

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE Mestrado Profissional em Materiais**

**GIOVANI MEIRELLES FONSECA**

**CONFEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE  
AGREGADOS POR PEAD MICRONIZADO, PARA APLICAÇÕES ESTRUTURAIS**

**VOLTA REDONDA**

**2019**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**CONFECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE  
AGREGADOS POR PEAD MICRONIZADO, PARA APLICAÇÕES ESTRUTURAIS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais poliméricos, linha de pesquisa em materiais poliméricos.

Aluno:

Giovani Meirelles Fonseca

Orientador:

Prof. Dr<sup>o</sup>. Ricardo de Freitas Cabral

Co orientadora:

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Cirlene Fourquet Bandeira

**VOLTA REDONDA**

**2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

F676c Fonseca, Giovani Meirelles.

Confecção e caracterização de concreto com substituição de agregados por pead micronizado, para aplicações estruturais. / Giovani Meirelles Fonseca. - Volta Redonda: UniFOA, 2019. 75 p. II.

Orientador (a): Profª Dr Ricardo de Freitas Cabral

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2019

1. Materiais - dissertação. 2. Polietileno – alta densidade. 3. PEAD micronizado. 4. Reciclagem. I. Cabral, Ricardo de Freitas. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Aluno: Giovani Meirelles Fonseca**

**CONFEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO  
DE AGREGADOS POR PEAD MICRONIZADO PARA APLICAÇÕES  
ESTRUTURASIS**

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral

Coorientadora:

Cirlene Fourquet Bandeira

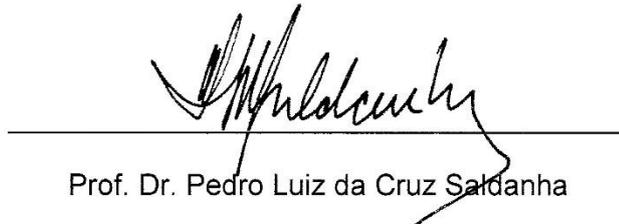
Banca Examinadora



Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral



Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato



Prof. Dr. Pedro Luiz da Cruz Saldanha

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a DEUS, por ser essencial, pois me deu forças e coragem para enfrentar novos desafios.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a todos os professores que dedicaram seu tempo compartilhando conhecimento, em especial ao Prof.Dr. Ricardo de Freitas Cabral e a Prof. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira que foram essenciais, a todos os técnicos do laboratório que não mediram esforços nas vezes que precisei, a Daniela Puig da empresa A. Schulman que me fez a doação do PEAD micronizado, a todos os amigos que estiveram presentes nesta caminhada.

## RESUMO

Objetivou-se pelo presente estudo avaliar a utilização de partículas de polietileno de alta densidade (PEAD) micronizado, como alternativa aos agregados naturais da argamassa de cimento. Avaliaram-se as propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa de cimento, brita e areia, sendo esta tomada como referência e com a substituição em volume nos percentuais de 5%, 10%, 30% e 50% por partículas de PEAD micronizado, mantendo-se a relação água/cimento em todos os traços.

Produziram-se doze corpos de provas de cada composição e aos 7, 14, 21 e 28 dias foram desenhados três corpos de provas de cada composição onde realizaram-se ensaios de compressão axial, ensaios para a determinação da absorção de água e índice de vazios, por meio de imersão e MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) onde produziram-se imagens de alta resolução de uma superfície de amostras de cada composição.

Em todas as idades (7, 14, 21 e 28 dias) verificou-se que a resistência da compressão axial da composição de 5% com agregado PEAD, apresentou o melhor resultado de todas as outras composições atingindo um valor de 25,25 MPa na idade de 28 dias.

Nos ensaios de absorção de água observou-se que a composição sem a adição do PEAD (0%) foi a que absorveu mais água prevalecendo também na média e no desvio padrão (7,06%). Os corpos de prova que absorveram pouca água foram os da composição de 30% prevalecendo também na média e no desvio padrão (5,08%).

Para o índice de vazios observou-se que a composição de 50% do corpo de prova um foi a que apresentou um índice de vazios ( $I_v$ ) mais baixo (10,46%) em relação ao corpo de prova dois prevalecendo este valor mais baixo também na média e no desvio padrão (11,91%).

Nas imagens de alta resolução, em MEV, das superfícies das amostras de cada composição, observou-se que as partículas do PEAD micronizado aparecem com mais intensidade na composição de 50% onde a mistura ficou mais homogênea.

Os objetivos deste trabalho foram alcançados, pois conseguiu-se um aumento na resistência axial da composição de 5% de 21,72% a mais na idade de 7 dias em relação ao corpo de prova que não obteve a adição do PEAD o qual foi tomado como referência.

**Palavras-chave:** Polietileno alta densidade, micronizado, concreto, reciclagem.

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the use of micronized high density polyethylene (HDPE) particles as an alternative to the natural aggregates of cement mortar. The properties of the fresh and hardened state of the mortar of cement, gravel and sand were evaluated, being this one taken as reference and with the substitution in volume in the percentages of 5%, 10%, 30% and 50% for particles of micronized HDPE, maintaining the relation water / cement in all the traces.

Twelve test bodies of each composition were produced and at 7, 14, 21 and 28 days, three test bodies of each composition were deformed for axial compression tests, water absorption tests and voids index, by means of immersion and SEM (Scanning Electron Microscopy) where high resolution images of one surface of samples of each composition were produced.

At all ages (7, 14, 21 and 28 days), it was found that the axial compression strength of the 5% composition with HDPE aggregate showed the best result of all other compositions reaching a value of 25.25 MPa at age of 28 days.

In the water absorption tests it was observed that the composition without the addition of HDPE (0%) was the one that absorbed more water, also prevailing in the mean and standard deviation (7.06%). The specimens that absorbed little water were those of the composition of 30% also prevailing in the mean and standard deviation (5.08%).

For the void index, it was observed that the composition of 50% of test specimen one was the one with the lowest index of voids (IV) (10.46%) in relation to the body of evidence two, with this lower value also in the mean and standard deviation (11.91%).

In the high-resolution images, in MEV, of the sample surfaces of each composition, it was observed that micronized HDPE particles appear more strongly in the composition of 50% where the mixture became more homogeneous.

The objectives of this work were achieved, as an increase in the axial resistance of the composition of 5% of 21.72% more was achieved at the age of 7 days in relation to the test body that did not obtain the addition of the HDPE which was taken as reference.

**Key words:** High density polyethylene, micronized, concrete, recycling.

## LISTA DE FIGURAS

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| Figura 1.        | Tempo de decomposição dos materiais .....               | 23 |
| Figura 2.        | Relação de material reciclado.....                      | 24 |
| Figura 3.        | Evolução do consumo de PET .....                        | 29 |
| Figura 4.        | Monômero, mero e polímero.....                          | 36 |
| Figura 5.        | Formação de Polímeros.....                              | 37 |
| Figura 6.        | Plastificante.....                                      | 45 |
| Figura 7.        | Fluxograma 1 sem adição de PEAD .....                   | 47 |
| Figura 8.        | Fluxograma 2 com adição de PEAD.....                    | 48 |
| Figura 9.        | Betoneira.....  | 49 |
| Figura 10.       | Corpos de Prova .....                                   | 50 |
| Figura 11.       | Emic PC-150c.....                                       | 51 |
| Figura 12.       | Estufa de esterilização.....                            | 53 |
| Figura 13.       | Corpos de prova.....                                    | 53 |
| Figura 14.       | Balança de precisão BEL modelo Welmy.....               | 54 |
| Figura 15.       | MEV Hitachi TM 3000.....                                | 54 |
| Figura 16.       | Média, Desvio Padrão (MPa) para 7 dias.....             | 57 |
| Figura 17.       | Média, Desvio Padrão (MPa) para 14 dias .....           | 59 |
| Figura 18.       | Média, Desvio Padrão (MPa) para 21 dias .....           | 60 |
| Figura 19.       | Média, Desvio Padrão (MPa) para 28 dias .....           | 61 |
| Figura 20.       | Valores MPa x Tempo de vida.....                        | 62 |
| Figura 21.       | Absorção de água.....                                   | 63 |
| Figura 22.       | Índice de Vazios.....                                   | 64 |
| Figura 23a e 23b | Composição com cimento e PEAD.....                      | 65 |
| Figura 24a e 24b | Composição sem adição de PEAD .....                     | 65 |
| Figura 25a e 25b | Composição com 5% de PEAD em substituição a areia.....  | 66 |
| Figura 26a e 26b | Composição com 10% de PEAD em substituição a areia..... | 66 |
| Figura 27a e 27b | Composição com 30% de PEAD em substituição a areia..... | 67 |
| Figura 28a e 28b | Composição com 50% de PEAD em substituição a areia..... | 67 |

## LISTA DE QUADROS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Quadro 1.  | Classificação da areia quanto ao módulo de finura..... | 44 |
| Quadro 2.  | Tipos de brita.....                                    | 45 |
| Quadro 3.  | Proporções de concreto (sem o PEAD).....               | 50 |
| Quadro 4.  | Proporções do concreto (com PEAD).....                 | 50 |
| Quadro 5.  | Resistência a compressão após 7 dias.....              | 57 |
| Quadro 6.  | Resistência a compressão após 14 dias.....             | 58 |
| Quadro 7.  | Resistência a compressão após 21 dias.....             | 59 |
| Quadro 8.  | Resistência a compressão após 28 dias.....             | 60 |
| Quadro 9.  | Resultados de Absorção de água.....                    | 62 |
| Quadro 10. | Resultados do Índice de vazios.....                    | 64 |

## LISTA DE TABELAS

|        |   |                             |    |
|--------|---|-----------------------------|----|
| Tabela | 1 | Granulometria da areia..... | 55 |
| Tabela | 2 | Granulometria da brita..... | 56 |

## ANEXO

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Anexo 1 | Icorene 4220 HDPE Copolímero Hexeno..... | 75 |
|---------|--|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| PEAD                           | Polietileno de Alta Densidade                |
| Aag                            | Absorção de água                             |
| IV                             | Índice de Vazios                             |
| MEV                            | Microscópio de Varredura Eletrônica          |
| PET                            | Polietileno Tereftalato                      |
| MPa                            | Mega Pascal                                  |
| Msat                           | Massa saturada                               |
| Ms                             | Massa seca                                   |
| Mi                             | Massa imersa                                 |
| CP                             | Corpo de Prova                               |
| CP1                            | Corpo de Prova 1                             |
| CP2                            | Corpo de Prova 2                             |
| CP3                            | Corpo de Prova 3                             |
| RPM                            | Rotação por minuto                           |
| GPa                            | Giga Pascal                                  |
| CBIC                           | Câmara Brasileira da Indústria da Construção |
| RSU                            | Resíduo Sólido Urbano                        |
| CEMPRE                         | Compromisso Empresarial para Reciclagem      |
| CD                             | Compact Disc                                 |
| DVD                            | Digital Vídeo Disc                           |
| PVC                            | Poli Cloreto de Vinila                       |
| NBR                            | Norma Brasileira                             |
| ABNT                           | Associação Brasileira de Normas Técnicas     |
| SiO <sub>2</sub>               | Oxido de Silício                             |
| CaO                            | Oxido de Cálcio                              |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Oxido de Ferro III                           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Oxido de Alumínio                            |
| Ca                             | Cálcio                                       |
| Si                             | Silício                                      |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                 |    |
|-----------------|----|
| Equação 1 ..... | 52 |
| Equação 2 ..... | 52 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 18 |
| 2. OBJETIVO .....   | 19 |
| 3. JUSTIFICATIVA .....  | 20 |
| 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 21 |
| 4.1. Os resíduos sólidos urbanos e os problemas ambientais .....              | 21 |
| 4.2. compreendendo e conceituando os resíduos sólidos.....                    | 21 |
| 4.3. Os Problemas Ambientais do Descarte Incorreto dos Resíduos Sólidos ..... | 22 |
| 4.4. A reciclagem do polímero como solução para a melhoria ambiental .....    | 23 |
| 4.5. Reciclagem dos plásticos.....  | 26 |
| 4.6. Aplicações do PEAD .....   | 29 |
| 4.7. Argamassas .....   | 30 |
| 4.8. Propriedades no estado fresco .....                                      | 32 |
| 4.9. Propriedades no estado endurecido.....                                   | 34 |
| 4.10. Zona de transição agregado pasta de cimento .....                       | 35 |
| 4.11. Os Polímeros .....  | 36 |
| 4.12. Aplicação na Construção Civil .....                                     | 37 |
| 4.13. Estudos com Agregado de Plástico na Construção .....                    | 38 |
| 5. MATERIAIS E MÉTODOS .....  | 43 |
| 5.1. MATERIAIS.....   | 43 |
| 5.1.1 Cimento.....  | 43 |
| 5.1.2 Areia .....   | 43 |
| 5.1.3 Aditivo .....   | 44 |
| 5.1.4 brita.....  | 45 |
| 5.1.5 PEAD .....  | 45 |
| 5.2. MÉTODOS.....   | 46 |
| 5.2.1 Granulometria da Areia e Brita .....                                    | 46 |
| 5.2.2 Fluxograma 1.....   | 47 |
| 5.2.3 Fluxograma 2.....   | 48 |
| 5.2.4 Preparação do concreto .....  | 49 |
| 5.2.5 Preparação dos corpos de prova.....                                     | 49 |
| 5.2.6 Compressão axial .....  | 50 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.2.7  | Absorção de água e Índice de vazios..... | 51 |
| 5.2.8  | MEV.....                                 | 54 |
| 6.     | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....             | 55 |
| 6.1.   | GRANULOMETRIA DA AREIA.....              | 55 |
| 6.2.   | GRANULOMETRIA DA BRITA.....              | 55 |
| 6.3.   | COMPRESSÃO AXIAL.....                    | 56 |
| 6.3.1. | Valores para 7 dias.....                 | 56 |
| 6.3.2. | Valores para 14 dias.....                | 58 |
| 6.3.3. | Valores para 21 dias.....                | 59 |
| 6.3.4. | Valores para 28 dias.....                | 60 |
| 6.3.5. | Valores MPa x Tempo de vida (Dias).....  | 61 |
| 6.4.   | ABSORÇÃO DE ÁGUA.....                    | 62 |
| 6.3    | ÍNDICE DE VAZIOS.....                    | 63 |
| 6.4    | MEV.....                                 | 65 |
| 7.     | CONCLUSÕES.....                          | 69 |
| 8.     | TRABALHOS FUTUROS.....                   | 71 |
| 9.     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....          | 72 |

## 1. INTRODUÇÃO

O problema do acondicionamento de resíduos sólidos em todo o mundo é uma questão preocupante, pois depende de grande empenho por parte da sociedade, para tentar solucioná-lo. A produção de lixo nos países industrializados é inquietante, uma vez que cada pessoa produz uma certa quantidade de lixo todos os dias.

O bem-estar e o conforto ocasionados a partir da Revolução Industrial proporcionaram um aumento considerável de material descartado, ocasionando acréscimo da quantidade de resíduos gerados e não utilizados pelo homem, muitos deles trazendo riscos ao meio ambiente e à saúde humana [1]. No Brasil a situação não é diferente, considerando que ainda há muito a ser feito em relação à deposição dos resíduos sólidos pois 75% das cidades brasileiras ainda dispõem seus resíduos sólidos em lixões.

Muitos resíduos sólidos vão parar diariamente nos lixões, sendo jogados e descartados em locais inadequados, ou até mesmo eliminados de maneira imprópria [1]. Entre vários tipos de materiais encontrados no meio destes pode-se destacar a grande quantidade de polímeros (resíduos plásticos), estes que poderiam ser facilmente reciclados e, assim, proporcionar uma melhoria ambiental [1].

Vários tipos de polímeros podem ser corretamente descartados e, assim, reciclados. Dentre eles, os frascos e garrafas para uso alimentício/hospitalar, cosméticos, bandejas para micro-ondas, filmes para áudio e vídeo, fibras têxteis, embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, garrafeiras, tampas, tambores para tintas, potes para iogurtes, sorvetes, doces, frascos, bandejas de supermercados, geladeiras (parte interna da porta), pratos, tampas, aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos, solados, autopeças, chinelos, pneus, acessórios esportivos e náuticos.

## 2. OBJETIVO

O presente estudo tem por objetivo avaliar a utilização de partículas de polietileno de alta densidade (PEAD) micronizado como alternativa aos agregados naturais da argamassa de cimento, por possuir vantagens como baixo peso específico, resistência a deterioração e à corrosão.

Espera-se que:

- a) Tenha um aumento na resistência axial.
- b) A adição de PEAD micronizado seja benéfica as propriedades da argamassa melhorando o seu desempenho.
- c) Tenha uma maior densidade.
- d) Possa contribuir em algumas aplicações na Engenharia Civil

Almeja-se que este estudo apresente resultados positivos e significativos, e que possa também contribuir com uma gama de vantagens em aplicações estruturais na Engenharia Civil onde pode-se estar substituindo a argamassa utilizada atualmente pela argamassa agregada com o PEAD micronizado na produção de blocos, em pavimentações, em revestimentos de lajes pré-moldadas, em fachadas, ruas, calçadas, elementos pré-moldados, pisos, concreto projetado, estruturas de concreto em túneis e tubos de concreto.

### 3. JUSTIFICATIVA

Todos os dias milhares de toneladas de materiais são desperdiçados pelas indústrias e em nossas casas. A aparente solução para estes problemas é a reciclagem, buscando reduzir a quantidade de resíduos depositados todos os dias em nossos aterros, e otimizando o uso de nossos recursos naturais.

Conquanto aos plásticos, eles ocupam a segunda colocação na quantidade de resíduos sólidos descartados no Brasil, nos dias atuais o impacto de quaisquer resíduos no meio ambiente é uma realidade que não apenas visa atender as normas e leis regulamentadoras, mas também em contribuir de forma direta, portanto o reaproveitamento de materiais reciclados se faz necessário.

A cadeia produtiva dos plásticos contribui decisivamente para o desenvolvimento sustentável, ajudando na conservação dos recursos naturais, melhorando a qualidade de vida das pessoas e contribuindo para o crescimento econômico. Custos competitivos, facilidade de instalação e baixa manutenção tornam os plásticos perfeitamente adequados para o atendimento das necessidades básicas: habitação, saneamento, suprimento de água e saúde.

A reciclagem de plástico começou a ser realizada pelas próprias indústrias, para o reaproveitamento de suas perdas de produção. Quando o material passou a ser recuperado em maior quantidade, separado do lixo, formou-se um novo mercado, absorvendo modernas tecnologias para possibilitar a produção de artigos com percentual cada vez maior de plástico reciclado.

Este estudo apresenta resultados positivos e significativos e espera-se que possa também contribuir com uma gama de vantagens em aplicações estruturais na construção civil e obras de infraestrutura onde pode-se substituir a argamassa utilizada atualmente pela argamassa agregada com o PEAD micronizado.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Os resíduos sólidos urbanos e os problemas ambientais**

As pessoas costumam associar a palavra lixo à sujeira, imundice, restos. Derivada do latim *lix* (cinza), o lixo tecnicamente é conhecido como “Resíduo Sólido Urbano” (RSU) [1]. Até o começo da Revolução Industrial nosso lixo era composto basicamente de restos e sobras de alimentos, e de restos dos produtos manufaturados da época, a partir dessa era ele passou a considerar todo e qualquer material descartado e rejeitado pela sociedade.

Um dos problemas ambientais das cidades contemporâneas é a geração excessiva de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), as sobras da civilização, o desperdício. A quantidade crescente de resíduos sólidos gerados nas mais diversas atividades humanas, seja nas residências, nos comércios, nos serviços e nas manutenções das cidades tem sido causada pelo modelo atual de desenvolvimento econômico, pelo crescimento acelerado da população e sua concentração em cidades e, também, pela mudança de padrão de consumo ocorrida nas últimas décadas.

### **4.2. COMPREENDENDO E CONCEITUANDO OS RESÍDUOS SÓLIDOS**

Importante, aqui, compreender o conceito de resíduos sólidos. A NBR-10004 (2004) [2] define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Classificação de resíduos sólidos considerada de outra forma [3].

A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto a saúde e ao meio ambiente é conhecido, devendo ser a identificação dos constituintes criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem.

Embora a maioria dos domicílios e demais geradores de RSU esteja ciente dos riscos do descarte inadequados destes resíduos para o meio ambiente, bem como das alternativas para atenuar os impactos negativos decorrentes da degradação ambiental, na sua grande maioria, aceita a convivência com os agravos observados, assumindo frequentemente uma atitude apática em face da existência do problema.

Dito isso, cabe aqui uma contextualização histórica dos principais acontecimentos mundiais, referentes ao assunto em questão, procurando mostrar tanto as alterações socioambientais trazidas pela modernidade.

#### **4.3. Os Problemas Ambientais do Descarte Incorreto dos Resíduos Sólidos**

Os resíduos sólidos não tratados, por sua disposição incorreta, acabam contaminando as águas do lençol freático, além de outros problemas sanitários ambientais. Deve-se lembrar que boa saúde requer não apenas acesso a tratamento médico, mas também um meio ambiente natural e social saudáveis.

Mesmo quando há minimização, algum resíduo sempre resta. Mesmo depois de tratadas, todas as descargas produzem algum impacto residual no meio ambiente que as recebe. Por isso a importância da reciclagem para minimizar os problemas ambientais.

#### 4.4. A reciclagem do polímero como solução para a melhoria ambiental

Reciclar é “economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o resíduo que seria jogado fora, para que o mesmo seja usado novamente como matéria-prima” [4].

A crescente sensibilização para a área ambiental tem contribuído para o aumento da preocupação com a eliminação dos resíduos gerados pelos processos industriais. A gestão dos resíduos sólidos é uma das principais preocupações ambientais do mundo. Com a escassez de espaço para aterros e devido ao crescente custo, a utilização de resíduos tornou-se uma alternativa atraente para sua eliminação [5].

A disposição inadequada de materiais industrializados gera grandes impactos ambientais, pois tais materiais podem perturbar significativamente os processos e as relações de dependência entre os seres vivos e seres inanimados dos ecossistemas, por permanecer no meio ambiente sem sofrer biodegradação por longos períodos, conforme demonstrado na Figura 1 [6].

| MATERIAL                   | TEMPO DE DECOMPOSIÇÃO       |
|----------------------------|-----------------------------|
| Casca de banana ou laranja | de 2 a 24 meses             |
| Papel                      | de 3 meses a vários anos    |
| Papel plastificado         | de 1 a 5 anos               |
| Pano                       | de 6 meses a 1 ano          |
| Ponta de cigarro           | de 3 meses a 20 anos        |
| Meias de lã                | de 10 a 20 anos             |
| Chiclete                   | 5 anos                      |
| Madeira pintada            | de 13 a 14 anos             |
| Fralda descartável         | 600 anos                    |
| Nylon                      | de 3 a 30 anos              |
| Sacos plásticos            | de 30 a 40 anos             |
| Plástico                   | 450 anos                    |
| Garrafas plásticas         | indefinido                  |
| Metal                      | mais de 100 anos            |
| Couro                      | até 50 anos                 |
| Borracha                   | tempo indeterminado         |
| Alumínio                   | de 80 a 1000 anos           |
| Vidro                      | de 4 mil a 1 milhão de anos |
| Embalagem Longa Vida       | 100 anos                    |
| Palito de fósforo          | 6 meses                     |

Figura 1 Tempo de decomposição dos materiais

Fonte: [6]

A Reciclagem se apresenta como recurso viável para a disposição mais adequada do lixo urbano. No processo de coleta seletiva, o desenvolvimento de estruturas para coleta e a conscientização das pessoas possibilitam uma melhor qualidade na segregação, elevando o valor agregado da matéria prima e possibilitando a remanufatura de produtos mais nobres [7].

Os materiais segregados de lixo e passíveis de reciclagem são vários, como mostra a Figura 2. Este ainda revela a relação de material reciclado / material consumido no ano de 2017, e que a quantidade de latas de alumínio recicladas chega quase à totalidade da quantidade produzida. Isto demonstra o enorme potencial de reciclagem que o Brasil tem nesta área. Outro dado que chama atenção é a quantidade de bateria de chumbo/alumínio e papel ondulado que são reciclados, 99,5% e 79,5%, respectivamente. Já a razão de material reciclado/material consumido de PET e plástico filme mostra que ainda há um enorme mercado a ser explorado, uma vez que tais razões para PET e plástico filme e rígido são, respectivamente, 53% e 22% [7].

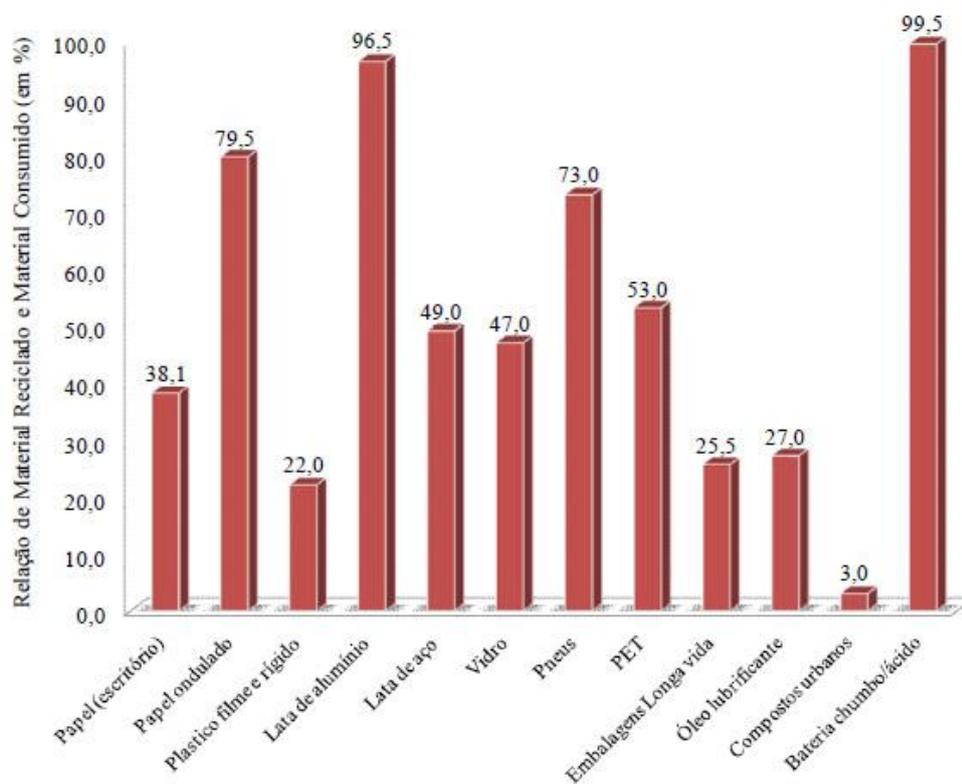


Figura 2 – Relação de material reciclado / material consumido em 2017

Fonte: [7]

O alumínio pode ser transformado em liga ou óxido de alumínio. A destinação em aterro não é recomendável, visto que se degrada parcialmente, devido à existência de uma camada de óxido em sua superfície [7]. Portanto, a reciclagem ainda é a melhor forma de reaproveitamento de tal material, e a que causa menor impacto ambiental.

A reciclagem de papel tem como objetivo o reaproveitamento de parte do papel usado, poupando, desta forma, o meio ambiente. Cada tonelada de papel reciclada poupa, em média: 60 eucaliptos adultos (conforme o processo industrial usado), 2,5 barris de petróleo, 50% da água usada na fabricação normal (ou 30.000 litros) e o volume de cerca de 3 metros cúbicos nos lixões e aterros.

Existem alguns tipos de papéis que podem ser reciclados. A relação abaixo mostra os tipos de papéis reciclados e as aplicações que os mesmos podem ter:

- Cartões perfurados - Cartões para computação de dados;
- Branco - Papéis brancos de escritório, manuscritos, impressos, cadernos usados sem capas;
- Kraft - Sacos de papel para cimento, sacos de papel de pão;
- Jornais - Jornais;
- Cartolina - Cartão e cartolina;
- Ondulado - Caixa de papelão ondulado;
- Revistas - Revistas;
- Misto - Papéis usados mistos de escritórios, gráficas, lojas comerciais, residências;
- Tipografia - Aparas de gráficas e tipografias.

Diversos trabalhos sobre a gestão de resíduos sólidos já foram realizados, alguns envolvendo análise de ciclo de vida [8]. Nove destes trabalhos apontam que a reciclagem do papel causa menos impacto ao meio ambiente do que a disposição em aterros ou a incineração. Para os autores, os impactos ambientais da incineração são maiores do que a da reciclagem, principalmente, quando se compara a energia gasta em ambos os métodos, pois verificou-se que o consumo de energia na incineração é muito maior do que na reciclagem.

A maior parcela do chumbo atualmente consumido no mundo destina-se à fabricação de acumuladores elétricos para diferentes fins. As baterias chumbo-ácido são universalmente utilizadas como fonte de energia em veículos automotores, em sistema de fornecimento de energia elétrica e em produtos de consumo em geral. Quando essas baterias chegam ao final de sua vida útil devem ser coletadas e enviadas para unidades de recuperação e reciclagem.

Todos os constituintes de uma bateria chumbo-ácido apresentam potencial para reciclagem. Uma bateria que tenha sido imprópriamente disposta, ou seja, não reciclada, representa uma importante perda de recursos econômicos, ambientais e energéticos e a imposição de um risco desnecessário ao meio ambiente, pois o vazamento de chumbo e ácido sulfúrico expõe os usuários e contamina o solo, ar e água [7].

#### **4.5. RECICLAGEM DOS PLÁSTICOS**

Com a crescente utilização de embalagens plásticas nos vários segmentos de mercado, as distribuidoras de derivados de petróleo, também avançaram nesta direção substituindo as embalagens de papelão/aço na década de 1980 por embalagens plásticas.

Segundo o Centro de Tecnologia da Embalagem, as embalagens plásticas trazem uma série de vantagens para a economia do país e para o consumidor final. Estas são algumas das principais conclusões do parecer técnico sobre embalagens:

- a. A embalagem é fundamental para a conservação dos alimentos, ainda mais num país de condições continentais como o Brasil.
- b. A energia usada para produzir alimentos é muito maior do que a utilizada para produzir embalagens. Portanto, quanto melhor for a conservação dos alimentos e menor for a sua perda, mais estaremos evitando o desperdício de tudo o que a sociedade e o meio ambiente investiram para produzi-los: energia, trabalho, recursos naturais e financeiros etc.
- c. A utilização de resinas plásticas petroquímicas para a fabricação de embalagens proporciona barreira a gases, óleos, vapor de água e

aromas, associada a bom desempenho mecânico, resistência, fechamento hermético e custo compatível.

- d. A embalagem plástica protege o produto na distribuição e na estocagem, aumenta sua vida útil, conserva sua qualidade por mais tempo, reduz perdas, garante segurança alimentar e impede contaminação e doenças.
- e. A embalagem plástica evita fungos em grãos, farinhas, bolos e sopas desidratadas, mantém inalterada a textura de biscoitos e retarda a deterioração microbiológica das salsichas.
- f. A embalagem longa-vida protege o leite da recontaminação e permite sua estocagem em temperatura ambiente.
- g. As garrafas plásticas impedem contaminação da água e refrigerantes, evitam riscos no manuseio por crianças, mantêm a carbonatação e resistem à elevada pressão interna.
- h. Iogurtes e produtos lácteos acondicionados em embalagens plásticas não sofrem contaminação e não ressecam.
- i. Agrotóxicos, raticidas, inseticidas, soda cáustica e produtos assemelhados não oferecem perigo aos consumidores e ao meio-ambiente quando se encontram nas embalagens plásticas.
- j. Mantidos em embalagens plásticas, óleos comestíveis são protegidos da oxidação e mantêm seu odor e sabor; e o café torrado e moído estende sua vida útil de uma semana para até um ano.
- k. Sacos plásticos de lixo evitam proliferação de insetos e roedores, mau cheiro e doenças, aumentando a segurança dos catadores de resíduos.
- l. Produtos hospitalares esterilizados como soro, sangue e alimentação parenteral são protegidos de recontaminação pelas bolsas plásticas.
- m. Alimentos esterilizados, como conservas e doces em calda, também são protegidos pelas embalagens plásticas.
- n. A embalagem plástica protege o papel de xerox contra a umidade, uma infinidade de produtos contra sujeira, insetos e roedores, e evita riscos em CDs e DVDs.
- o. Após o uso, as embalagens plásticas podem ser recicladas. Com isso, os aterros sanitários recebem menos resíduos e prolongam sua vida útil.

- p. As embalagens plásticas podem ser reprocessadas mais de uma vez, o que poupa energia, recursos naturais e evita desperdício no descarte em aterros sanitários e lixões.
- q. Graças ao seu potencial energético, as embalagens plásticas também podem ser utilizadas para substituir outra fonte de energia.
- r. Ao reciclar as embalagens plásticas, evitam-se emissões de gases para a atmosfera e reduzem-se os consumos relativos aos processos de extração e beneficiamento de recursos naturais. A intensidade dessa redução é proporcional à quantidade de material reciclado e depende do ponto do processo em que pode vir a ser utilizado no ciclo de vida da embalagem.
- s. Não basta o material das embalagens plásticas serem recicláveis. Ele deve ser preferencialmente reciclado na região local de comercialização do produto acondicionado, onde o resíduo da embalagem é gerado, evitando-se assim movimentações desnecessárias.

O consumo de produtos plásticos aumentou drasticamente nas últimas décadas, principalmente nos países industrializados. Tal fato resulta na geração de um grande fluxo de resíduos que necessita ser corretamente destinado para evitar danos ambientais.

As novas formas de gerenciamento em conjunto com as novas tecnologias de reciclagem e reutilização dos plásticos são fatores que amenizam a poluição ambiental causada por esses tipos de resíduo.

O consumo de plásticos no Brasil vem crescendo, conforme pode ser observado na Figura 3.

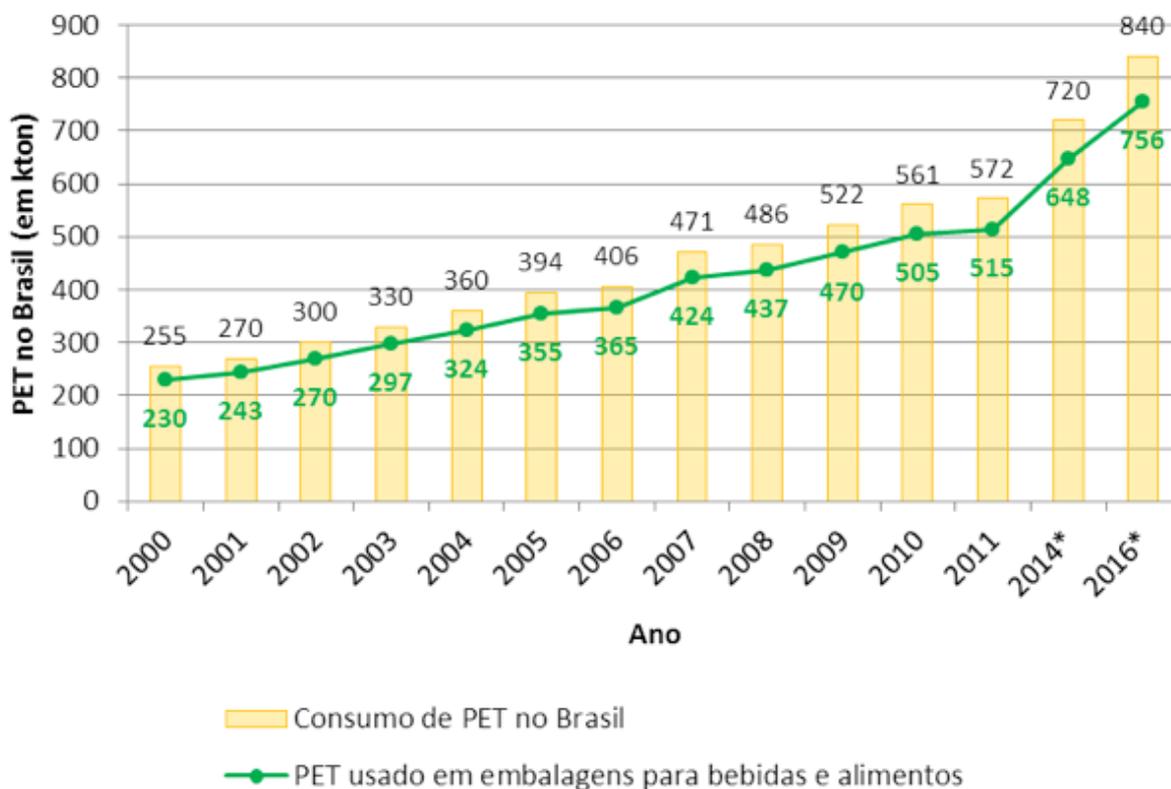


Figura 3: Evolução do consumo de PET no Brasil em kton/ano (ABIPETb, 2016)

Fonte: [9]

A reciclagem de plásticos apresenta-se como uma alternativa viável para amenizar os impactos causados pela disposição inadequada. As aplicações do plástico reciclado na indústria da construção civil têm realizado estudos dos diversos tipos de resíduos de garrafa PET, com o objetivo de descobrir novas empregabilidades dos mesmos como materiais de construção [10].

#### 4.6. APLICAÇÕES DO PEAD

O PEAD é utilizado em processos de transformação e são moldados por extrusão, sopro ou por injeção. Cada processo de fabricação exige uma determinada faixa para o índice de fluidez, o qual depende do grau de cristalinidade do polímero.

O PEAD moldado por extrusão é aplicado na produção de telas, sacaria industrial, lonas, sacos e cordas. Pelo processo de injeção é aplicado na fabricação de baldes, brinquedos, caixarias, capacetes, utilidades domésticas, caixas d'água, potes para sorvete, recipientes para produtos alimentícios. Nestas aplicações observa-se que o índice de fluidez maior do polietileno.

Os produtos moldados por sopro com o PEAD são frascos para remédios, cosméticos, produtos alimentícios e limpeza, bombonas que requeiram alta resistência ao impacto para produtos agroquímicos e detergentes concentrados, embalagens para óleo lubrificante, reservatório para automóveis, caixas de descarga sanitária e filmes de média resistência mecânica. Nestas aplicações o índice de fluidez do polietileno é baixo.

#### **4.7. ARGAMASSAS**

Para o bom desempenho da argamassa, tendo em vista a função a que ela se destina, seja de vedação, regularização, proteção ou união, é necessário que uma série de propriedades sejam garantidas e mantidas durante a vida útil da construção.

A avaliação de tais propriedades passa pelo estudo sistemático de seus materiais constituintes e proporcionamento adequado, sua qualidade, condições de preparo e forma de aplicação englobando métodos para determinação de propriedades desde o estado fresco ao endurecido [11]. Face ao exposto, será apresentada uma discussão a respeito das propriedades relevantes para este trabalho.

##### **a) Trabalhabilidade e reologia**

Os sistemas que compõem as argamassas, ou seja, proporções adequadas de partículas de agregados, aglomerantes e água, são assumidos como suspensões de partículas sólidas em um líquido viscoso, que é a pasta de cimento. Assim, comumente considera-se que tais sistemas escoam como um fluido. A viscosidade mede a resistência de um fluido em escoar, estando relacionada com a sua resistência interna oferecida ao movimento relativo de diferentes camadas. Por sua vez, a reologia é a ciência que estuda as propriedades e o comportamento mecânico de corpos que sofrem uma deformação ou um escoamento.

A trabalhabilidade é considerada a principal propriedade da argamassa no estado fresco [3; 12]. Tal propriedade está relacionada com a facilidade no modo em que são misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, com homogeneidade, e é resultante do agrupamento de outras propriedades como:

consistência e plasticidade, retenção de água, coesão das partículas, exsudação e adesão inicial.

Faz-se salientar a ausência de métodos em laboratório que efetivamente estabeleçam de forma mais precisa parâmetros para medição da trabalhabilidade da argamassa, conferindo um conceito subjetivo a esta propriedade. De um modo geral, a correção da trabalhabilidade da argamassa na obra é feita a partir da adição de mais ou menos água no traço, ajustando a sua consistência e fluidez. Em um segundo momento a plasticidade é avaliada a partir da sensação de aspereza (negativa) ou maciez (positiva), propriedade que é influenciada pela proporção de agregados e aglomerantes, pela intensidade da mistura e pela presença de aditivos [13]. Assim, a avaliação da trabalhabilidade da argamassa assume um caráter pessoal e arbitrário [3].

Apesar disto, são comumente utilizados métodos para a medição da consistência como forma de avaliar indiretamente a trabalhabilidade da argamassa. A Norma Brasileira prescreve o método de avaliação do índice de consistência pela NBR 13276 (2005) [14], no qual um molde metálico tronco-cônico é preenchido com argamassa fresca convenientemente adensada sobre uma mesa de consistência.

Após o levantamento do molde, a argamassa é submetida a um esforço dinâmico por uma sequência de trinta quedas, produzidas por uma peça excêntrica localizada na parte inferior da mesa em um período de trinta segundos. O índice de consistência é definido pela média, em milímetros, do espalhamento da argamassa após a ação mecânica descrita acima.

## **b) Retenção de Água**

A retenção de água da argamassa está relacionada com a capacidade de aprisionamento do líquido, especialmente pelas partículas finas do agregado, de modo a não alterar a trabalhabilidade quando submetida a condições de perda de água, seja por evaporação ou por sucção da base.

Esta propriedade exerce influência sobre o comportamento da argamassa, desde à intensidade da retração por perda de água no estado plástico, até as propriedades no estado endurecido como a resistência mecânica, a porosidade e a

aderência à base, [13] e [3]. A quantidade de água necessária para conferir trabalhabilidade à argamassa é superior àquela consumida nas reações de endurecimento. Desse modo, parte do quantitativo de água excedente (livre), será perdida para o meio por evaporação, ou para a base, por sucção. A intensidade dessa perda está relacionada evidentemente pelas condições climáticas do local de aplicação da argamassa e pelas características físicas da base, como também pela capacidade de retenção da água livre, da qual dependerá da finura e do poder de absorção das partículas.

As partículas anidras de cimento têm a tendência a se atraírem e formar flocos, onde grande quantidade de água da mistura são aprisionadas [15]. Dessa forma, variações locais da relação água/cimento são introduzidas, originando uma estrutura porosa e heterogênea.

A NBR 13277 (2005) [16] prescreve o método de avaliação da retenção de água, que consiste em medir a massa de água retida pela argamassa após a sucção realizada por meio de uma bomba à vácuo à baixa pressão em um funil de filtragem (funil de Buchner).

#### c) **Exsudação de água**

A exsudação ocorre quando há uma incapacidade dos materiais sólidos constituintes em fixar a água no interior da mistura, ocasionando a sua saída de forma espontânea e causando a quebra da coesão e segregação das partículas. Pode-se lançar mão de algumas alternativas para atenuar o fenômeno da exsudação nas misturas cimentícias, como por exemplo, o aumento do teor de finos nos agregados, a redução do teor de água, o uso de aditivos incorporadores de ar ou retentores de água. Vale salientar que não há métodos padronizados para avaliação da exsudação, apenas a observação da mistura após a mistura.

### **4.8. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO**

As propriedades da argamassa no estado fresco são avaliadas pela consistência da trabalhabilidade, coesão, tixotropia, plasticidade, retenção de água, massa específica e adesão inicial [17].

1. Consistência – Maior ou menor facilidade de se opor à resistência a uma dada deformação. Água e aditivos especiais influenciam na consistência da argamassa.

2. Retenção da consistência – Manter sua consistência após em contato com um substrato. Argamassas de assentamento das alvenarias e peças cerâmicas de revestimento e dependem fundamentalmente da retenção de água.

3. Coesão e tixotropia - coesão é a capacidade de argamassa fresca em manter seus constituintes homogêneos sem segregação. As argamassas de assentamento e revestimento de alvenarias devem possuir uma boa coesão. A forma mais utilizada para conseguir-se a coesão em argamassas de assentamento e revestimento é usando a cal hidratada. Tixotrópicas exigem uma baixa energia para alterarem sua forma, mas depois de alterada, conseguem mantê-la mesmo sob ação da gravidade. A tixotropia é propriedade exigida nas argamassas de assentamento de peças cerâmicas e argamassas de recuperação.

4. Plasticidade - deformar-se e reter certas deformações após a redução das tensões que lhe forem impostas. Depende da coesão, consistência e retenção de água.

5. Retenção de água - manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água (evaporação ou sucção do substrato). Os aglomerantes são os principais responsáveis pela capacidade de retenção de água, devido à elevada área específica e à grande capacidade de adsorção de suas partículas. ao substrato no estado endurecido.

6. Adesão inicial – Capacidade de permanecer adequadamente unida à base após sua aplicação. Sofre influência da coesão e plasticidade da argamassa e pelas propriedades do substrato (absorção inicial e rugosidade). Esta propriedade está diretamente ligada a aderência da argamassa ao substrato no estado endurecido.

#### 4.9. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

No estado endurecido, a ponderação das argamassas está relacionada na sua interação com a base onde será aplicada [17].

1. Resistência mecânica - Independente do tipo de aplicação de uma argamassa, esta, sempre será submetida a algum tipo de esforço mecânico após seu endurecimento. As argamassas de assentamento são solicitadas à compressão, as argamassas de revestimento à abrasão superficial, impacto e tensões de cisalhamento (movimentações do substrato e/ou variações térmicas/ higrométricas). A resistência mecânica de uma argamassa depende do tipo e teor de aglomerante empregado. O cimento Portland é o principal responsável por esta propriedade nas misturas convencionais. Misturas muito ricas em cimento provocam uma alta retração volumétrica além de diminuir a capacidade do material em absorver pequenas deformações sem fissurar.

2. Deformidade – Capacidade de se deformar sem criar tensões no material. Importante nos revestimentos e assentamentos de unidades de alvenaria.

3. Permeabilidade - capacidade de um material em se deixar atravessar por um fluido. Pode ser controlada pelo tipo e quantidade de aglomerante usado. O uso do cimento Portland em proporções adequadas pode diminuir a permeabilidade de um revestimento argamassado. Enquanto que com teores excessivos podem levar a fissuração por retração hidráulica comprometendo a permeabilidade.

4. Retração volumétrica - retração resultante da reação química dos aglomerantes (cal e cimento Portland) e remoção da água absorvida nos produtos de hidratação durante a secagem. Alguns fatores influenciando a retração: o teor de aglomerante, volume de água, granulometria dos agregados e condições ambientais.

5. Aderência - capacidade da argamassa em se fixar no substrato onde é aplicada. Alguns fatores afetam a aderência de uma argamassa: adesão inicial, rugosidade e absorção inicial do substrato, retenção de água, tipo de aglomerante empregado e granulometria dos agregados.

#### 4.10. ZONA DE TRANSIÇÃO AGREGADO PASTA DE CIMENTO

A zona de interface agregado-pasta exerce um papel importante na resistência da pasta do concreto e da argamassa, como também do módulo de elasticidade além do grande volume de vazios e dos cristais orientados de hidróxido de cálcio, a zona de transição está sujeita a tensões oriundas de movimentos diferenciais que surgem, por exemplo, no resfriamento do compósito, este efeito provoca o aparecimento de microfissuras pré-existentes na zona interfacial o que, em geral, a torna o plano preferencial de rompimento sob estado de tensão [15].

Até um nível de 70% da resistência última, observa-se um incremento das deformações por unidade de força aplicada, em virtude do aumento das fissuras presentes na zona de transição, apresentado um comportamento elasto-plástico, e com o aumento gradativo da tensão, novas fissuras são iniciadas nos poros grandes da pasta, que se propagam até se unirem às fissuras originadas na zona de transição, tornando o sistema de fissuras contínuo e o material rompe [15]. Deve-se destacar que o nível de tensão para a propagação das fissuras discutidas anteriormente é bem maior no esforço à compressão do no esforço à tração, no qual as fissuras propagam-se rapidamente e com um menor nível de tensão.

Uma análise da zona de transição por meio de verificações das relações entre as massas atômicas de alguns óxidos presentes na pasta de cimento como  $\text{SiO}_2$  (Si),  $\text{CaO}$  (Ca),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Fe),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Al), foram associados à presença dos produtos hidratados, dessa forma, a espessura da zona de transição foi obtida através de determinações ponto a ponto ao longo de uma linha perpendicular à interface agregado pasta, podendo-se notar que na zona de transição, os valores obtidos para a relação Ca/Si apresentaram valores maiores do que aqueles obtidos no interior da matriz, devido à maior concentração de hidróxido de cálcio naquela zona além da menor relação Ca/Si, os pontos fora da zona de transição apresentaram uma certa estabilização de seus valores [18].

Foram realizados estudos de interações com a pasta de cimento de agregados leves sintetizados a partir de cinzas volantes e com diferentes propriedades, buscando identificar os fatores, além da resistência do agregado, que influenciam a resistência mecânica do concreto, onde os perfis da relação Ca/Si foram empregados para

analisar o processo físico de densificação da zona de transição agregado-pasta, devido à absorção do agregado leve, por outro lado, a relação Ca/Si caiu progressivamente a partir da região de interface, estabilizando a uma distância menor do que 50 micras, e, portanto, com pequena espessura da zona de transição, em outras palavras, a absorção desse agregado leve reduziu o acúmulo de água e a formação de região porosa, rica em hidróxido de cálcio [19].

#### 4.11. Os Polímeros

A definição clássica de polímero origina-se da palavra grego poli (muitos) e mero (partes). Um polímero é formado por muitas unidades de repetição (denominados meros) ligadas por uma ligação covalente [20]. Este autor ainda comenta que os polímeros podem ser divididos em três classes: plásticos, borrachas e fibras, sendo que esta classificação depende do número médio de meros por cadeia, do tipo de cadeia e de monômero.

O termo polímero é aplicado há pelo menos 50 monômeros, unidos por ligações covalentes, no qual há a presença constante de carbono e hidrogênio, formando macromoléculas de unidades químicas repetidas. A Figura 4 apresenta um exemplo de monômero, mero e polímero [20].

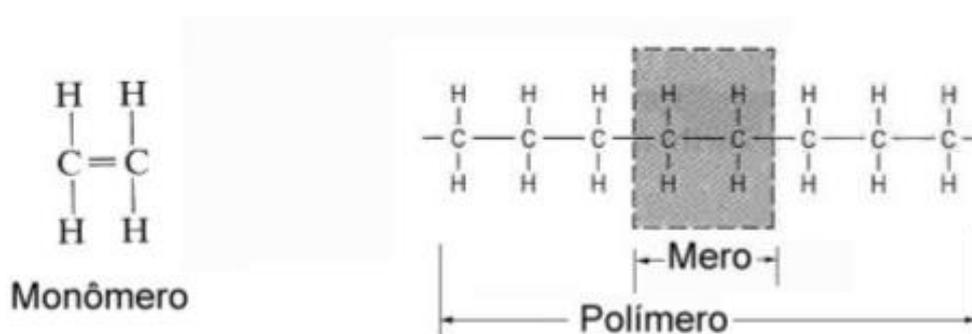


Figura 4. Monômero, mero, polímero

Fonte: [20]

A matéria prima para os polímeros é chamada de monômero, que é uma molécula constituída por um único mero. O petróleo e o gás natural são os principais

componentes para a produção do monômero. A figura 5 demonstra a formação dos materiais poliméricos [21].

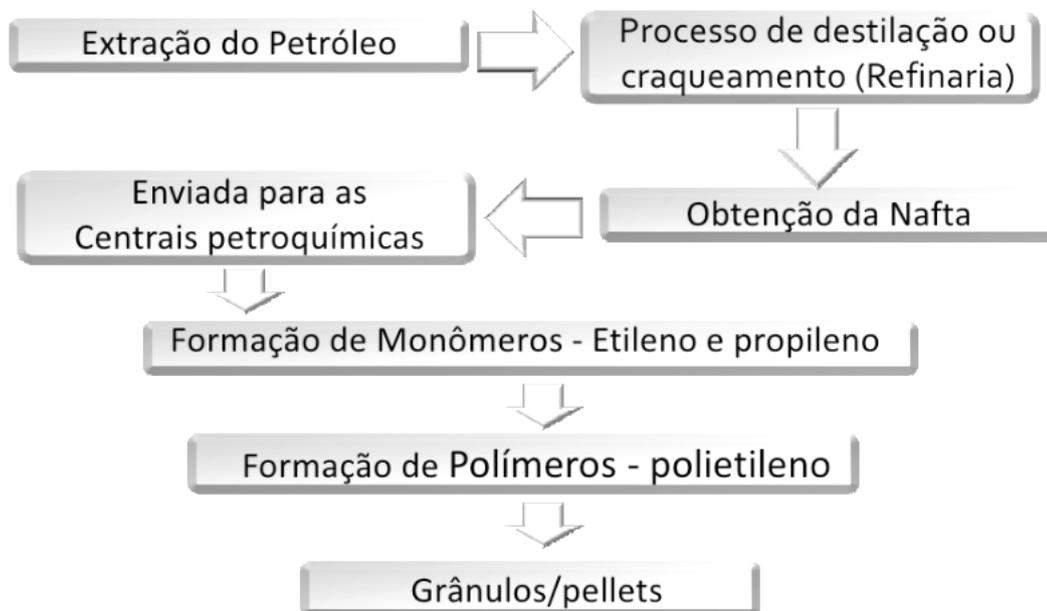


Figura 5. Formação de Polímeros

Fonte: [21]

#### 4.12. APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção, apontam que o desenvolvimento de produtos cada vez mais leves e resistentes está estimulando o surgimento de novas cadeias de materiais no país. Em diversos processos produtivos, insumos derivados de plásticos especiais, polímeros e alumínio ganham espaço como substitutos de materiais convencionais como madeira, borracha e ferro fundido. O polipropileno também é utilizado em tubos reticulados para água quente, tubos para produtos químicos, sifões, dutos, apoios, máscaras de proteção, tanques, caixas baixas de descarga, filmes, cabos e revestimentos para ferramentas manuais, carpetes, espumas estruturais e sacarias [12].

#### 4.13. ESTUDOS COM AGREGADO DE PLÁSTICO NA CONSTRUÇÃO

Estudos foram realizados experimentalmente com o concreto na adição de 0,5% a 4,5% em peso, de polietileno de alta densidade (PEAD) pós-consumo. Um traço sem a inclusão de partículas de PEAD reciclado e com resistência à compressão aos 28 dias de 35 MPa, foi adotado como referência. Embalagens obtidas de reciclagem foram trituradas e as partículas com dimensão mínima de 4,8 mm foram selecionadas para serem adicionadas ao traço de referência. Os resultados mostram que a resistência à compressão do concreto com até 0,5% de PEAD reciclado não sofreu redução, porém, acima desse teor, o percentual de redução foi de aproximadamente 45%, com adição de 2% de PEAD reciclado [22]. Foi utilizado agregados leves obtidos de garrafas PET, revestidos com escórias de alto forno granulada, nos teores de 25%, 50% e 75% em relação ao volume total de agregados, as partículas tinham dimensões entre 5 e 15 mm e o ar incorporado em todas as misturas foi mantido em  $4,5 \pm 1\%$  [23].

Os resultados apresentam uma ligeira redução da resistência à compressão quando o percentual de agregado leve de PET foi de até 25% em relação ao volume de agregados. A resistência à tração, por outro lado, apresentou maior percentual de redução. O aumento do percentual de agregado leve de PET também ocasionou aumento no abatimento do concreto fresco, que foi atribuído à forma esférica e a superfície lisa desse agregado. As imagens feitas por MEV revelam que a falha na zona de transição do agregado leve de PET é mais uniforme e ligeiramente maior do que aquela observada na zona de transição do agregado natural. Isso pode ter contribuído para reduzir a diferença na resistência à compressão citada anteriormente.

Substituindo até 20% do agregado miúdo do concreto por partículas de plástico, mantendo o fator água cimento em 0,56, concluiu-se que a adição de partículas plásticas acarretou uma forte redução na resistência mecânica, para uma substituição de 20%, a resistência à compressão caiu 72% em relação ao traço sem agregado de plástico, um comportamento similar, mas com menor efeito, foi obtido para a resistência à tração e à flexão, pois o abatimento medido reduziu com o aumento do teor de plástico no traço devido às formas irregulares dos resíduos poliméricos [24].

A despeito da perda da resistência, o concreto com agregado plástico é admitido desde quando seja compatível com a resistência requerida para o respectivo elemento estrutural. Avaliou-se as propriedades do concreto leve com substituição de até 45% da areia em volume por raspas de tubos de PVC e com módulo de finura aproximadamente duas vezes maior do que o da areia, a argila expandida como agregado graúdo foi utilizada em uma proporção constante nos traços, da mesma forma que o cimento [25].

Um superplastificante à base de naftaleno foi utilizado para ajustar a trabalhabilidade das misturas. Apesar do abatimento medido ter se mantido entre 170 e 175 mm, o aspecto visual das misturas frescas variou de homogêneo e consistente para o traço com 0% de PVC até áspero com sinais de exsudação para o traço com 45% de PVC. A resistência à compressão reduziu-se de 9,1% a 47,3% para os traços com 5% e 45% de PVC, respectivamente. A resistência à tração, realizada por compressão diametral, também diminuiu [26].

Fatores de maior propagação das fissuras em torno das partículas de PVC, devido ao baixo módulo de elasticidade, superfície lisa e com água livre acumulada em torno das partículas de PVC, reduzindo a aderência com a pasta de cimento, e redução do empacotamento dos grãos devido à inclusão de partículas maiores de PVC, são apontados como causas para a perda de resistência mecânica. O módulo de elasticidade reduziu em aproximadamente 60% para o concreto com 45% de agregados de PVC. A retração por secagem também foi reduzida com o aumento do teor de partículas de PVC no concreto [26].

Outros estudos também utilizaram resíduos de garrafas PET como agregados em concreto, onde substituiu-se 10% e 20% em volume do agregado miúdo por fragmentos de PET com as seguintes dimensões características: 0,26 cm (PET miúdo), 1,14 cm (PET graúdo) e uma mistura com 50% dessas frações. A presença das partículas de PET acarretou alterações na consistência do concreto, com redução do abatimento medido no ensaio do slump, a maior redução na resistência à compressão aos 28 dias foi verificada nos 82 traços com maior granulometria dos resíduos de PET, sendo que a mistura das frações apresentou a menor perda, pois a resistência à tração por compressão diametral reduziu de forma similar à compressão, por outro lado, a redução do módulo de elasticidade verificada nas amostras de

concreto com partículas de PET, não sofreu influência significativa do tamanho dessas partículas, aumentando a absorção de água por imersão com o teor de PET no concreto [26].

Dois tipos de resíduos de PET como agregados parciais do concreto foram avaliados, um resíduo proveniente do descarte de uma empresa de reciclagem desse material, com forma granular fina e com presença de impurezas, denominado de areia de PET, e outro em forma de flocos, obtido da trituração de fitas de fixação de embalagens [10].

Substituindo a areia da argamassa por partículas floculadas de garrafas PET nos percentuais de 10, 30 e 50% e usando um traço de cimento e areia na proporção de 1:4 como referência, os resultados mostram uma forte redução na resistência mecânica à medida que aumenta o teor de partículas de plástico na argamassa, a argamassa com 50% de substituição do agregado apresentou resistência à compressão cerca de seis vezes menor do que aquela verificada para o traço de referência [27].

Salienta-se a importância de se efetuar a substituição dos agregados em volume dada a diferença entre seus pesos específicos. Assinala também que é importante considerar o tamanho e a forma das partículas do resíduo plástico como fatores que podem reduzir as perdas nas propriedades mecânicas.

Um trabalho demonstrou uma ligeira redução nas resistências à compressão e à flexão, 15,7% e 32,8%, respectivamente, quando foi efetuada a substituição de até 50% em volume da areia por resíduos de PET, apresentando forte redução quando o percentual de substituição superou 50% [28].

A substituição por partículas de PET com tamanho máximo de 5 mm formou os compósitos com melhores propriedades mecânicas. A absorção capilar reduziu com o aumento do teor de resíduos de PET nos corpos de prova, da mesma forma que o módulo de elasticidade, com 50% de redução para um percentual de substituição foi 50%.

A análise microestrutural por microscopia por varredura eletrônica revelou uma matriz mais compacta quando o percentual de substituição do agregado foi até 50%.

O trabalho demonstrou a importância do tamanho das partículas de plástico e das percentagens de substituição da areia para a modificação das propriedades mecânicas do compósito.

Agregados leves produzidos pela mistura de PET triturado, com dimensões 5 a 15 mm, e areia fina, passando na peneira 0,15 mm, foram colocados em um misturador circular com temperatura interna de  $250 \pm 30^\circ \text{C}$ , após foram realizados ensaios com argamassa na relação cimento/agregado 1:2,44 e água/cimento 0,60, substituindo a areia por agregado leve em 25%, 50%, 75% e 100%. Os ensaios realizados foram de absorção, consistência e resistência à compressão [23].

Na última etapa foram produzidas amostras de concreto com relações 0,45 – 0,49 – 0,53. Os ensaios de caracterização mostraram que à medida que a areia foi substituída por agregado leve de PET, a absorção de água diminuiu, chegando a 0%, para 100% de substituição. Foi verificado aumento do índice de consistência com o aumento do teor de agregado leve de PET devido à forma e a textura dessas partículas, proporcionando consistência mais fluida.

As amostras com 25% de agregados de PET tiveram menor absorção capilar do que a argamassa de referência, já as argamassas com 50% e 75% de agregado leve de PET apresentaram maior absorção. Esse comportamento foi atribuído à granulometria dos agregados com esses percentuais de substituição, aumentando a porosidade da argamassa. A resistência à compressão diminuiu em cerca de 12% para amostras com 25% de agregado leve até 42%.

Na pesquisa de Hannawi (2010) [29] foi realizado estudo com as propriedades físicas e mecânicas da argamassa utilizando resíduos de policarbonato (PC) e de polietileno tereftalato (PET), com dimensões máximas de 3,15 mm e 6,3 mm, respectivamente, em substituição a areia em 3%, 10%, 20% e 50%, a densidade da argamassa, no estado fresco e endurecido reduziu com o teor de agregados poliméricos, não houve alteração da porosidade e a absorção de água com 3% de substituição da areia pelos resíduos utilizados, ocorrendo aumento em teores maiores do que 3%, a resistência à compressão reduziu em 9,8%, 30,5%, 47,1% e 69% para as misturas contendo 3%, 10%, 20% e 50% de agregados de PET, respectivamente, com os mesmos teores a redução foi de 86 6,8%, 27,2%, 46,1% e 63,9%, o módulo

de elasticidade diminuiu de 37,3 GPa da referência para 11,8 e 14,2 GPa para a argamassa com 50% de PET [29].

Durante pesquisas realizadas com as propriedades de uma argamassa utilizando partículas de polietileno de alta densidade (PEAD) reciclado pós-consumo como alternativa aos agregados naturais, observou-se que os agregados de PEAD obtidos da reciclagem mecânica de plásticos e triturados por micronização apresentaram características semelhantes às da areia com relação à uniformidade e finura, verificou-se que utilizando 50% em volume de PEAD nos agregados em traços experimentais, ocasionou a redução da trabalhabilidade, sendo verificados exsudação excessiva, segregação das partículas e redução do índice de consistência [30].

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os materiais utilizados ao longo deste trabalho experimental foram selecionados de maneira a dar continuidade a outros trabalhos de investigação, conforme já foram apresentados no item 4.13. Desta forma, é possível fazer uma comparação mais fidedigna dos resultados obtidos com os resultados de estudos prévios.

### **5.1. MATERIAIS**

#### **5.1.1 CIMENTO**

É um aglomerante do tipo hidráulico, assim o cimento não só endurece através de reações com a água, como também forma um produto resistente a ela.

Neste estudo foi utilizado o cimento CP III – 40 que é caracterizado por apresentar maior impermeabilidade, durabilidade, baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado. Comporta adições de 35 a 70% de Escória e até 5% de material carbonático [31].

#### **5.1.2 AREIA**

O agregado utilizado para a produção dos corpos de prova deste estudo foi a areia média, apresentando um custo bem menor do que o cimento, a areia assume um papel importante em termos econômicos para o concreto, todavia, a influência dos agregados não se restringe apenas à questão da redução de custos, pois suas características físicas também são relevantes no estudo das propriedades desses compósitos.

As areias muito grossas não produzem argamassas trabalháveis, prejudicando essa propriedade, e, em consequência, sua aplicação ao substrato [30]. Acrescenta que normalmente a escolha da areia para o uso em argamassa é feita pelo módulo de finura, que é o valor resultante da divisão por 100 do somatório das porcentagens de massa retidas e acumuladas nas peneiras da série normal. O quadro 1 mostra a classificação das areias de acordo com o módulo de finura [34].

Quadro 1. Classificação da areia quanto ao módulo de finura

| CLASSIFICAÇÃO DA AREIA | MÓDULO DE FINURA (MF)    |
|------------------------|--------------------------|
| Areia fina             | $MF < 2,00$              |
| Areia média            | $2,00 \leq MF \leq 3,00$ |
| Areia grossa           | $MF > 3,00$              |

Fonte: [34]

### 5.1.3 ADITIVO

A ação do aditivo redutor de água tem alguma ação no sentido de incorporar ar na mistura, desse modo, esse efeito pode resultar em melhora da trabalhabilidade, mas, por outro lado, também ocasionar redução na resistência [36].

Os superplastificantes podem ser os lignossulfatos, obtidos a partir dos rejeitos do processo de extração da celulose da madeira, o naftaleno sulfonato ou melamina sulfonato, obtidos por técnicas de polimerização e os policarboxilatos, à base de éter policarboxílico, os primeiros são conhecidos como plastificantes de primeira geração, permitindo redução da água da mistura da ordem de 8% a 12%, os aditivos com base em melamina ou naftaleno são os de 2ª ordem, permitindo uma redução de até 25% da água das misturas e os de 3ª geração, à base de éter policarboxílico, reduzem em até 35% da água para uma mesma trabalhabilidade [36].

A ação dos superplastificantes de 1ª e 2ª ordem se caracteriza pela repulsão eletrostática, aumentando a fluidez e reduzindo a demanda da água de amassamento. Os produtos à base de policarboxilatos atuam por repulsão eletrostática e também por um efeito conhecido como repulsão estérica, que é produzido pela longa cadeia lateral ligada em vários pontos à cadeia principal do polímero. Esse arranjo produz um forte efeito dispersante, pois aumentam consideravelmente o espaço entre as partículas de cimento. Neste estudo foi utilizado o Viamix (Figura 6), um aditivo acelerador plastificante para concreto a base de cloreto que é indicado para acelerar o endurecimento e possibilitar o aumento das resistências do concreto.



Figura 6 – Plastificante

Fonte: [37]

#### 5.1.4 BRITA

Os diferentes tipos de brita são classificados de acordo com a sua granulometria, ou seja, o tamanho dos grãos [38]. Assim, temos o pó de brita e as britas 0, 1, 2, 3 e 4 (Quadro 2). Cada um desses tipos tem uma função específica na construção civil, seja para fabricação de concreto, pavimentação, construção de edificações ou de grandes obras, como ferrovias, túneis e barragens. Neste estudo foi utilizado a brita 1 com granulometria de 9,50mm a 19mm.

Quadro 2. – Tipos de brita

| BRITA | GRANULOMETRIA        |
|-------|----------------------|
| 0     | de 4,80 mm a 9,50 mm |
| 1     | de 9,50 mm a 19 mm   |
| 2     | de 19 mm a 25 mm     |
| 3     | de 25 mm a 50 mm     |
| 4     | de 50 mm a 76 mm     |

Fonte: [38]

#### 5.1.5 PEAD

O setor de embalagens para alimentos e bebidas vem se destacando pela utilização crescente dos plásticos, em função de suas excelentes características, entre elas: transparência, resistência, leveza e atoxidade. Neste estudo foi utilizado o ICORENE 4220 que é um PEAD micronizado, copolímero Hexeno, desenvolvido para

rotomoldagem com densidade  $0,942\text{g.cm}^{-3}$ , cedido pela empresa A. Schulman Plásticos do Brasil, situada na cidade de Campinas – SP.

## **5.2. MÉTODOS**

### **5.2.1 Granulometria da Areia e Brita**

Neste estudo foi realizada a caracterização dos materiais de acordo com a NBR 7217 (1987) [34] que prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para o concreto.

Foi utilizado uma amostra de 500 g de areia, sendo esta processada no agitador por dez minutos a uma frequência de 15 Hz.

A NBR 7225 (1993) [38] fixa os termos que designam os materiais de construção civil, pedra e os agregados naturais, para fins de engenharia civil. Foi utilizado uma amostra de 500 g de brita, sendo esta também processada no agitador por dez minutos a uma frequência de 15 Hz.

## 5.2.2 Fluxograma 1

A figura 7 mostra o fluxo do método para a produção de doze corpos de provas sem a adição do PEAD micronizado.

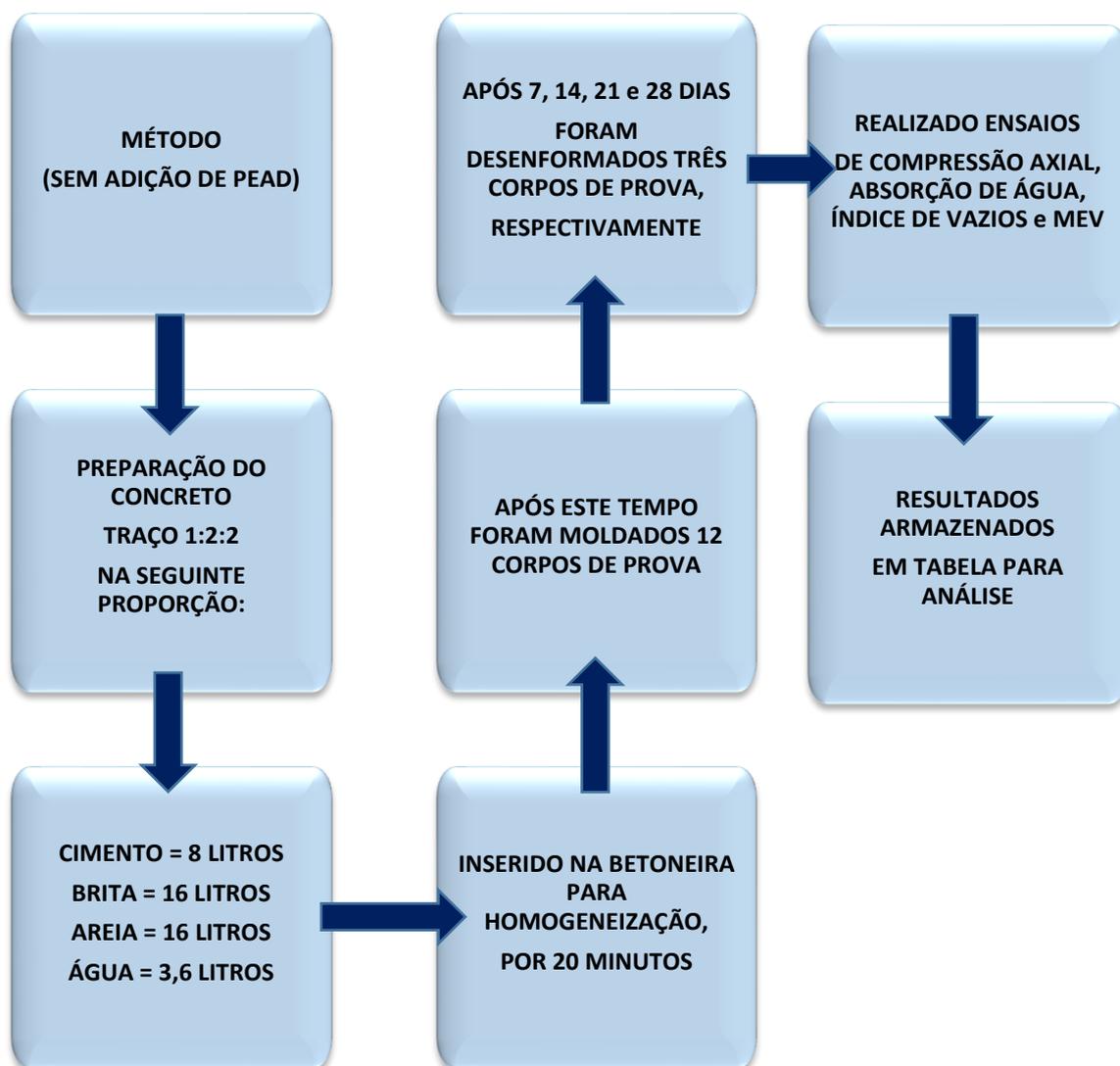


Figura 7 – Fluxograma método sem a adição do PEAD micronizado

### 5.2.3 Fluxograma 2

A figura 8 mostra o fluxo do método para a produção de doze corpos de provas com a adição do PEAD micronizado.

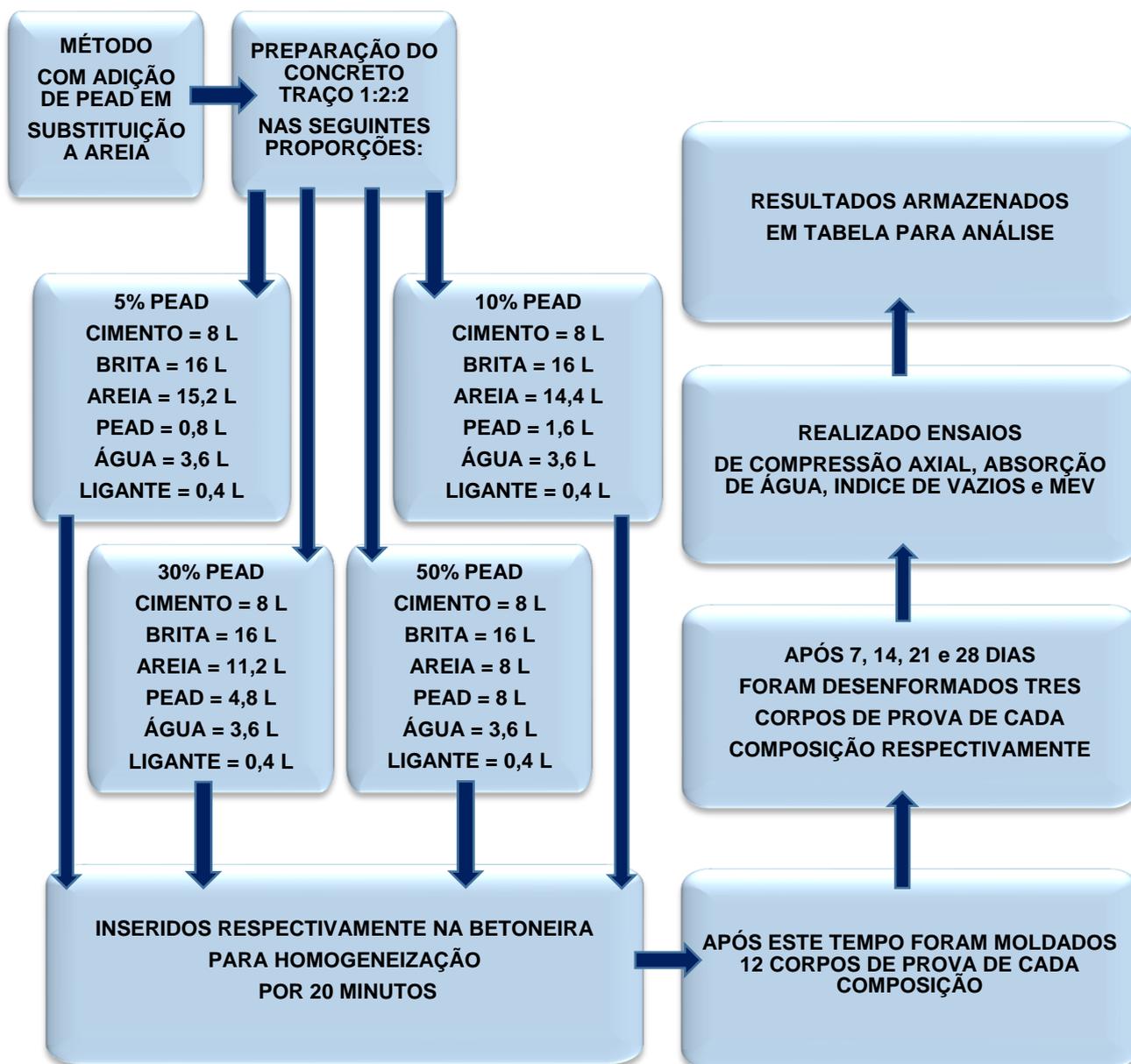


Figura 8 – Fluxograma do método com a adição do PEAD micronizado

### 5.2.4 Preparação do concreto

Inicialmente foi utilizado para a preparação do concreto um traço 1:2:2, cimento CP III - 40, brita 1 e areia média respectivamente sem a adição de PEAD para servir como parâmetro comparativo de base para os outros corpos de provas que terão a adição do PEAD.

Os materiais foram inseridos em uma betoneira marca Menegotti (Figura 9) que fica instalada na entrada do laboratório 19 da FOA, em seguida foi ligada, ficando em operação, por 20 minutos, até que o material ficasse homogeneizado.



Figura 9 – Betoneira Menegotti

### 5.2.5 Preparação dos corpos de prova

Após o concreto pronto foram moldados doze corpos de prova (sem a adição de PEAD micronizado) nas proporções mostradas no quadro 3, com duas camadas e doze golpes em cada camada com uma haste socadora de 16 x 600mm, após 24 horas da moldagem foram desenformados (figura 10) e colocados no tanque de cura.

| CONTROLE | UNIDADE (litros) |
|----------|------------------|
| Cimento  | 8,00             |
| Brita    | 16,00            |
| Areia    | 16,00            |
| Água     | 3,60             |



Figura 10 - Corpos de prova

Para a produção de mais doze corpos de prova com a substituição da areia nas proporções de 5%, 10%, 30% e 50% pelo PEAD micronizado, foi preparado todo o material, conforme proporções mostradas no quadro 4 sendo colocados na betoneira repetindo o processo anterior.

Quadro 4 – Proporções para produção do concreto com PEAD

| PARA 5% de PEAD | UNIDADE Litros | PARA 10% de PEAD | UNIDADE Litros | PARA 30% de PEAD | UNIDADE Litros | PARA 50% de PEAD | UNIDADE Litros |
|-----------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| Cimento         | 8,00           | Cimento          | 8,00           | Cimento          | 8,00           | Cimento          | 8,00           |
| Brita           | 16,00          | Brita            | 16,00          | Brita            | 16,000         | Brita            | 16,00          |
| Areia           | 15,20          | Areia            | 14,40          | Areia            | 11,20          | Areia            | 8,00           |
| PEAD            | 0,80           | PEAD             | 1,60           | PEAD             | 4,80           | PEAD             | 8,00           |
| Água            | 3,60           | Água             | 3,60           | Água             | 3,60           | Água             | 3,60           |
| Ligante         | 0,40           | Ligante          | 0,40           | Ligante          | 0,40           | Ligante          | 0,40           |

### 5.2.6 Compressão axial

Após 7, 14, 21 e 28 dias foram retiradas, respectivamente, três amostras (CP1, CP2 e CP3) para o ensaio de compressão axial em uma prensa EMIC PC-150c (Figura

11) instalada no laboratório 19 da FOA. O mesmo procedimento foi utilizado para os outros corpos de prova com a substituição da areia pelo PEAD micronizado nas proporções de 5%, 10%, 30% e 50%.



Figura 11 - Emic PC-150c

### 5.2.7 Absorção de água e Índice de vazios

A NBR 9778 (1987) [39] prescreve o modelo pelo qual deve ser executado o ensaio para a determinação da absorção de água, através de imersão, do índice de vazios e massa específica de argamassa e concreto endurecidos. A absorção de água por imersão é definida pela equação 1:

$$A_{ag} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$A_{ag}$  = Absorção de água

$M_{sat}$  = massa do corpo de prova saturado - é a massa do corpo após 72 horas de imersão.

$M_s$  = massa do corpo de prova seco em estufa - é a massa do corpo após 24 horas de sair da estufa.

O índice de vazios é definido pela equação 2:

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$I_v$  = índice de vazios

$M_{sat}$  = massa do corpo de prova saturado - é a massa do corpo após 72 horas de imersão.

$M_s$  = massa do corpo de prova seco em estufa - é a massa do corpo após 24 horas de sair da estufa.

$M_i$  = massa imersa - é a massa do corpo de prova saturado imerso na água.

Nos ensaios realizados para a absorção de água e índice de vazios, primeiramente foi inserido em uma estufa de esterilização marca Odontobrás modelo 1.5 instalada no laboratório 19 da FOA (Figura 12) a uma temperatura de 100°C por um período de 24 horas, dois corpos de prova de cada composição.



Figura 12 - Estufa de esterilização marca Odontobrás modelo 1.5

Fonte: [40]

Após este período, estes foram retirados ficando expostos em temperatura ambiente ( $23^{\circ}\text{C}$ ), por 24 horas (Figura 13), e terminado este tempo realizou-se a pesagem em uma Balança de precisão marca BEL modelo Welmy instalada no laboratório 19 da FOA (Figura 14) e imediatamente foram imersos na água.



Figura 13 - Cp's composições 5%, 10%, 30% e 50%

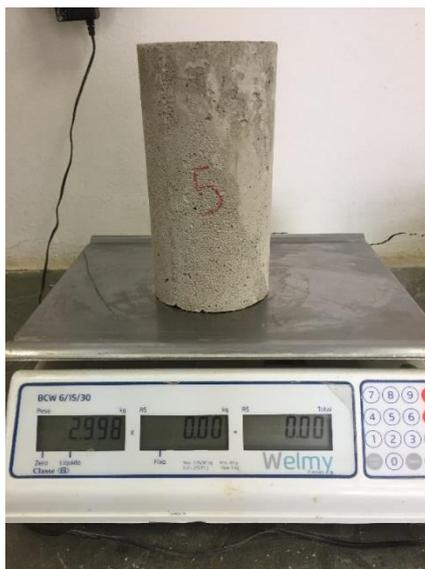


Figura 14 - Balança de precisão marca BEL modelo Welmy

### 5.2.8 MEV

O MEV é capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra que são úteis para avaliar sua estrutura. Para este estudo utilizou-se o MEV da marca Hitachi modelo TM 3000 instalado no laboratório 3 da FOA (Figura 15), equipado com um detector de elétrons secundários. Nas análises não foi necessária a deposição de ouro, uma vez que o concreto já possui óxidos ferrosos, e assim permitem a sua condutividade.



Figura 15 - MEV Hitachi modelo TM 3000

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1. GRANULOMETRIA DA AREIA

A tabela 1 mostra que a maior quantidade de material ficou retido na peneira de 0,85 mm correspondendo a um percentual de 51,48% do total e de acordo com a NBR 7217 (1987) [34] definiu-se que foi utilizado areia media pois este valor ficou compreendido na faixa de 0,3 mm a 1,20 mm.

Tabela 1 – Granulometria da areia

| <b>MALHA<br/>(mm)</b> | <b>PENEIRA<br/>(g)</b> | <b>PENEIRA<br/>+<br/>MATERIAL<br/>(g)</b> | <b>MATERIAL<br/>(g)</b> | <b>PERCENTUAL<br/>(%)</b> | <b>PERCENTUAL<br/>ACUMULADO<br/>(%)</b> |
|-----------------------|------------------------|---|-------------------------|---------------------------|---|
| 4,75                  | 439,00                 | 439,00                                    | 0,00                    | 0,00                      | 0,00                                    |
| 2,36                  | 390,02                 | 392,06                                    | 2,04                    | 0,41                      | 0,41                                    |
| 0,85                  | 387,68                 | 645,08                                    | 257,40                  | 51,48                     | 51,89                                   |
| 0,60                  | 333,97                 | 500,61                                    | 166,64                  | 33,33                     | 85,22                                   |
| 0,42                  | 363,08                 | 407,09                                    | 44,01                   | 8,80                      | 94,02                                   |
| 0,30                  | 348,21                 | 364,20                                    | 15,99                   | 3,20                      | 97,22                                   |
| 0,15                  | 347,85                 | 357,75                                    | 9,90                    | 1,98                      | 99,20                                   |
| Fundo                 | 397,62                 | 398,37                                    | 0,75                    | 0,15                      | 99,35                                   |
|                       |                        | total =                                   | 496,73                  | 99,35                     |   |
|                       |                        | perda =                                   | 3,27                    | 0,65                      |   |

Fonte: [34]

### 6.2. GRANULOMETRIA DA BRITA

A tabela 2 mostra que a maior quantidade de material ficou retida na peneira de 12,5 mm correspondendo a um percentual de 60,31 % do total e de acordo com a

norma NBR 7225 (1993) [38] definiu-se que foi utilizado a brita 1 pois este valor ficou compreendido na faixa de 4,8 mm a 12,5 mm.

Tabela 2 – Granulometria da brita

| <b>MALHA (mm)</b> | <b>PENEIRA (g)</b> | <b>PENEIRA + MATERIAL (g)</b> | <b>MATERIAL (g)</b> | <b>PERCENTUAL (%)</b> | <b>PERCENTUAL ACUMULADO (%)</b> |
|-------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 25                | 414,58             | 414,58                        | 0,00                | 0,00                  | 0,00                            |
| 19                | 395,78             | 526,93                        | 131,15              | 26,23                 | 26,23                           |
| 12,5              | 432,57             | 734,11                        | 301,54              | 60,31                 | 86,54                           |
| 9,5               | 405,74             | 441,04                        | 35,30               | 7,06                  | 93,60                           |
| 6,3               | 411,84             | 429,67                        | 17,83               | 3,57                  | 97,16                           |
| 4,76              | 571,47             | 583,34                        | 11,87               | 2,37                  | 99,54                           |
| 2,36              | 392,92             | 393,86                        | 0,94                | 0,19                  | 99,73                           |
| Fundo             | 410,51             | 410,51                        | 0,00                | 0,00                  | 99,73                           |
|                   |                    | total =                       | 498,63              | 99,73                 |                                 |
|                   |                    | perda =                       | 1,37                | 0,27                  |                                 |

Fonte: [38]

## 6.3. COMPRESSÃO AXIAL

### 6.3.1. Valores para 7 dias

O quadro 5 apresenta os valores da compressão axial realizada nos corpos de prova 1, 2 e 3 que foram desenformados após 7 dias. Observa-se um pequeno decréscimo nos valores de resistência à compressão para os CP's 1 e 2 na medida em que se vai aumentando a quantidade de percentual do PEAD micronizado. Já o CP3 apresentou um pequeno acréscimo na proporção de 10%, mas na média observa-se o decréscimo quando aumenta a quantidade do PEAD. Porém, de uma forma geral, os valores médios das composições se encontram com as suas médias bem próximas, mas a composição de 5% apresentou uma média de resistência à compressão maior e com menor desvio padrão.

Quadro 5 – Resistência a compressão axial com 7 dias

| 7 dias | CP1 (MPa) | CP2 (MPa) | CP3 (MPa) | MÉDIA (MPa) | DESVIO PADRÃO (MPa) |
|--------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------------------|
| 0%     | 11,67     | 9,15      | 11,32     | 10,71       | 1,37                |
| 5%     | 13,44     | 14,18     | 13,43     | 13,68       | 0,43                |
| 10%    | 11,44     | 12,19     | 15,31     | 12,98       | 2,05                |
| 30%    | 11,19     | 10,15     | 12,17     | 11,17       | 1,01                |
| 50%    | 9,19      | 8,15      | 13,89     | 10,41       | 3,06                |

A Figura 16 apresenta a média destes valores e o desvio padrão, onde observa-se uma queda na resistência à compressão na medida em que se vai acrescentando o PEAD micronizado e um desvio padrão maior na composição de 50% em relação aos outros. Um estudo com apenas um percentual de substituição de 5% em peso da areia do concreto por agregados do PEAD micronizado e com granulometria semelhante à da areia substituída, a partir de quatro traços tomados como referência, no qual foi substituído 5% do agregado miúdo, verificou-se que todas as misturas apresentaram características semelhantes quanto à resistência mecânica [36]. Os resultados desse estudo notabilizam-se pela pequena variação das resistências à compressão dos concretos com 5% de PEAD micronizado em relação aos traços de referência. Neste estudo observa-se também esta variação na resistência a compressão axial para as composições de 5% a partir do traço tomado como referência.

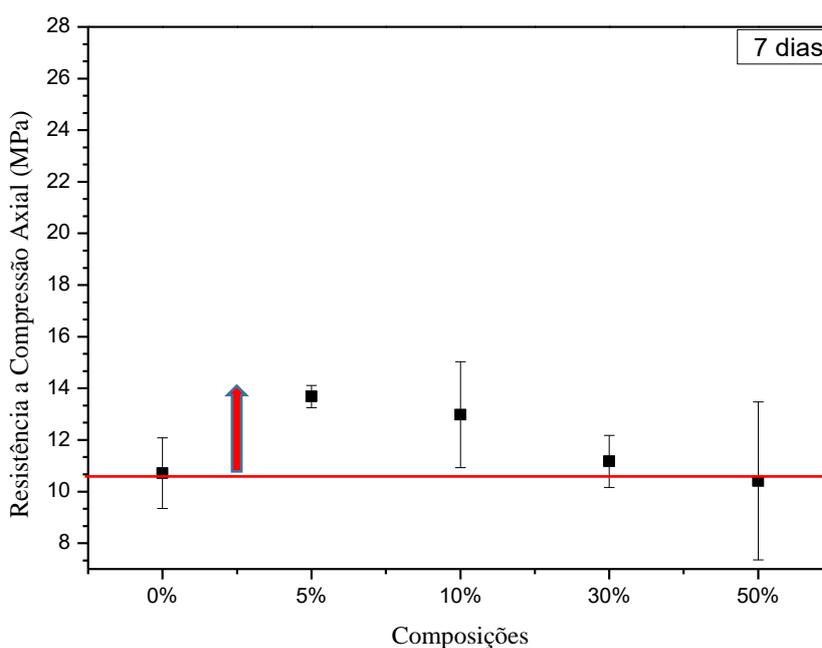


Figura 16 – Média e Desvio Padrão MPa para 7 dias

### 6.3.2. Valores para 14 dias

O quadro 6 apresenta os valores da compressão axial realizada nos corpos de prova 1, 2 e 3 que foram desenhados após 14 dias. Observa-se um pequeno decréscimo nos valores de resistência a compressão para os CP's 1, 2 e 3 na medida em que se vai aumentando a quantidade de percentual do PEAD. Já o CP2 apresentou um pequeno acréscimo na composição de 5% e 10% em relação ao CP's 1 e 3.

Quadro 6 – Resistência a compressão axial com 14 dias

| 14 dias | CP1 (MPa) | CP2 (MPa) | CP3 (MPa) | MÉDIA (MPa) | DESVIO PADRÃO (MPa) |
|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------------------|
| 0%      | 16,8      | 14,11     | 17,35     | 16,09       | 1,73                |
| 5%      | 17,44     | 18,37     | 16,13     | 17,31       | 1,13                |
| 10%     | 12,38     | 14,17     | 12,21     | 12,92       | 1,09                |
| 30%     | 11,18     | 10,44     | 12,97     | 11,53       | 1,3                 |
| 50%     | 9,17      | 12,48     | 11,13     | 10,93       | 1,66                |

A figura 17 apresenta a média destes valores e o desvio padrão, onde observa-se uma queda na resistência a compressão axial na medida em que se vai acrescentando o PEAD micronizado a partir da composição de 5% e um desvio padrão proporcional entre eles. Foi realizado um estudo com percentual em substituição ao agregado miúdo nas proporções de 10%, 17% e 25% onde foi observado uma redução na resistência mecânica no caso a resistência a compressão, entretanto o autor ressalta que não houve uma redução gradativa com o aumento dos agregados plásticos como observado em estudos anteriores, porém a amostra de 17% apresentou um percentual menor a resistência a compressão [27]. Neste estudo a composição de 50% apresentou uma redução menor a compressão em relação as anteriores.

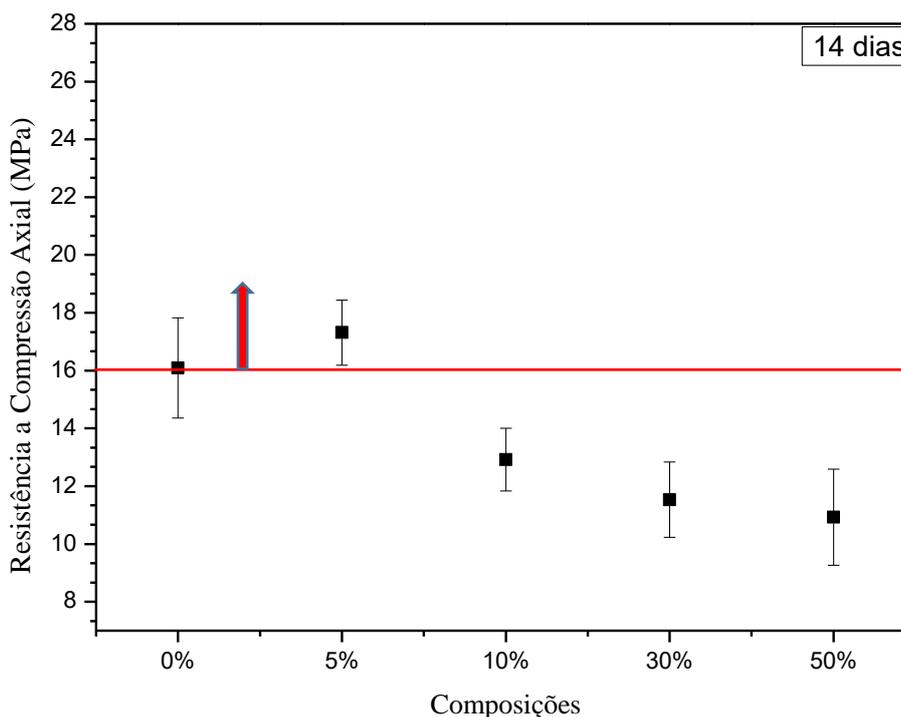


Figura 17 – Média e Desvio Padrão MPa para 14 dias

### 6.3.3. Valores para 21 dias

O quadro 7 apresenta os valores da compressão axial realizada nos corpos de prova 1, 2 e 3 que foram desenformados após 21 dias. Observa-se que os valores da resistência a compressão axial das composições entre os CP's 1, 2 e 3 não apresentaram muita diferença.

Quadro 7 – Resistência a compressão axial com 21 dias

| 21 dias | CP1 (MPa) | CP2 (MPa) | CP3 (MPa) | MÉDIA (MPa) | DESVIO PADRÃO (MPa) |
|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------------------|
| 0%      | 21,85     | 19,02     | 20,7      | 20,52       | 1,42                |
| 5%      | 21,34     | 23,45     | 22,38     | 22,39       | 1,06                |
| 10%     | 16,38     | 15,41     | 13,19     | 14,99       | 1,64                |
| 30%     | 13,19     | 15,12     | 14,87     | 14,39       | 1,05                |
| 50%     | 15,17     | 14,89     | 15,64     | 15,23       | 0,38                |

A figura 18 apresenta a média destes valores e o desvio padrão, onde observa-se uma queda na resistência a compressão nas composições de 10%, 30% e 50% para os cp's 1 e 2. A composição de 50% apresentou um desvio padrão muito pequeno em relação aos demais e na compressão axial manteve-se na média entre 14,99 MPa e 15,23MPa. Observado também que nas duas semanas anteriores (7 dias e 14 dias)

a composição de 5% de PEAD foi a que apresentou um índice de MPa mais alto em relação a composição de base que é a de 0% (sem adição de PEAD).

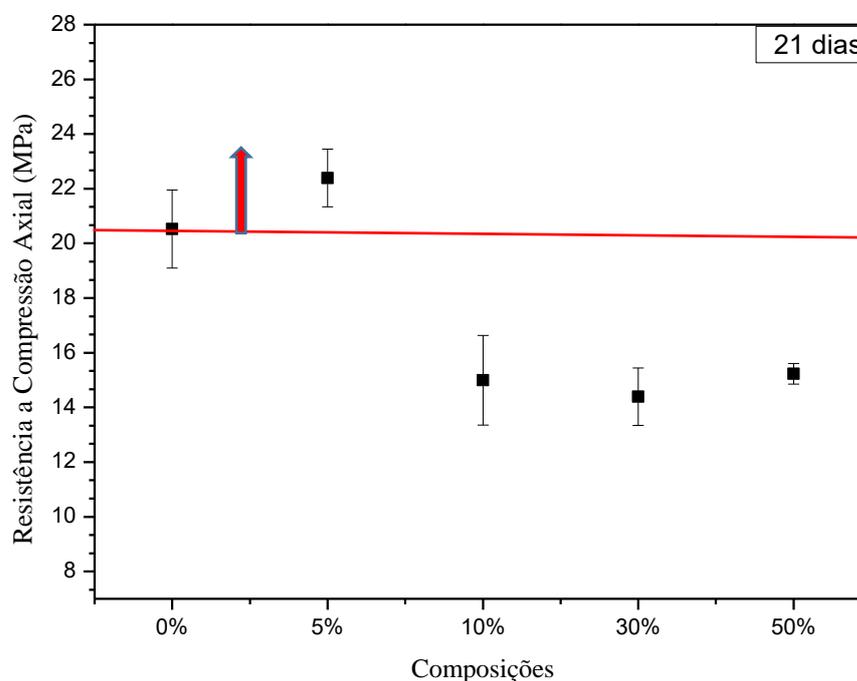


Figura 18 – Média e Desvio Padrão MPa para 21 dias

#### 6.3.4. Valores para 28 dias

O quadro 8 apresenta os valores da compressão axial realizada nos corpos de prova 1, 2 e 3 que foram desenformados após 28 dias. Os CP's 1, 2 e 3 apresentaram uma queda na resistência à compressão a partir da composição de 5% mas entre eles houve uma pequena variação nos valores em todas as composições. Observa-se também que não houve diferença no desvio padrão entre as composições de 0% e 5%.

Quadro 8 - Resistência a compressão axial para 28 dias

| 28 dias | CP1 (MPa) | CP2 (MPa) | CP3 (MPa) | MÉDIA (MPa) | DESVIO PADRÃO (MPa) |
|---------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------------------|
| 0%      | 25,77     | 23,94     | 23,88     | 24,53       | 1,07                |
| 5%      | 25,19     | 26,38     | 24,19     | 25,25       | 1,10                |
| 10%     | 20,18     | 19,47     | 16,76     | 18,8        | 1,81                |
| 30%     | 16,21     | 15,38     | 14,17     | 15,25       | 1,03                |
| 50%     | 16,78     | 15,96     | 15,11     | 15,95       | 0,84                |

A figura 19 apresenta a média destes valores e o desvio padrão, onde observa-se uma queda na resistência a compressão nas composições de 10%, 30% e 50% em relação a composição de 5%.

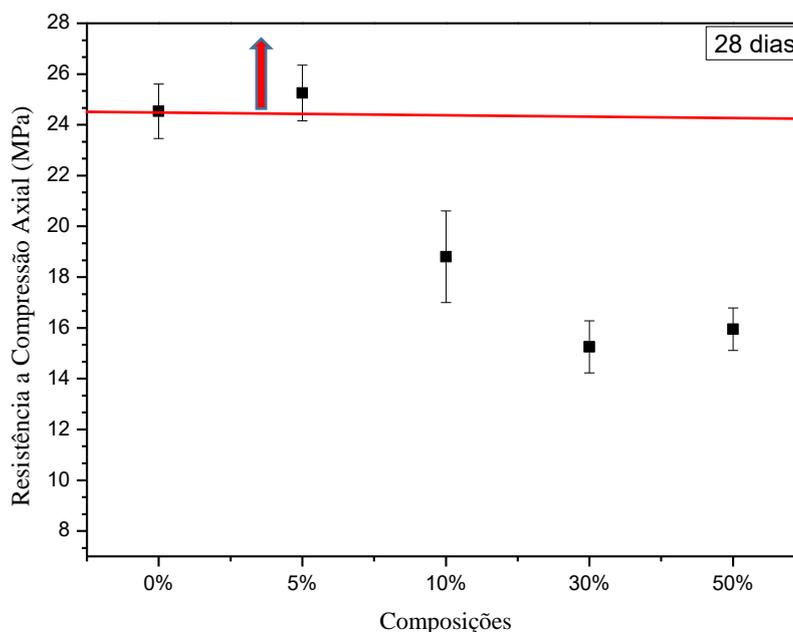


Figura 19 – Média e Desvio Padrão MPa para 28 dias

### 6.3.5. Valores MPa x Tempo de vida (Dias)

A figura 20 apresenta uma comparação de todas as composições com suas idades (tempo de vida) em relação aos valores de resistência axial e em destaque observa-se que a composição de 5% de PEAD na idade de 7 dias foi a que apresentou um resultado de 27,73% a mais na resistência axial quando comparado ao cp de base da mesma idade.

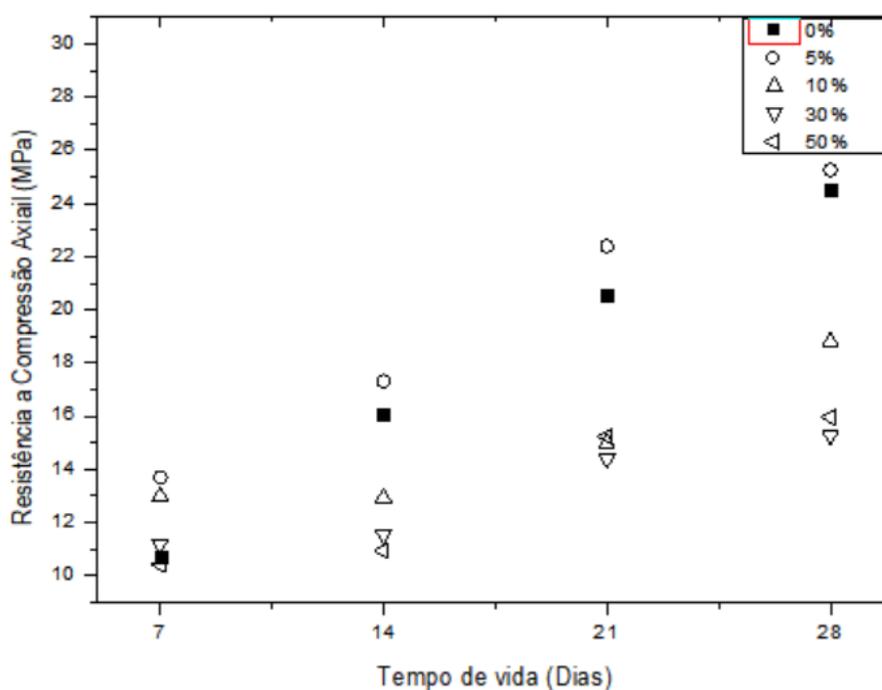


Figura 20 – Valores MPa x Tempo de vida

#### 6.4. ABSORÇÃO DE ÁGUA

O quadro 9 mostra os valores da massa seca (Ms) e da massa saturada (Msat) de dois corpos de prova de cada composição e por meio da equação (1), foram determinados os valores de absorção de água (Aag %). Observado pelos resultados que a composição sem a adição do PEAD (0%) foi a que absorveu mais água tanto para o CP1 e para o CP2 prevalecendo também na média e no desvio padrão. Os corpos de prova que absorveram pouca água foram os da composição de 30% tanto para o CP1 e para o CP2 prevalecendo também na média e no desvio padrão.

Quadro 9 – Resultado da Absorção de água

| CORPOS DE PROVA | CP1        |              |          | CP2        |              |          | ABSORÇÃO DE ÁGUA<br>(Média / Desv.Padrão)<br>% |
|-----------------|------------|--------------|----------|------------|--------------|----------|--|
|                 | Ms<br>(kg) | Msat<br>(kg) | Aag<br>% | Ms<br>(kg) | Msat<br>(kg) | Aag<br>% |  |
| 0%              | 3,1        | 3,3          | 6,5      | 3,1        | 3,3          | 7,6      | 7,06±0,81                                      |
| 5%              | 3          | 3,1          | 4,9      | 3          | 3,2          | 6,7      | 5,76±1,26                                      |
| 10%             | 3          | 3,2          | 4,5      | 3,1        | 3,3          | 7,3      | 5,87±1,96                                      |
| 30%             | 3          | 3,1          | 4,4      | 3,4        | 3,6          | 5,7      | 5,08±0,93                                      |
| 50%             | 3,1        | 3,2          | 4,9      | 3          | 3,2          | 6        | 5,45±0,76                                      |

A figura 21 mostra estes valores obtidos pelo quadro 11 onde é observado claramente a média e o desvio padrão dos CP's 1 e 2 da composição de 30% que absorveu pouca água em relação aos demais e a composição sem a adição de PEAD (0%) foi a que absorveu mais água.

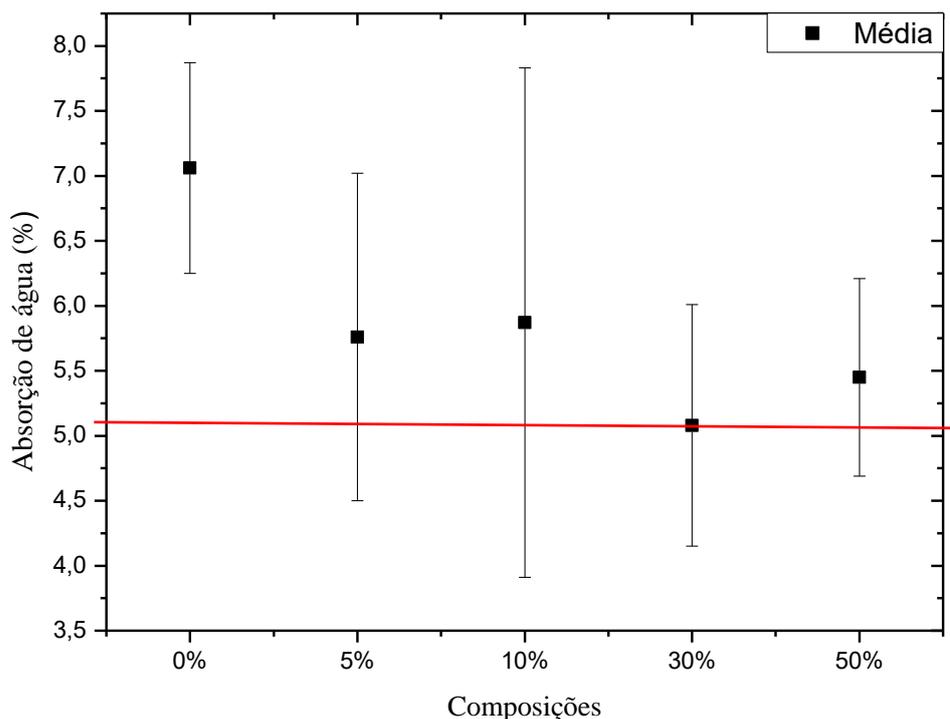


Figura 21 – Resultados da absorção de água

### 6.3 ÍNDICE DE VAZIOS

O quadro 10 mostra os valores da massa seca ( $M_s$ ), da massa saturada ( $M_{sat}$ ) e da massa imersa ( $M_i$ ) de dois corpos de prova de cada composição e através da equação (2) foi determinado os valores do Índice de vazios ( $I_v$  %). Observou-se que a composição de 50% do CP1 foi a que apresentou um índice de vazios ( $I_v$ ) mais baixo (10,46%) em relação aos CP1 e CP2 das outras composições prevalecendo este valor mais baixo também na média e no desvio padrão (11,91%). A composição de 30% do CP2 apresentou também um índice de vazios baixo em relação as outras composições do grupo CP2 (12,57%) e um desvio padrão de 0,19%.

Quadro 10 – Resultado do Índice de vazios

| CORPOS DE PROVA | CP1    |          |        |       | CP2    |          |        |       | ÍNDICE DE VAZIOS (%)<br>(Média / Desv.Padrão) |
|-----------------|--------|----------|--------|-------|--------|----------|--------|-------|---|
|                 | Ms(Kg) | Msat(Kg) | Mi(Kg) | Iv(%) | Ms(Kg) | Msat(Kg) | Mi(Kg) | Iv(%) |   |
| Composições     |        |          |        |       |        |          |        |       |   |
| 0%              | 3,10   | 3,30     | 1,97   | 15,09 | 3,05   | 3,29     | 2,16   | 20,71 | 17,90±3,97                                    |
| 5%              | 3,00   | 3,14     | 2,20   | 15,48 | 3,02   | 3,32     | 2,12   | 24,73 | 20,11±6,54                                    |
| 10%             | 3,03   | 3,17     | 2,18   | 13,77 | 3,10   | 3,33     | 2,06   | 17,77 | 15,77±2,83                                    |
| 30%             | 2,99   | 3,12     | 2,09   | 12,84 | 3,40   | 3,59     | 2,04   | 12,57 | 12,71±0,19                                    |
| 50%             | 3,05   | 3,20     | 1,77   | 10,46 | 3,04   | 3,22     | 1,86   | 13,36 | 11,91±2,05                                    |

A figura 22 explana em forma gráfica estes valores obtidos pelo quadro 12 onde é observado claramente que a composição de 50% foi a que apresentou um índice de vazios (Iv) mais baixo em relação a outras composições pois o PEAD micronizado em maior quantidade preencheu os vazios prevalecendo este valor mais baixo também na média e no desvio padrão. A composição de 30% apresentou um desvio padrão menor em relação as outras composições.

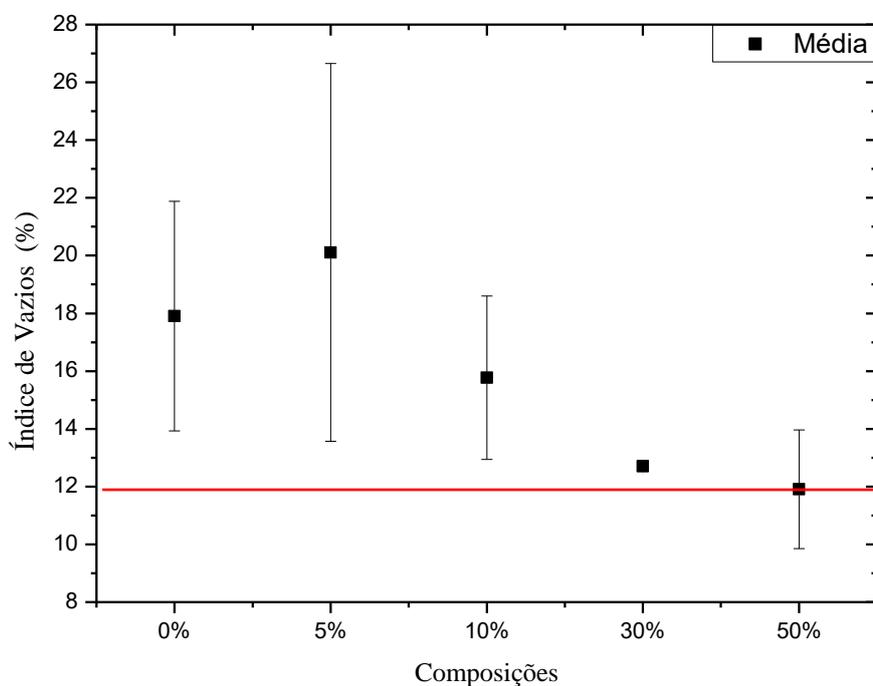


Figura 22 – Resultados do Índice de Vazios

## 6.4 MEV

Para esta análise em primeiro lugar foi produzido apenas um corpo de prova para servir de base para análise do particulado PEAD com a composição de 50% de PEAD e 50% de cimento. A figura 23 mostra este particulado nesta composição.

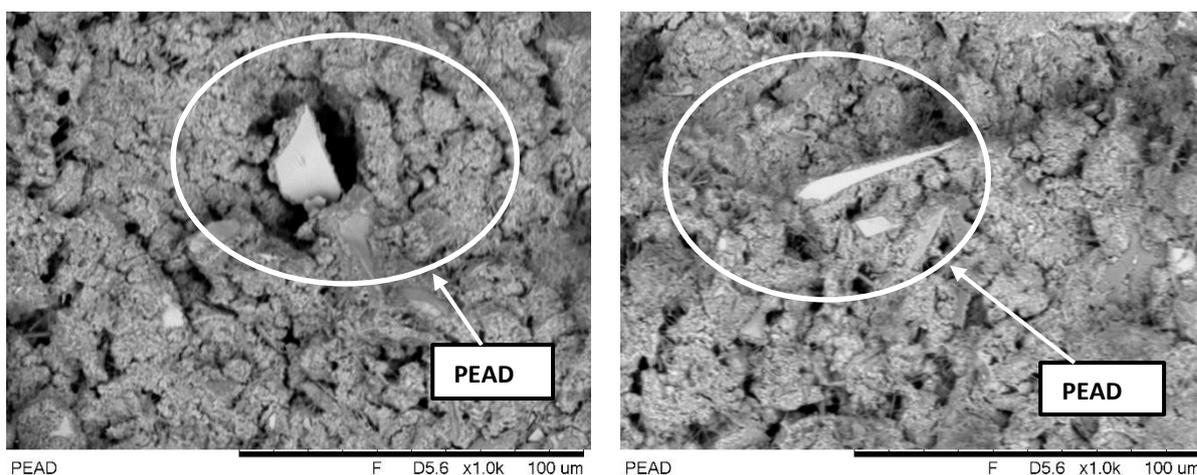
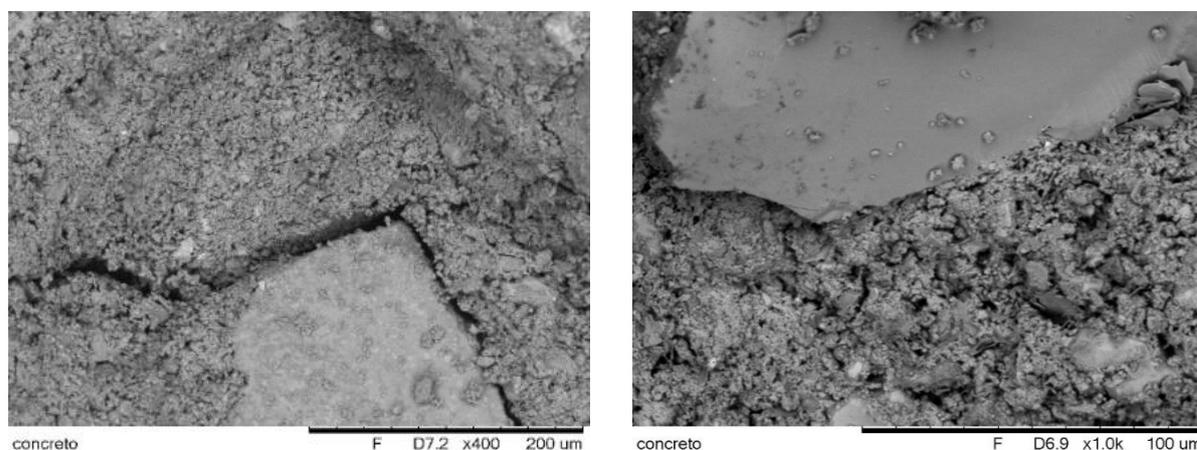


Figura 23a e 23b – Composição apenas de cimento e PEAD (50% + 50%)

Nas amostras ditas puras observa-se com o aumento igual ou acima de 400x vê-se claramente particulados brancos referentes a areia no sistema. Apesar de apresentar algumas trincas, o sistema não apresenta porosidade considerável. Entretanto, estas trincas estão no entorno do cascalho, o que pode causar perda das propriedades mecânicas do sistema (Figuras 24a e 24 b).

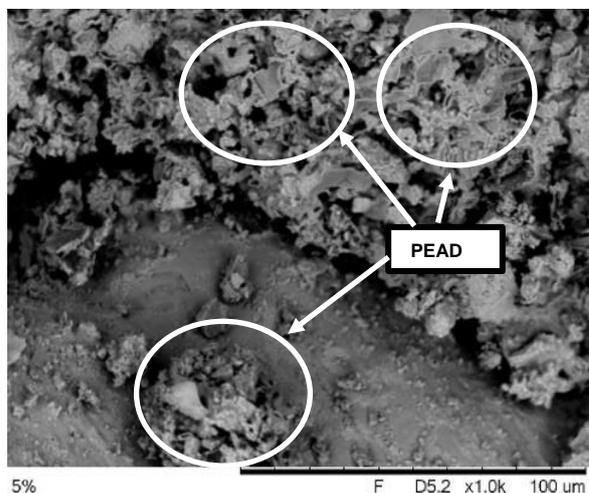


( Figura 24a )

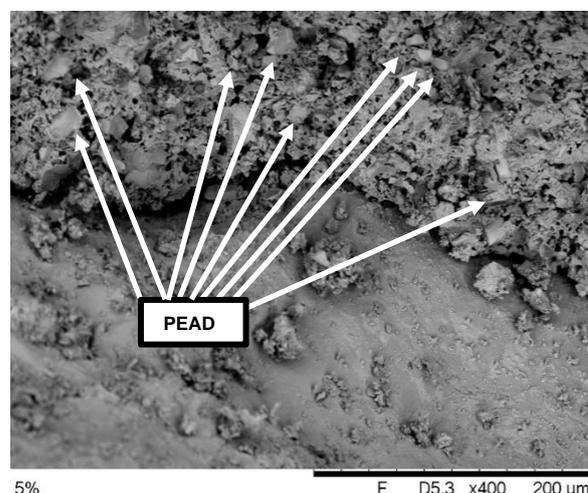
(Figura 24b)

Figuras 24a e 24b: Composição sem a adição de PEAD micronizado

Na amostra com 5% observa-se além da areia, da brita ou cascalho e do cimento, pontos onde há aglomeração do polímero, que faz com que a superfície fique menos porosa, entretanto, ela deixa claro que a homogeneização da mistura não foi completa (Figuras 25a e 25b).



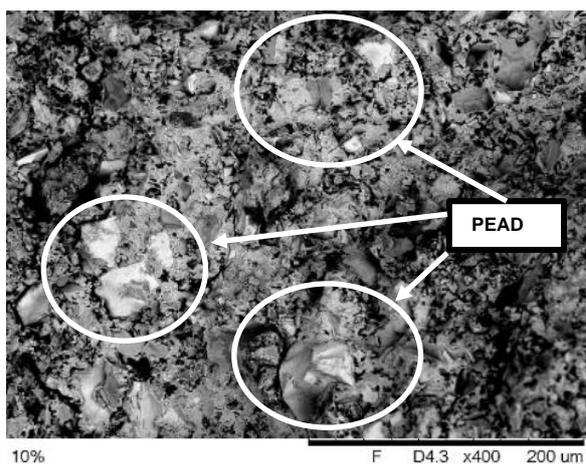
(Figura 25a)



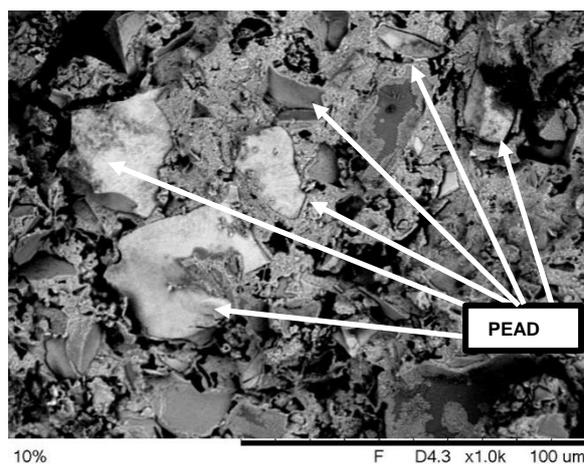
(Figura 25b)

Figuras 25a e 25b: Composição de 5% de PEAD em substituição a areia

Na amostra com 10%, observa-se que a quantidade de pontos ditos menos porosos aumenta como esperado, visto que a inserção do polímero, em massa aumentou consideravelmente (Figuras 26a e 26b).



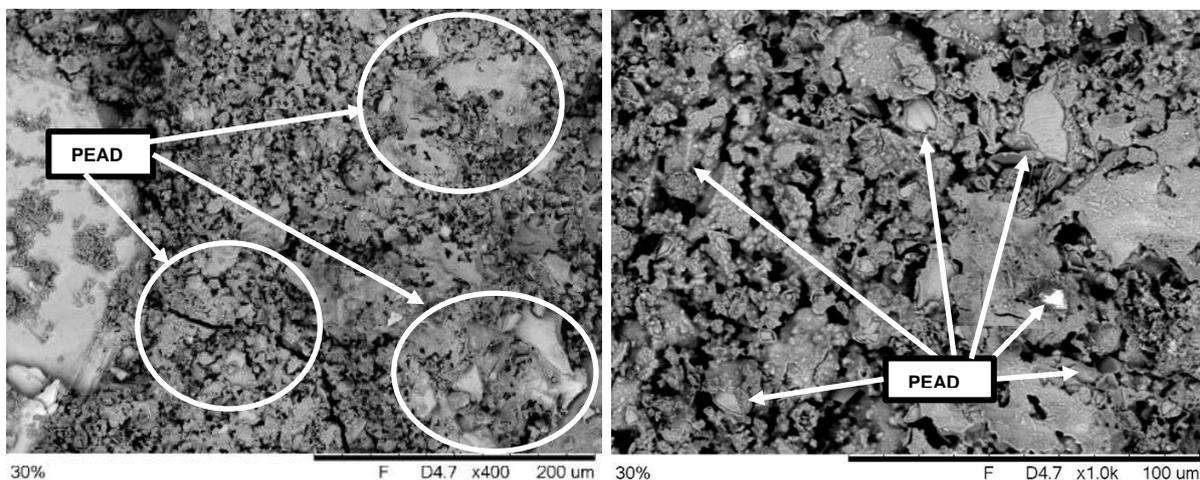
(Figura 26a)



(Figura 26b)

Figuras 26a e 26b: Composição de 10% de PEAD em substituição a areia

No processo de fabricação do material com 30%, estes pontos menos porosos estão claramente definidos, podendo ser devido a um processo de mistura ou uma melhor homogeneização, mas ainda pode-se ver claramente as partículas do PEAD (Figuras 27a e 27b).

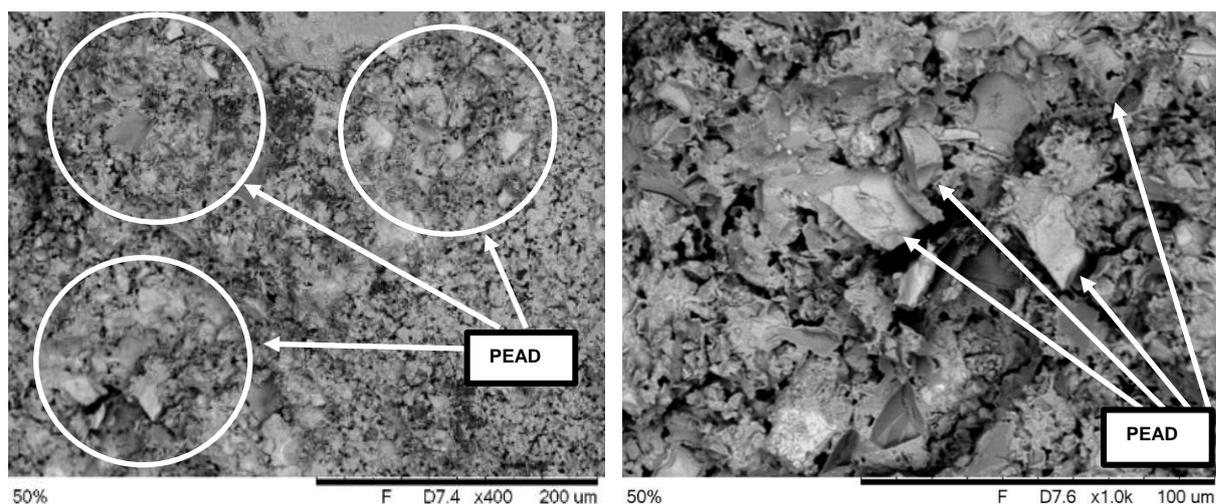


(Figura 27a)

(Figura 27b)

Figuras 27a e 27b: Composição de 30% de PEAD em substituição a areia

O processo de mistura feito com 50% de PEAD está bem melhor pois a mistura ficou mais homogênea e se vê as partículas em maior clareza (Figuras 28a e 28b).



(Figura 28a)

(Figura 28b)

Figuras 28a e 28b: Composição de 50% de PEAD em substituição a areia

Na microestrutura das Figuras 28 (a) e (b) veem-se claramente o PEAD em maior quantidade preenchendo os vazios devido a sua granulometria e a falta de interação com o cimento e concreto. Esta falta de interação é responsável pela redução na resistência à compressão.

## 7. CONCLUSÕES

As composições com 5%, 10%, 30% e 50% com PEAD micronizado, nos ensaios de resistência à compressão com 7, 14, 21 e 28 dias, apresentaram uma redução na resistência à compressão a partir da composição de 10%, onde as argamassas com incorporação do PEAD micronizado tendem a piorar bastante os seus valores. No entanto, particularmente, para a percentagem de 5%, a resistência à compressão foi maior que o seu controle de 2,86%, no tempo de 28 dias de vida.

Como referido, os estudos demonstram tendências decrescentes das resistências com o aumento do teor destes agregados. Conclui-se que as argamassas com incorporação de agregados plásticos apresentaram mais ductilidade na composição de 5% em que foi superior a todas as outras composições inclusive na composição de 0% que serviu como base para os estudos.

Nos ensaios de absorção de água observou-se que a composição sem a adição do PEAD (0%) foi a que absorveu mais água tanto para o CP1 e para o CP2 prevalecendo também na média e no desvio padrão (7,06%). Os corpos de prova que absorveram pouca água foram os da composição de 30% e a de 50% tanto para o CP1 e para o CP2 prevalecendo também na média e no desvio padrão (5,08%). Conclui-se que quanto maior for a adição do PEAD menor será a absorção de água.

Para o índice de vazios observou-se que a composição de 50% do CP1 foi a que apresentou um índice de vazios (lv) mais baixo (10,46%) em relação aos CP1 e CP2 das outras composições prevalecendo este valor mais baixo também na média e no desvio padrão (11,91%). Conclui-se que pela quantidade maior de PEAD e pela sua granulometria presentes no corpo de prova, estes vazios foram preenchidos dando como resultado um índice mais baixo, de 35,50%, em relação ao seu controle, no tempo de 28 dias de vida.

Nas análises realizadas com o MEV, observa-se na amostra com 5% além da areia, da brita ou cascalho e do cimento, pontos onde há aglomeração do polímero, que faz com que a superfície fique menos porosa. Na amostra com 10%, observa-se que a quantidade de pontos ditos menos porosos aumenta como esperado, visto que a inserção do polímero, em massa, dobrou. No processo de fabricação do material com 30%, estes pontos menos porosos estão claramente definidos, podendo ser devido a um processo de mistura ou uma melhor homogeneização, mas ainda pode-

se ver claramente as partículas do PEAD. O processo de mistura feito com 50% de PEAD esta bem melhor pois a mistura ficou mais homogênea e se vê as partículas em maior quantidade e clareza.

Conclui-se que os objetivos propostos no inicio deste trabalho foram alcançados pois conseguiu-se um bom resultado na resistência axial com o corpo de prova da composição de 5% de PEAD em substituição a areia comparando este com o corpo de prova base (sem adição), a adição foi benéfica nas propriedades da argamassa pois melhorou de forma significativa seu desempenho.

## 8. TRABALHOS FUTUROS

- Ensaio de abrasão
- Medidas de módulo de elasticidade, cisalhamento e coeficiente de Poisson.
- Composições com diferentes adições de PEAD.
- Composições com substituições diferentes, por exemplo no cimento.
- Realizar cura térmica e avaliar a influência na resistência à compressão.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANTONIO CARLOS **TEIXEIRA** - Jornalista, editor da revista Cadernos de Seguro, pós-graduando em Ciências Ambientais pela UFRJ Fonte: Revista Eco 21, Ano XIV, Edição 87, fevereiro 2004.
- [2] **NBR 10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004
- [3] **GOMES**, A.O.; **NEVES**, C.M.M. Proposta de dosagem de argamassas contendo argilominearias. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.2, n.2, p.19-30, abr-jun 2002.
- [4] **AMBIENTE BRASIL** Disponível em:  
<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem.html>  
Acessado em Jun/2017
- [5] **SIDDIQUE**, R.; **KHATIB**, J.; **KAUR**, I. Use of recycled plastic in concrete: A review. **Waste Management**, 2007, doi:10.1016/j.wasman.2007.09.011
- [6] [www.setorreciclagem.com.br](http://www.setorreciclagem.com.br), 2018, Tempo de decomposição dos materiais
- [7] **CEMPRE** – compromisso empresarial para reciclagem. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>> Acessado em Out/2017
- [8] **MERRILD** at al. (2008) - Avaliação do ciclo de vida da hierarquia de resíduos - Um estudo de caso dinamarquês sobre resíduos de papel - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X06002674>, Acessado em Out/2017
- [9] **REVISTA ESPACIOS** – Volume 37 número 18  
<http://www.revistaespacios.com/a16v37n18/16371803.html>  
Acessado em Out/2018
- [10] **MODRO**, N.L.R.; **MODRO**, N.R.; **OLIVEIRA**, A.P.N. Avaliação de concreto de cimento portland contendo resíduos de PET. **Revista matéria**, v.14, n.1, p. 725-736, 2009.
- [11] **MARTINELLI**, F.A.; **HELENE** P.R.L. Usos e funções das argamassas mistas destinadas ao revestimento de alvenarias. Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de engenharia de construção civil. São Paulo: EPUSP, 11p. 1991.
- [12] **BAUER**, L.A.F. **Materiais de construção**. Editora LTC. 5ª ed. Rio de Janeiro, 2001.
- [13] **CARASEK**, H. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. Ed. G.C. Isaias – São Paulo: IBRACON, 2007.
- [14] **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro/RJ, 2005.

- [15] **MEHTA, K.; MONTEIRO, J.M.** Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1ª Ed. São Paulo. Editora Pinni, 1994.
- [16] **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro/RJ, 2005. 160
- [17] **LEAL**, Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado, <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/3954>, Acessado em Out/2017
- [18] **ROSSIGNOLO, J.A.** Concreto leve estrutural: Influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.9, n.4, p.119-127, out-dez 2009.
- [19] **WASSERMAN, R.; BENTUR, A.** Interfacial interactions in lightweight aggregates concretes and their influence on the concrete strength. **Cement and concrete composites (18)**. p. 67-76, 1996
- [20] **CANEVAROLO JR. S.V.** **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. Artlier-ABPol. 1ª reimpressão. São Carlos, 2004.
- [21] **PROCESSOS INDUSTRIAIS**  
<https://pt.slideshare.net/FranklinCOliveira/processos-industriais-e-sustentabilidade-industria-dos-plasticos>, Formação de Polímeros  
Acessado em Out/2017
- [22] **NAIK, T. R.; SINGH, S.S.; HUBER, C. O.; BRODERSEN, B. S.** Use of post-consumer waste plastics in cement-based composites. **Cement and concrete research**, 1996. v. 26, nº 10, p. 1489 – 1492.
- [23] **CHOI, Y. W.; MOON, D. J.; CHUNG, J.S.; CHO, S.K.** Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. **Cement and research concrete**, 2004.
- [24] **BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I.** Use of selected waste materials in concrete mixes. **Waste Management**, v. 27, 2007
- [25] **KOU, S.C.; LEE, G.; POON, C.S.; LAI, W.L.** Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. **Waste Management**. v.29. 2009.
- [26] **ALBANO, C.; CAMACHO, N.; HERNANDEZ, M.; MATHEUS, A.; GUTIERREZ, A.** Influence os content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. **Waste Management**, v. 29, 2009.
- [27] **CANELLAS, S. S.** **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. 78p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- [28] **MARZOUK, O. Y.; DHEILLY, R. M.; QUENEUDEC, M.** Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. **Waste Management**, 2006, v. 27, p. 310-318. 165

[29] **HANNAWI**, K.; **BERNARD**, S.K.; **PRINCE**, W. Physical and mechanical properties os mortars conating PET and PC waste aggregates. **Waste Management**. 2010.

[30] **COUTINHO**, F. M. B.; **MELLO**, I. L.; **MARIA**, L. C. de S. Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v.13, n.1, p.1-13, 2003.

[31] **NBR 11578**: Cimento Portland composto – classificação. Rio de Janeiro, 1991

[32] **ARAÚJO JR**, J.M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 175p. 2004.

[33] **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro/RJ, 1987.

[34] **NBR 7217**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro/RJ, 1987.

[35] **NEVILLE**, A.N. Propriedades do concreto. 2ª Ed. São Paulo. Editora Pinni. 1997. **OHAMA**, Y. **Handbook of polymer-modified concrete and mortars. Properties and process technology**. Noyes publications. 236p. 1995

[36] **HARTMANN**, C.T.; **HELENE**, P.R.L. Avaliação de aditivos superplastificantes base de policarboxilatos destinados a concretos de cimento portland. Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de engenharia de construção civil. São Paulo: EPUSP, 22p. 2003.

[37] **VIAPOL** – Plastificante, <http://www.viapol.com.br/> Acessado em Out/2018

[38] **NBR 7225**: Materiais de pedra e agregados naturais, Rio de Janeiro, 1993.

[39] **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica, Rio De Janeiro, 1987.

[40] **ESTUFA ODONTOBRÁS** - <http://www.odontobras.com/produtos/produtos-estufas.htm> Acessado em Out/2017

## ANEXO 1

**Descrição do Produto**

ICORENE® 4220 é um polietileno de alta densidade, copolímero Hexeno, desenvolvido para rotomoldagem.

**General**

|                           |                          |                    |
|---------------------------|--------------------------|--------------------|
| Status do material        | Ativo                    |                    |
| Disponibilidade           | Sul América              |                    |
| Características           | UV 14                    | Aditivos especiais |
| Aparência                 | Natural                  | Pó colorido        |
| Processo de Transformação | Rotomoldagem             |                    |
| Aplicações                | Peças de grande, tanques | Cisternas/Barcos   |

| Propriedade Físicas                 | Valor                   | Método      |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------|
| Densidade (23°C)                    | 0,942 g/cm <sup>3</sup> | ASTM D 792  |
| Índice de Fluidez (190°C / 2,16 kg) | 2,0 g/10min             | ASTM D 1238 |
| ESCR                                | > 400 h                 | ASTM D 1693 |
| Densidade Aparente                  | > 33 g/100cc            | ASTM D 1895 |
| Fluxo Seco                          | > 31 s                  | ASTM D 1895 |
| Envelhecimento acelerado UV         | 8000 h                  | ASTM G 155  |

| Mecânica   | Valor Nominal (SI) | Método     |
|--|--------------------|------------|
| Resistência máxima de tração (50mm/min)          | 21,4 MPa           | ASTM D 638 |
| Alongamento na ruptura (50mm/min)                | 705 %              | ASTM D 638 |
| Modulo Flexão (2mm/min)                          | 989 MPa            | ASTM D 790 |
| Resistência Impacto queda de dardo (3mm / -40°C) | 100 J              | ARM        |

| Resistência Térmica | Valor Nominal (SI) | Método     |
|---------------------|--------------------|------------|
| HDT (0,45 MPa)      | ND                 | ASTM D 648 |
| HDT (1,82 MPa)      | 59 °C              | ASTM D 648 |

**Informações Adicionais**

Não deve ser aplicado para aplicações médicas ou farmacêuticas.

Atende a regulamentação 21CFR Seção 177.1520 do Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos da América.

**Embalagem e Armazenamento**

ICORENE® 4220 é embalado em sacos valvulados de 25 kg e embarcados em pallets de 1000 kg.

O produto deve ser armazenado ambiente seco, em temperatura ambiente e ao abrigo de luz solar direta.

O ICORENE® 4220 pode ser armazenado por até 24 meses.

Altas temperaturas de armazenamento podem reduzir seu prazo de validade consideravelmente.