: 2º Congresso Nacional de Argamassa de Construção**. 2007.

CHOI, Y. W. et al. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. **Cement and concrete research**, v. 35, n. 4, p. 776-781, 2005.

CHOWDHURY, H.; CHOWDHURY, T.; SAIT, S. M. Estimating marine plastic pollution from COVID-19 face masks in coastal regions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 168, p. 112419, 2021.

CINCOTTO, M. A; QUARCIONI, V.A; JOHN, V.M. Cal na construção civil. In: ISAIA, G. C (Org.). **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E PRINCÍPIOS DE CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS**. 1ªed. São Paulo, IBRACON, 2007, v. 1, p. 695-726.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 307 de 5 de julho de 2002.

CORREA, P. M. et al. Potential use of PET and PP as partial replacement of sand in structural concrete. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, 2021.

DYER, P.P.O.L.; MANCINI, S.D. A utilização de resíduos de pet poli (tereftalato de etileno) como agregado em argamassa. In: **25º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 2009, Recife. Anais. Recife: 9-19 set, 2009.

FECHINE, G. J. M. **Polímeros biodegradáveis: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial**. SciELO-Editora Mackenzie, 2013.

FILIMONAU, V. The prospects of waste management in the hospitality sector post COVID-19. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 105272, 2021.

FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos**. São Paulo: Pini, 1994

FUSCO, P.B. Tecnologia do Concreto Estrutural. 2ª Ed. **PINI**. São Paulo, 2012.

GASPERIN, J. **Aderência dos revestimentos de argamassa em substratos de concreto: Influência da forma de aplicação e composição do chapisco**. Defesa (Mestrado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2011

GU, L.; OZBAKKALOGLU, T. Use of recycled plastics in concrete: A critical review. **Waste Management**, v. 51, p. 19-42, 2016.

HAGHIGHATNEJAD, N. et al. Properties of recycled PVC aggregate concrete under different curing conditions. **Construction and Building Materials**, v. 126, p. 943-950, 2016.

HAMEED, A. M.; AHMED, B. A. F. Employment the plastic waste to produce the light weight concrete. **Energy Procedia**, v. 157, p. 30-38, 2019.

HAWKEN, Paul (Ed.). **Drawdown: The most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming**. Penguin, 2017.

HERMANN, A.; ROCHA, J. P. de A. **Pesquisa de viabilidade da utilização da argamassa estabilizada modificada para revestimento sem a necessidade de aplicação do chapisco**.

2013. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UFPR. Pato Branco, 2013.

IBRAM. **Informações e análises da economia mineral brasileira 2020**. Ano base 2019. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração. 84p.,2020.

IBRAM. **Instituto Brasileiro de Mineração**. Informações e análises da economia mineral brasileira. 7ª. Edição. 2012. Disponível em: <https://ibram.org.br/>. Acesso em 02 de jan. de 2022.

JAIVIGNESH, B.; SOFI, A. Study on mechanical properties of concrete using plastic waste as an aggregate. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2017. p. 012016.

KAZA, S.et al. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. World Bank Publications, 2018.

KOLHAPURE, B. K. et al. Eco-friendly concrete by partial replacement of sand by shredded pieces of PET plastic bottles. **Int. Res. J. Eng. Tech**, v. 5, n. 5, p. 1259-1263, 2018.

LANDIM, R. C. G. Dynamical analysis for a vector-like dark energy. **The European Physical Journal C**, v. 76, n. 9, p. 1-6, 2016.

LENNON, B.; KARBHARI, V. M.; ALLEN, H. Performance enhancement of concrete through the use of waste injection molding pellets: a preliminary study of viability. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 6, n. 1, p. 49-61, 1993.

LIU, S. J. Polymer cement concrete composites. 1988. 98 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculty of The Graduate School, New Jersey Institute of Technology, New Jersey, 1988.

MAHMOOD, R. A.; KOCKAL, N. U. Cementitious materials incorporating waste plastics: a review. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 12, p. 1-13, 2020.

MARTINS, C. H. et al. Resistência simples à compressão e módulo de elasticidade do concreto produzido com substituição parcial de agregado miúdo por resíduos plásticos. **Mix Sustentável**, v. 4, n. 2, p. 123-130, 2018.

MATOS, P. R. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2013. 74 f. Trabalho de Dissertação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2013.

MELLO, A. L. **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa**. 172p. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado), Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Ministério do Meio Ambiente. Saco é um saco. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/saco-e-um-saco>. Acesso em: 02 jun. 2019.

MOHAMMED, A. A.; MOHAMMED, I. I.; MOHAMMED, S. A. Some properties of concrete with plastic aggregate derived from shredded PVC sheets. **Construction and Building Materials**, v. 201, p. 232-245, 2019.

- NEVES, R. A. B. et al. **Revestimento de fachada reboco projetado**. 2015.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto-5ª Edição**. Bookman Editora, 2015.
- NUNES, E. C. D.; SANTOS, L. J. Termoplásticos: estruturas, propriedades e aplicações. **Editora Érica: São Paulo**, 2015.
- OSPINA, L. E. ¿ Planeta de plástico? problemática y futuro. **Revista colombiana de zootecnia**, v. 5, n. 10, p. 5-5, 2019.
- ÖZTÜRK, İ. The COVID-19 pandemic and waste management. **Duzce Medical Journal**, v. 23, n. Special Issue, p. 27-29, 2021.
- Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>
- PARK, S. Ho; KIM, S. H. Reciclagem de poli (tereftalato de etileno) para têxteis de alto valor agregado. **Moda e Têxteis**, v. 1, n. 1, pág. 1-17, 2014.
- POLYPROPYLENE MARKET REPORT, Mainaustrasse, Germany, 2021a. Disponível em: <https://www.ceresana.com/en/market-studies/plastics/polypropylene/>. Acesso em: 20 maio.2021.
- RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- RIBEIRO, C. C. **Materiais de construção civil**. Editora UFMG, 2002.
- RUIZ-HERRERO, J. L. et al. Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste. **Construction and Building Materials**, v. 104, p. 298-310, 2016.
- SAFI, B. et al. The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 43, p. 436-442, 2013.
- SAIKIA, N.; DE BRITO, J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. **Construction and Building Materials**, v. 34, p. 385-401, 2012.
- SANTOS, A. G.; FERRARI, A. K. Influência do resíduo de PVC como agregado no concreto para peças de pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p. 39-51, 2019.
- SANTOS, L. P.; DALL'OGGIO, V. **Análise comparativa entre argamassa estabilizada e argamassa preparada em obra**. 2017. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.
- SCICOLONE, G. (2009) **Restauración de la Pintura Contemporánea de las técnicas de intervención tradicionales a las nuevas metodologías**. 2ªEd. Editorial Nerea.
- Setor Mineral Brasileiro antes e durante a pandemia de Covid-19: um retrato entre 2018 e 2020 / José Antônio Sena... [et al.]. — Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021.

SHEN, L.; HAUFE, J.; PATEL, M. K. Product overview and market projection of emerging bio-based plastics PRO-BIP 2009. **Report for European polysaccharide network of excellence (EPNOE) and European bioplastics**, v. 243, p. 1-245, 2009.

SHUBBAR, S. D. A; AL-SHADEEDI, A. S. Utilization of waste plastic bottles as fine aggregate in concrete. **Kufa journal of Engineering**, v. 8, n. 2, 2017.

SILBERMANN, S.; WEILACH, C.; KLIBA, G.; FACKLER, K.; POTTHAST, A. Improving molar mass analysis of cellulose samples with limited solubility. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 178, p. 302–310, 2017

SILBERMANN, S. et al. Improving molar mass analysis of cellulose samples with limited solubility. **Carbohydrate polymers**, v. 178, p. 302-310, 2017.

SINGH, P.; SHARMA, V. P. Integrated plastic waste management: environmental and improved health approaches. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 692-700, 2016.

SOARES, E. A. **Polipropileno (PP)**. Disponível em: <[https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/604-Polipropileno-\(PP\).html](https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/604-Polipropileno-(PP).html)>. Acesso em: 03 de março. 2022.

STIFTUNG, H. B. (2020). **Atlas do plástico: fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll.

SULE, J. et al. Use of waste plastics in cement-based composite for lightweight concrete production. **Int J Res Eng Technol**, v. 2, n. 5, p. 44-54, 2017.

Sustainable Materials Management: The Road Ahead; Environmental Protection Agency: Washington, DC, 2009. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/vision2.pdf>. acessado 08 de fev. de 2022.

THORNEYCROFT, J. et al. Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 63-69, 2018.

TOMASZEWSKA, J. et al. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. **RSC advances**, v. 8, n. 6, p. 3161-3177, 2018.

TREVISOL, L. A. **Estudo comparativo entre as argamassas: estabilizada dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2015.

TSAI, W. T. Analysis of plastic waste reduction and recycling in Taiwan. **Waste Management & Research**, v. 39, n. 5, p. 713-719, 2021.

VALVERDE, F. M. O “novo normal” na indústria de Agregados. Revista Areia & Brita ANEPAC, São Paulo, Ed.76. p. 15-17. dez. 2020.

VENITEZ-MOSQUERA, J. F. et al. Propiedades mecánicas de concretos modificados con plastico marino reciclado en reemplazo de los agregados finos. **Revista Politécnica**, v. 16, n. 31, 2020.

VIACELLI, L. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

WAN, E.; GALEMBECK, E.; GALEMBECK, F. Polímeros sintéticos. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, v. 2, p. 5-8, 2001.

World Wide Fund for Nature. Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização. 2019. Disponível em: <http://promo.wwf.org.br/solucionar-apoluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao>. Acesso em: 18 setembro de 2019.

XIANG, M. et al. Polymer composites completely derived from waste: the crystalline structure and the mechanical enhancement effect. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 3, n. 7, p. 3679-3684, 2021. FEDERATION, British Plastic. Polyvinyl Chloride(PVC). **British Plastics Federation**, 2022.

APÊNDICE A – Índice de Consistência

- Valores individuais, média e desvio padrão

Teor (%)	0	2	4	6
	314,67	314,67	303,10	299,47
Espalhamento (mm)	288,48	309,28	294,65	306,39
	305,31	307,21	282,33	313,79
Média (mm)	302,82	310,38	293,36	306,55
Desvio Padrão (mm)	13,27	3,85	10,44	7,16

APÊNDICE B– Retenção de água

- Valores individuais, média e desvio padrão

Teor (%)	0%	2%	4%	6%
	95,30	95,81	95,80	96,89
Retenção de água (%)	93,95	93,28	93,81	93,07
	94,43	95,08	93,64	93,43
Média (%)	94,56	94,72	94,42	94,46
Desvio Padrão (mm)	0,68	1,30	1,20	2,11

APÊNDICE C– Densidade de massa e teor de ar incorporado

- Valores individuais, média e desvio padrão – Densidade de massa

Teor (%)	0%	2%	4%	6%
	2050,03	1827,65	1801,10	1580,17
Densidade (kg/m ³)	2052,57	1844,88	1713,19	1624,70
	2073,83	1875,84	1758,33	1701,86
Média (mm)	2058,81	1849,46	1757,54	1635,57
Desvio Padrão (mm)	13,07	24,42	43,96	61,57

- Valores individuais, média e desvio padrão - Teor de ar incorporado

Teor (%)	0%	2%	4%	6%
	6,49	15,42	15,46	24,78
Teor de ar incorporado (%)	6,38	14,63	19,59	22,66
	5,41	13,19	17,47	18,99
Média (mm)	6,09	14,41	17,50	22,14
Desvio Padrão (mm)	0,60	1,13	2,06	2,93

APÊNDICE D – Tração na Flexão

- Valores individuais, médios, desvio padrão e desvio absoluto máximo

Idade/Teor	0%	2%	4%	6%
Resistência 3 dias (Mpa)	3,94	2,61	2,55*	2,63
	4,56	2,37	3,21	2,77
	4,15	2,49	3,23	2,95
	4,28	2,50	2,96	2,75
	3,11*	2,06	2,65*	2,36
Média (Mpa)	4,01	2,41	2,92	2,69
Desvio Padrão (Mpa)	0,55	0,21	0,32	0,22
Desvio Absoluto Máximo (Mpa)	0,3	0,3	0,2	-0,3
Resistência 7 dias (Mpa)	4,56	2,99	2,71*	3,05
	4,44	3,09	3,82*	3,35
	3,50*	3,20	3,29	3,21
	4,26	3,06	3,13	3,05
	3,59*	2,96	3,34	3,05
Média (Mpa)	4,07	3,06	3,26	3,14
Desvio Padrão (Mpa)	0,49	0,10	0,40	0,14
Desvio Absoluto Máximo (Mpa)	0,2	-0,1	0,1	-0,2
Resistência 14 dias (Mpa)	4,00	3,64	4,04	3,30
	4,35	3,61	4,06	4,05*
	5,78*	3,53	3,89	3,47
	4,03	3,54	4,23	3,41
	5,94*	3,64	4,28	3,40
Média (Mpa)	4,82	3,59	4,10	3,53
Desvio Padrão (Mpa)	0,96	0,05	0,16	0,30
Desvio Absoluto Máximo (Mpa)	-0,2	0,1	-0,2	-0,1
Resistência 28 dias (Mpa)	4,30	4,09	4,01	4,19
	4,02	3,94	4,34	2,42*
	5,64*	4,10	4,47	4,03
	5,28*	3,23*	4,24	3,62
	4,80*	3,56*	3,83	2,84*
Média (Mpa)	4,81	3,79	4,18	3,42
Desvio Padrão (Mpa)	0,67	0,38	0,26	0,76
Desvio Absoluto Máximo (Mpa)	-0,1	0,1	-0,3	0,3
Resistência 91 dias (Mpa)	5,60*	3,50	4,73	2,95
	6,06*	4,58*	3,95	3,39
	4,91	4,22*	3,687	3,73*
	4,34*	3,72	3,83	3,12
	4,98	3,75	3,68	5,09*

Média (Mpa)	5,18	3,95	3,98	3,66
Desvio Padrão (Mpa)	0,66	0,44	0,44	0,86
Desvio Absoluto Máximo (Mpa)	0,0	0,2	-0,2	-0,2

APÊNDICE E – Compressão axial

- Valores individuais, médios, desvio padrão e desvio absoluto máximo

Teor	0%		2%		4%		6%	
Resistência 3 dias (Mpa)	20,36	20,79*	14,49*	12,65	11,42	11,55	11,41*	10,44
	15,82*	19,84	12,31	12,55	10,96	11,82*	13,07*	11,53*
	17,72*	18,27*	13,85*	14,46*	11,25	10,51	12,74	12,90*
	18,50*	19,71	13,40*	13,79*	9,88*	10,55	10,20	10,09
	19,82	19,88	12,21	12,02	9,33*	9,66*	9,34*	9,06*
Média (Mpa)	19,07		13,17		10,69		11,08	
Desvio Padrão (Mpa)	1,50		0,94		0,85		1,47	
Resistência 7 dias (Mpa)	23,20	23,72	16,73	16,22	16,92	17,07	13,13*	11,89
	23,97	23,70	13,50*	12,68*	17,29	14,70*	12,52	13,38*
	23,36	22,81*	16,19	14,58*	17,42	15,90*	12,34	13,54*
	23,63	24,69*	16,04	15,81	16,85	16,84	12,52	11,16*
	22,28*	26,09*	14,60*	13,91*	16,55	16,82	12,93*	11,90
Média (Mpa)	23,74		15,03		16,64		12,53	
Desvio Padrão (Mpa)	1,05		1,37		0,80		0,74	
Resistência 14 dias (Mpa)	26,35	26,57	16,83	16,00*	15,23*	18,38	14,55	12,45*
	30,07*	26,97	16,98	17,34	15,28*	18,01	12,72*	14,96*
	24,99*	24,45*	18,08*	17,46	17,50*	17,67	14,23	14,18
	26,37	25,04*	17,31	16,92	18,35	16,62*	13,16*	14,25
	22,22*	20,52*	17,74	16,14*	18,38	18,04	15,06*	13,94
Média (Mpa)	25,35		17,08		17,35		13,95	
Desvio Padrão (Mpa)	2,64		0,65		1,22		0,90	
Resistência 28 dias (Mpa)	27,56	23,89*	17,52*	18,23*	14,36*	15,88*	16,89*	11,41
	26,96	24,83*	17,81*	15,65	18,99	19,32	16,57*	17,94*
	27,62	26,76	16,83*	16,11	18,23	17,12*	16,93*	13,97*
	25,93*	26,69	15,97	16,19	19,06	19,83*	12,69*	13,20*
	28,50*	28,51*	14,69*	15,72	18,24	17,91*	11,18	11,23
Média (Mpa)	26,73		16,47		17,89		14,20	
Desvio Padrão (Mpa)	1,50		1,10		1,69		2,65	
Resistência 91 dias (Mpa)	27,89	28,27	18,16	18,60	18,89	18,10*	13,41	15,03*
	27,94	25,81*	16,55*	17,57*	17,71*	18,69	18,76*	17,67*
	29,51*	24,21*	18,96	19,88*	17,31*	16,64*	13,77	13,67
	27,17*	29,09*	19,86*	20,81*	16,84*	15,44*	13,73	13,73
	26,76*	26,25*	18,40	16,60*	19,34	19,14	14,49*	14,08
Média (Mpa)	27,29		18,54		17,81		14,83	
Desvio Padrão (Mpa)	1,60		1,40		1,26		1,86	

APÊNDICE F - Tração por compressão diametral

- Valores individuais, médios, desvio padrão

Teor (%)	0	2	4	6
	3,793	4,126	2,531	2,288
Resistência à tração (g/cm ³)	3,655	3,883	2,690	2,165
	3,700	3,015	2,359	2,196
	3,521	3,181	2,653	2,186
	3,789	3,208	2,783	2,005
Média	3,692	3,483	2,603	2,168
Desvio padrão (g/cm ³)	0,112	0,49	0,16	0,10

APÊNDICE G – Aderência à tração

- Valores individuais, médios, desvio padrão

Teor	0%		2%		4%		6%	
	0,40	0,59	0,32*	0,67	0,62	0,50	0,32*	0,20*
Resistência 28 dias	0,82*	0,76*	0,82*	0,24*	0,72	0,41	0,80*	0,42
(Mpa)	0,35*	0,19*	0,63	0,38	0,63	0,90*	0,55	0,64
	0,50	0,90*	0,79*	0,57	0,93*	0,49	0,58	0,43
	0,65	0,51	0,42	0,68	0,39*	0,26*	0,95*	0,65
Média (Mpa)	0,53		0,56		0,56		0,55	
Desvio Padrão (Mpa)	0,22		0,20		0,24		0,22	

APÊNDICE H - Módulo de elasticidade

- Valores individuais, médio e desvio padrão

Teor (%)	0	2	4	6
	29,3652	19,4807	14,6633	11,876
Módulo de elasticidade (GPa)	25,3970	17,9822	14,6633	13,525
	24,3285	17,5557	14,5319	15,285
Média	26,3636	18,3395	14,6195	13,562
Desvio padrão (GPa)	2,65	1,01	0,08	1,70

APÊNDICE I - Massa específica

- Valores individuais, médios, desvio padrão – Massa específica seca

Teor (%)	0	2	4	6
	1,916	1,809	1,694	1,515
	1,922	1,817	1,706	1,560
Massa específica (g/cm ³)	1,935	1,849	1,689	1,567
	1,928	1,795	1,692	1,592
	1,864	1,803	1,681	1,549
Média	1,913	1,815	1,693	1,557
Desvio padrão (g/cm ³)	0,028	0,021	0,009	0,028

- Valores individuais, médios, desvio padrão – Massa específica saturada

Teor (%)	0	2	4	6
	2,152	2,039	1,919	1,753
	2,158	1,974	1,934	1,798
Massa específica (g/cm ³)	2,166	2,079	1,921	1,807
	2,168	2,031	1,917	1,839
	2,076	2,034	1,910	1,788
Média	2,144	2,031	1,920	1,797
Desvio padrão (g/cm ³)	0,038	0,037	0,009	0,031

- Valores individuais, médios, desvio padrão – Massa específica real

Teor (%)	0	2	4	6
	2,507	2,351	2,186	1,988
	2,517	2,360	2,211	2,048
Massa específica real (g/cm ³)	2,515	2,401	2,198	2,061
	2,536	2,348	2,183	2,116
	2,365	2,345	2,181	2,035
Média	2,488	2,361	2,192	2,049
Desvio padrão (g/cm ³)	0,070	0,023	0,013	0,046

- Valores individuais, médios, desvio padrão – Densidade aparente seca

Teor (%)	0	2	4	6
	2,03	1,86	1,89	1,62
Densidade aparente seca (g/cm ³)	2,02	1,83	1,79	1,62
	2,03	1,77	1,72	1,64
Média	2,03	1,82	1,80	1,625
Desvio padrão (g/cm ³)	0,00	0,05	0,08	0,01

APENDICE J - Absorção por capilaridade

- Valores individuais, médios, desvio padrão – A10

Teor (%)	0	2	4	6
A 10(g/cm ²)	0,1250	0,0975	0,0544	0,060
	0,1456	0,1200	0,0887	0,114
	0,1219	0,0950	0,0575	0,093
	0,1400	0,0888	0,1388	0,104
	0,1575	0,1344	0,0563	0,086
Média	0,14	0,11	0,08	0,09
Desvio padrão (g/cm ²)	0,0148	0,0193	0,0362	0,021

- Valores individuais, médios, desvio padrão – A90

Teor (%)	0	2	4	6
A 90 (g/cm ²)	0,2900	0,1844	0,1219	0,145
	0,2700	0,2469	0,2075	0,249
	0,2488	0,2156	0,1750	0,213
	0,2881	0,2063	0,2994	0,249
	0,3106	0,2900	0,1331	0,181
Média	0,28	0,23	0,19	0,21
Desvio padrão (g/cm ²)	0,0233	0,0410	0,0713	0,045

- Valores individuais, médios, desvio padrão – Coeficiente de capilaridade

Teor (%)	0	2	4	6
Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	2,64	1,39*	1,08*	1,36*
	1,99	2,03	1,90	2,16
	2,03	1,93	1,88	1,91
	2,37	1,88	2,57*	2,31
	2,45	2,49*	1,23*	1,53*
Média	2,30	1,95	1,89	2,13
Desvio padrão (g/dm ² .min ^{1/2})	0,28	0,40	0,61	0,404

APENDICE K - Absorção por imersão e índice de vazios

- Valores individuais, médios, desvio padrão – Absorção de água

Teor (%)	0	2	4	6
	12,308	12,752	13,293	15,691
	12,311	12,656	13,389	15,284
Absorção de água (%)	11,910	12,438	13,695	15,279
	12,444	13,121	13,296	15,560
	11,348	12,815	13,624	15,396
Média	12,064	12,756	13,459	15,442
Desvio padrão (%)	0,45	0,25	0,19	0,18

- Valores individuais, médios, desvio padrão – índice de vazios

Teor (%)	0	2	4	6
	23,582	23,063	22,519	23,780
	23,659	23,001	22,841	23,835
Índice de vazios (%)	23,049	22,998	23,136	23,945
	23,990	23,556	22,495	24,769
	21,158	23,104	22,907	23,854
Média	23,087	23,144	22,780	24,037
Desvio padrão (%)	1,13	0,23	0,27	0,41