



Sabino Alves de Aguiar Neto

**Produção de argamassas com aproveitamento  
de resíduos de polímeros etílenos e propílenos  
como materiais de construção civil.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Dissertação Orientada pelo Professor Dr. Marcelo de Souza Picanço

Belém – Pará – Brasil

2020

Universidade Federal do Pará  
Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**Sabino Alves de Aguiar Neto**

**Produção de argamassas com aproveitamento de resíduos de polímeros  
etilenos e propilenos como materiais de construção civil.**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Marcelo de Souza Picanço

Belém  
Março de 2020

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Sabino Alves de Aguiar Neto.

TÍTULO: Produção de argamassas com aproveitamento de resíduos de polímeros etilenos e propilenos como materiais de construção civil.

GRAU: Mestre ANO: 2020

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

### **Sabino Alves de Aguiar Neto**

Av. Augusto Correa, nº1, Campus Universitário do Guamá  
Laboratório de Engenharia Civil, Belém, Pará.  
CEP 66075-970.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/ UFPÁ, Belém – PA

---

Aguiar Neto, Sabino Alves de, 1991-

Produção de argamassas com aproveitamento de resíduos de polímeros etilenos e propilenos como materiais de construção civil/ Sabino Alves de Aguiar Neto. – 2020.

Orientador: Marcelo de Souza Picanço.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2019.

1. Material Alternativo. 2. Reaproveitamento. 3. Resíduo Plástico. 4. Polímero. 5. Argamassa cimentícia. 6. Microestrutura.

CDD - XX. ed. XXX.XXXXX

---



**Sabino Alves de Aguiar Neto**

**Produção de argamassas com aproveitamento de resíduos de polímeros etilenos e propilenos como materiais de construção civil.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

---

Prof. Eng. Dr. Marcelo de Souza Picanço  
Orientador  
Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil – UFPA

---

Prof. Eng. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués  
Examinador Interno  
Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil – UFPA

---

Prof. Eng. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo  
Examinador Interno  
Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil – UFPA

---

Prof. Eng. Dr. Mateus Antônio Nogueira Oliveira  
Examinador Externo  
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Belém, 04 de Março de 2020.

“Sim, o Senhor fez em nós grandes coisas; ficamos exultantes de alegria!”

(Salmo 125, 3)

## **Agradecimentos**

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida que todos os dias se renovam, pelo seu infinito amor e todas as graças manifestadas através do Espírito Santo que sopra sobre nós e faz coisas inimagináveis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA), a todos os professores e coordenação; em especial ao Professor Dr. Marcelo de Souza Picanço, por todo o auxílio, amizade, cuidado e que me orientou academicamente por este caminho até aqui. Ainda no PPGEC, agradeço especialmente a Sra Sanny Assis e ao Professor Dr. Mateus; obrigado pela colaboração e incentivo!

Aos meus pais Célia e Arimatéia, aos meus irmãos Ary e Celio, aos meus sobrinhos Augusto e Apollo, meus avós Madalena e Waldomiro (em memória), as minhas cunhadas Viviane e Glebory e demais familiares que sempre são meu refúgio e com quem eu posso contar em todas as horas. Mas gostaria de agradecer especialmente a minha mãe, DONA CÉLIA. Uma grande historiadora e educadora; uma mulher forte, que sempre lutou pelos seus filhos! Sendo grande exemplo de caráter e dignidade, nos ensinando e incentivando sempre na educação e formação pessoal. MÃE, MUITO DISSO É PELA SENHORA! TE AMO!

Agradeço a minha namorada Thamires, por todo o apoio e por sempre me incentivar a ir buscar sempre meus objetivos, mesmo nos momentos que eu queria desistir! Por me ajudar a sonhar novamente e acreditar que é possível!

A todos os amigos, mas em especial a Eng<sup>a</sup> Me. Cristiane Silva, que desde a graduação vem mostrando o valor de uma amizade verdadeira e companheira! Que sempre está disposta a ajudar e que sei que posso contar!

A Igreja Católica Apostólica Romana; na Renovação Carismática Católica, em especial ao MUR (Ministério Universidades Renovadas), ao movimento e membros, por me ajudarem a sonhar em um mundo novo!

Ao pessoal do Laboratório de Engenharia Civil da UFPA; em especial ao Técnico Joel Martins, ao Eng. Me. Denisson Braun e Eng. Me. Robson Fernandes, obrigado pelo apoio de vocês!

As empresas de reciclagem que forneceram o material para a pesquisa, bem como todos os que direta e indiretamente colaboraram com esta dissertação de mestrado.

Enfim, agradeço a todos, vocês são muito importantes! MUITÍSSIMO OBRIGADO!

## RESUMO

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

Diversas são as pesquisas que tem incentivado o reuso de materiais que são descartados e de alguma forma pareciam estar sem uso direto. A aplicação dos conceitos de logística reversa é crescente em diversos ramos industriais, visto as demandas geradas os impactos ambientais causados. Vislumbrando em especial a indústria da construção civil, que é tomada como uma das maiores geradoras de resíduos na sociedade, o aproveitamento de resíduos sólidos pode garantir a manutenção e controle do setor, haja vista a potencialidade e formas de inserções pelas diversas camadas industriais. Assim, aliado a isto, buscou-se avaliar o aproveitamento de resíduos de polímeros etilenos e propilenos como materiais de construção civil. Preliminarmente, os resíduos foram caracterizados por meios físicos e químicos, onde a granulometria foi a principal característica que inferiu nos tipos de teores e materiais a serem substituídos; sendo estes resíduos plásticos inseridos na produção de argamassas cimentícias, seja por substituição de percentuais do agregado miúdo natural ou do cimento Portland. Os teores de substituição do agregado natural foram de 0, 5, 10 e 20%, já para substituição do cimento Portland os teores utilizados foram de 0, 6, 10 e 14%. Um traço único e padrão foi adotado, onde as foram feitas compensações entre massa e volume dos resíduos com os materiais substituídos, visto as diferenças específicas de densidade. A partir dos traços as argamassas produzidas foram avaliadas nos estados fresco e úmido, onde as correlações entre teores e tipos de resíduos foram consideradas para as relações de análises das variáveis de controle tecnológico e interações microestruturais. Diante das análises se concluiu que os resíduos de polipropileno e polietileno podem ser aproveitados por substituição parcial do cimento Portland ou do agregado miúdo, onde a forma de solicitação e demanda acarretarão a escolha do tipo de resíduo e forma de uso.

**Palavras-chave:** Reaproveitamento. Resíduo Plástico. Polímero. Argamassa cimentícia. Microestrutura.

## **ABSTRACT**

AGUIAR NETO, S. A. **Production of mortars using polymers residues of ethylene and propylene as building materials.** Master's Thesis. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará. Belém, 2020.

There are several studies that have encouraged the reuse of materials that are discarded and somehow seemed to be without direct use. The application of the concepts of reverse logistics is growing in several industrial branches, given the demands generated by the environmental impacts caused. Looking especially at the civil construction industry, which is considered one of the largest waste generators in society, the use of solid waste can guarantee the maintenance and control of the sector, given the potential and forms of insertion by the various industrial layers. Thus, allied to this, we sought to evaluate the use of polymers residues of ethylene and propylene as construction materials. Preliminarily, the residues were characterized by physical and chemical means, where the granulometry was the main characteristic that inferred in the types of contents and materials to be replaced; these plastic wastes are inserted in the production of cementitious mortars, either by replacing percentages of natural aggregate or cement Portland. The contents of substitution of the natural aggregate were 0, 5, 10 and 20%, whereas for substitution of Portland cement the contents used were of 0, 6, 10 and 14%. A single and standard feature was adopted, where the compensations were made between mass and volume of waste with the replaced materials, given the specific differences in density. From the traces the mortars produced were evaluated in the fresh and wet states, where the correlations between contents and types of residues were considered for the analysis relationships of the technological control variables and microstructural interactions. In view of the analyzes, it was concluded that the polypropylene and polyethylene residues can be used by partial replacement of Portland cement or fine aggregate, where the form of request and demand will lead to the choice of the type of waste and form of use.

**Keywords:** Reuse. Plastic waste. Polymer. Cement mortar. Microstructure.

## Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Considerações Iniciais	19
1.2	Justificativa	20
1.3	Objetivos	21
1.3.1	Objetivo geral	21
1.3.2	Objetivos específicos	22
1.4	Estrutura da dissertação	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Plásticos, tipos e aplicações	23
2.1.1	Principais plásticos consumidos no Brasil.	25
2.1.2	Plásticos na construção civil	26
2.2	Reciclagem de resíduos plásticos	27
2.2.1	Logística reversa e a reciclagem de plásticos	29
2.3	Polímeros etilenos e propilenos.	30
2.3.1	Resíduos de polímeros etilenos e propilenos	32
2.4	Materiais Compósitos.	34
2.5	Materiais Finos	35
2.5.1	Influência da finura e origem dos agregados na produção de compósitos usados na Construção Civil.	36
2.5.2	Influência da finura do cimento Portland na produção de compósitos.	37
2.5.3	Adições minerais do cimento Portland.	38

2.5.4	Materiais Fílers	39
3	PARÂMETROS E INSTRUMENTOS DE PESQUISA.	41
3.1	Programa experimental.	41
3.1.1	- Metodologia de caracterização dos materiais de partida	45
3.1.1.1	<i>Cimentos</i>	46
3.1.1.2	<i>Agregado miúdo</i>	46
3.1.1.3	<i>Resíduos plásticos</i>	47
3.2	Materiais.	47
3.2.1	Materiais de Partida	48
3.2.1.1	<i>Cimentos Portland</i>	48
3.2.1.2	<i>Agregado miúdo</i>	48
3.2.1.3	<i>Água de Amassamento.</i>	49
3.2.1.4	<i>Resíduos de Polipropileno (PP) e Polietileno (PE).</i>	49
3.3	Métodos.	50
3.3.1	Caracterização microestrutural dos resíduos	51
3.3.1.1	<i>Geometria dos resíduos</i>	51
3.3.1.2	<i>Microscopia eletrônica</i>	52
3.3.2	Produção das argamassas.	54
3.3.2.1	<i>Definição de traço.</i>	54
3.3.2.2	<i>Definição da consistência.</i>	55
3.3.3	Ensaio e condições tecnológicas de análises das argamassas.	56
3.3.3.1	<i>Densidade de massa.</i>	56
3.3.3.2	<i>Absorção de água.</i>	57
3.3.3.3	<i>Resistência a compressão axial.</i>	58
3.3.3.4	<i>Módulo de Elasticidade.</i>	58
3.3.3.5	<i>Resistência à tração na flexão.</i>	58
3.3.3.6	<i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1	Propriedades dos resíduos.	61
4.1.1	Características de fases físicas e químicas.	61
4.1.1.1	<i>Dimensões, massa e finura</i>	61
4.1.1.2	<i>Forma e geometria</i>	63

4.1.1.3	<i>Topografia de superfícies e identificação de elementos químicos por microscopia eletrônica.</i>	66
4.2	Propriedades das Argamassas.	70
4.2.1	Características do estado fresco.	70
4.2.1.1	<i>Consistência, verificação do espalhamento.</i>	70
4.2.1.2	<i>Densidade de massa fresca.</i>	73
4.2.2	Características do estado endurecido.	77
4.2.2.1	<i>Densidade de massa endurecida.</i>	77
4.2.2.2	<i>Absorção de água.</i>	79
4.2.2.3	<i>Resistência a compressão axial.</i>	85
4.2.2.4	<i>Módulo de elasticidade.</i>	93
4.2.2.5	<i>Resistência à tração na flexão.</i>	102
4.2.2.6	<i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV).</i>	105
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
5.1	Conclusões	111
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.	113
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
	APÊNDICE	120

## Lista de Tabelas

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 1 - Tipos, aplicações e simbologias dos plásticos.....	24
Tabela 2- Comparação de propriedades entre os polímeros etilênicos e propilenos.....	32
Tabela 3 – Utilização dos agregados conforme a granulometria.....	37
Tabela 4 – Composição dos tipos de cimento Portland.....	39
Tabela 5 - Ensaio de caracterização, de acordo com o tipo de material empregado na pesquisa.....	42
Tabela 6 - Nomenclatura adotada para cada tipo de resíduo.....	42
Tabela 7 – Número de para cada idade em cada teor de substituição amostras totais por tipo de ensaio. ....	45
Tabela 8 – Características dos cimentos utilizados na pesquisa.....	48
Tabela 9 - Características do agregado miúdo utilizados na pesquisa .....	48
Tabela 10 – Traços unitários das argamassas (em massa); substituição do agregado miúdo por resíduo. ....	55
Tabela 11 - Traços unitários das argamassas (em massa); substituição do cimento por resíduo.....	55
Tabela 12 - Características de dimensões, massa e finura encontradas para os resíduos plásticos. ....	61
Tabela 13 – Resultado do EDS nos pontos da superfície de R-PE01.....	66
Tabela 14 – Resultado do EDS nos pontos da superfície de R-PE02.....	67
Tabela 15 - Resultado do EDS nos pontos da superfície de R-PP01 .....	68
Tabela 16 - Resultado do EDS nos pontos da superfície de R-PP02 .....	69
Tabela 17 – Resultado do EDS nos pontos da superfície aumentada para amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PE01.....	106
Tabela 18 – Resultado do EDS nos pontos da superfície aumentada para amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PP01.....	107

Tabela 19 – Resultado do EDS nos pontos da superfície aumentada para amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PE02.....	108
Tabela 20 – Resultado do EDS nos pontos da superfície aumentada para amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PP02.....	109

## Lista de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1 - Evolução das resinas plásticas consumidas no Brasil.....	25
Figura 2 – Consumidores de transformados plásticos de longo ciclo de vida.....	26
Figura 3 - Composição dos resíduos sólidos urbanos segundo os Plano Estaduais de Resíduos Sólidos.....	28
Figura 4 - Ciclo básico de reciclagem de resíduos plásticos. ....	29
Figura 5 - Ilustração da reação de polimerização, polipropileno. ....	31
Figura 6 - Ilustração da reação de polimerização, polietileno. ....	31
Figura 7 - Capitação de material para reciclagem, garrações de água mineral (resíduo de polipropileno). ....	33
Figura 8 - Material já triturado no processo de reciclagem, embalagens de alimentos(resíduo de polietileno de baixa densidade). ....	34
Figura 9 – Fluxograma inicial das etapas da pesquisa, até definições dos traços. ....	42
Figura 10 - Materiais básicos das argamassas, destaque aos teores de substituição dos materiais básicos por tipo de resíduo plástico em destaque. ....	44
Figura 11 – Curva granulométrica do agregado miúdo, segundo NBR 7211 (ABNT, 2009) .....	49
Figura 12 – Apresentação e aparência comparativa das amostras de resíduos .....	50
Figura 13 – Descrição normativa sobre arredondamento e esfericidade.....	51
Figura 14 – Imagens de microscópio digital HD Color CMOS, com demarcações.....	52
Figura 15 – Exemplo de imagem obtida pelo MEV e espectro gerado pelo EDS .....	53
Figura 16 - Exemplo de imagem de argamassa obtida pelo MEV e espectro gerado pelo EDS.....	60
Figura 17 – Distribuição granulométrica dos resíduos plásticos, NBR 7211 (ABNT, 2009). .....	62
Figura 18 – Aparência das partículas dos resíduos plásticos analisados, imagens geradas pelo microscópio digital HD Color CMOS .....	64
Figura 19 - Arredondamento de forma segundo método de COX (1927).....	65
Figura 20 - Superfície aumentada das amostra de R-PE01. ....	66
Figura 21 - Superfície aumentada das amostra de R-PE02. ....	67

Figura 22 - Superfície aumentada das amostra de R-PP01. ....	68
Figura 23 - Superfície aumentada das amostra de R-PP02. ....	69
Figura 24 – Espalhamento para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos	71
Figura 25 - Espalhamento para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos	72
Figura 26 - Espalhamento para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos .....	73
Figura 27 – Densidade de massa no estado fresco para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.....	74
Figura 28 - Densidade de massa no estado fresco para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.....	75
Figura 29 - Densidade de massa no estado fresco para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.....	76
Figura 30 - Densidade de massa no estado endurecido para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.....	77
Figura 31 - Densidade de massa no estado endurecido para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.....	78
Figura 32 - Densidade de massa no estado endurecido para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.....	79
Figura 33 – Absorção de água por capilaridade para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.....	80
Figura 34 – Absorção de água por capilaridade para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.....	81
Figura 35 – Absorção de água por capilaridade para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.....	82
Figura 36 – Absorção de água por imersão, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.....	83
Figura 37 – Absorção de água por imersão, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.....	84
Figura 38 – Absorção de água por imersão, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.....	85
Figura 39 – Resistência à compressão axial, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, respectivamente.....	87
Figura 40 – Resistência à compressão axial, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.....	88

Figura 41 – Resistência à compressão axial, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, respectivamente. ....	89
Figura 42 – Resistência à compressão axial, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. ....	90
Figura 43 – Resistência à compressão axial, para substituição cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, respectivamente. ....	91
Figura 44 – Resistência a compressão axial, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. ....	92
Figura 45 – Módulo de elasticidade, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, respectivamente. ....	94
Figura 46 – Módulo de elasticidade aos 28 dias, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01. ....	95
Figura 47 – Módulo de elasticidade aos 56 dias, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01. ....	96
Figura 48 – Módulo de elasticidade, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, respectivamente. ....	97
Figura 49 – Módulo de elasticidade aos 28 dias, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. ....	98
Figura 50 – Módulo de elasticidade aos 56 dias, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. ....	99
Figura 51 – Módulo de elasticidade, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos .....	100
Figura 52 – Módulo de elasticidade aos 28 dias, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. ....	101
Figura 53 – Módulo de elasticidade aos 56 dias, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. ....	101
Figura 54 – Resistência tração na flexão, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01. ....	103
Figura 55 – Resistência tração na flexão, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. ....	104
Figura 56 – Resistência tração na flexão, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. ....	105
Figura 57 - Superfície aumentada da amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PE01. ....	106

Figura 58 - Superfície aumentada da amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PP01. ....	107
Figura 59 - Superfície aumentada da amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PE02. ....	108
Figura 60 - Superfície aumentada da amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PP02. ....	109

## Lista de Siglas

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASTM	American Society For Testing and Materials
CP I	Cimento Portland Comum
CP IV	Cimento Portland Composto
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPS	Poliestireno Expandido
EUA	Estados Unidos da América
EVA	Espuma Vinílica Acetinada
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PA	Pará
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEBDL	Polietileno de Baixa Densidade Linear
PET	Polietileno Tereftato
PEUAPM	Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretanos
PVC	Poli Cloreto de Vinila
PU	Poliuretanos
R-PE01	Resíduo de Polietileno, resíduo da etapa de moagem
R-PE02	Resíduo de Polietileno, resíduo da etapa de extrusão
R-PP01	Resíduo de Polipropileno, resíduo da etapa de moagem
R-PP02	Resíduo de Polipropileno, resíduo da etapa de extrusão
UFPA	Universidade Federal do Pará

## Lista de Abreviaturas

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°C	Graus Celsius
µm	Micrometro
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de Cálcio
cm	Centímetros
cm <sup>2</sup>	Centímetros quadrados
CP	Cimento Portland
dm	Decímetro
F <sub>ck</sub>	Resistência à Compressão Simples
$F_{ct,k}$	Resistência à Tração na Flexão
g	Gramas
GPa	Gigapascal
Kg	Quilo
L	Litros
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N	Newton
TON	Tonelada

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Todos os materiais possuem condições determinadas para uso, e caso as propriedades não atendam as expectativas provavelmente não poderão ser utilizados para o fim esperado. Sendo assim, estes podem se acumular como resíduos ou até mesmo lixo em aterros, que quando não gerenciados da maneira correta se tornam um grande problema ambiental e social.

De acordo com as Nações Unidas (2015), pelo proposto na sua agenda de ações para até o ano de 2030, as metas para o desenvolvimento sustentável preveem a redução do consumo de recursos naturais em todo o mundo; assim, quando conseguimos dar uma nova utilidade aos materiais que antes encontravam-se descartados e sem utilidade aparente, estamos contribuindo com a diminuição de acúmulos de lixo, reduzindo os poluentes do meio ambiente e diminuindo necessidade de busca por matéria prima natural.

Para Baričević *et. al.* (2018), devido ao conhecimento insuficiente de suas propriedades e impacto no desempenho estrutural, os materiais residuais são muitas vezes injustamente marginalizados e viram lixo. Visto esta necessidade, o entendimento específico das características de formação do material que pretende reciclar se faz; quando falamos de resíduos de origem orgânica, por exemplo, a reutilização pode ser mais restrita do que no campo de resíduos sólidos de origens artificiais.

Assim, dentro desta perspectiva de utilização de resíduos, principalmente de resíduos sólidos artificiais, observa-se o elevado índice de resíduos plásticos gerados pela sociedade. Conforme Zanella *et. al.* (2018), devido a elevada produção e alto tempo para a decomposição natural, a maior parte dos plásticos produzidos hoje irão continuar existentes no meio ambiente por muitos anos, logo se faz necessária a criação de tecnologias que facilitem a reincorporação destes no próprio meio ou em setores que possam utilizá-los de forma satisfatória.

A maior parte (mais de 80%) dos plásticos pós-consumo no Brasil vai acabar depositada nos aterros sanitários, nos lixões, nas ruas, parques, lagos, rios, mares, ou seja, no meio ambiente, se acumulando nestes locais por décadas antes que comecem a se degradar (MMA, 2017).

Dentro do âmbito da construção civil, e ainda visando esta problemática, os resíduos plásticos podem se apresentar como possíveis alternativas para incorporação e utilização de

materiais alternativos para construções, isto porque de acordo como o tipo, forma e processo em que estes materiais são manipulados, as técnicas construtivas e os produtos finais feitos ser melhorados.

Deste modo, esta pesquisa busca avaliar a possibilidade da inserção deste tipo de resíduo na cadeia da construção civil, utilizando especificamente a parte de menor finura que se encontra nos acúmulos de resíduos plásticos. Uma vez aliado ao normatizado pela NBR 10004 (ABNT, 2004), a qual descreve que os resíduos plásticos se enquadram como resíduos sólidos não perigosos; sabendo-se também que estes são materiais quimicamente estáveis e inertes as reações de hidratação do cimento, logo, podem se apresentar como alternativas para produção de compósitos a base de matrizes cimentícias, ou seja, materiais que teoricamente não serão veículos de patologias futuras.

## **1.2 Justificativa**

Um fator essencial para todos os ramos industriais é a manutenção e descobertas de recursos que ajudam a manter vivo o próprio e setores subsequentes. Sendo assim, para que isso ocorra é necessário o desenvolvimento de novos materiais e técnicas que visem dar utilidades aos produtos, bem como melhorem ou evidenciem alguma característica do material final. Neste contexto, vislumbra-se o reaproveitamento de resíduos dentro dos processos industriais de produção, onde estes vêm a suprir parte da matéria prima original através da logística reversa e níveis de sustentabilidade, garantindo ainda benefícios econômicos e ambientais.

Para John (2000) e Viveiros (2017), o setor da construção civil, considerado altamente degradante ao meio ambiente, é também apontado como um dos mais vantajosos para absorver volumes vultosos de resíduos e subprodutos de diversos ramos industriais.

Assim, como busca de alternativas para suprir esta degradação e manutenção do setor, tendo em vista também os conceitos citados anteriormente, a construção civil vem desenvolvendo pesquisas sobre materiais de construção alternativos, como são os casos de estudos desenvolvidos por Aguiar Neto (2016) e Silva (2019), que introduziram resíduos plásticos em substituições e incorporações nas composições de misturas de compósitos de matrizes cimentícias.

Para a Associação Brasileira da Indústria do Plástico – ABIPLAST (PERFIL, 2018), as propriedades do plástico permitem que ele esteja alinhado com a circularidade do processo de produção, pois possui durabilidade, é reciclável e reutilizável. Isto se dá por ser

considerado um material de moldagem relativamente fácil, que pode atingir diversas características de acordo com algumas exigências, fazendo com que em diversas sociedades o uso de materiais plásticos seja intenso e até mesmo desordenado.

No estado do Pará, precisamente da região metropolitana de Belém, já existem diversas empresas que recolhem os resíduos plásticos depositados em lixos e produzem novas resinas do mesmo material com o fim de comercialização. Todavia, segundo Marques (2005) e Gonçalves (2003), conforme citados por Pereira e Curi (2013), todo e qualquer processo gera resíduo, podendo ser este mais ou menos poluente e/ou contaminador; isto ocorre mesmo durante o processo de reciclagem dos plásticos, continua havendo produção de rejeitos inservíveis que são descartados, principalmente, durante a limpeza dos equipamentos e ambientes em que estão localizados e depositados os resíduos, principalmente, causando impactos ambientais.

Visando esta problemática, este trabalho justifica-se na pretensão de inserir de resíduos plásticos na produção de compósitos a base de cimento Portland. Tendo em vista utilizar resíduos poliméricos etilenos e propilenos; diferenciados por finura, tipo e etapa de coleta nas indústrias de reciclagem. Comparando-os sobre aspectos de viabilidades técnicas, para indicar as capacidades de utilização na produção de argamassas.

### **1.3 Objetivos**

Tendo em vista a justificativa apresentada anteriormente, neste subitem faz-se presente os objetivos gerais e específicos para pesquisa desenvolvida nesta dissertação.

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Verificar as viabilidades de utilização de quatro tipos de resíduos plásticos, sendo estes polietilenos e polipropilenos, incorporados em compósitos a base de cimento Portland, os quais foram inseridos por substituição de materiais durante o processo de produção de argamassas de simples revestimento, sem características de elementos estruturais.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Estudar o reaproveitamento de produtos de rejeitos de materiais plásticos, a fim de diminuir a poluição e os impactos ambientais gerados nos acúmulos deles;
- Propor e definir as utilidades dos resíduos plásticos para incorporações ou substituições de materiais em compósitos a partir de caracterizações geométricas;
- Correlacionar resultados de amostragens padrões comparando-as com amostras que utilizam os rejeitos;
- Estudar de maneira quantitativa e qualitativa os percentuais aceitáveis das substituições dos materiais convencionais pelos resíduos plásticos;
- Analisar interações microestruturais dos rejeitos com as matrizes dos compósitos.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, em ordem: introdução, revisão bibliográfica, programa experimental, resultados e discussão, considerações finais e referências bibliográficas. Há ainda o apêndice, o qual possui os resultados totais e memoriais das análises estatísticas aplicadas.

No primeiro capítulo, introdutório, são abordadas as considerações iniciais, justificativa, objetivo geral e específicos e, por fim, a presente estrutura da dissertação.

A revisão bibliográfica acerca de temas relevantes ao entendimento da pesquisa está disposta no segundo capítulo.

No terceiro capítulo, o programa experimental é explicado a partir dos materiais e métodos utilizados na pesquisa.

O quarto capítulo contém a apresentação e discussão dos resultados obtidos na pesquisa, a partir da aplicação dos materiais e métodos delineados no capítulo anterior.

No capítulo cinco, o trabalho é encerrado com as conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

Por fim, as referências bibliográficas que demonstram o embasamento teórico consultado e citado para o desenvolvimento desta pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico faz-se compilado de bibliografias que visam dar embasamento aos objetos de estudo desta dissertação, bem como estas inferem aos resultados esperados e encontrados.

### 2.1 Plásticos, tipos e aplicações

Os plásticos são materiais de formação polimérica, ou seja, são materiais formados por várias unidades químicas repetitivas, onde as unidades simples podem ser definidas como monômeros. O conjunto de reações através das quais os monômeros reagem entre si, formando uma macromolécula polimérica, é chamada polimerização. O rendimento, a velocidade de reação e os seus mecanismos dependem de vários fatores sendo os principais a temperatura, pressão e tempo (MORASSI, 2013).

Quando se fala que algum material é plástico, logo associamos a palavra a algum produto que esteja presente no nosso dia-a-dia, ou simplesmente a uma condição de trabalhabilidade, adjetivando ou qualificando. Para Gorni (2010), o plástico está presente no cotidiano das pessoas através de diversas maneiras, por isso é, provavelmente, o material mais popular da família dos polímeros.

Nunes (2014), ressalta que o plástico é um material polimérico sólido na temperatura de utilização, normalmente a ambiente ou próxima dela. São materiais com alguma rigidez estrutural sob carga e são empregados em aplicações de usos diversos (CALLISTER JR. e RETHWISCH, 2016).

Diversas são as utilizações dos materiais plásticos, isto se dá devido as vastas características que estes podem ter, bem como o tipo de resina empregada para a formação do produto. Conhecer a estrutura molecular de uma substância é essencial para caracterizá-la quanto às suas propriedades, especificar o seu processamento e definir suas aplicações (NUNES, 2014).

A Tabela 1 apresenta, de forma reduzida, a classificação técnica, as simbologias de representação no padrão nacional, os principais tipos e algumas aplicações dos plásticos. Segundo a NBR13230 (ABNT, 2018), as simbologias servem para a identificação de embalagens e acondicionamentos plásticos, destacam as resinas utilizadas na fabricação dos materiais, e assim visam facilitar a separação e posterior reciclagem de acordo com a composição.

Tabela 1 - Tipos, aplicações e simbologias dos plásticos.

<b>Tipos</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Simbologia</b>
<i>Termoplásticos</i>		
Polietileno Tereftalato – PET	Frascos de refrigerantes, produtos farmacêuticos, produtos de limpeza, mantas de impermeabilização	
Polietileno de Alta Densidade - PEAD	Embalagens para cosméticos, produtos químicos e de limpeza, tubos para líquidos e gás, tanques de combustível para veículos automotivos;	
Policloreto de Vinila - PVC	Tubos e conexões, calçados, encapamentos de cabos elétricos, equipamentos médico-cirúrgicos, esquadrias e revestimentos;	
Polietileno de Baixa Densidade - PEDB	Embalagens de alimentos, sacos para lixo, embalagens e rótulos de brinquedos;	
Polipropileno - PP	Embalagens de massas e biscoitos, potes de margarina, seringas descartáveis, equipamentos médico-cirúrgicos, pára-choques de carro);	
Poliestireno - PS	Copos descartáveis, placas isolantes, aparelhos de som e tv, embalagens de alimentos, revestimento de geladeiras, material escolar;	
Outros	Plásticos especiais e de engenharia, CDs, eletrodomésticos, corpos de computadores,	
<i>Termofixos</i>		
Poliuretanos - PU, Poliacetato de Etileno Vinil – EVA, etc	Interruptores, peças industriais elétricas, peças para banheiro, pratos, travessas, cinzeiros, telefones e etc.	

Fonte: MANO, 1991; AGNELLI e CHINELATTO 1992; ABNT NBR13230, 2008; NUNES, 2014– Adaptado.

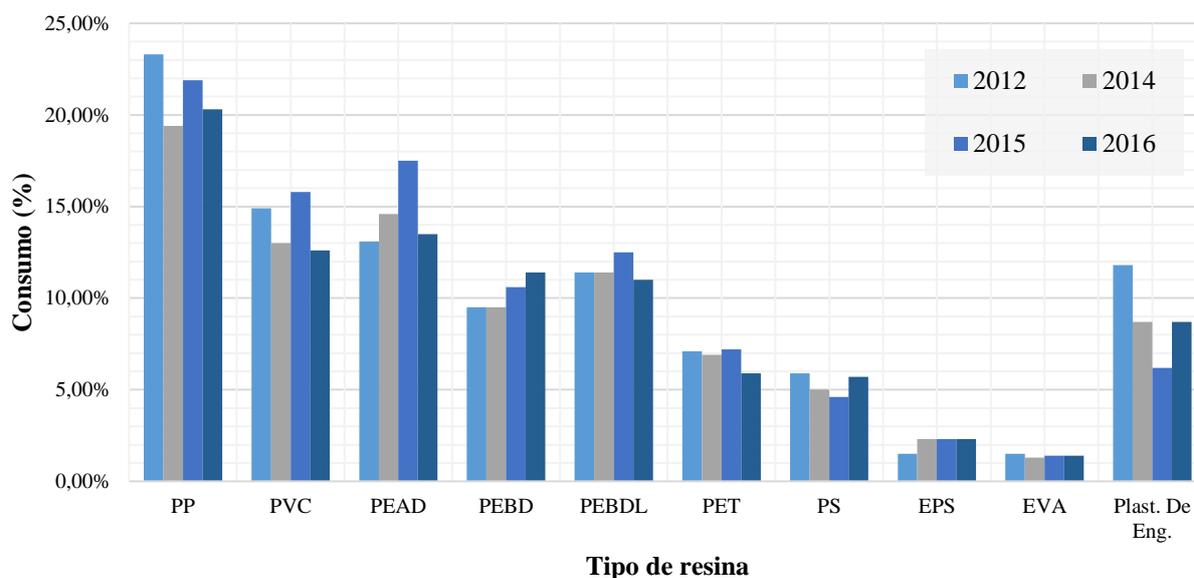
Ainda sobre a Tabela 1, é evidenciada a propriedade de maleabilidade dos materiais plásticos quando expostos a temperatura, destacando-se entre a diferença de fusibilidade e solubilidade. Onde, segundo Nunes (2014), os termoplásticos são capazes de fundirem e serem solubilizados retornando as características de reticulações das cadeias poliméricas do produto original após sofrer variações de aumento de temperatura e pressão. Já os termofixos não possuem estas mesmas características, após a exposição e retirada de fontes de energia (calor ou temperatura), ocorre o processo de cura do material, tornando-o rígido, infusível e insolúvel.

### 2.1.1 Principais plásticos consumidos no Brasil.

Os materiais plásticos poliméricos interagem diretamente no cotidiano da vida da maioria das pessoas, visto que podem ser encontrados desde formas mais simples até as mais complexas. Por exemplo, se não fossem os polímeros, os produtos eletrônicos ainda seriam grandes e pesados, muito diferentes dos *smartphones* e *tablets* que conhecemos hoje. (NUNES, 2014).

Segundo a ABIPLAST (PERFIL, 2018), o Brasil produziu 7,5 milhões de toneladas resinas termoplásticas no ano de 2017, representando uma produção maior que a somatória de resinas produzidas pelos outros países da América Latina juntos. A Figura 1 demonstra o percentual de consumo das principais resinas plásticas nos ramos industriais no Brasil no período de 2012 a 2016, sendo as resinas dos tipos polipropileno como as de maior consumo no mercado nacional.

Figura 1 - Evolução das resinas plásticas consumidas no Brasil.



Fonte: ABIPLAST; 2014, 2015, 2016, 2018. – Adaptado.

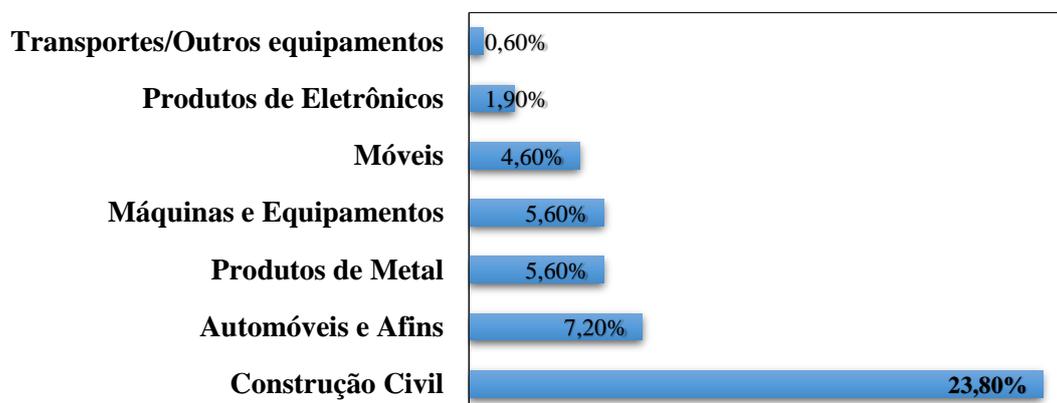
Entretanto, de acordo com Nunes (2014), os polietilenos (PEAD, PEBD, PEBDL) podem ser classificados conjuntamente, o que tornaria esta classe de resinas poliméricas as mais consumidas no período demonstrado.

### 2.1.2 Plásticos na construção civil

Diversas são as aplicações dentro do setor da construção civil, sendo muito utilizados em tubos, conexões, esquadrias, isolações acústica e térmica. De acordo com Rodolfo Jr e Mei (2009), vislumbra-se que os materiais plásticos, como o PVC, vêm sendo utilizados pela praticidade de uso e redução da carga nas edificações, consequente causando diminuição no peso próprio das estruturas, podendo melhorar inclusive as características de segurança e resistência das construções.

Conforme dados da Associação Brasileira da Indústria de Plásticos (PERFIL, 2018), 49,3% dos chamados “transformados plásticos” são considerados materiais de longo ciclo de vida (acima de cinco anos), onde, dentro deste percentual encontram-se os principais materiais plásticos utilizados na construção civil. Assim, a Figura 2 destaca a relevância percentual de consumo do setor em comparação com os demais consumidores de transformados plásticos de longo ciclo de vida.

Figura 2 – Consumidores de transformados plásticos de longo ciclo de vida



Fonte: ABIPLAST, 2018. – Adaptado.

Como apresentado na Figura 2, o setor da construção civil apresenta-se como o maior consumidor de transformados plásticos do país, absorvendo cerca de 23,8% da produção nacional deste tipo de material, isto se dá devido à grande variabilidade de escalas em que os produtos podem ser inseridos, visto também a grande disponibilidade de produtos.

Deve-se ressaltar que segundo a classificação de polímeros proposta por Mano (1991), não é qualquer material plástico utilizado na construção civil que pode ser descrito como “plásticos de engenharia”, em função das propriedades de uso geral e específico, além das resinas aplicadas na produção.

Por outro lado, Barros (2011) afirma que, dentro da construção civil é comum chamar todos os plásticos de polímeros, devido a utilização da nomenclatura, pois todo o plástico é um polímero, contudo, nem todo o polímero é um plástico.

O plástico na indústria da construção civil pode ser encontrado em diversas formas e escalas, principalmente, devido a amplitude de atuação do setor. Para Aguiar Neto *et al.* (2016), dentro da abordagem do desenvolvimento sustentável, o uso de resíduos plásticos em substituição de materiais naturais se torna aceitáveis dentro da perspectiva de materiais alternativos para construções.

Esta utilização já pode ser evidenciada em alguns países. Desde 1988, nos Estados Unidos, pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de entender o comportamento do plástico reciclado, para a substituição em diversas aplicações na construção civil que, anteriormente, eram exclusivas da madeira (PARENTE E PINHEIRO, 2008).

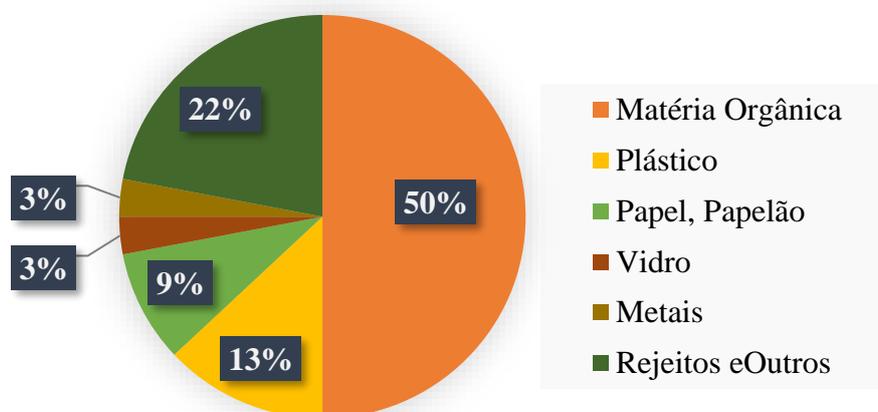
## **2.2 Reciclagem de resíduos plásticos**

Partindo da Revolução Industrial, passando pelas décadas de 1960, 1970, 1980 e chegando ao final dos anos 1990 com uma série de acordos, convenções e leis, que surgiram com a finalidade de tornar o desenvolvimento econômico menos impactante ao meio ambiente e à própria humanidade (POTT e ESTRELA, 2017).

A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade que pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos (MMA, 2016). Em países de maior desenvolvimento, como os europeus, a quantidade de materiais que são reaproveitados depois do processo de pós-consumo é praticamente total. Porém, no Brasil, esta realidade vem se modificando devido ao vislumbre do potencial energético de materiais que se encontram nos lixos, diversas indústrias de reaproveitamento tem se instalado em diversos centros urbanos brasileiros.

A Figura 3 demonstra a disponibilidades dos principais resíduos sólidos que foram descartados no ano de 2019, neste podemos perceber que os materiais plásticos se destacam entre os materiais não orgânicos descartados.

Figura 3 - Composição dos resíduos sólidos urbanos segundo os Plano Estaduais de Resíduos Sólidos.

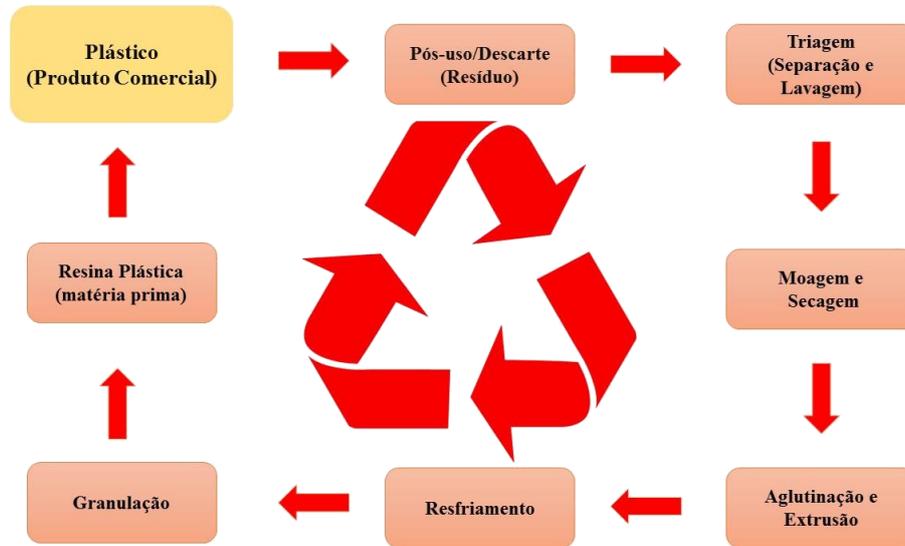


Fonte: MMA, 2019 – Adaptado.

Grande parte dos plásticos produzidos hoje irão continuar existentes no meio ambiente por muitos anos. Conforme Zanella *et. al.* (2019), estima-se que dependendo do tipo de plástico, o tempo de degradação deles pode variar até quatrocentos anos, isto porque na natureza os organismos como fungos e bactérias não possuem o arcabouço de enzimas necessárias para promover a decomposição mais acelerada.

Algumas soluções vêm se desenvolvendo para a diminuição dos acúmulos de resíduos plásticos, como o desenvolvimento de plásticos biodegradáveis, que podem se decompor em cerca de seis meses dependendo do local onde é despejado, toda via, estudos comprovam que este tipo de material possui produção relativamente elevada se comparada com a produção dos plásticos comumente usados. Assim, a melhor solução para a gestão dos resíduos plásticos continua sendo a reciclagem, o qual é mostrado esquematicamente na Figura 4.

Figura 4 - Ciclo básico de reciclagem de resíduos plásticos.



Fonte: Plastval, 2008.– Adaptado.

A reciclagem dos resíduos plásticos não é um processo de fácil desenvolvimento, uma vez que existem diversos tipos de plásticos com características e formações diferentes, logo durante a coleta é necessário a separação do tipo de resíduo e destinação do produto.

Por outro lado, o processo de reciclagem deste tipo de produto se torna viável economicamente e ambientalmente, pois acredita-se que a energia contida em 1 kg de plástico é equivalente a contida em 1kg de óleo combustível. Além da economia da recuperação da energia, com a reciclagem ainda ocorre uma dedução de 70 a 90% da massa do material, restando apenas um resíduo inerte esterilizado (BARROS, 2011).

Ainda diante de aspectos socioambientais, estima-se que para cada tonelada de material reciclado, obtém-se uma redução de emissão de 1,53 TON de gases de efeito estufa na atmosfera; em média há uma redução de 1,1TON de rejeito plástico dispostos em aterros; economia média de 75% de energia; evita-se 450L de água na produção; gerando ainda empregos de 3,16 catadores para recolher esse volume de matéria ao mês (ABIPLAST, 2016).

### 2.2.1 Logística reversa e a reciclagem de plásticos

Todo o modelo de produção tem por objetivo atender uma demanda oferecendo ao mercado um produto, onde normalmente após o consumo este mesmo produto não oferece

a mesma serventia que antes, logo tornando-se algo inservível. Entretanto, quando este mesmo produto consegue ser inserido na cadeia produtiva, podemos dizer que ele passou pelo processo de gestão no ambiental, aplicando-se a logística reversa.

No ano de 2010, foi estabelecida a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12.305/2010, a qual trouxe para a nação brasileira algumas diretrizes de gestão dos resíduos sólidos, estabelecendo estratégias para o desenvolvimento sustentável e incentivando o sistema de logística reversa. Entre os canais de distribuição reversos, merece destaque o canal reverso de reciclagem, por ser ele o responsável pela revalorização de produtos descartáveis, como os produtos derivados do plástico, transformando-os em matérias-primas secundárias que serão utilizadas para a fabricação de novos produtos, diminuindo o uso de matérias-primas virgens e o descarte irregular de produtos no ambiente. (TENÓRIO *et al*, 2014).

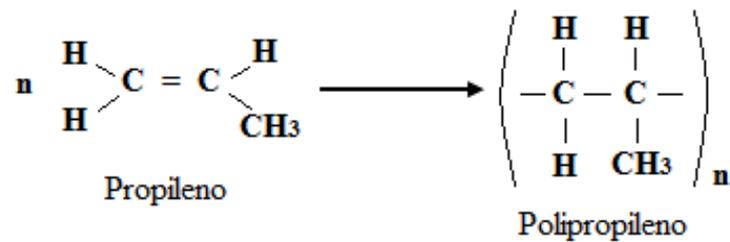
Ainda, de acordo com a classificação dos resíduos sólidos e conforme a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos plásticos se enquadram na classificação de resíduos classe II, ou seja, resíduos sólidos não perigosos. Sendo assim, quando falamos em reutilização dos resíduos plásticos, temos que estes materiais possuem grande potencial para ser utilizados no mesmo ramo de produção ou em ramos de produção diferentes, tendo em vista também a diminuição de danos ambientais oriundos dos seus acúmulos e descartes irregulares pós-consumo.

### **2.3 Polímeros etilenos e propilenos.**

Conforme citado anteriormente, e ressaltado por Bruck (2018), sabe-se que os plásticos mais consumidos atualmente no Brasil são os termoplásticos dos tipos Polipropilenos (PP), Polietilenos (PE), Poliestirenos (PS), Policloreto de vinila (PVC) e os Poliésteres (PET), sendo até chamados de commodities de mercado devido à grande produção e aplicação destes materiais. Assim, devido as características de produção e principalmente o grande consumo das resinas, serão ressaltadas aqui as particularidades dos dois primeiros tipos citados; polímeros etilenos e propilenos.

Analisando quimicamente, a matéria-prima do polipropileno, derivada do  $(C_3H_6)_n$  monomérico, um hidrocarboneto puro. No qual, devido ao seu modo de polimerização, alto peso molecular e a forma como é transformado em fibras (processo de extrusão) conferem ao este polímero um arranjo atômico bem definido, constituindo assim uma estrutura cristalina (HANNANT, 1978).

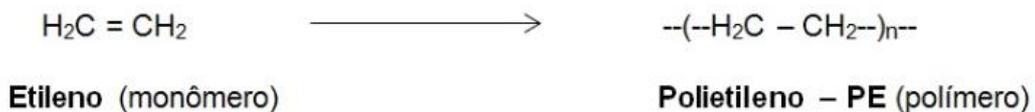
Figura 5 - Ilustração da reação de polimerização, polipropileno.



Fonte: VAN VLACK, 2011.

Já o polietileno é um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina (COUTINHO *et al*, 2003). Ele é obtido pela polimerização do etileno, cujo a fórmula química é  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ; com cadeia linear não ramificada, embora as ramificações sejam comuns nos produtos comerciais.

Figura 6 - Ilustração da reação de polimerização, polietileno.



Fonte: ABIPLAST, 2018.

Conforme Coutinho *et. al.* (2003), de acordo com as condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, os polímeros etilênicos podem ser classificados como: PEBD ou LDPE (polietileno de baixa densidade), PEAD ou HDPE (polietileno de alta densidade), PELBD ou LLDPE (polietileno linear de baixa densidade), PEUAPM ou UHMWPE (polietileno de ultra alto peso molecular) e PEUBD ou ULDPE (polietileno de ultra baixa densidade).

A Tabela 2, demonstrada a seguir, apresenta algumas das principais características do PP e do PE, sendo estes referentes as resinas matrizes e que de acordo com a utilização empregada podem influenciar nos produtos finais gerados.

Tabela 2- Comparação de propriedades entre os polímeros etilênicos e propilenos.

Material	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo em Tração (GPa)	Limite de Resistência à Tração (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)	Cristalinidade (%)	Temp. de Transição Vítrea (°C)	Temp. de Transição Vítrea (°C)
PEBD	0,92	0,17-0,28	8,30-31,40	100-650	50-60	-110	115
PEAD	0,94-0,97	1,06-1,09	22,10-31,0	10-1200	90	-90	137
PP	0,90-0,91	1,14-1,55	31,00-41,40	100-600	15-70	-18	175

Fonte: MACHADO, 2002; COUTINHO *et al*, 2003; CALLISTER JR. e RETHWISCH ,2016– Adaptado.

Conforme a Tabela 2, ressalta-se o destacado por Coutinho *et. al.* (2003), onde a estrutura e orientação molecular das cadeias poliméricas exercem forte influência nas propriedades mecânicas do polímero, o alinhamento e empacotamento das cadeias são mais eficientes quando há maior orientação, logo aumento das forças intermoleculares. Uma compreensão do mecanismo e da cinética da cristalização dos polímeros é importante, uma vez que o grau de cristalinidade influencia as propriedades mecânicas e térmicas destes materiais. (CALLISTER JR. e RETHWISCH, 2016).

### 2.3.1 Resíduos de polímeros etilenos e propilenos

Devido ao grande índice de produção, variedade de utilização e consumo, os plásticos dos tipos PP e PE acabam sendo considerados os que são mais utilizados pelas indústrias de reciclagem. Onde para os plásticos dos tipos polietilenos, conforme Coutinho *et. al.* (2003), o polietileno de baixa densidade (PEBD); são os que aparecem em destaque para a reciclagem, isto porque eles são os que possuem maior facilidade de produção e valor agregado quando comercializados por este ramo de retroalimentação.

O processo de reciclagem é um procedimento que tem por finalidade o fechamento do ciclo de um material plástico. Para que se possa avaliar a eficácia deste tipo de procedimento deve-se levar em consideração um conjunto de fatores que vai desde a diminuição de acúmulos em lixos e aterros sanitários, bem como a consciência social e ambiental da empresa que adota esse procedimento o industrial (AGUIAR NETO *et. al.*, 2016).

A Figura 7 demonstra o processo aplicado na indústria de venda e envasamento de água mineral, a qual faz a captação de material para reciclagem através da reutilização de garrações de água mineral (resíduo de polipropileno) inservíveis, produzindo novos garrações e alimentando o próprio setor.

Figura 7 - Capitação de material para reciclagem, garrações de água mineral (resíduo de polipropileno).



Fonte: Autor

De maneira resumida e análogo ao demonstrado anteriormente na Figura 4, a reciclagem do PE e PP ocorrem de maneiras semelhantes, primeiramente com a captação do material plástico a ser reciclado; onde o material é encaminhado para a usina de reciclagem, passando em seguida por triagem e lavagem a fim de eliminar resíduos indesejados, sequencialmente sendo triturado e fragmentado, e finalizando com a etapa de aglomeração de todo o material e, por fim, a ocorre reação térmica para a sua transformação.

As Figuras 7 e 8 mostram exemplos do recebimento e posterior tritura dos resíduos, valendo ressaltar que os materiais normalmente são selecionados visualmente conforme o aspecto e grau de contaminantes existentes, onde isto também pode influenciar no produto final gerado com o resíduo.

Figura 8 - Material já triturado no processo de reciclagem, embalagens de alimentos(resíduo de polietileno de baixa densidade).



Fonte: Autor

No Estado do Pará, mais precisamente na região metropolitana de Belém, já encontramos algumas fábricas que desenvolvem este tipo de processo de reciclagem com os resíduos de polímeros etilenos e propilenos, sendo que na maioria das vezes estas fábricas coletam os materiais de cooperativas, selecionam, moem, aglutinam, extrusão e granulam o material para ser comercializado nas região sudeste do país.

Dentro deste mesmo ciclo de reciclagem destacado podemos encontrar, ainda, alguns materiais que são descartados ou se tornam resíduos do processo. No caso específico, tanto para os resíduos de polietileno quanto para os de polipropileno, encontram-se rejeitos nas fases de moagem e extrusão dos produtos reciclados, sendo estes destacados a seguir e que serão utilizados para esta pesquisa.

## **2.4 Materiais Compósitos.**

Segundo Picanço (2005) e Smith e Hashemi (2012), um material compósito pode ser definido como um material multifásico, com associação de duas ou mais fases distintas química e/ou fisicamente entre si, que através de certo processo de miscigenação podem solidarizar-se compondo um novo material com características distintas dos seus constituintes.

As fases dos compósitos são chamadas de matriz e fase dispersa; sendo que a matriz geralmente é um material contínuo que envolve a fase dispersa. As propriedades do compósito é uma função de fatores como a geometria da fase dispersa, distribuição, orientação e da compatibilidade interfacial entre os constituintes da mistura.

De acordo com Callister Jr e Rethwisch (2016), os tipos de matérias prima utilizadas como matriz, podem ser de forma geral, classificar os compósitos como poliméricos, metálicos ou cerâmicos. Valendo ressaltar que para a formação de compósito é necessário que haja afinidade entre os materiais que serão unidos. Por isso, é muito importante conhecer as propriedades químicas e físicas dos diferentes materiais envolvidos; mais especificamente as propriedades das interfaces dos constituintes dos compósitos.

Elementos como argamassas e concretos podem ser classificados como compósitos de origem cerâmica, com o cimento como matriz aglutinante; uma vez que estes são formados por várias fases, sendo, pasta de cimento, os agregados e os poros (FIGUEIREDO, 2011). Diante disto, Picanço (2005) e Silva (2019) que desenvolveram pesquisas com produções de argamassas de cimento Portland reforçados com fibras, descrevem que para os constituintes dos compósitos destes tipos, fatores como grau de aderência a matriz, tipo, geometria, arranjo e distribuição, aspecto superficial e métodos de produção (mistura, adensamento e cura) interferem diretamente na nas propriedades finais dos produtos gerados. Sendo assim a busca e conhecimento das demandas solicitadas as argamassas podem inferir diretamente nas viabilidades nos compósitos produzidos, como é o caso do objeto de estudo desta pesquisa frente a utilização de resíduos plásticos incorporados em compósitos de matriz cimentícia.

## **2.5 Materiais Finos**

Dentro do âmbito da construção civil, quando normalmente se diz que um material é fino este pode ser relacionado de duas formas, quanto ao seu tamanho em comparação a outros materiais, ou ao seu nível de acabamento no produto final apresentado. Entretanto, quando se envolve os materiais constituintes de compósitos de cimento Portland a relação de finura que temos é a que foi destacada primeiramente. Normalmente relaciona-se os materiais finos como os que possuem menor granulometria, ou seja, para uma aplicação prática temos que os materiais finos normalmente são os classificados inferiormente a partir do parâmetro de areias.

### 2.5.1 Influência da finura e origem dos agregados na produção de compósitos usados na Construção Civil.

Agregados para Construção Civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil (DNPM, 2013). Sendo assim, levando em consideração as dimensões dos materiais utilizados, de acordo com Figueiredo (2019) e Santos *et. al.* (2019), o teor de finura dos agregados e demais materiais constituintes de um compósito de matriz cimentícia estão intrinsecamente ligados as propriedades e expectativas que se busca atingir no produto gerado.

Conforme Falcão Bauer (2016), por exemplo, o grau de compactação pode ser fruto de consequente interação entre as finuras dos agregados para concretos, a interação entre as finuras dos materiais constituintes dos compósitos podem torna-los mais resistentes a agentes contaminantes, isto porque normalmente os materiais mais finos preenchem os espaços vazios existentes entre os materiais de maior granulometria, produzindo assim menor porosidade e permeabilidade nos produtos finais se comparados a outros referenciais sem o uso de finos na produção.

Normalmente, a finura dos agregados é uma das propriedades mais relevantes quando se espera fazer algum tipo de dosagem ou especificação em determinadas condições, para Sartorti *et. al.* (2019), por se tratar de uma interação física, ela influencia diretamente nas propriedades finais do elemento a ser concebido, tal como a coesão no estado fresco do produto.

Visto isto, além do descrito na norma NBR 7211 (ABNT, 2009), que descreve as principais características e aceitações dos agregados, a Tabela 3 indica alguns usos de agregados conforme a sua granulometria.

Tabela 3 – Utilização dos agregados conforme a granulometria.

<b>Tipos</b>	<b>Aplicações</b>
Pedrisco	Fabricação de lajotas, intertravados, argamassas, concretos e asfaltos
Areia	Assentamentos de bloquetes e tubulações, embolso, argamassas, concretos e asfaltos
Britas	Ferrovias, concretos e pavimentos
Pedra de Mão	Fabricação de gabiões, muros de arrimos, bases

Fonte: DNPM, 2013 – Adaptado.

De acordo com o uso, alguns agregados se destacam por auxiliar na resistência da estrutura ou por simples preenchimento. Quando utilizados da segunda forma, a origem do agregado não é tão significativa, ressaltando que este mantenha-se inerte quimicamente. Assim, os agregados de origem reciclável destacam-se, uma vez que além de mostrarem uma perspectiva técnica se apresentam como um possível viés econômico, principalmente, visto as grandes distâncias do local da venda do produto com a localização das jazidas de agregados naturais. O que torna necessário reduzir ao máximo possível a distância entre o lugar de extração e o mercado consumidor. Considera-se que, para a maior parte das regiões, as jazidas localizadas fora de um raio de 100 km do mercado consumidor, não são viáveis economicamente. (DNPM, 2013).

#### 2.5.2 Influência da finura do cimento Portland na produção de compósitos.

Sabe-se que o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, e que endurece sob ação da água; e que depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido a esta mesma ação ele não se decompõe mais. (ABCP, 2002). Ainda, entende-se que diversos são os fatores que podem intervir na resistência da peça criada à base de uma matriz cimentícia, entre eles a finura do cimento.

A escolha do cimento Portland costuma se dar pela exigência em que a peça deverá sofrer durante a moldagem ou ao longo do seu tempo de vida útil; logo, devem ser ressaltadas as classificações dos diferentes cimentos, sendo estas feitas por tipos e classes, onde a última leva em conta a resistência e a finura do material.

Segundo Silva (2018), entende-se que a finura do cimento é uma propriedade relacionada a granulometria do material, quando mais fino menor será a sua granulometria;

por consequência isto influencia no processo de hidratação, pela superfície das partículas e, assim, a área específica do material constitui um importante parâmetro de desempenho do material, visto que a reação desse processo se inicia em contato com a água.

Quanto mais fino o material, maior será a taxa de reatividade, velocidade e ganho de resistência, desenvolvimento de calor e retração, coesão, trabalhabilidade e impermeabilidade. Segundo a NBR 16697 (ABNT,2018), a finura do cimento Portland pode ser determinada pela porcentagem, em massa, de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 75µm, onde a porcentagem retida varia de 6-12% do material, dependendo da classe do cimento.

Sabe-se ainda que elevadas finuras geram maiores custos, visto que a o grau de moagem e a utilização de energia para isto será maior, assim busca-se incorporar na composição do cimento Portland materiais de mesma ou com finura aproximada, o que segundo Mendonça (2018), pode minimizar os impactos ambientais gerados durante sua fabricação, tais quais a emissão de CO<sub>2</sub>, alto gasto energético e exploração das jazidas de calcário.

### 2.5.3 Adições minerais do cimento Portland.

Adições minerais são materiais que se caracterizam, por ser elementos incorporados as mistura e produção do cimento, de origem mineralógica conhecida, com finura considerável, que melhoram ou potencializam propriedades dos compósitos com eles produzidos.

No Brasil, as especificações para aditivos e adições estão contidas na NBR 11172 (ABNT, 1990) que define o termo “adição” para designar “produto de origem mineral adicionado aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características”. Ainda, sabe-se que existem seis tipos principais de cimento Portland disponíveis no mercado brasileiro (considerando o cimento branco), onde os tipos podem se diferenciar devido ao grau de substituição de adições minerais em relação à massa de clínquer e sulfato de cálcio. A Tabela 4 demonstra as faixas de composição e percentuais de adição.

Tabela 4 – Composição dos tipos de cimento Portland.

Tipo	Sigla	Composição, quantidade de adição mineral (% em massa)			
		Clínquer + Sulfatos de Cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material Pozolânico	Material Carbonático
Cimento Portland Comum	CP I	95-100		0-5	
	CP I -S	90-94	0	0	6-10
Cimento Portland Composto	CP II – E	51-94	6-34	0	0-15
	CP II – Z	71-94	0	6-14	0-15
	CP II – F	75-89	0	0	11-25
Cimento Portland de Alto-forno	CP III	25-65	35-75	0	0-10
Cimento Portland Pozolânico	CP IV	45-85	0	15-50	0-10
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V*	90-100	0	0	0-10
Cimento Portland Branco	CPB (estrutural)	75-100	0	0	0-25
	CPB (não estrutural)	50-74	0	0	26-50

\*Em alguns casos podem haver adições de materiais pozolânicos ou escoras granuladas de alto-forno

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018) – Adaptado pelo autor

As adições minerais, de acordo com sua ação físico-química, podem ser classificadas em três grandes grupos: material pozolânico; material cimentante; e fíler ou inerte (DAL MOLIN, 2005). Ainda, segundo Mehta e Monteiro (2014), ao efeito físico da presença das adições minerais no concreto fresco se torna imediatamente aparente após endurecimento da pasta, mas leva vários dias ou até vários meses, para que os efeitos químicos se manifestem.

#### 2.5.4 Materiais Fílers

A necessidade de aprimorar certas características dos concretos e argamassas tem levado muitas pesquisas por desenvolvimento outros tipos de materiais, que adicionados ao cimento pudessem melhorar ainda mais o seu desempenho.

Os fílers são conhecidos como materiais finos, que normalmente se apresentam em substituição parcial do clínquer dos cimentos Portland ou de outras misturas com

aglutinantes. Mas estes materiais além de substituir parte constituintes dos aglutinantes, traz vantagens que vão além da economia de material, eles podem ser tidos também como material de enchimento dos vazios entre agregados graúdos e miúdos, contribuindo para fechamento da mistura, modificando a trabalhabilidade, a resistência à água e a resistência ao envelhecimento (BARDINI, 2013).

Os materiais carbonáticos são usuais e mais conhecidos tipo de fíler, que segundo a NBR 16697 (ABNT,2018) pode representar uma porcentagem de 11-25% de substituição, em massa, dos componentes do cimento Portland. Outros materiais também vêm sendo estudados como forma de substituição de componentes do cimento, visto que este é um grande viés para aproveitamento de potenciais incorporações, principalmente de resíduos inertes ou que possuem capacidade aglutinante.

### **3 PARÂMETROS E INSTRUMENTOS DE PESQUISA.**

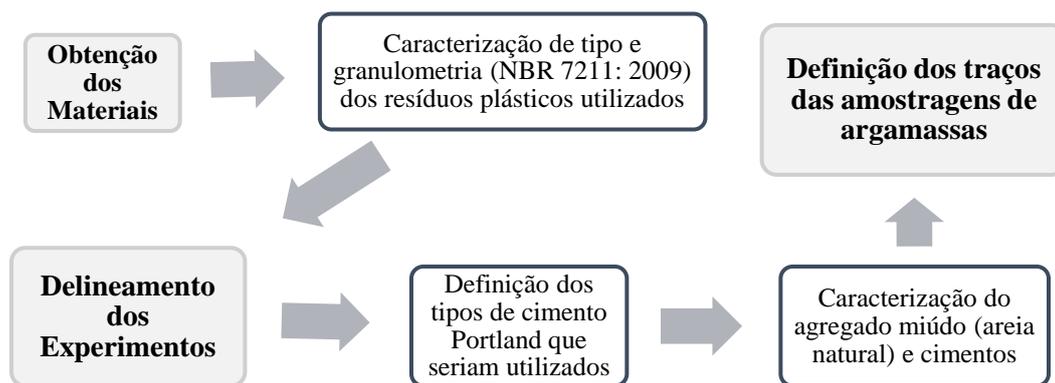
Neste capítulo apresentam-se os parâmetros e instrumentos utilizados como forma de atender o proposto nos objetivos desta pesquisa. Este item se delimita na apresentação do programa experimental proposto, das características dos materiais de partida utilizados no desenvolvimento pesquisa, bem como apresenta-se a metodologia empregada por cada ensaio executado.

#### **3.1 Programa experimental.**

Quatro etapas básicas foram seguidas para a realização deste trabalho. A primeira etapa foi onde as amostras dos materiais foram obtidas e caracterizadas conforme as normas nacionais vigentes para cada material de partida, para a caracterização dos resíduos buscou-se adaptar ensaios existentes para agregados e cimentos Portland. Vale ressaltar que a análise granulométrica foi feita como caracterização inicial a cada um dos quatro tipos de resíduos coletados, foi realizada segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) e serviu para tomadas de decisões subsequentes da pesquisa, por isso ela já é apresentada no item de discriminação dos materiais utilizados.

A seguir, a Tabela 5 demonstra os ensaios realizados para a caracterização, de acordo com o tipo de material empregado no programa experimental. Entretanto, a Tabela 6 foi elaborada para facilitar a dinâmica de realização do programa experimental, a nomenclatura adotada relaciona a etapa de obtenção dos resíduos no fluxo de reciclagem (Figura 4) com o tipo de resina primária e substituição; esta nomenclatura foi utilizada em todas as etapas seguintes. A Figura 9 demonstra as etapas até a definição dos traços das amostragens de argamassas.

Figura 9 – Fluxograma inicial das etapas da pesquisa, até definições dos traços.



Fonte: Próprio Autor

Tabela 5 - Ensaio de caracterização, de acordo com o tipo de material empregado na pesquisa.

Material	Método característico empregado	Ref. Normativa
Cimento Portland (CP I-32 e CP II-F-32)	Índice de Finura	NBR 11579(ABNT, 2012)
	Início de Pega	NBR 16607(ABNT, 2018)
	Massa Específica	NBR 16605 (ABNT, 2017)
Agregado miúdo (areia)	Análise granulométrica	NBR 7211 (ABNT, 2009)
	Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
	Massa Unitária	NBR NM 45(ABNT, 2006)
Resíduo plástico (resíduos de polipropileno e resíduos de polipropileno; dois tipos de cada resíduo, etapas de coletas diferentes)	Análise granulométrica	NBR 7211 (ABNT, 2009)
	Índice de Finura	NBR 11579(ABNT, 2012)
	Microscopia digital HD Color CMOS/ ImageJ®	-
	MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura EDS - Energy Dispersive Spectroscopy	-

Fonte: Próprio Autor

Tabela 6 - Nomenclatura adotada para cada tipo de resíduo.

Nomenclatura didática	Etapa de obtenção do resíduo na indústria de reciclagem	Tipo de Resíduo	Tipo de Substituição	
R-PP01	Moagem	Resíduo de Polipropileno	Agregado miúdo	
R-PE01	Moagem	Resíduo de Polietileno	Agregado miúdo	
R-PP02	Extrusão	Resíduo de Polipropileno	Agregado miúdo	Cimento Portland
R-PE02	Extrusão	Resíduo de Polietileno	Agregado miúdo	Cimento Portland

Fonte: Próprio Autor

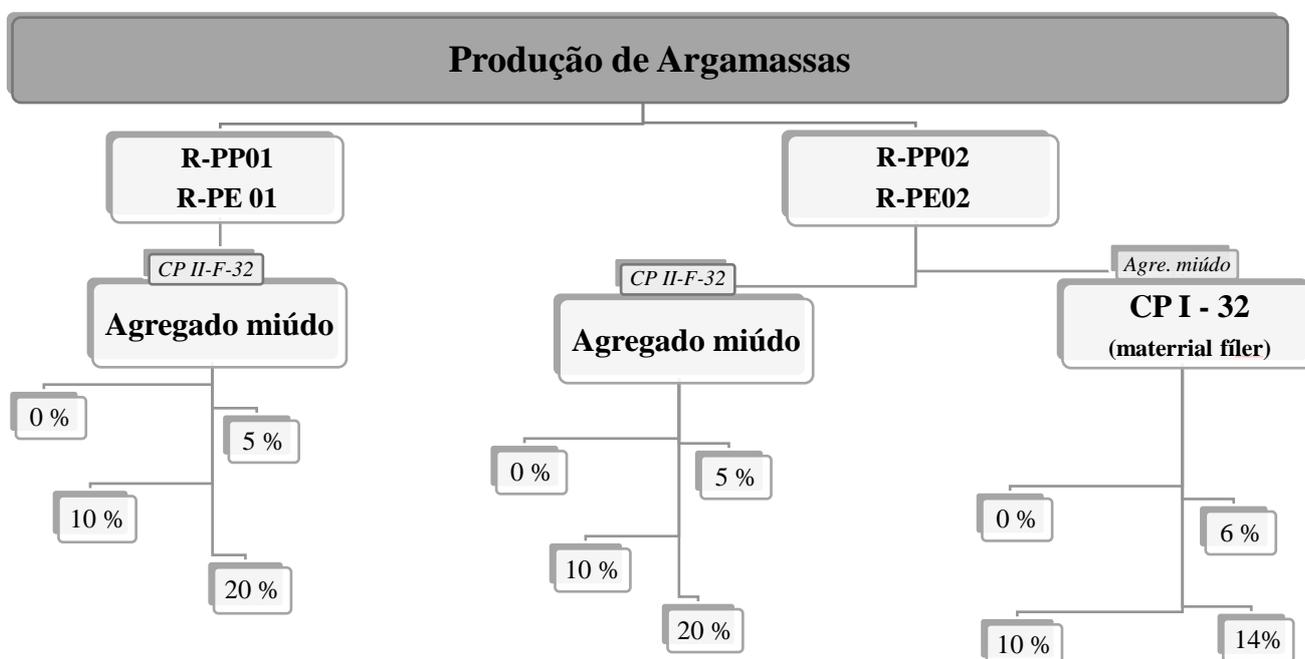
Na sequência ao proposto anteriormente na primeira etapa, a partir da predefinição de um traço volumétrico referencial de argamassa, designou-se os teores de substituição de agregado miúdo e de cimento ao tipo de conformação granulométrica mais conveniente para o tipo de resíduo.

O planejamento experimental delimitou-se na possibilidade de se produzir uma argamassa comercial, cujo a utilização é de assentamento e revestimento de paredes e tetos e que atendesse os requisitos estabelecidos conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005). Sendo assim, o estudo visou avaliar o melhor comportamento e interação dos resíduos apresentados através da substituição parcial do agregado miúdo e do cimento Portland (como material fíler) de um traço padrão e experimental, comumente utilizado na região por diversos profissionais do setor.

A escolha pelos teores de substituição do cimento Portland (6% a 14%) foi baseada nas faixas de aceitação descritas na NBR 16697(ABNT, 2018), visto de adições minerais e variações da interação dos compostos básicos com adições do cimento comum com os compostos; ainda, valendo-se da similaridade de teores de substituição de cimento encontrados nos trabalhos de Viveiros (2017) e Mendonça (2018). Quanto aos teores de substituição de areia (5% a 20%), o planejamento foi baseado nas pesquisas acadêmicas desenvolvidas por Canellas (2005), Aguiar Neto et al (2016) e Viveiros (2017).

Vale ressaltar que foram utilizados dois tipos de cimento Portland (CP I e CP II-F), onde a escolha do cimento comum se justifica pela incorporação dos resíduos plásticos como substituintes de frações deste material, e o cimento composto foi escolhido devido ao amplo e comum uso na região metropolitana de Belém-PA, ainda aliado ao fato que nas misturas que utilizaram este material, os agregados foram substituídos por teores dos resíduos. Para melhor entendimento e exemplificação, a seguir, a Figura 10 apresenta os teores de incorporação para cada um dos resíduos em cada tipo de uso.

Figura 10 - Materiais básicos das argamassas, destaque aos teores de substituição dos materiais básicos por tipo de resíduo plástico em destaque.



Fonte: Próprio Autor

Na terceira etapa, houve as realizações dos ensaios determinados de acordo com tipo de destino dado à cada tipo de resíduo plástico, onde buscou-se analisá-los microscopicamente e identificar as características de formação química de cada resíduo.

Quanto as amostragens, com as argamassas foram feitos os ensaios de consistência no estado fresco; além de moldados corpos-de-prova cilíndricos de 5x10 cm para determinar a densidade de massa fresca e resistência à compressão aos 03, 07, 14, 28 e 56 dias de idade e densidade de massa no estado endurecido, absorção por capilaridade e imersão aos 28 dias; corpos-de-prova de 10x20cm para o módulo de elasticidade estático aos 28 e 56 dias. Também, corpos-de-prova prismáticos de 4cm x 4cmx16cm, para determinar a resistência à tração aos 28 dias de idade. Com as amostras endurecidas e fraturadas, de 28 dias (utilizadas no ensaio de tração na flexão), foi realizada a análise microscópica MEV. A Tabela 7, a seguir, demonstra o número de amostras ensaiadas.

Tabela 7 – Número de para cada idade em cada teor de substituição amostras totais por tipo de ensaio.

<b>Ensaio</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Nº de amostragens (idade, para cada teor de substituição)</b>	<b>Nº de total de amostragens por ensaio</b>
Índice de Consistência NBR 13276 (ABNT,2016)	-	03	72
Densidade de Massa (estado fresco) NBR13278(ABNT, 2005)	-	03	72
Densidade de massa (estado endurecido) (NBR 13280:2005)	28	03	72
Absorção de água por capilaridade NBR 9779 (ABNT,2012)	28	03	72
Absorção de água por imersão NBR 9778 (ABNT,2005)	28	03	72
Resistência à compressão NBR7215 (ABNT,2019)	03 07 14 28 56	03	360
Módulo de elasticidade estático NBR 8522 (ABNT, 2017), com a adaptações aos procedimentos	28 56	03	144
Tração na flexão NBR 13279 (ABNT,2005)	07 28 56	03	216
Microscopia (MEV)	28	02	32

Fonte: Próprio Autor

Na quarta e última etapa, os resultados foram analisados gerando propostas e adequações futuras. Para isto o comportamento das argamassas produzidas com os resíduos seguiu as variáveis de viabilidade de consistência, trabalhabilidade, plasticidade, densidade de massa, resistência mecânica, absorção de água, módulo de elasticidade e análises microestruturais. Sendo que por escolha de facilitação entendimento, a apresentação destes resultados se deu conforme o estado de análise das massas, nos estados fresco e endurecido.

### 3.1.1- Metodologia de caracterização dos materiais de partida

Os procedimentos metodológicos demonstrados a seguir foram aqueles que serviram como subsídios ao proposto no planejamento experimental e resultados para análises. Os ensaios e métodos aplicados são aqui descritos foram aplicados aos materiais de partida, portanto são ensaios de caracterização. Ensaios específicos de microscopia e identificação de fases químicas dos resíduos, bem como os ensaios realizados com as argamassas produzidas são discriminados na seção 3.3 deste capítulo.

### 3.1.1.1 Cimentos

Foram utilizados dois tipos de cimentos Portland, o cimento Portland comum (CP I-32) e o cimento Portland composto (CP II-F-32), sendo ambos especificados através da NBR 16697(ABNT, 2018). A opção por estes tipos de cimento é justificada em virtude das metodologias empregadas, visto que poderão ser analisados e correlacionados fatores e usos empregados na pesquisa. A caracterização destes se deu pela aplicação de metodologias de análises do índice de finura, tempo de início de pega e massa específica.

- Índice de finura

O índice de finura é o método descrito na NBR 11579(ABNT, 2012), ele determina o índice percentual de massa superior a 75 µm por uma quantidade de massa de amostragem de cimento Portland.

- Início de tempo de pega.

O início do tempo de pega é o momento do endurecimento da pasta moldada confinada em molde de tronco de cone em comparação com a resistência a penetração. Ele foi determinado com o auxílio do Aparelho de Vicat, sobre as designações da NBR 16607(ABNT, 2018).

- Massa Específica.

A massa específica foi determinada sobre as prescrições da NBR 16605 (ABNT, 2017).

### 3.1.1.2 Agregado miúdo

Este material foi caracterizado seguindo as metodologias especificadas à análise granulométrica, massa específica, massa unitária, teor de argila em torrões, absorção de água e teor de material pulverulento.

- Análise Granulométrica

A análise granulométrica é o método descrito na NBR 7211 (ABNT, 2009), com esta é possível avaliar a distribuição granulométrica do material, dimensão máxima característica e o módulo de finura. Outros ensaios como durabilidade ensaios especiais também são descritos nesta normatização, mas estes não foram objetos aplicados a esta pesquisa.

- Massa Específica.

Este é o método descrito na NBR NM 52 (ABNT, 2009). O qual, foi utilizada para descrever a massa específica aparente do agregado seco, incluindo os poros permeáveis.

- Massa Unitária.

Este é o método descrito na NBR NM 45 (ABNT, 2006). O qual, foi utilizada para descrever a massa unitária do agregado lançado em um recipiente de volume determinado.

### *3.1.1.3 Resíduos plásticos*

Houve quatro tipos de resíduos que foram utilizados, para estes as metodologias de ensaios foram feitas de duas formas. A metodologia primária empregada foi chamada de caracterização primária dos materiais, nesta foram especificadas as condições gerais de forma, foi feita aplicando a estes as metodologias utilizadas para caracterização de cimento e agregado miúdo.

- Caracterização primária

A caracterização primária dos resíduos foi feita para as amostras aplicando os métodos da análise granulométrica a todas as amostragens; conforme o descrito na NBR 7211 (ABNT, 2009), onde por meio desta foi possível identificar a dimensão máxima característica e o módulo de finura de cada. Segundo as NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006); verificou-se também as massas específicas e unitárias, respectivamente a cada resíduo, valendo ressaltar que para a massa específica se utilizou álcool etílico hidratado 70° INPM, cuja densidade segundo fabricante é de 0,8896 g/cm<sup>3</sup>. O índice de finura foi verificado quanto a semelhança com o cimento, conforme a NBR 11579 (ABNT, 2012); porém, devido a conformação da curva granulométrica, apenas os resíduos R-PP02 e R-PE02 foram verificados com possível semelhança ao cimento Portland, sendo este critério de analisado posteriormente.

## **3.2 Materiais.**

Os materiais utilizados são provenientes estado do Pará, onde a origem e fornecimento são discriminados especificamente para cada um. As caracterizações específicas aqui demonstradas, quando não fornecidas pelos fabricantes ou encontradas nas literaturas respectivas, foram realizadas segundo as normas vigentes.

### 3.2.1 Materiais de Partida

#### 3.2.1.1 Cimentos Portland

Os dois tipos de cimentos Portland utilizados, o cimento Portland comum (CP I-32) e o cimento Portland composto (CP II-F-32) foram fornecidos pela fabricante que se localiza no município de Capanema/PA, as caracterizações aqui apresentadas foram realizadas no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará.

A Tabelas 8 destaca as características encontradas para cada tipo de cimento, esta tabela ainda identifica o tipo de cimento pela sua sigla característica e cita a referência normativa utilizada para cada item determinado.

Tabela 8 – Características dos cimentos utilizados na pesquisa

Tipo de Cimento	Índice de Finura			Início de Pega			Massa Específica		
	Ref. Normativa	Unidade	Resultado Obtido	Ref. Normativa	Unidade	Resultado Obtido	Ref. Normativa	Unidade	Resultado Obtido
CP I-32	NBR 11579	%	1,46	NBR 16607	tempo	1h35min	NBR 16605	kg/dm <sup>3</sup>	3,02
CP II-F-32	(ABNT, 2012)		1,78	(ABNT, 2018)		1h50min	(ABNT, 2017)		3,01

Fonte: Próprio Autor

#### 3.2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi proveniente de jazidas do município de Ourém/PA, sendo uma areia de origem quartzosa. Esta passou pelo processo de secagem ao ar livre em local abrigado para a realização da caracterização do material. A Tabela 9 destaca as características encontradas, ela ainda identifica a referência normativa utilizada para cada item determinado.

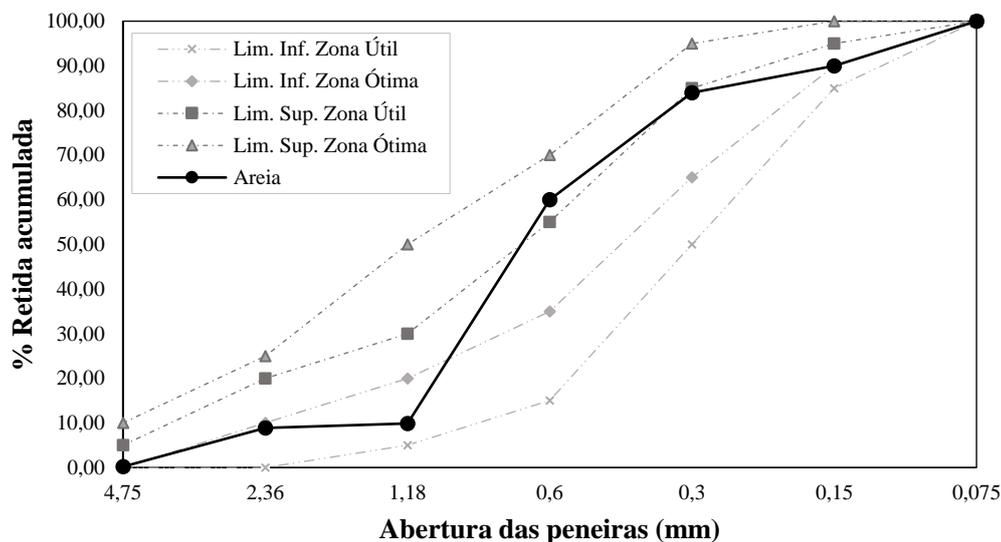
Tabela 9 - Características do agregado miúdo utilizados na pesquisa

Característica	Ref. Normativa	Unidade	Resultado Obtido
Diâmetro máximo característico	NBR 7211 (ABNT, 2009)	mm	4,75
Módulo de finura	NBR 7211 (ABNT, 2009)	-	2,53
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	kg/dm <sup>3</sup>	2,63
Massa Unitária	NBR NM 45(ABNT, 2006)	kg/dm <sup>3</sup>	1,53

Fonte: Próprio Autor

Pelo módulo de finura, ainda segundo Falcão Bauer (2016), este agregado miúdo pode ser classificado como bem graduado de tamanho mediano. A Figura 11 demonstra a distribuição granulométrica do material, obtida segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009); onde o material se apresentou com distribuição compatível as faixas limítrofes da normatização.

Figura 11 – Curva granulométrica do agregado miúdo, segundo NBR 7211 (ABNT, 2009)



Fonte: Próprio Autor

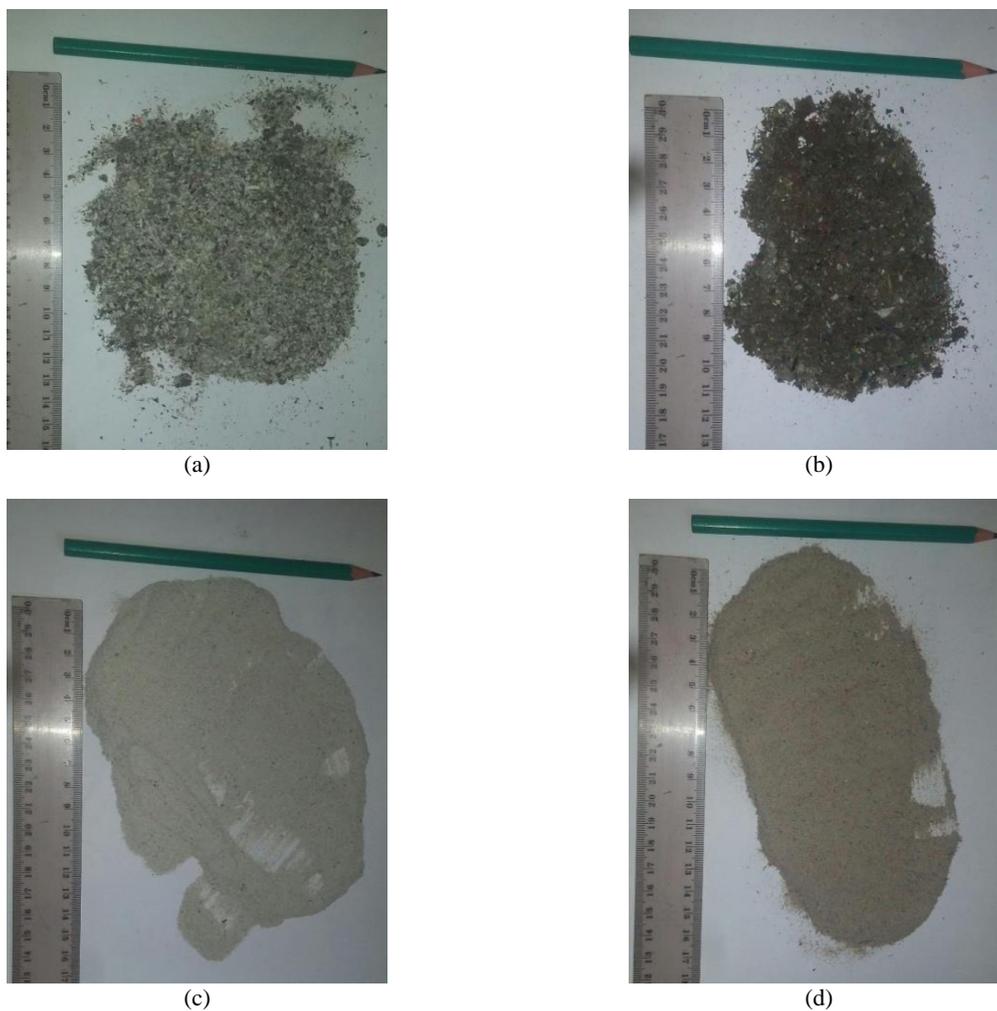
### 3.2.1.3 Água de Amassamento.

Para a produção das argamassas, utilizou-se como água de amassamento a água potável, canalizada até o Laboratório de Engenharia Civil, que é proveniente da ETA - Estação de Tratamento de Água da UFPA, campus Belém. A água fornecida é considerada potável; logo, por conta desta condição e manutenção dos equipamentos necessários para a maiores análises, maiores caracterizações não foram realizadas.

### 3.2.1.4 Resíduos de Polipropileno (PP) e Polietileno (PE).

Foram utilizados quatro tipos de resíduos, sendo dois rejeitos de polipropileno e dois polietileno, todos foram obtidos por doação direta de uma indústria de reciclagem que se localiza no município de Ananindeua/PA. Nos quais eles se diferenciam pelas granulometrias, sendo os mais graúdos coletados no processo de moagem e secagem dos resíduos plásticos; já os rejeitos mais finos, obtidos no nesta mesma etapa quanto no processo extrusão dos resíduos. Pela Figura 12 é demonstrada a aparência das amostras, ela também permite a comparação entre si e com objetos de uso cotidiano.

Figura 12 – Apresentação e aparência comparativa das amostras de resíduos



- a) Resíduo de PP, resíduo da etapa de moagem (R-PP01);
- b) Resíduo de PE, resíduo da etapa de moagem (R-PE01);
- c) Resíduo de PP, resíduo da etapa de extrusão (R-PP02);
- d) Resíduo de PE, resíduo da etapa de extrusão (R-PE02).

Fonte: Próprio Autor

### 3.3 Métodos.

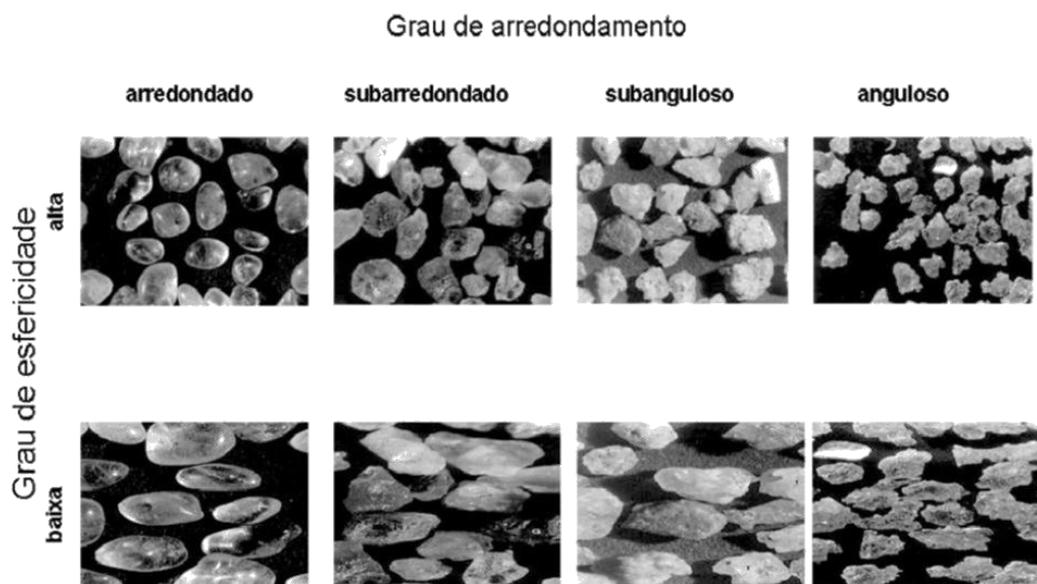
Neste subitem serão apresentadas as técnicas utilizadas para o desenvolvimento metodológico da pesquisa, os procedimentos aqui citados quando não foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil (LEC), foram realizados no Instituto de Geociências (IG) e Laboratório de Engenharia Química (LEQ); sendo que todos estes são instituto e laboratórios pertencentes a Universidade Federal do Pará (UFPA), campus sede de Belém.

### 3.3.1 Caracterização microestrutural dos resíduos

#### 3.3.1.1 Geometria dos resíduos

O método utilizado para medir as dimensões geométricas dos resíduos foi baseado nas imagens obtidas através de um microscópio digital HD Color CMOS aliado com o programa computacional (ImageJ®), onde através da imagem capturada do microscópio adquiriu-se as dimensões de perímetro, área ocupada, diâmetro máximo, diâmetro mínimo e diâmetro médio de treze partículas (escolha aleatória) de cinquenta gramas do elemento estudado, ou seja de cada um dos quatro tipos de resíduos. Com isto foi possível conhecer melhor a forma de cada resíduo plástico, bem como compará-los quanto grau de arredondamento e esfericidade preconizados a materiais naturais, conforme descrito na NBR 7389-1 (ABNT, 2009), o qual é mostrado através da Figura 13.

Figura 13 – Descrição normativa sobre arredondamento e esfericidade



Fonte: NBR 7389-1 (ABNT, 2009)

Além da avaliação visual proposta na normatização citada, para a determinação do arredondamento das partículas seguiu-se o método matemático proposto por Cox (1927), conforme citado por Ribeiro e Bonetti (2013), o qual é mostrado na Equação 1. Sendo as médias dos arredondamentos encontrados submetidos à classificação proposta por Arasan *et. al* (2011), que estabelece faixas de graduação de acordo com a dimensão fractal.

$$a = \frac{4\pi A}{p^2}$$

Equação 1

Sendo:

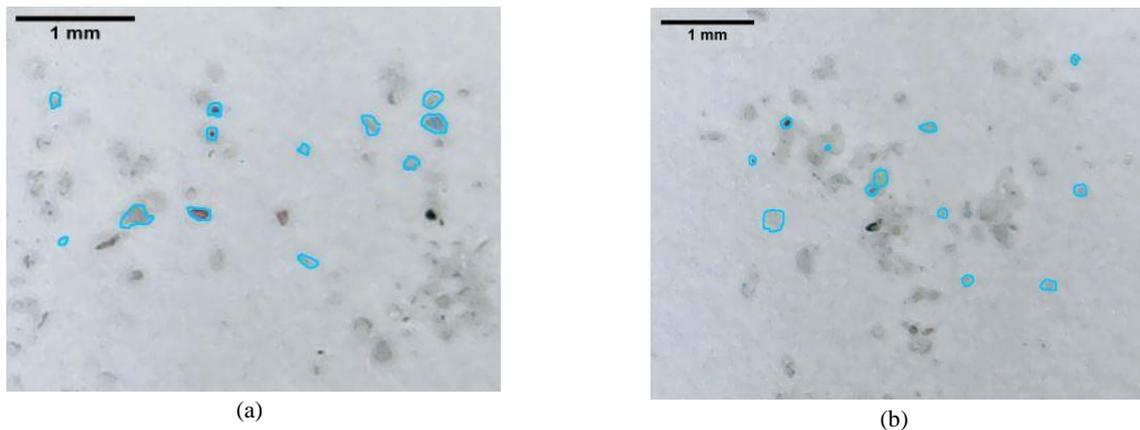
a = valor do arredondamento de COX, adimensional;

A= área da partícula, em milímetro quadrado;

p= perímetro da partícula, em milímetro;

A Figura 14 demonstra as imagens geradas com o contorno das partículas demarcadas, onde, através do software ImageJ® são gerados dados vinculados aos objetos demarca em questão.

Figura 14 – Imagens de microscópio digital HD Color CMOS, com demarcações



- a) R-PE02, demarcado (ampliação de 130x);
- b) R-PP02, demarcado (ampliação de 140x);

Fonte: Próprio Autor

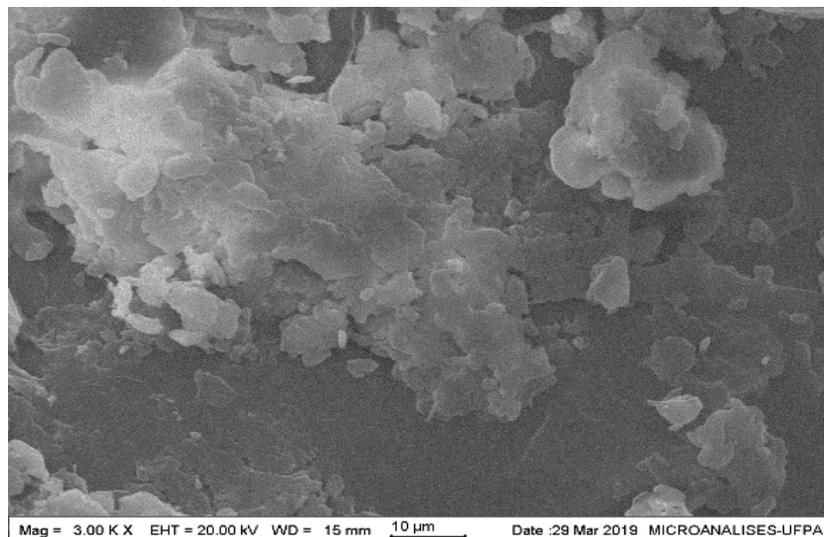
### 3.3.1.2 Microscopia eletrônica

A microscopia eletrônica foi realizada através de imagens obtidas pelo equipamento MEV Zeiss modelo LEO-1430 com EDS IXRF modelo Sirius-SD acoplado. As amostras foram previamente metalizadas com ouro por 90 segundos; as condições de operação foram: corrente do feixe de elétrons de 90 $\mu$ A, voltagem de aceleração constante de 20kV, distância de trabalho de 15mm e tempo de contagem para análise dos elementos de 30s. As imagens de elétrons secundários e análises de EDS (*energy dispersive spectroscopy*) foram obtidas no Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências (IG) da UFPA. A medida de EDS foi utilizada para a determinação da composição química das amostras de resíduos,

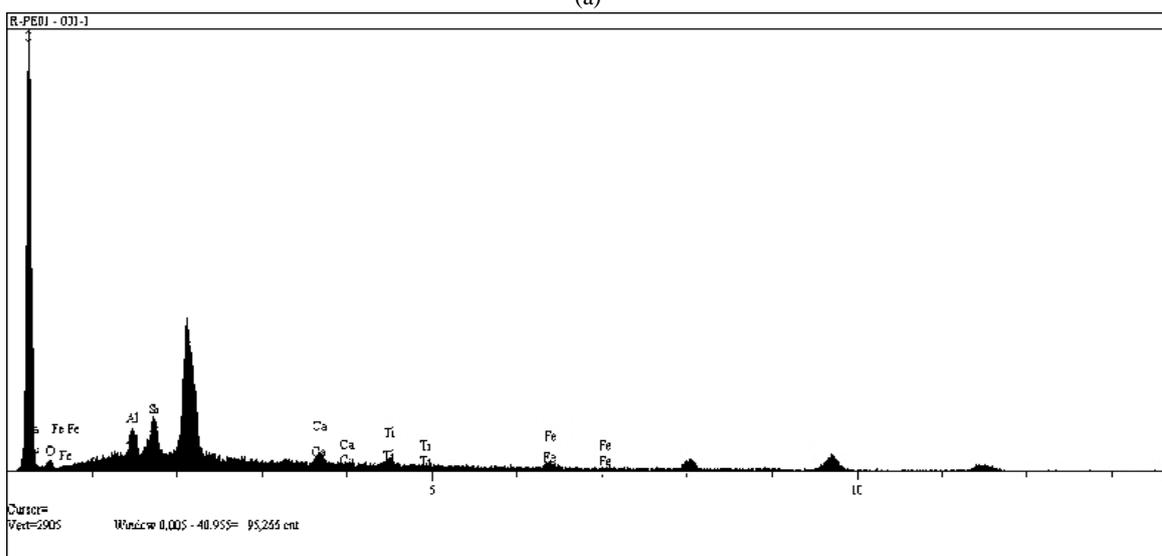
onde esta foi obtida determinando pontos de análises de determinadas regiões da amostragem.

A técnica de EDS permite determinar um histograma com as energias recebidas por cada elemento, considera o princípio de que a energia de um fóton ( $E$ ) está relacionada com a frequência eletromagnética ( $\nu$ ) pela relação  $E = h\nu$ , onde “ $h$ ” é a constante de Planck (DEDAVID *et al.*, 2007). A Figura 15 demonstra um exemplo de imagem gerada pelo MEV e o espectrograma gerado pelo EDS da amostragem em questão. Nestes exemplos podemos notar a topografia do material, além de identificar os elementos químicos de acordo com a energia dissipada.

Figura 15 – Exemplo de imagem obtida pelo MEV e espectro gerado pelo EDS



(a)



(b)

- a) Exemplo de imagem gerada pelo MEV, resíduo R-PE01;
- b) Exemplo de espectro de EDS, com identificação dos elementos químicos.

Fonte: Próprio Autor

A interpretação dos espectros é facilitada por uma base de dados que contém, para cada elemento, as energias e a intensidade das raias que as produziu. É possível localizar, para cada energia do espectro, a lista dos elementos que possuem uma raia neste domínio energético (DEDAVID *et al.*, 2007).

### 3.3.2 Produção das argamassas.

#### 3.3.2.1 Definição de traço.

A escolha do traço ocorreu pela reprodução de um traço experimental volumétrico referencial, que foi fornecido diretamente fornecido por uma concreteira localizada na região metropolitana de Belém. Este traço de argamassa é comumente utilizado na região e possui ampla aplicação na produção de argamassas de revestimentos.

Como o traço parte de um pressuposto de análise experimental, buscou-se estudar a viabilidade de incorporação dos resíduos nos compósitos produzidos. Ainda, a fim de ser reduzir a quantidade de interações químicas, optou-se pela não utilização de aditivos e demais materiais que pudessem intervir nas propriedades básicas das argamassas, logo foram utilizados apenas o aglomerante, agregado miúdo e a água para a constituição do traço básico. O traço básico volumétrico definido foi na proporção 1:2,5 (cimento: areia), com relação água/cimento de 0,60; onde a incorporação dos diferentes teores de resíduos se deu em função das porcentagens relativas propostas aos materiais relativos.

As porcentagens relativas de substituição foram de 0, 5, 10 e 20%, como substituição do agregado miúdo pelos resíduos R-PP01, R-PP02, R-PE01 e R-PE02, com esta variação para cada resíduo, sendo nestes traços utilizados o cimento CP II-F-32 para a produção das argamassas. Quando a substituição foi relativa ao cimento Portland, foram utilizadas as frações de 0, 6, 10 e 14% para a substituição por resíduos do tipo R-PP02 e R-PE02, sendo nestes traços utilizados o cimento CP I-32 para a produção das argamassas. Vale ressaltar que a escolha dos percentuais de substituição, bem como o tipo de substituição foram evidenciados no item 3.1 deste capítulo.

A Tabela 10 e Tabela 11 apresentam os traços unitários em massa para cada tipo de resíduo e teor de incorporação, onde se diferenciam pelo tipo de material substituído. Os cálculos das proporções de massas foram baseados nas características apresentadas pelos

materiais constituintes das argamassas, os quais foram apresentados na seção 3.2 deste capítulo.

Tabela 10 – Traços unitários das argamassas (em massa); substituição do agregado miúdo por resíduo.

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Substituições</b>	<b>Cimento (kg)</b>	<b>Quant. Resíduo (kg)</b>	<b>Areia (kg)</b>	<b>Água (kg)</b>
R - PP01	0%	1,000	0,000	2,500	0,600
	5%	1,000	0,054	2,446	0,600
	10%	1,000	0,107	2,393	0,600
	20%	1,000	0,214	2,286	0,600
R - PE01	0%	1,000	0,000	2,500	0,600
	5%	1,000	0,057	2,443	0,600
	10%	1,000	0,114	2,386	0,600
	20%	1,000	0,229	2,271	0,600
R - PP02	0%	1,000	0,000	2,500	0,600
	5%	1,000	0,054	2,446	0,600
	10%	1,000	0,107	2,393	0,600
	20%	1,000	0,214	2,286	0,600
R - PE02	0%	1,000	0,000	2,500	0,600
	5%	1,000	0,058	2,442	0,600
	10%	1,000	0,116	2,384	0,600
	20%	1,000	0,233	2,267	0,600

Fonte: Próprio Autor

Tabela 11 - Traços unitários das argamassas (em massa); substituição do cimento por resíduo

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Substituições</b>	<b>Cimento (Kg)</b>	<b>Quant. Resíduo (Kg)</b>	<b>Areia (Kg)</b>	<b>Água (Kg)</b>
R - PP02	0%	1,000	0,000	2,500	0,600
	6%	0,980	0,020	2,500	0,600
	10%	0,966	0,034	2,500	0,600
	14%	0,953	0,047	2,500	0,600
R - PE02	0%	1,000	0,000	2,500	0,600
	6%	0,978	0,022	2,500	0,600
	10%	0,963	0,037	2,500	0,600
	14%	0,949	0,051	2,500	0,600

Fonte: Próprio Autor

### 3.3.2.2 Definição da consistência.

Com base nas definições de medição prescritas na NBR 13276 (ABNT,2016), a consistência objetivou a um valor padrão de  $260 \pm 10$  mm, visto a indicação relativa ao uso de argamassas para revestimento. Essa prescritiva de consistência foi visada apenas ao traço

básico (teor de 0%), uma vez que a variação pode representar viés de análise para os resultados, visto a origem de resinas plástica dos resíduos estudados.

### 3.3.3 Ensaio e condições tecnológicas de análises das argamassas.

#### 3.3.3.1 Densidade de massa.

- Estado fresco.

A densidade de massa no estado fresco foi realizada segundo a NBR13278(ABNT, 2005), onde as argamassas foram preparadas e colocadas imediatamente no molde metálico, para que assim fossem verificadas as suas densidades de massa no estado fresco, conforme a Equação 2.

$$d = 1000 \times \frac{mc - mv}{vr}$$

Equação 2

Sendo:

$d$  = valor da densidade de massa no estado fresco, em quilograma por metro cúbico;

$mc$  = massa do recipiente cilíndrico contendo argamassa, em gramas;

$mv$  = massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;

$vr$  = volume do recipiente cilíndrico vazio, em centímetros cúbicos.

- Estado endurecido.

A densidade da massa foi avaliada no estado endurecido, segundo a NBR 13280 (ABNT, 2005), no qual descreve que o corpo-de-prova já moldado segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005) posteriormente foi mensurado, com auxílio de paquímetro, nas duas posições ortogonais no seu terço médio e a sua altura em três pontos diferentes; para em seguida sejam verificadas as massas de cada amostra, e assim se aplicar a Equação 3.

$$\rho = 1000 \times \frac{M}{V}$$

Equação 3

Sendo:

$\rho$  = valor da densidade de massa aparente, em quilograma por metro cúbico;

$M$  = A massa de cada amostra, em gramas;

V= Volume médio encontrado a partir dos diâmetros e das alturas encontradas em cada amostra, em centímetros cúbicos.

### 3.3.3.2 Absorção de água.

- Absorção por capilaridade.

A ascensão capilar da água nas amostras de argamassa endurecidas foi observada seguindo a NBR9779 (ABNT, 2012), onde as argamassas foram preparadas (já curadas com vinte e oito dias, e secas até constância de massa) foram submetidas ao contato com água e foi-se verificado a massa saturada da amostra ( $msat$ ) nas imediatamente no período de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir do contato citado. A absorção por capilaridade foi calculada segundo a Equação 4.

$$C = \frac{msat - ms}{S}$$

Equação 4

Sendo:

$C$  = valor da absorção e água, em grama por centímetro quadrado;

$msat$  = massa do corpo de prova que se encontra com uma das faces em contato com a água pelo período estabelecido, em gramas;

$ms$  = massa do corpo de prova seco, em gramas;

$S$  = área da seção transversal da amostra, em centímetros quadrados.

- Absorção por imersão.

A absorção de água por imersão nas amostras das argamassas endurecidas foi observada seguindo a NBR9778 (ABNT, 2005), onde a água tende a ocupar os poros vazios do corpo sólido. A absorção por imersão foi calculada segundo a Equação 5.

$$A = \frac{msat - ms}{ms}$$

Equação 5

Onde:

$A$  = valor da absorção e água, em porcentagem;

$msat$  = massa do corpo de prova que se encontra com uma das faces em contato com a água pelo período estabelecido, em gramas;

$m_s$  = massa do corpo de prova seco, em gramas.

### 3.3.3.3 Resistência a compressão axial.

O ensaio de resistência à compressão seguiu o que está prescrito na NBR 7215 (ABNT,2019), onde cada tipo de argamassa ensaiada nas idades determinadas. A máquina de ensaio foi o modelo DL200 da marca EMIC, com velocidade de carregamento de 0,25 MPa/s.

### 3.3.3.4 Módulo de Elasticidade.

O procedimento de verificação do módulo de elasticidade seguiu a NBR 8522 (ABNT, 2017), com variadas adaptações relativas, principalmente, para uso em argamassas cimentícias. Para esta determinação os corpos de prova cilíndricos são submetidos primeiramente ao processo de escorvação (três carregamentos e descarregamentos sucessivos até o limite de  $0,3 \times f_c$ ) e posteriormente são levados até a ruptura.

### 3.3.3.5 Resistência à tração na flexão.

A verificação da resistência à tração na flexão foi avaliada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizando equipamento da marca EMIC, com aquisição automática dos dados de carga e deformação, usando célula de carga de capacidade de 200,00 toneladas e taxa de carregamento controlado. A resistência à tração na flexão pode ser obtida utilizando-se a Equação 6.

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

Equação 6

Onde:

$R_f$  = é a resistência à tração na flexão, em MPa;

$F_f$  =força máxima obtida no ensaio, em N;

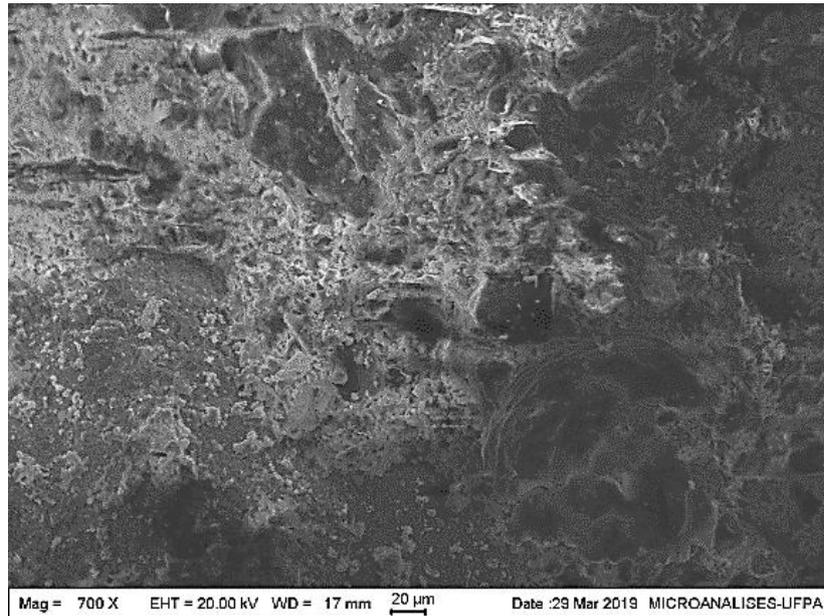
$L$  = distância entre os suportes, em mm.

### 3.3.3.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

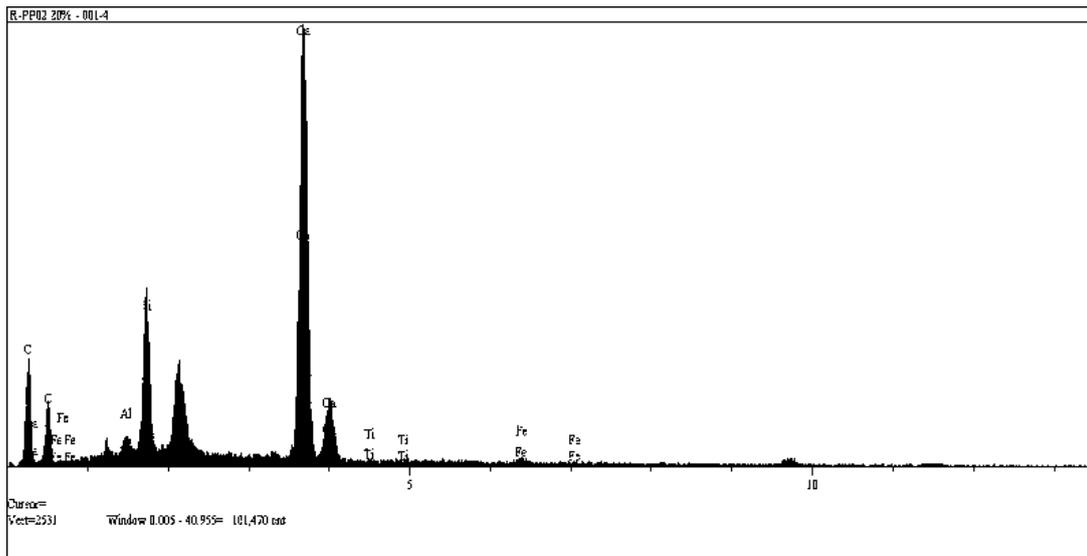
Assim como na caracterização e análises das amostragens de resíduos plásticos, fragmentos das argamassas (rompidas no ensaio de resistência a tração na flexão) foram submetidas a microscopia eletrônica de varredura realizada através de imagens obtidas pelo equipamento MEV Zeiss modelo LEO-1430 com EDS IXRF modelo Sirius-SD acoplado. Onde, as amostras foram previamente metalizadas com ouro por 90 segundos; as condições de operação foram: corrente do feixe de elétrons de  $90\mu\text{A}$ , voltagem de aceleração constante de 20kV, distância de trabalho de 15mm e tempo de contagem para análise dos elementos de 30s. As imagens de elétrons secundários e análises de EDS (energy dispersive spectroscopy) foram obtidas no Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências (IG) da UFPA.

As amostras analisadas foram as que tinham o maior teor de substituição, independente do tipo de incorporação. Diante disso, as amostras selecionadas para as análises foram as que tinham teor de 20% de substituição do agregado miúdo por cada tipo de resíduo plástico, portanto objetivou-se identificar as interações e envolvimento dos resíduos com a pasta e os demais componentes das argamassas. A medida de EDS foi utilizada para a determinação da composição química dos pontos analisados nas imagens obtidas, assim pelo percentual de incidência e o espectro gerado, em cada ponto, foi possível determinar qual material componente da argamassa estava sendo analisado. A Figura 16 demonstra a exemplo da imagem obtida pelo MEV e o espectro gerado pelo EDS em amostragens das argamassas produzidas nesta pesquisa.

Figura 16 - Exemplo de imagem de argamassa obtida pelo MEV e espectro gerado pelo EDS



(a)



(b)

- a) Imagem gerada pelo MEV, argamassa com 20% de resíduo R-PP02;
- b) Espectro de EDS em ponto determinado para identificação de material na argamassa.

Fonte: Autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados encontrados. Ainda, são feitas discussões acerca dos mesmos resultados.

### 4.1 Propriedades dos resíduos.

Aqui se expõem os resultados encontrados nos experimentos realizados, estes são referentes a caracterizações físicas e químicas dos resíduos plásticos utilizados como objeto desta pesquisa.

#### 4.1.1 Características de fases físicas e químicas.

##### 4.1.1.1 Dimensões, massa e finura

A análise granulométrica, massa específica e massa unitária permitiram a caracterização dos resíduos semelhantemente aos materiais naturais, o comparativo se deu à semelhança com a areia natural. Já pelo índice de finura, a caracterização permitiu analisar os resíduos comparativamente ao cimento Portland. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 12; ainda, a Figura17 demonstra a distribuição granulométrica dos materiais, obtida segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).

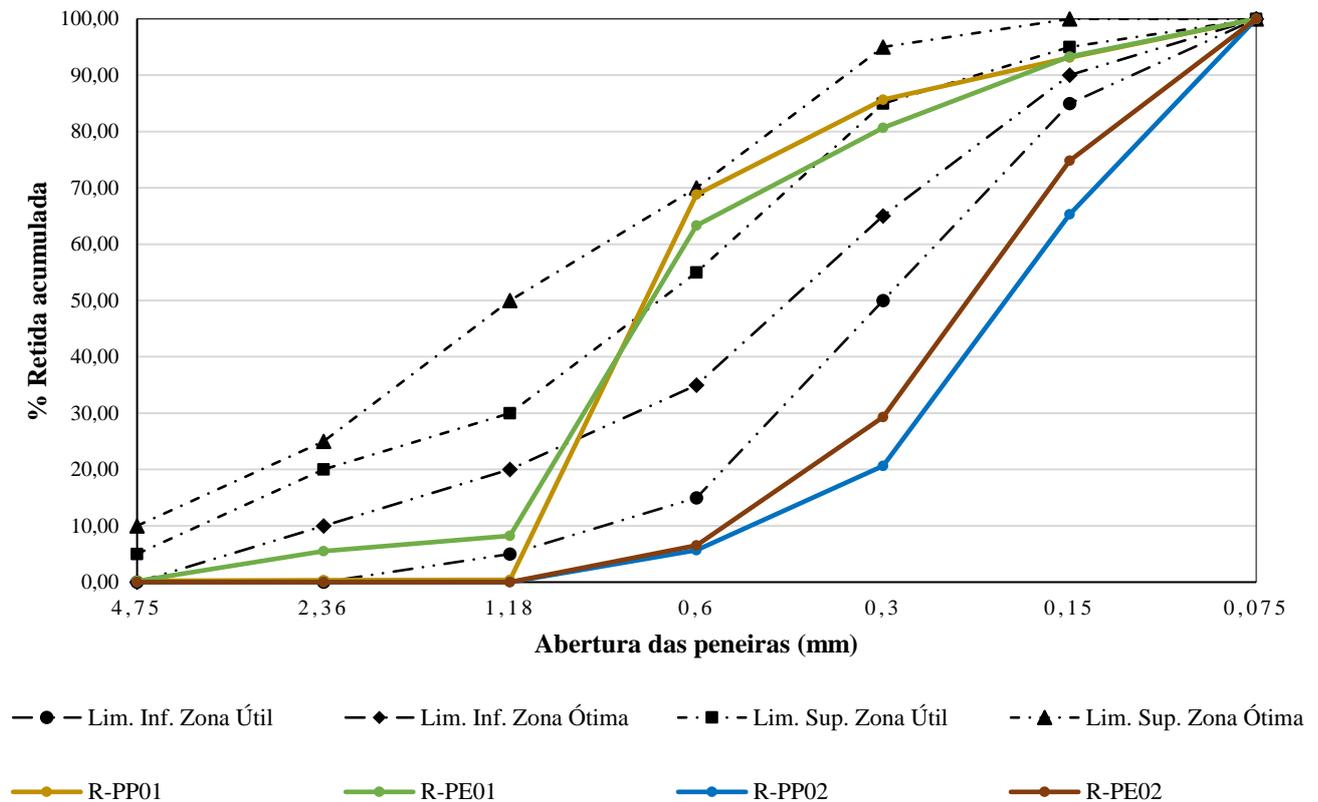
Tabela 12 - Características de dimensões, massa e finura encontradas para os resíduos plásticos.

Característica	Ref. Normativa	Unid.	R-PP01	R-PP02	R-PE01	R-PE02
Diâmetro Máx.	NBR 7211 (ABNT, 2009)	mm	2,36	0,60	2,36	0,60
Módulo de finura	NBR 7211 (ABNT, 2009)	-	2,49	0,92	2,51	1,11
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	kg/dm <sup>3</sup>	1,05	1,05	1,12	1,14
Massa Unitária	NBR NM 45(ABNT, 2006)	kg/dm <sup>3</sup>	0,36	0,39	0,38	0,37
Índice de Finura	NBR 11579 (ABNT, 2012)	%	93,32	53,00	93,33	73,32

Fonte: Autor

Pelo módulo de finura, baseado ao descrito por Bauer (2016), os resíduos R-PP01 e RPE01 podem ser classificados como agregados finos à medianos, já os resíduos R-PP02 e RPE02 apresentaram módulos de finura abaixo do especificado pelo autor citado, logo se trata de materiais muito finos.

Figura 17 – Distribuição granulométrica dos resíduos plásticos, NBR 7211 (ABNT, 2009).



O comportamento desenvolvido pelas curvas granulométricas dos resíduos R-PP02 e R-PE02 refletem o afirmado anteriormente quanto ao módulo de finura, visto que estes não se enquadram dentro das faixas limítrofes determinadas pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

As massas específicas absolutas encontradas matem-se constantes para os resíduos que possuem a mesma origem de resina plástica primária, o que ressalta que se empregada a metodologia da NBR NM 52 (ABNT, 2009) variação granulométrica não influenciará na densidade real dos materiais plásticos, visto as amostragens ensaiadas.

As massas específicas aparentes de todos os resíduos demonstram que estes podem ser classificados como agregados leves segundo a NBR NM 35 (ABNT, 1995), visto que segundo esta normatização se enquadram na faixa 3 da graduação de agregados, e possuem correspondência ao limite estabelecido, sendo aceitáveis até como agregados leves para concretos estruturais de densidade estabelecida. Ainda, se tomados apenas valores absolutos de massa unitária, perceber-se que a tendência de variação linear é praticamente nula, diferentemente do agregado natural. Isto tende-se a ser explicado pela metodologia

empregada na NBR NM 45 (ABNT, 2006) e por se tratar de materiais leves, a granulometria e tipo de material pouco interferem para estas amostragens de resíduos plásticos analisados.

Para todos os resíduos analisados, os índices de finura apresentam-se com valores elevados aos padrões limites preconizados na NBR 16697 (ABNT, 2018) para a comparação aos cimentos Portland dos tipos CP I-32 e CP II-F-32. Ou seja, tomando os resultados encontrados, até para os resíduos R-PP02 e R-PE02 que apresentaram a curva granulométrica fora dos padrões de areia e menores módulos de finura, pode-se dizer que estes materiais não se enquadram ao uso adequado como cimento se considerada a finura das amostragens.

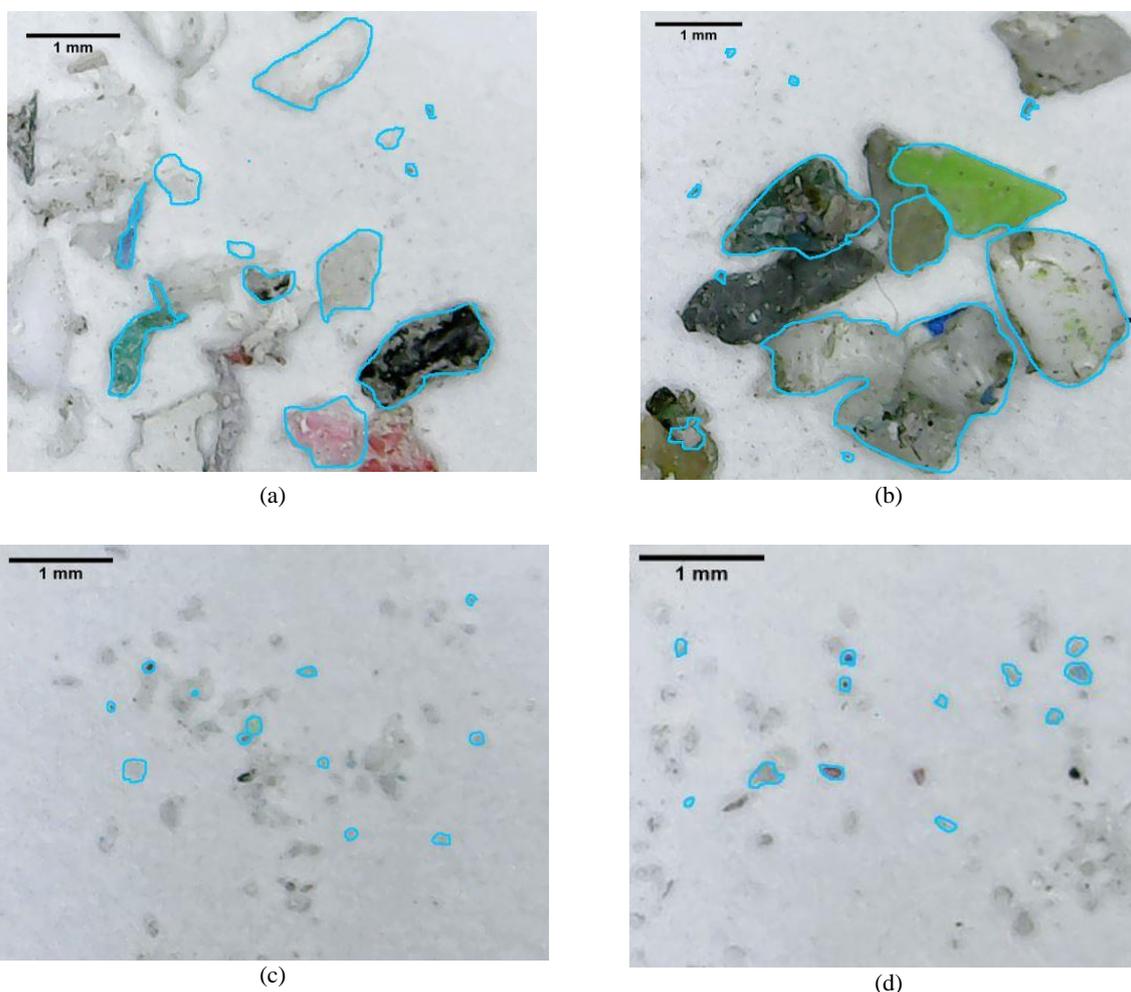
#### *4.1.1.2 Forma e geometria*

A análise da forma e geometria das partículas dos resíduos se deu por meio das imagens e dados obtidos através do microscópio digital HD Color CMOS aliado com o programa computacional (ImageJ®), assim aspectos visuais e de resultados são analisados a seguir.

A Figura 18 demonstra a aparência das partículas dos resíduos analisados, estas foram comparadas com os padrões preconizados pela NBR 7389-1 (ABNT, 2009), onde a cada um dos quatro tipos de resíduos pode-se estabelecer o grau de esfericidade e arredondamento conforme a aparência, sendo de 130x a magnitude de aumento das imagens geradas e as partículas analisadas circundadas.

As medidas de área e perímetro das partículas analisadas por cada tipo de resíduo foram geradas automaticamente através do software ImageJ®, sendo estas utilizadas posteriormente como dados para análise do arredondamento segundo o método de COX (1927).

Figura 18 – Aparência das partículas dos resíduos plásticos analisados, imagens geradas pelo microscópio digital HD Color CMOS



- a) Resíduo de PP, resíduo da etapa de moagem (R-PP01);
- b) Resíduo de PE, resíduo da etapa de moagem (R-PE01);
- c) Resíduo de PP, resíduo da etapa de extrusão (R-PP02);
- d) Resíduo de PE, resíduo da etapa de extrusão (R-PE02).

Fonte: Autor

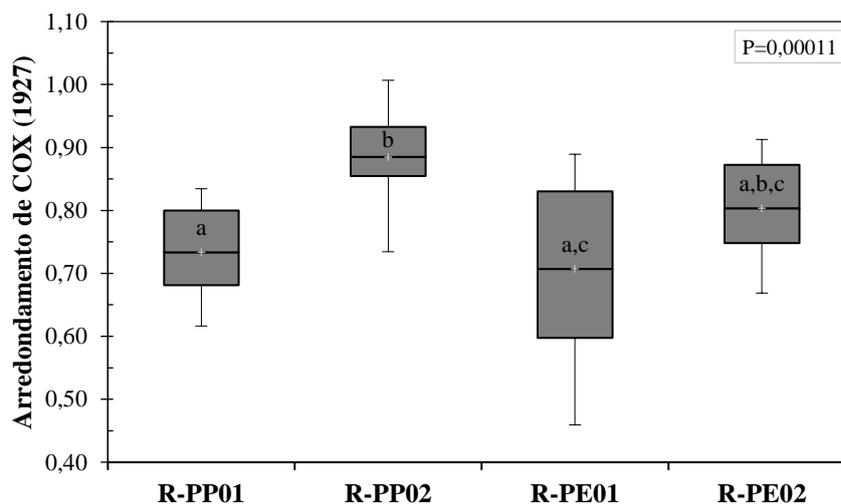
As análises da aparência dos resíduos permitiram descrever o R-PP01 e R-PE01 como materiais de baixo grau de esfericidade e subangulosos quanto ao arredondamento, já os resíduos do tipo R-PP02 e R-PE02 podem ser classificados como subarredados com baixo grau de esfericidade.

Na Figura 19 demonstram-se as amplitudes de resultados e os resultados médios obtidos para os parâmetros de forma das partículas dos resíduos analisados, são mostrados também os índices para o arredondamento de forma segundo o método de Cox (1927). No APÊNDICE A são demonstrados os valores de arredondamento encontrados por cada

amostra e tipo de resíduo são apresentados, teste estatístico de normalidade e análise de variância.

Figura 19 - Arredondamento de forma segundo método de COX (1927).

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; Teste One Way ANOVA, Tukey. Letras minúsculas diferentes representam variação estatística representativa. Amplitude de resultados, médias e quartis demarcados).



Fonte: Autor

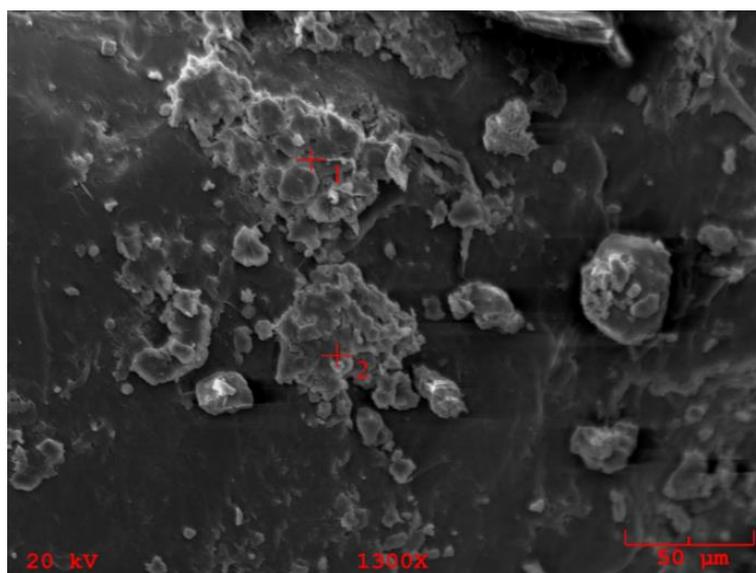
De acordo com o método de Cox (1927), aliado aos parâmetros de classificação de Arasan *et. al* (2011), não há constância de classificação de arredondamento da forma das partículas dos resíduos plásticos analisados se tomadas as médias absolutas de cada resíduo para a classificação; sendo o R-PP01 e R-PE01 classificados como sub-angulares, o R-PP02 bem arredondado e o R-PE02 como arredondado. Se analisada a variância significativa dos resultados percebe-se que o R-PP02 possui similaridade de arredondamento apenas com o R-PE02. Este fato não é apresentado pelos demais resíduos, visto que possuem pelo menos uma similaridade significativa de forma; isto também reflete em conformidade o coeficiente de uniformidade apresentado pelo R-PP02 (Figura 17). Assim, conclui-se que para as amostragens analisadas de R-PP01, R-PE01 e R-PE 02 são bem distribuídas quanto uniformidade e forma.

#### 4.1.1.3 Topografia de superfícies e identificação de elementos químicos por microscopia eletrônica.

A observação da topografia da superfície dos resíduos estudados se deu pelas análises de imagens geradas a partir de feixes de elétrons secundários sobre frações de cada tipo de material, à cada tipo de amostragem foi realizada análise qualitativa e semiquantitativa dos percentuais atômicos de incidência dos feixes sobre as superfícies nos pontos demarcados para identificação química.

As Figuras 20 à 23 demonstram as imagens geradas pelo MEV das superfícies amostrais, o aumento para todas as imagens é na magnitude de 1300x. As imagens estão separadas por tipo de resina primária de formação para as amostragens de resíduos plásticos etilênico e polipirilênicos. Nas Tabelas 13 à 16, através do EDS são demonstrados os elementos químicos referentes ao pontos de incidência referentes a cada tipo de resíduo.

Figura 20 - Superfície aumentada das amostra de R-PE01.



Fonte: Autor

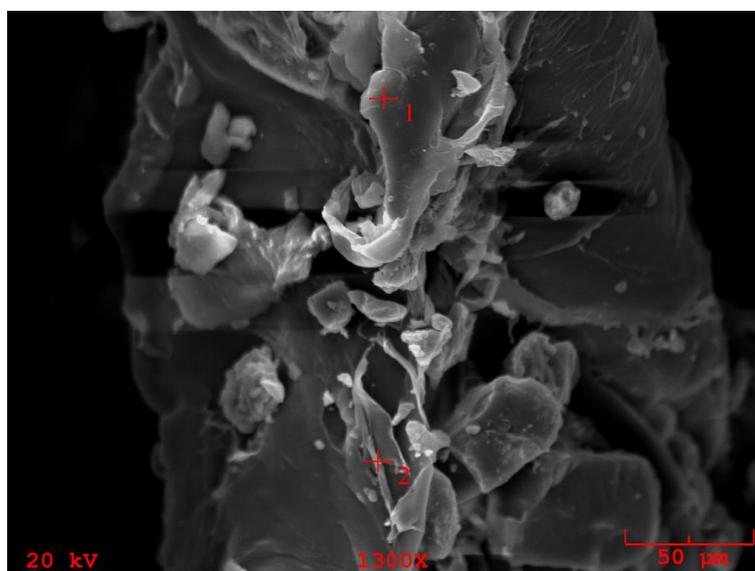
Tabela 13 – Resultado do EDS nos pontos da superfície de R-PE01

Elem. Químico	% Atômico de Incidência	
	Ponto 1	Ponto 2
C	81,68	78,96
O	6,72	8,68
Al	2,42	2,19
Si	3,70	3,72
Ca	1,65	2,56
Ti	1,63	1,01
Fe	2,21	2,88

Fonte: Autor

A análise química dos R-PE01 permite identificar similaridade aos elementos encontrados nos pontos de análise do EDS. Percebe-se grande concentração de carbono se comparada com os demais elementos identificados e que apresentam percentuais baixos de incidência, o que se explica pela característica de formação da resina primária do resíduo que os elementos identificados possam ser oriundos do processo de limpeza ou pequenos fragmentos do maquinário de tritura. Quanto a análise da superfície, percebe-se que há deposição de fragmentos uns sobre outros, além da notória variabilidade de tamanhos e formas; o que provavelmente é obtido pelas lâminas que promovem a moagem do material na usina de reciclagem.

Figura 21 - Superfície aumentada das amostra de R-PE02.



Fonte: Autor

Tabela 14 – Resultado do EDS nos pontos da superfície de R-PE02

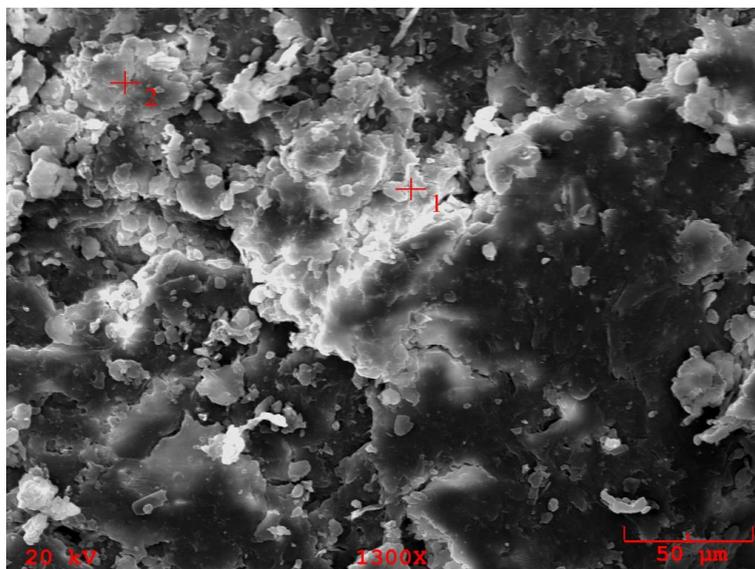
Elem. Químico	% Atômico de Incidência	
	Ponto 1	Ponto 2
C	91,83	95,41
O	6,93	4,11
Al	0,11	0,06
Si	0,23	0,09
Ca	0,11	0,12
Ti	0,54	0,12
Fe	0,25	0,10

Fonte: Autor

Assim como no resíduo anterior, a análise química dos R-PE02 permite identificar similaridade aos elementos encontrados nos pontos de análise do EDS. A concentração de carbono continua em destaque se comparada com os demais elementos identificados e que apresentam percentuais baixos de incidência, o que também se explica pela característica de formação da resina primária do resíduo que os elementos identificados possam ser oriundos do processo de limpeza ou pequenos fragmentos do maquinário de moagem. Entretanto, nota-se que os elementos com percentuais baixos reduziram se comparados com R-PE01.

Quanto a análise da superfície, percebe-se que este resíduo possui maior forma fibrilar, e que há maior fatiamento do material, porém com menor deposição de fragmentos uns sobre outros.

Figura 22 - Superfície aumentada das amostra de R-PP01.



Fonte: Autor

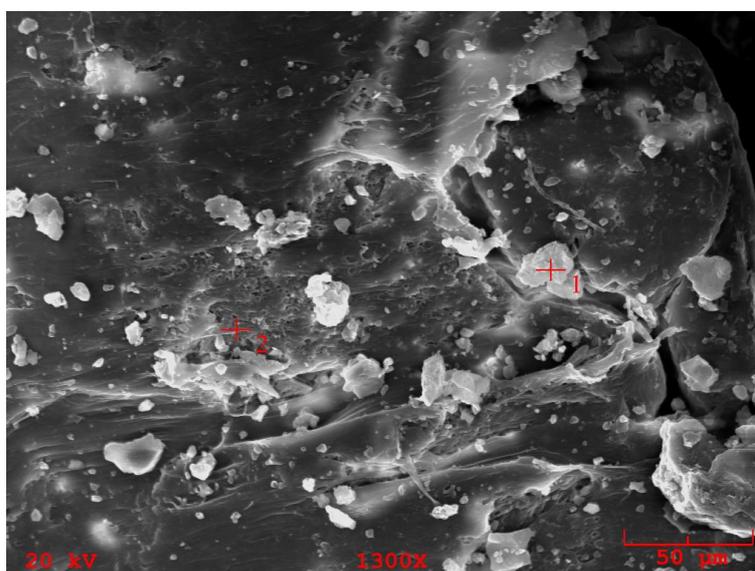
Tabela 15 - Resultado do EDS nos pontos da superfície de R-PP01

Elem. Químico	% Atômico de Incidência	
	Ponto 1	Ponto 2
C	81,35	83,24
O	10,36	13,40
Al	0,17	0,58
Si	1,66	1,22
Ca	4,26	0,80
Ti	1,74	0,49
Fe	0,47	0,27

Fonte: Autor

Para os resíduos do tipo R-PP01 percebe-se maior clareza das imagens, o que pode ser considerada a coloração natural do resíduo e explicada pelo percentual de cálcio, principalmente no primeiro ponto de análise do EDS. Percebe-se alta concentração de carbono, e acredita-se que os metais encontrados são oriundos do processo de limpeza ou pequenos fragmentos do maquinário de moagem. Na análise da superfície nota-se que há deposição de fragmentos uns sobre outros, além da notória variabilidade de tamanhos e formas; o que provavelmente é obtido pelas lâminas que trituram do material na usina de reciclagem.

Figura 23 - Superfície aumentada das amostra de R-PP02.



Fonte: Autor

Tabela 16 - Resultado do EDS nos pontos da superfície de R-PP02

Elem. Químico	% Atômico de Incidência	
	Ponto 1	Ponto 2
C	80,52	90,67
O	17,83	7,42
Al	0,06	0,06
Si	0,20	0,20
Ca	0,77	0,22
Ti	0,54	1,32
Fe	0,07	0,11

Fonte: Autor

O R-PP02 apresenta grande dispersão das partículas menores, nota-se similaridade da composição química e presença dos elementos dos dois pontos. Sendo altas concentrações

de carbono, e considerável percentual de oxigênio encontrado no primeiro ponto, o que se acredita que o mesmo é parte de formação de compostos. Os metais encontrados provavelmente são oriundos do processo de limpeza ou pequenos fragmentos do maquinário os quais o resíduo foi coletado. Na análise da superfície nota-se que há deposição de fragmentos uns sobre outros, além da notória variabilidade de tamanhos e formas; porém as partículas menores apresentam maior similaridade de formatos.

## **4.2 Propriedades das Argamassas.**

Aqui se expõem os resultados encontrados nos experimentos realizados com as argamassas nos estados fresco e endurecido, estes são referentes a caracterizações físicas e químicas dos resíduos plásticos utilizados como objeto desta pesquisa. Ressalta-se que as análises foram feitas em conformidade com o tipo de incorporação e resíduo conforme a granulometria.

### **4.2.1 Características do estado fresco.**

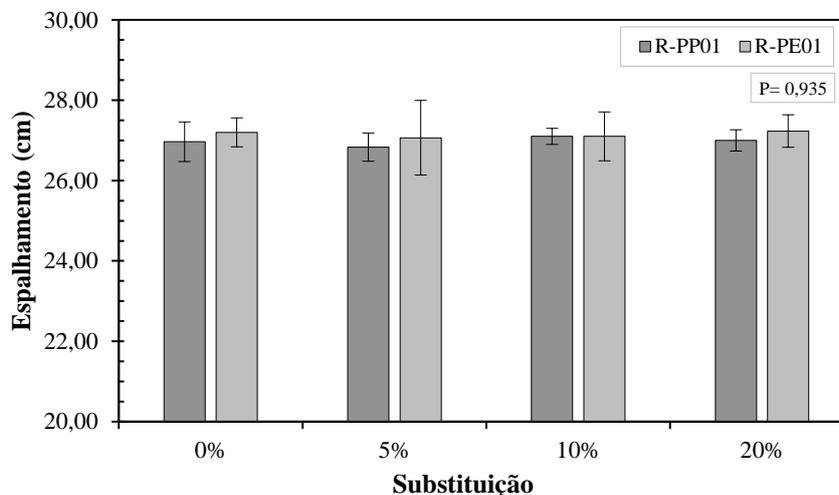
#### *4.2.1.1 Consistência, verificação do espalhamento.*

Com base nas NBR 13276 (ABNT,2016), a consistência foi avaliada a partir do espalhamento, as comparações são tomadas a partir do teor de 0% para as substituições de tipo de uso.

A Figura 24 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, a Figura 25 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, já a Figura 26 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. Sendo que para todas estas figuras aqui mencionadas são apresentados os resultados médios obtidos, no APENDICE B são demonstrados os valores totais encontrados por cada amostra e tipo de resíduo, bem como detalhamento da análise de variância.

Figura 24 – Espalhamento para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados, valor-P para as interações entre as substituições).



Fonte: Autor

A Figura 24 demonstra que as interações se mantêm constantes ao passo que o percentual de substituição do agregado aumenta, pela análise da variância nas interações percebe-se que não há variação significativa nos resultados obtidos para as nos diferentes teores de substituição.

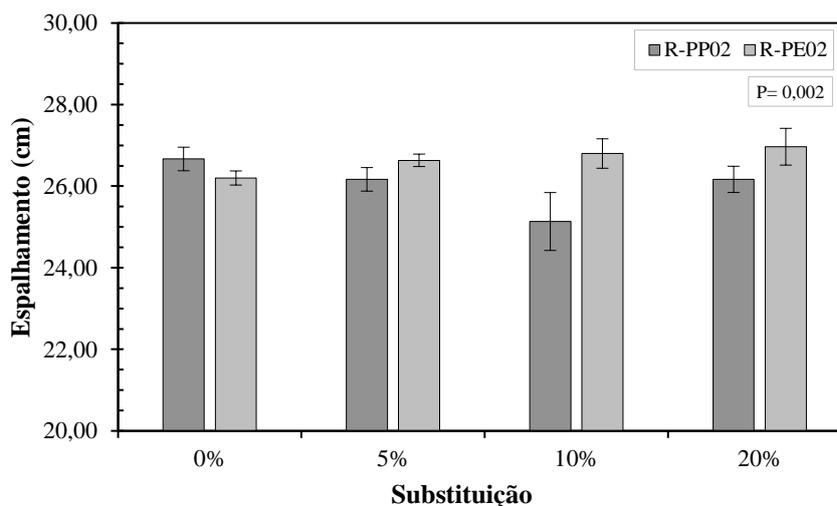
Este resultado ocorre, provavelmente, pelas similaridades encontradas na distribuição granulométrica e principalmente da geometria com arredondamento equivalente para as amostras de R-PP01 e R-PE01 e areia analisadas. Este resultado apresenta-se em divergência ao apresentado nos estudos de Mello (2011), o qual inseriu partículas de polietileno de alta densidade reciclado como alternativa para substituição de teores percentuais de agregados naturais em argamassas de cimento Portland. Todavia, acredita-se que esta diferença pode estar ligada ao uso de aditivo superplastificante nos traços das argamassas do trabalho citado, o que está em contraposição ao não uso de nenhum tipo aditivo nos traços das argamassas produzidas nesta pesquisa.

Quando se analisa apenas as substituições, percebe-se a característica de não absorção e não retenção de água por parte dos resíduos, portanto isto influencia ao comportamento do espalhamento e por consequência a consistência das argamassas, ressaltando a funcionalidade de simples preenchimento de espaço, mas que mantém a coesão das argamassas, sem segregações que interfiram visivelmente a consistência.

A constância dos resultados médios de espalhamento não mantém o comportamento quando se analisa a substituição do agregado natural por frações de resíduos do tipo R-PP02 e R-PE02, sendo este comportamento demonstrado pela Figura 25.

Figura 25 - Espalhamento para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados, valor-P para as interações entre as substituições).



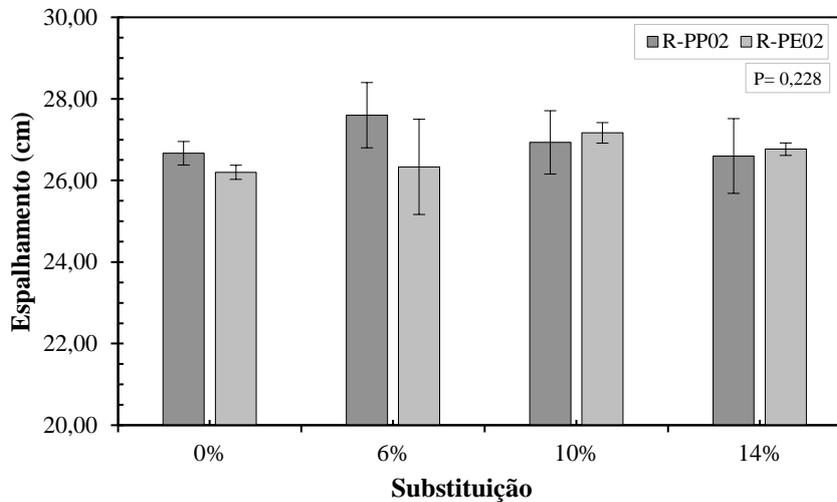
Fonte: Autor

Os resultados demonstram variância significativa nas interações, isto ocorre provavelmente pela diferença também encontrada pelo índice de finura dos materiais, onde a maior diferença de resultados é apresentada para a substituição de 10% de agregado natural pelos resíduos do tipo R-PP02 e R-PE02. Porém de modo geral, percebe-se que há mudança na amplitude do espalhamento das argamassas à medida que o teor de incorporação aumenta, o que pode ser interpretado como coerente. Visto que este resultado se encontra em conformidade com o estudo de Mello (2011), e analogamente ao estudo de Ganesh Prabhu *et al.* (2014); uma vez que a finura dos resíduos que possuíram área superficial maior que as das areias, logo maior envolvimento pela pasta e possível água livre adsorvida.

No que se refere aos resíduos R-PP02 e R-PE02, apresentados na Figura 26, demonstram resultados similares quanto ao espalhamento, mesmo com variações dos teores de substituições de frações do cimento Portland. De modo geral, os melhores resultados alcançados são os que utilizam resíduos de polipropileno nas misturas, o que pode também estar ligado ao índice de finura encontrado para este tipo de material.

Figura 26 - Espalhamento para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados, valor-P para as interações entre as substituições).



Fonte: Autor

Provavelmente, as similaridades encontradas na distribuição granulométrica, índice de finura e principalmente da geometria com arredondamento para as amostras de R-PP02 e R-PE02 são os principais responsáveis pela constância e variância não significativa das interações.

Percebe-se apesar do resíduo substituir um material aglomerante e reativo na presença de água a coesão das argamassas é mantida se leva em consideração as argamassas padrões, o que pode ser interpretado como coerente se considerada que a área superficial similar ao encontrado nas partículas de cimento Portland, portanto é possível que as pequenas ranhuras na superfície dos resíduos possam ter aumentado a capacidade de adsorção da água livre, e assim a manutenção do comportamento quanto ao espalhamento.

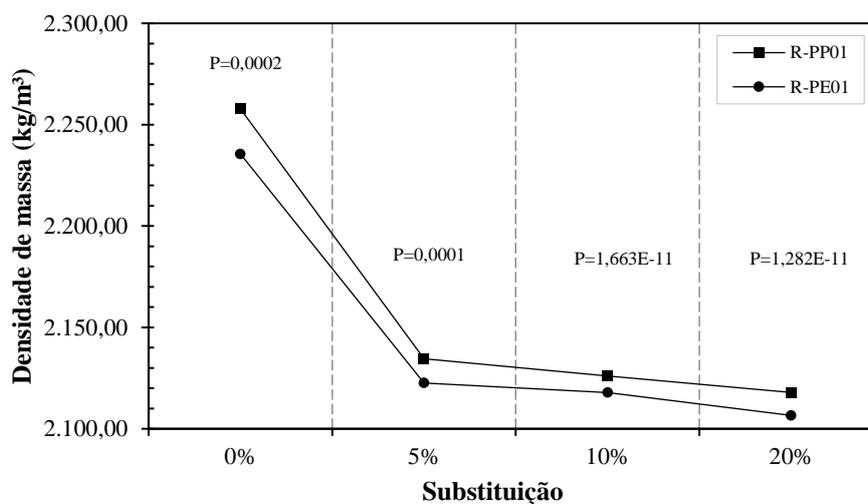
#### 4.2.1.2 Densidade de massa fresca.

Com base na Equação 2 os valores de densidade de massa no estado fresco das argamassas foram determinados, as comparações são tomadas a partir do teor de 0% para as substituições de tipo de uso. No APENDICE C são demonstrados os valores totais encontrados por cada amostra e tipo de resíduo, bem como o detalhamento da análise de variância.

A Figura 27 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01; sendo apresentados os resultados médios obtidos. De acordo com teores de substituições, as análises de variâncias evidenciadas para os tipos de resíduos.

Figura 27 – Densidade de massa no estado fresco para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA. Resultados médios demarcados, valor-P para cada substituição).



Fonte: Autor

Para os diferentes teores de substituição da areia por resíduos de R-PP01 e R-PE01 percebe-se que há diferença significativa para as argamassas produzidas, o que reflete um comportamento já esperado se comparado o peso próprio dos resíduos plásticos com o agregado natural; onde, à medida que o percentual de resíduos aumentam as densidades de massas decrescem.

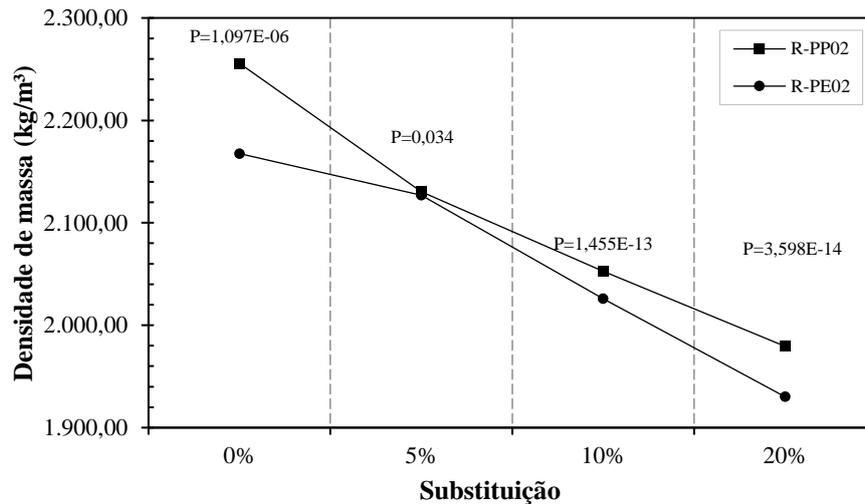
Se comparados apenas os materiais, os resíduos plásticos utilizados correspondem apenas a cerca de um quarto do peso específico aparente da areia natural, por isso justifica-se a significativa queda dos resultados a partir do teor de 5% ao de 20%. Quanto as diferenças encontradas para as argamassas por tipos de resíduos plásticos, acredita-se similar as conclusões encontradas na pesquisa desenvolvida por Passos e Carassek (2018), devido as naturezas de formação dos resíduos, bem como a forma e superfície possam ter influenciado nas densidades quando os teores de substituição são equivalentes.

A Figura 28 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02; sendo

apresentados os resultados médios obtidos. As análises de variâncias evidenciadas nas comparações são referentes a cada teor de substituição, onde se modifica apenas o tipo de resíduo incorporado.

Figura 28 - Densidade de massa no estado fresco para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA. Resultados médios demarcados, valor-P para cada substituição).



Fonte: Autor

Assim como o demonstrado na Figura 27, na Figura 28 percebe-se que os diferentes teores de substituição da areia por resíduos de R-PP02 e R-PE02 possuem também diferenças significativas para as argamassas produzidas, sendo que este fato reafirma o comportamento já esperado, se comparado o peso próprio dos resíduos plásticos com o agregado natural; onde, à medida que o percentual de resíduos aumentam as densidades de massas decrescem também.

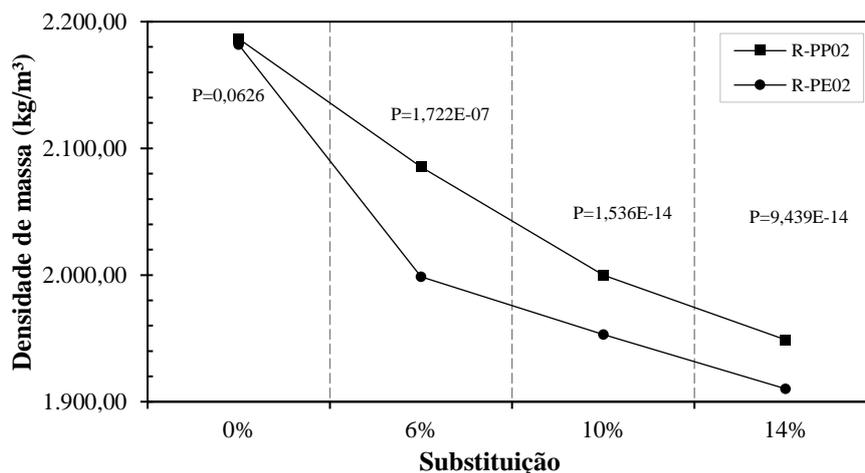
Todavia, percebe-se que de maneira geral para os teores de substituição idênticos, as argamassas produzidas com os resíduos R-PP02 e R-PE02 possuem um peso próprio mais elevado que as argamassas produzidas com os resíduos R-PP01 e R-PE01. Isto se dá por conta de a granulometria ser menor e assim possuir maior área superficial, logo consumiu mais material e provavelmente solicitou mais pasta para o envolvimento das partículas.

Ainda, assim como na análise anterior, os resíduos plásticos utilizados também correspondem apenas a cerca de um quarto do peso específico aparente da areia natural, por isso justifica-se a significativa queda dos resultados a partir das elevações dos teores de substituição.

A Figura 29 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02; sendo apresentados os resultados médios obtidos, as análises de variâncias são evidenciadas para os tipos de resíduos nos teores de substituição determinados.

Figura 29 - Densidade de massa no estado fresco para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA. Resultados médios demarcados, valor-P para cada substituição).



Fonte: Autor

Percebe-se que quando a substituição do cimento Portland se dá por diferentes teores de resíduos do tipo R-PP02 e R-PE02, o comportamento dos resultados das densidades nos variados se mantêm análogo aos mostrados anteriormente, quando as substituições foram dos agregados pelos resíduos plásticos.

Conforme há o aumento do teor de substituição a densidade das argamassas decrescem, onde percebe-se também que as amostragens ensaiadas possuem diferenças significativas para as argamassas produzidas, sendo que este fato reafirma o comportamento já esperado, se comparado o peso próprio do dos resíduos plásticos com o cimento.

Esta diferença apresenta-se mais evidente neste tipo de substituição, provavelmente pelo fato de o resíduo não possuir propriedades de aglomerantes hidráulicos assim como o cimento Portland. Ainda, acredita-se também que a diferença apresentada entre os resíduos nos mesmos teores de incorporação se dá provavelmente pela forma quanto o baixo grau de esfericidade e possíveis rugosidades nas superfícies que poderiam interferir na adsorção de água até a secagem.

## 4.2.2 Características do estado endurecido.

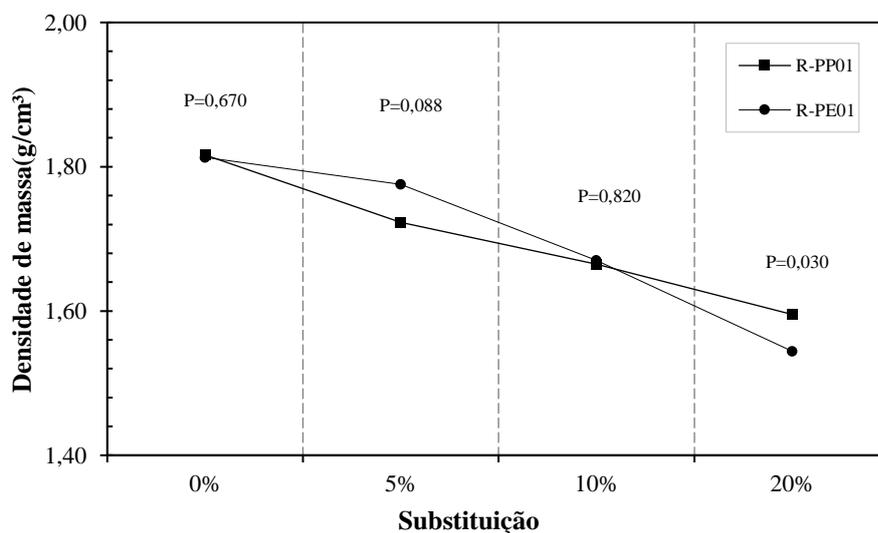
### 4.2.2.1 Densidade de massa endurecida.

Com base na NBR 13280 (ABNT, 2005), juntamente com a Equação 3, os valores de densidade de massa no estado endurecido das argamassas foram determinados, as comparações são tomadas a partir do teor de 0% para as substituições de tipo de uso.

A Figura 30 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, a Figura 31 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, já a Figura 32 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02. Para todas as figuras citadas, os dados apresentados são os resultados médios obtidos, no APÊNDICE D são demonstrados os valores totais encontrados por cada amostra e tipo de resíduo, bem como o detalhamento da análise de variância.

Figura 30 - Densidade de massa no estado endurecido para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA. Resultados médios demarcados, valor-P para cada substituição).



Fonte: Autor

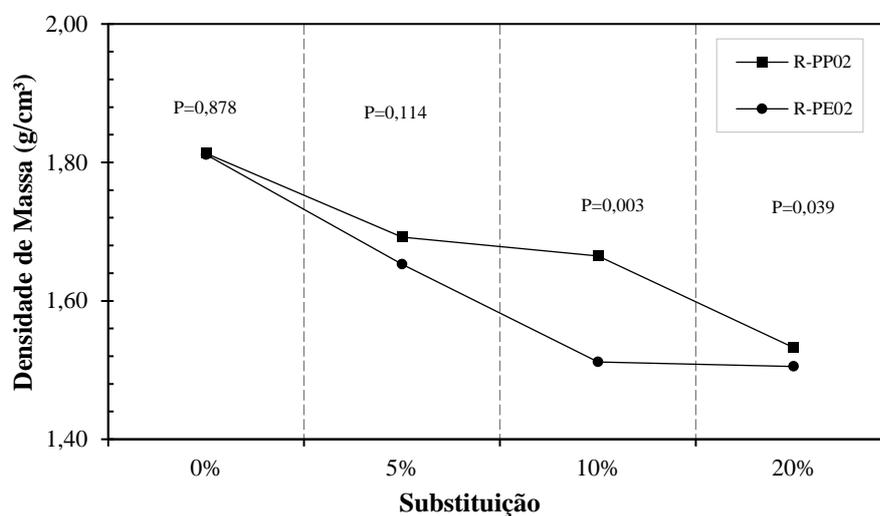
Nota-se que há um decréscimo significativo da densidade de massa a medida que há o aumento do percentual de substituição, resultado também esperado se comparado com o

apresentado por Aguiar Neto et. al (2016), onde também substituiu agregados por resíduos plásticos na produção de compósitos com matrizes cimentícias.

Ainda, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, percebe-se que quando mantido o teor de substituição e modifica-se apenas os tipos de resíduos, a variância significativa apresenta-se apenas para o teor de 20% de substituição do agregado miúdo. Assim, percebe-se que o comportamento da densidade se modifica quando a argamassa está fresca para o estado endurecido, o que ressalta a provável presença da água livre absorvida que evapora com a secagem.

Figura 31 - Densidade de massa no estado endurecido para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA. Resultados médios demarcados, valor-P para cada substituição).



Fonte: Autor

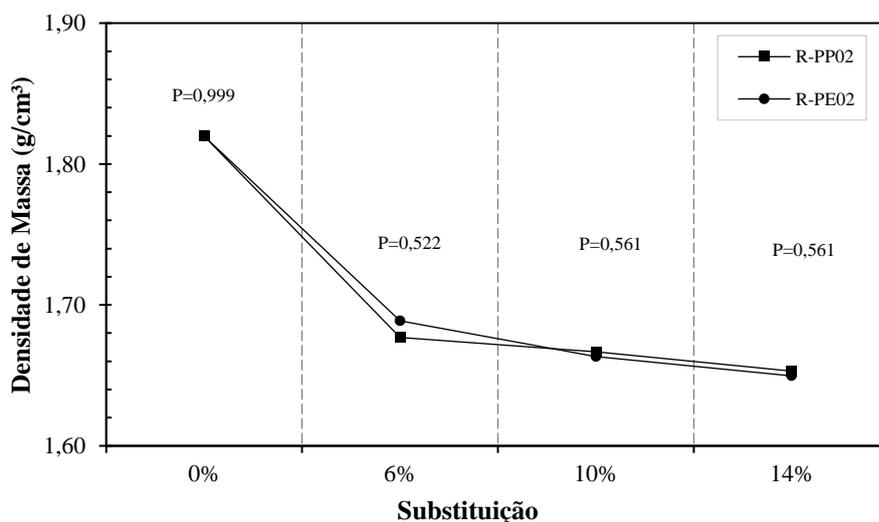
Assim como na anterior, nota-se que há um decréscimo significativo da densidade de massa a medida que há o aumento do percentual de substituição; onde, se comparado com a densidade no estado fresco para esse tipo de mistura, percebe-se que as argamassas no estado seco possuem menos massa e assim menor densidade.

Ainda, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, percebe-se que quando mantido o teor de substituição e modifica-se apenas os tipos de resíduos, a variância significativa apresenta-se apenas para os dois últimos teores de substituição do agregado miúdo. O que ressalta que provavelmente houve interferência da granulometria dos resíduos à granulometria da areia no que tange o envolvimento das partículas e a perda de água, sendo assim estes resíduos funcionaram não apenas como

agregado, obtiveram comportamento como particulado fino incorporado; visto que o fíler também contribui para o aumento do teor de água na argamassa (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Figura 32 - Densidade de massa no estado endurecido para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA. Resultados médios demarcados, valor-P para cada substituição).



Fonte: Autor

Quando comparada a incorporação dos resíduos plásticos por substituição do cimento Portland, percebe-se que a queda da densidade de massa no estado seco continua presente à medida que o teor de incorporação dos resíduos aumenta, fato que conforme já citado anteriormente, está ligado ao próprio peso específico dos materiais.

Todavia, percebe-se que estes tipos de incorporações se apresentam com diferenças não significativas quando comparados os mesmos teores de incorporações de R-PP02 e R-PE02. Ou seja, o tipo de resíduo não mostra interferência na variação para um mesmo grau de substituição, mas o aumento gradual total do percentual de substituição interfere diretamente na densidade de massa das argamassas, visto a própria densidade absoluta dos materiais de origem plástica.

#### 4.2.2.2 Absorção de água.

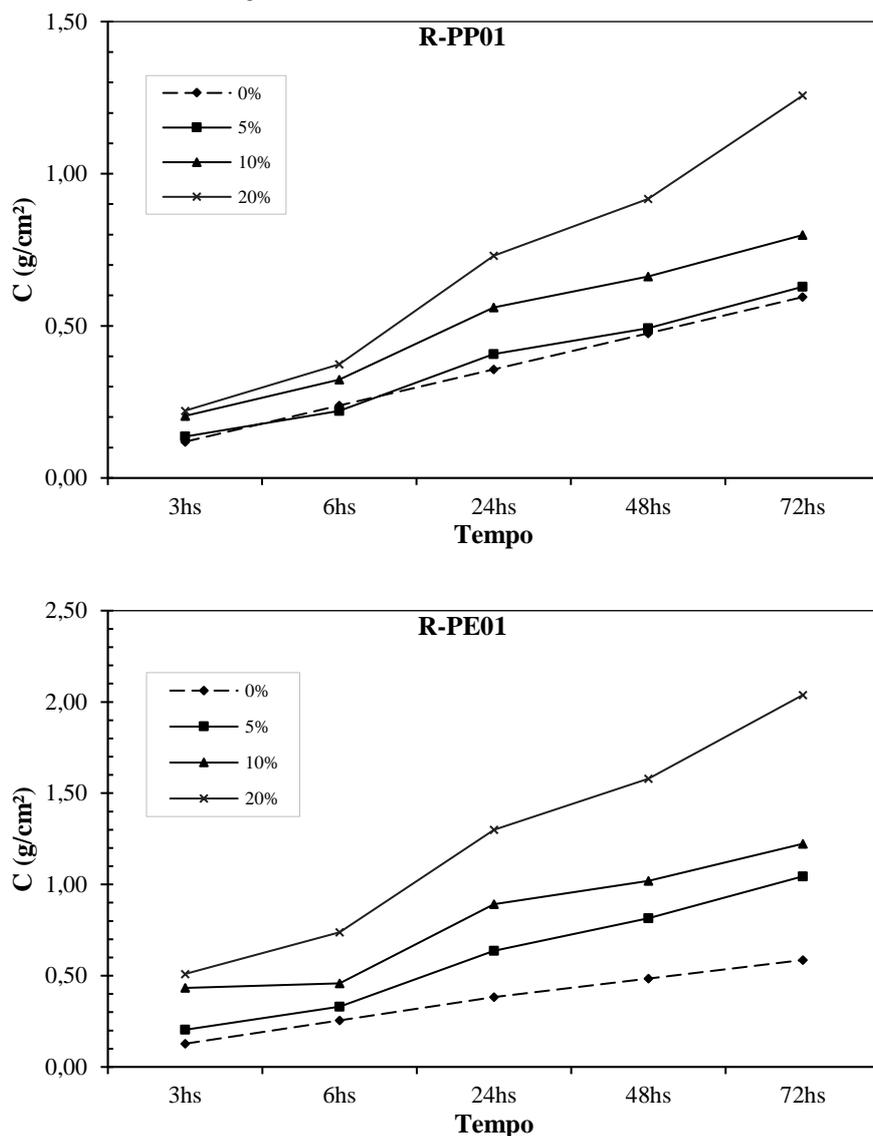
- Absorção por capilaridade.

A absorção de água por capilaridade foi obtida com base nas NBR 9779 (ABNT, 2012), as comparações são tomadas para as substituições de tipo de resíduo e uso, os

resultados totais encontrados são apresentados no APÊNDICE E, já nas figuras a seguir são demonstrados os resultados médios.

A Figura 33 demonstra a evolução da absorção de água para as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

Figura 33 – Absorção de água por capilaridade para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.



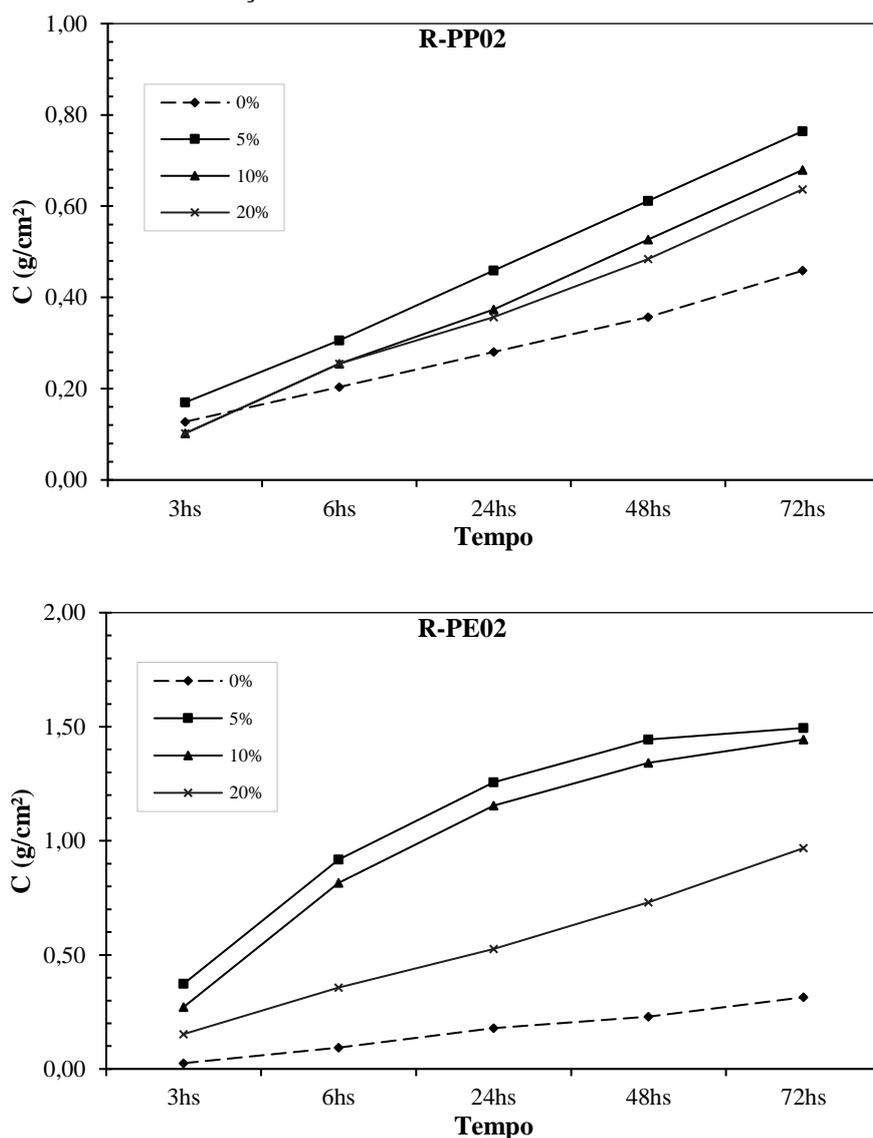
Fonte: Autor

Nota-se que há evolução da absorção de água pelas amostragens de argamassas ensaiadas a medida em que o tempo cresce, bem como os maiores valores de água sugada são os apresentados pelas argamassas que possuem maior grau de substituição do agregado miúdo por resíduos dos tipos R-PP01 e R-RE01, sendo os maiores índices alcançados pelas amostragens que continham o segundo tipo de resíduo citado. Este resultado pode ser

comparado em similaridade ao estudo de Santos *et al.* (2019), visto o aumento da variabilidade de forma com o aumento de teor de resíduos frente à areia natural.

A Figura 34 demonstra a evolução da absorção de água para as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

Figura 34 – Absorção de água por capilaridade para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.



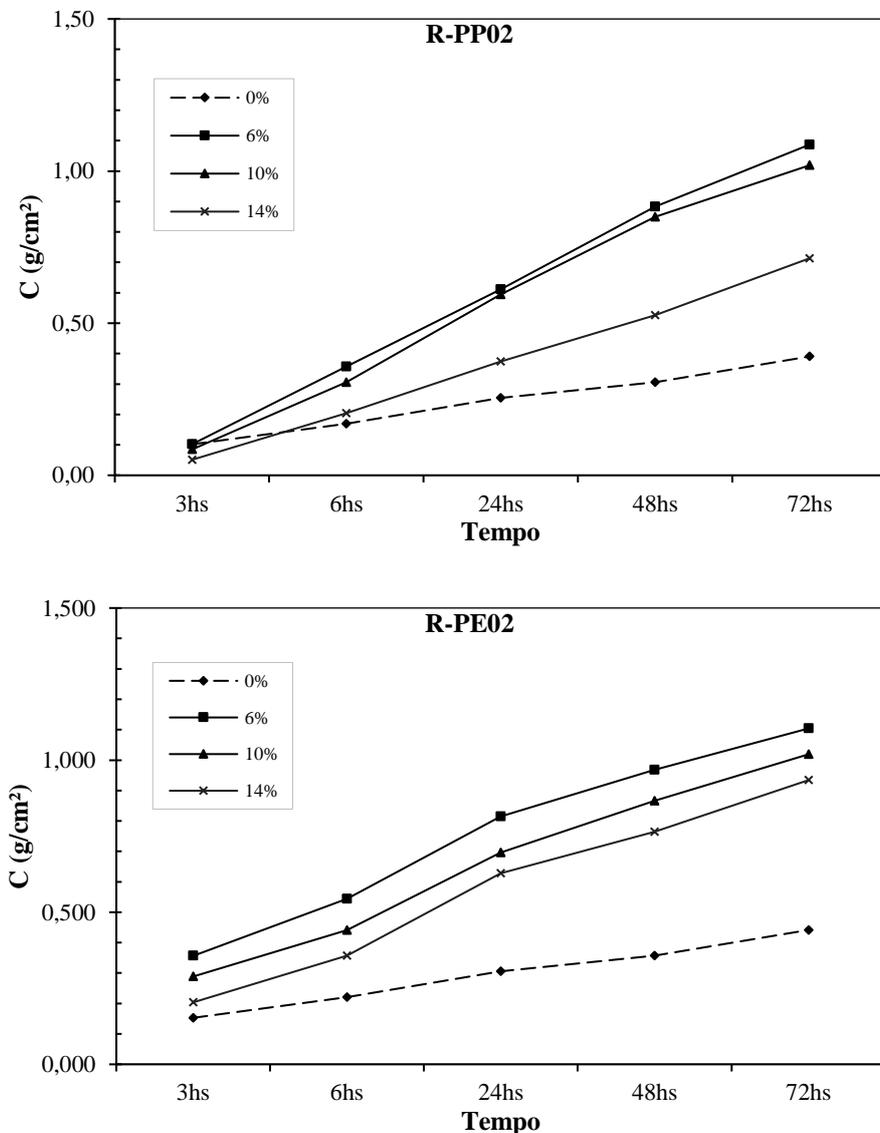
Fonte: Autor

Os resíduos plásticos de menores granulometria quando substitutos do agregado natural apresentam comportamento diferenciado ao evidenciado anteriormente para o mesmo tipo de substituição; onde, se comparadas mesmas faixas de tempo, à medida que os teores de incorporações aumentam o grau de absorção de água decresce. Este efeito se dá por conta do particulado fino ter aumentado, ou seja, não houve apenas o comportamento

dos resíduos plásticos como agregados, eles funcionaram como uma espécie de fíler, o que conforme Mehta e Monteiro (2014) pode ter diminuído a permeabilidade, principalmente na superfície do corpo-de-prova. Ademais, se comparadas as sucções de água pelas amostragens de argamassas produzidas com R-PP02 e R-PE02, as amostragens que possuíam incorporações de resíduos de polímeros etilênicos continuam apresentando maiores valores de absorção.

A Figura 35 demonstra a evolução da absorção de água para as argamassas produzidas com substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

Figura 35 – Absorção de água por capilaridade para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.



Fonte: Autor

Assim como nos resultados encontrados para a substituição dos agregados, quando a substituição do cimento Portland se deu pelos resíduos R-PP02 e R-PE02, para os maiores teores de incorporações há um menor grau de absorção de água por capilaridade, se comparadas mesmas faixas de tempo.

Finalizando, de modo geral percebe-se que as absorções de água por capilaridade das argamassas com os resíduos plásticos incorporados possuem maior absorção que as de teores de substituição nulo, porém a todas as argamassas analisadas os resultados mostram-se crescentes com o tempo.

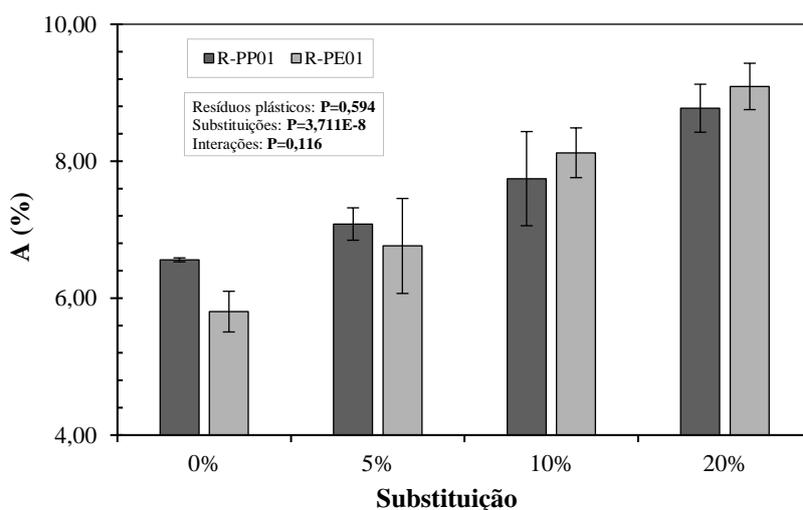
- Absorção por imersão.

A absorção de água por imersão foi obtida com base na NBR9778 (ABNT, 2005), as comparações são tomadas para os teores de substituições dos tipos de resíduos e conforme o destino do material. Os dados apresentados são os resultados médios obtidos, no APENDICE F são demonstrados os valores totais encontrados por cada amostra e tipo de resíduo, bem como o detalhamento da análise de variância.

A Figura 36 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

Figura 36 – Absorção de água por imersão, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados).



Fonte: Autor

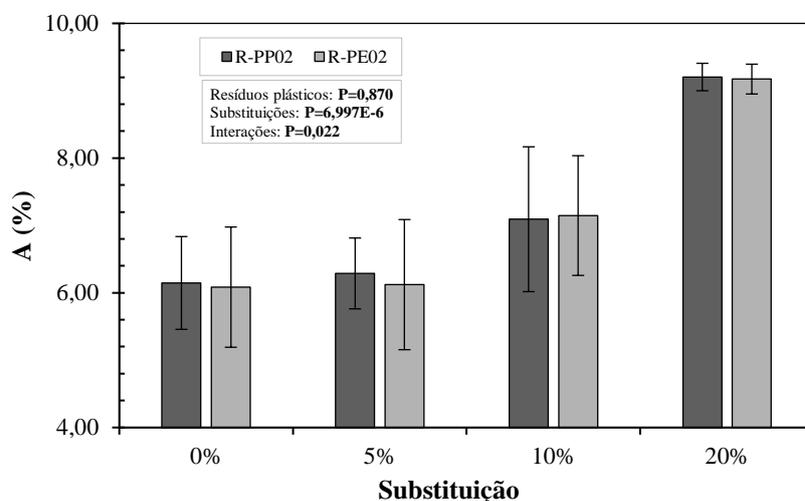
A análise de variância demonstra que há variância significativa apenas aos percentuais de substituição, onde, para as interações e nos mesmos percentuais de substituição dos agregados miúdos pelos resíduos R-PP01 e R-PE02 há igualdade.

Todavia, percebe-se que as taxas de absorção crescem à medida que o teor de e substituição aumenta. Assim, acredita-se que este aumento se dá devido a evaporação da água livre presente na mistura, uma vez que Metha e Monteiro (2014) ressaltam os vazios capilares que podem crescer conforme a quantidade de água presente, uma vez que o grau de saturação dos agregados pode ser praticamente nulo, mas que conforme citado por Do Val *et. al* (2013), na interação solido-líquido a água pode estar adsorvida a superfície dos resíduos, e após secagem, aumentam o volume de vazios que por consequência aumentam com o grau de incorporação dos resíduos.

A Figura 37 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

Figura 37 – Absorção de água por imersão, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados).



Fonte: Autor

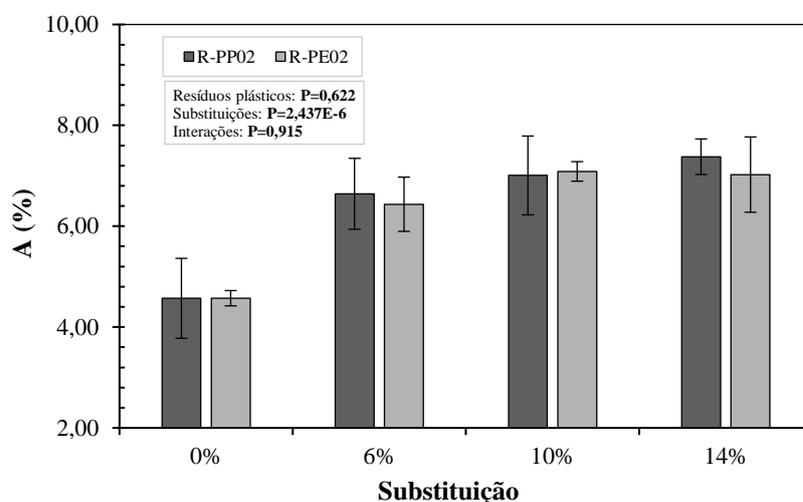
Assim como na incorporação anterior, percebe-se que as taxas de absorção crescem à medida que o teor de e substituição aumenta, logo, a esta análise acredita-se similaridade ao efeito citado anteriormente quanto a adsorção de água. Isto é evidenciado se considerarmos a variância significativa para as substituições e interações.

Nota-se que a diferença apresentada pode estar também ligada ao aumento dos finos na mistura, portanto neste comportamento das argamassas, há similaridade ao estudo desenvolvido por Figueiredo (2019), onde o aumento do teor da absorção de água também pode ser justificado pelo aumento do teor de fíler na mistura.

A Figura 38 apresenta os resultados encontrados para argamassas produzidas com substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

Figura 38 – Absorção de água por imersão, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados).



Fonte: Autor

Para a substituição do cimento Portland pelos resíduos, nota-se que para os resultados alcançados, há variância significativa apenas para os teores de substituição. Assim, avalia-se que a justificativa a este comportamento está em similaridade a substituição do agregado miúdo pelo R-PP02 e R-PE02.

Assim, avalia-se de forma geral que todas as formas de incorporações de resíduos plásticos avaliadas neste trabalho, quando não nulas, influenciam no comportamento das argamassas para absorção de água por imersão.

#### 4.2.2.3 Resistência a compressão axial.

As resistências à compressão das argamassas foram obtidas para as idades determinadas, onde seguiram as recomendações prescritas na NBR 7215 (ABNT,2019). As

comparações são tomadas para as substituições de tipo de resíduo e uso, sendo apresentados primeiramente os resultados para cada tipo de resíduo e posteriormente as comparações são tomadas para as o tipo de uso.

Conforme citado por Mehta e Monteiro (2014), para o comportamento mecânico compósitos de matriz cimentícia, nota-se que em todas as amostragens há crescimento das resistências alcançadas com o aumento das idades analisadas. Os dados apresentados neste são os resultados médios obtidos, no APÊNDICE G são demonstrados os valores totais encontrados por cada amostra e tipo de resíduo, bem como o detalhamento das análises estatísticas realizadas.

- Resistência à compressão axial para argamassas com substituição do agregado miúdo por resíduos R-PP01 e R-PE01.

Os resultados demonstram crescimento das resistências alcançadas para as argamassas produzidas com os resíduos de R-PP01 na substituição dos agregados nos diferentes teores, entretanto os melhores resultados são os que possuem grau de substituição nulo, e conforme há aumento dos teores, nas mesmas idades, os resultados demonstram decréscimo. Sendo um decaimento do índice de resultados na ordem de 35 a 37%, na variação total dentro da maior idade e maior diferença de percentual.

Para as argamassas produzidas com os resíduos R-PE01, nas mesmas proporções de teores em substituição aos agregados demonstrados pelo resíduo anterior, pode -se dizer que as dinamicidades dos resultados foram semelhantes, porém os resultados alcançados foram inferiores se comparados os percentuais de substituições nas variações dos resíduos.

O decaimento do índice de resultados entre as amostragens de substituição nula para as que possuem R-PE01 variam na ordem de 43 a 45%, total dentro da maior idade e maior diferença de percentual.

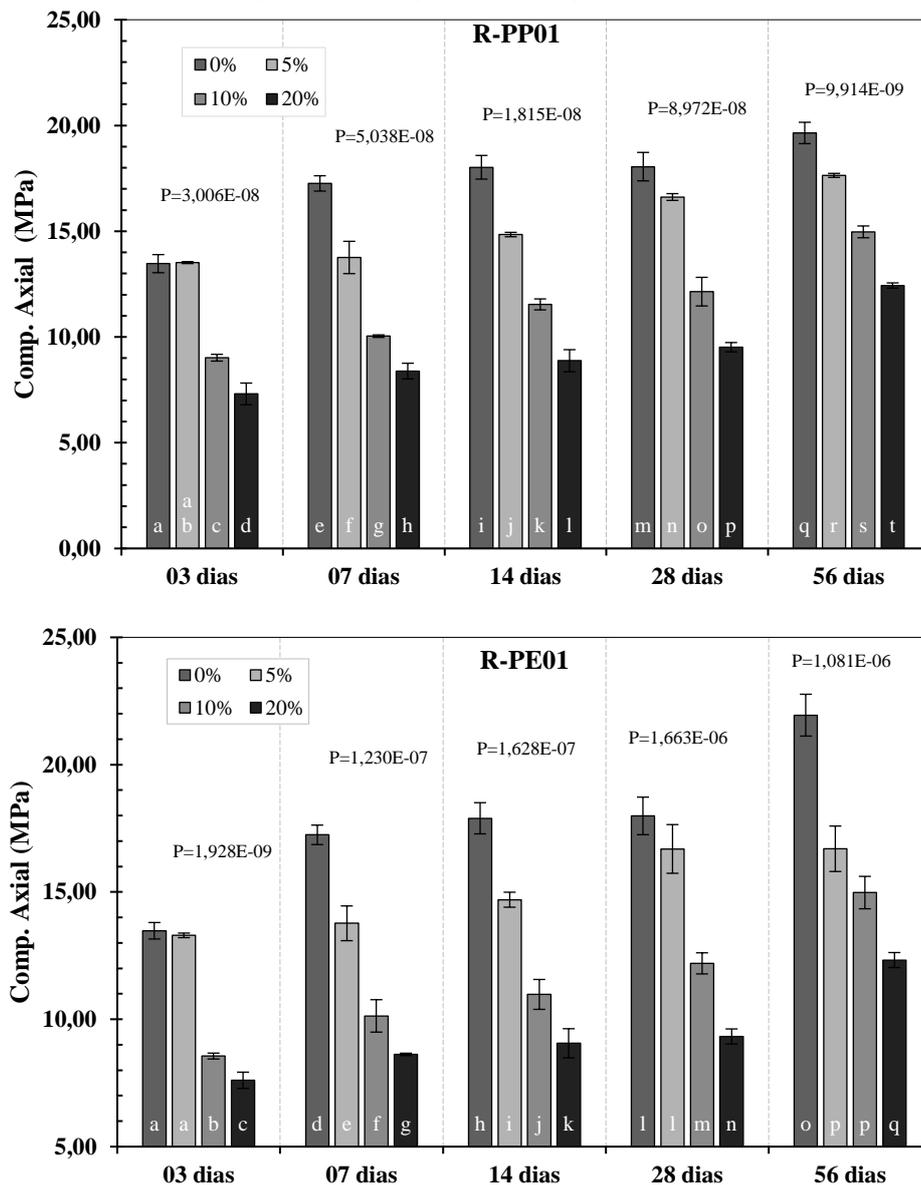
Este comportamento total demonstrado por pelos resíduos plásticos aqui analisados pode ser encarado como esperado, visto se assemelham aos demonstrados por Martins, Marcantonio e Lenine (2018), onde, com relação aos traços com substituição parcial de agregado miúdo por resíduos plásticos, ressalta-se que em comparação ao traço piloto, houve perda na resistência à compressão de todos os traços.

A Figura 39 demonstra a evolução da resistência à compressão para as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, já a Figura 40 apresenta a evolução dos resultados e compara-os por meio da interação da

variância das médias. Foi verificada se há similaridade ou diferença entre os teores dos resíduos para as idades, e as comparações entre os tipos de resíduos nos mesmos períodos.

Figura 39 – Resistência à compressão axial, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, respectivamente.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; Teste One Way ANOVA, Tukey. Letras minúsculas diferentes representam variação estatística representativa).



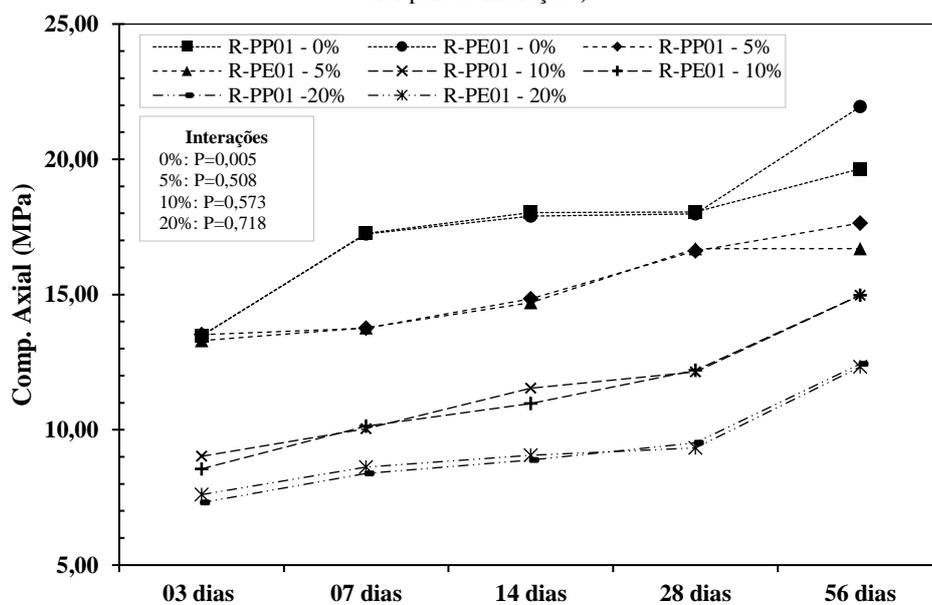
Fonte: Autor

A análise do comportamento dos resultados apresentados pelas argamassas produzidas com os resíduos do tipo R-PP01 mostra que há apenas similaridade na primeira idade para os percentuais de 0 e 5%, sendo as demais variações significantes. Já para os amostragens que com resíduos de R-PE01, percebe-se que a similaridade na primeira idade para os

percentuais de 0 e 5% se mantem conforme o resíduo anterior; todavia, na idade mais avançada nota-se que os percentuais de 5% e 10% possuem similaridade.

Figura 40 – Resistência à compressão axial, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios demarcados, P-valor para as interações).



Fonte: Autor

A análise de variância demonstra similaridade para a comparação das argamassas produzidas com os diferentes resíduos plásticos nos teores de substituição do agregado miúdo, quando não nulo. Entretanto, nota-se que há crescimento de resistência para todas as substituições, mas os resultados de valores inferior são os que apresentam maior percentual de incorporação dos resíduos.

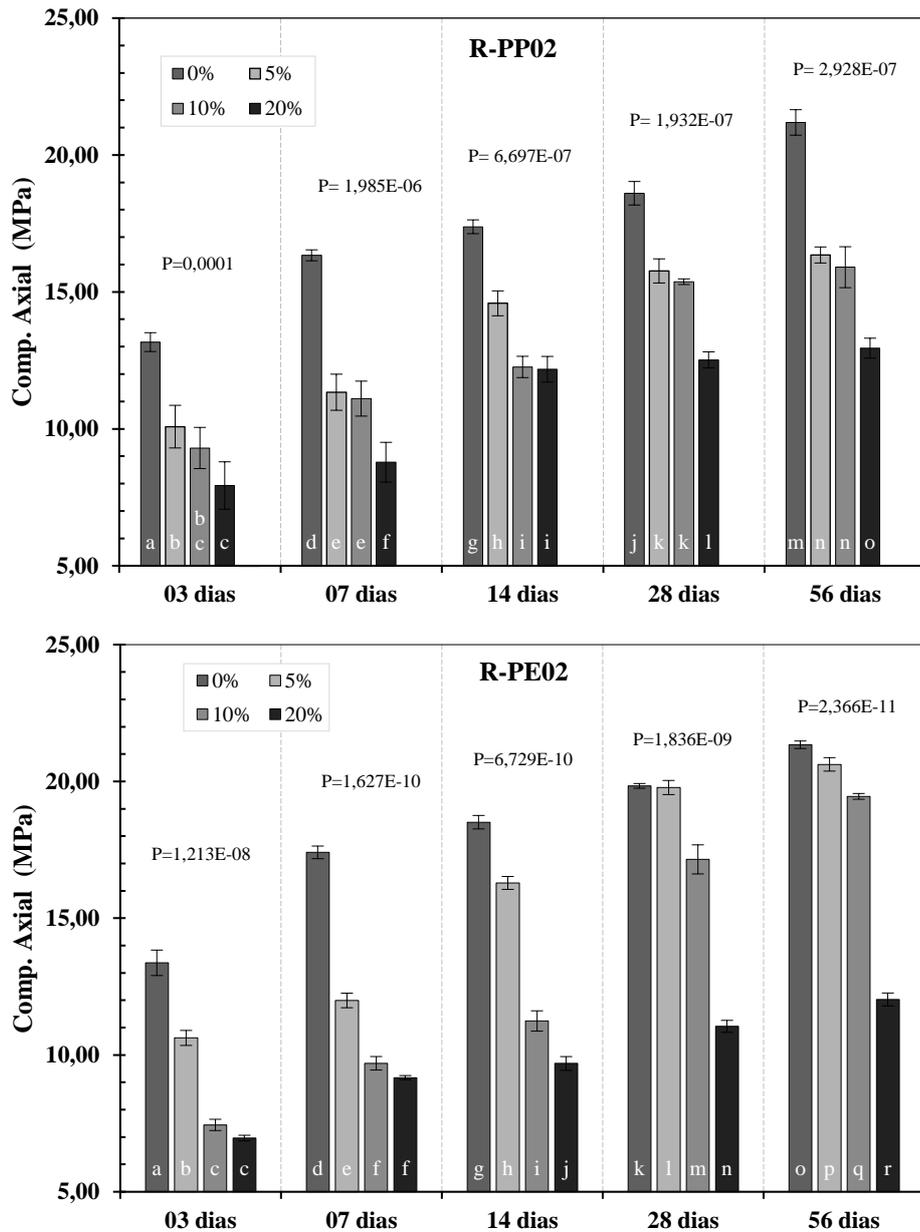
- Resistência a compressão axial para argamassas com substituição do agregado miúdo por resíduos R-PP02 e R-PE02.

Assim como demonstrado no item anterior, para as argamassas produzidas com os resíduos R-PP02 e R-PE02, nas mesmas proporções de teores em substituição aos agregados, os resultados demonstram crescimento das resistências alcançadas para as argamassas produzidas, entretanto os melhores resultados são os que possuem grau de substituição nulo, e conforme há aumento dos teores, nas mesmas idades, os resultados demonstram decréscimo.

A Figura 41 demonstra a evolução da resistência a compressão para as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, já a Figura 42 apresenta a evolução dos resultados e compara-os por meio da interação da variância nas médias.

Figura 41 – Resistência à compressão axial, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, respectivamente.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; Teste One Way ANOVA, Tukey. Letras minúsculas diferentes representam variação estatística representativa).

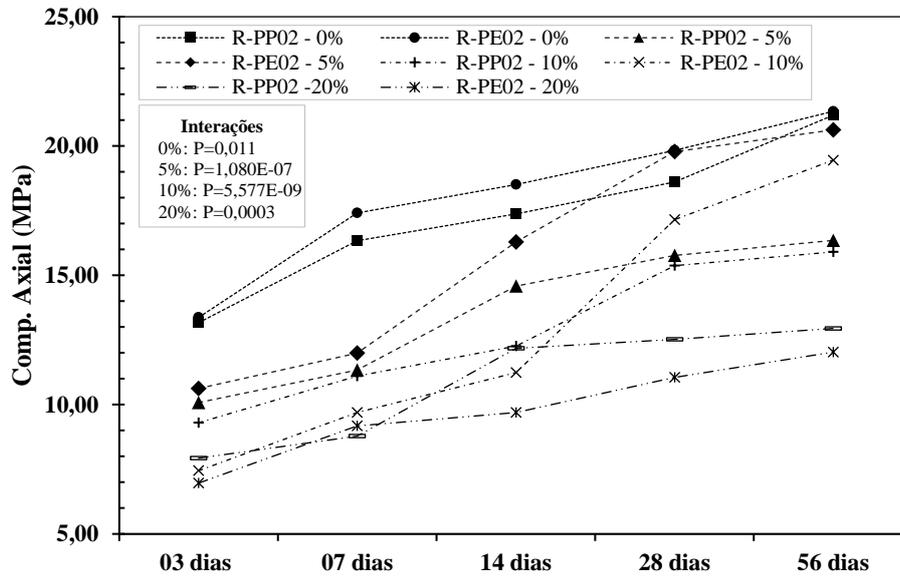


Fonte: Autor

A análise do comportamento dos resultados apresentados pelas argamassas produzidas com os resíduos do tipo R-PP02 mostra que há similaridades entre as variações dos percentuais de substituições, mas há grande decréscimo dos resultados para as se comparadas com a nulidade de incorporação. Já para os as amostragens que com resíduos de R-PE02 também percebe-se que há similaridades para os percentuais de substituição, todavia para este tipo de incorporação percebe-se que nas maiores idades os teores de 5 e 10% aumentam as significativamente a eficiência dos resultados alcançados, o que difere do comportamento apresentado para a incorporação com o resíduo anterior.

Figura 42 – Resistência à compressão axial, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios demarcados, P-valor para as interações).



Fonte: Autor

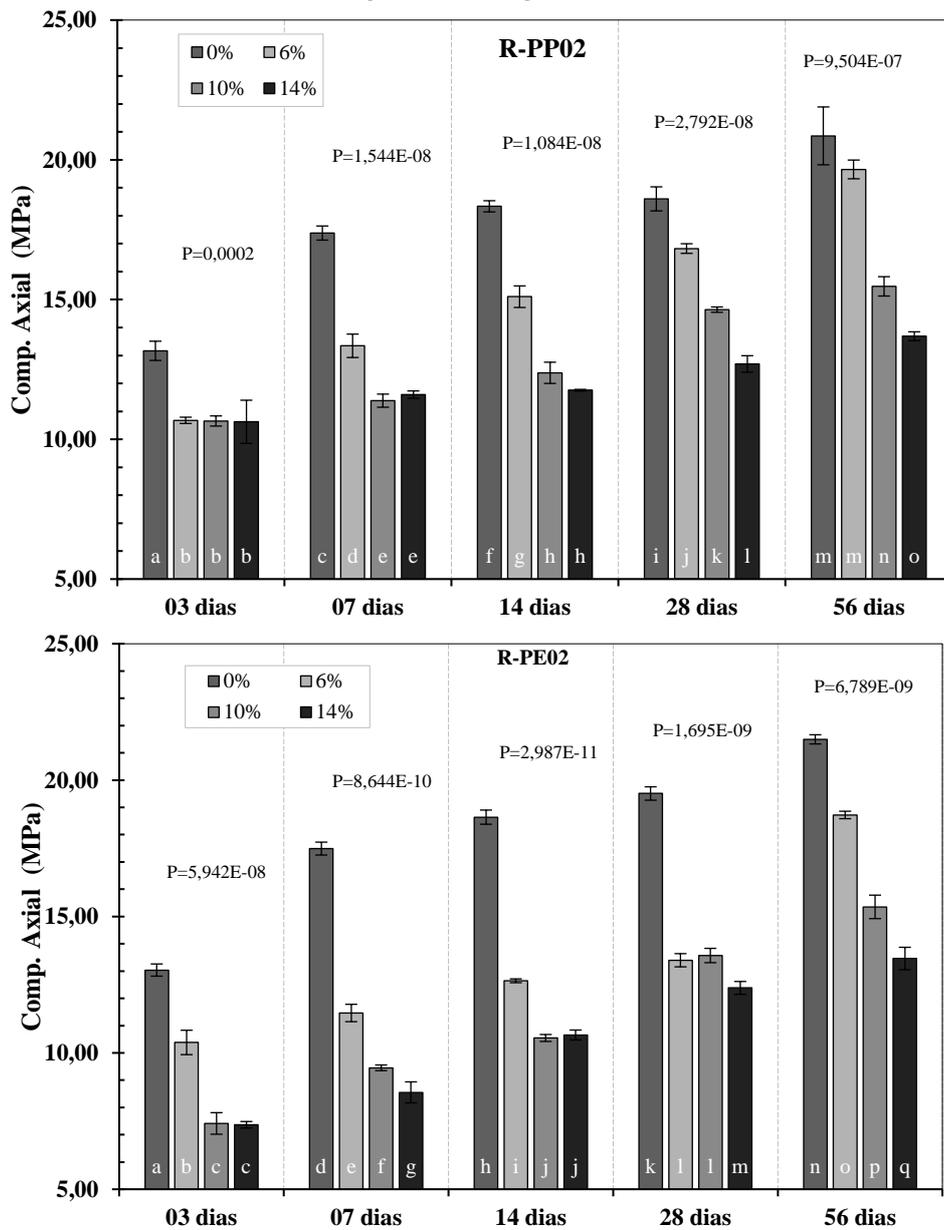
Percebe-se que, pela análise de variância nas interações, há diferenças significativas pelas dos percentuais dos resíduos nas diferentes idades. Acredita-se que esta diferença entre os resíduos pode ser associada principalmente pelo índice finura, massa específica e módulo de finura, além da própria natureza dos materiais plásticos industriais.

- Resistência à compressão axial para argamassas com substituição do cimento Portland por resíduos R-PP02 e R-PE02.

A Figura 43 demonstra a evolução da resistência a compressão para as argamassas produzidas com substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, já a Figura 44 apresenta a evolução dos resultados e compara-os por meio da interação da variância nas médias.

Figura 43 – Resistência à compressão axial, para substituição cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, respectivamente.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; Teste One Way ANOVA, Tukey. Letras minúsculas diferentes representam variação estatística representativa).

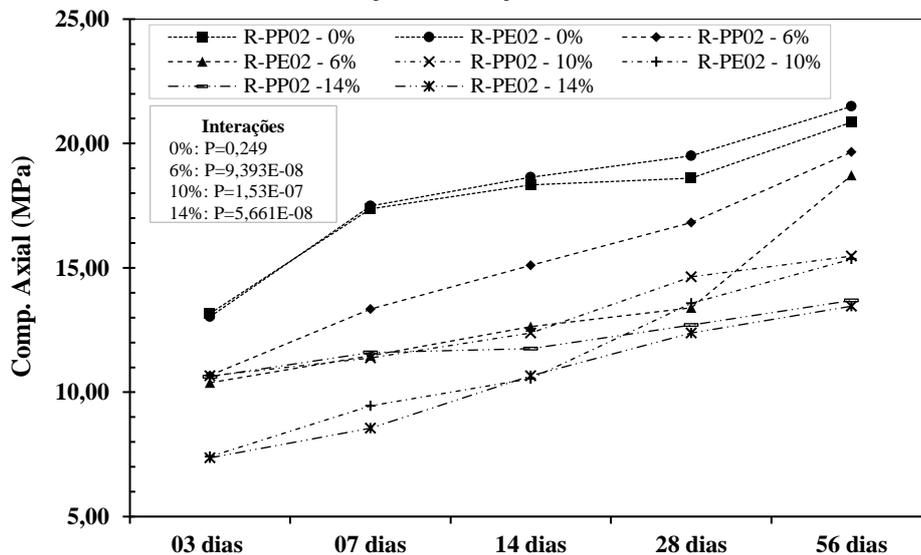


Fonte: Autor

O teste Tukey aplicado as amostragens com substituição do cimento Portland por frações de resíduos do tipo R-PP02 demonstram que existem similaridades de igualdade a algumas incorporações, como o demonstrado na Figura 43. Para a maior idade analisada percebe-se similaridade entre os resultados de 0 e 5%, sendo para estes índices relevante a hipótese de igualdade. Esta mesma consideração não pode ser evidenciada quando a incorporação se deu por resíduos do tipo R-PE02, onde há notória diferença significativa para as amostragens com incorporação de porcentagens dos resíduos em comparação com a incorporação nula.

Figura 44 – Resistência a compressão axial, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios demarcados, P-valor para as interações).



Fonte: Autor

Quando comparadas as argamassas onde houve a variação dos tipos de resíduos, percebe-se que há diferenças significativas nas interações das idades e substituições pelos tipos de resíduos, porém percebe-se contínuo aumento de resistência ao aumento das idades analisadas.

Quanto a perda de resistência com as elevações dos teores de resíduos em relação as argamassas de teor de substituição nulo, os resultados podem ser explicadas pela natureza dos polímeros plásticos, onde são inertes em meio aquoso e não possuem propriedade de aglutinação igualmente ao cimento Portland, logo não há formação de produtos que elevem a dureza dos compósitos produzidos.

#### *4.2.2.4 Módulo de elasticidade.*

Os módulos de elasticidade das argamassas foram obtidos para as idades determinadas, as comparações são tomadas para as substituições de tipo de resíduo e uso, sendo apresentados primeiramente os resultados para cada tipo de resíduo e posteriormente as comparações são tomadas para as o tipo de uso.

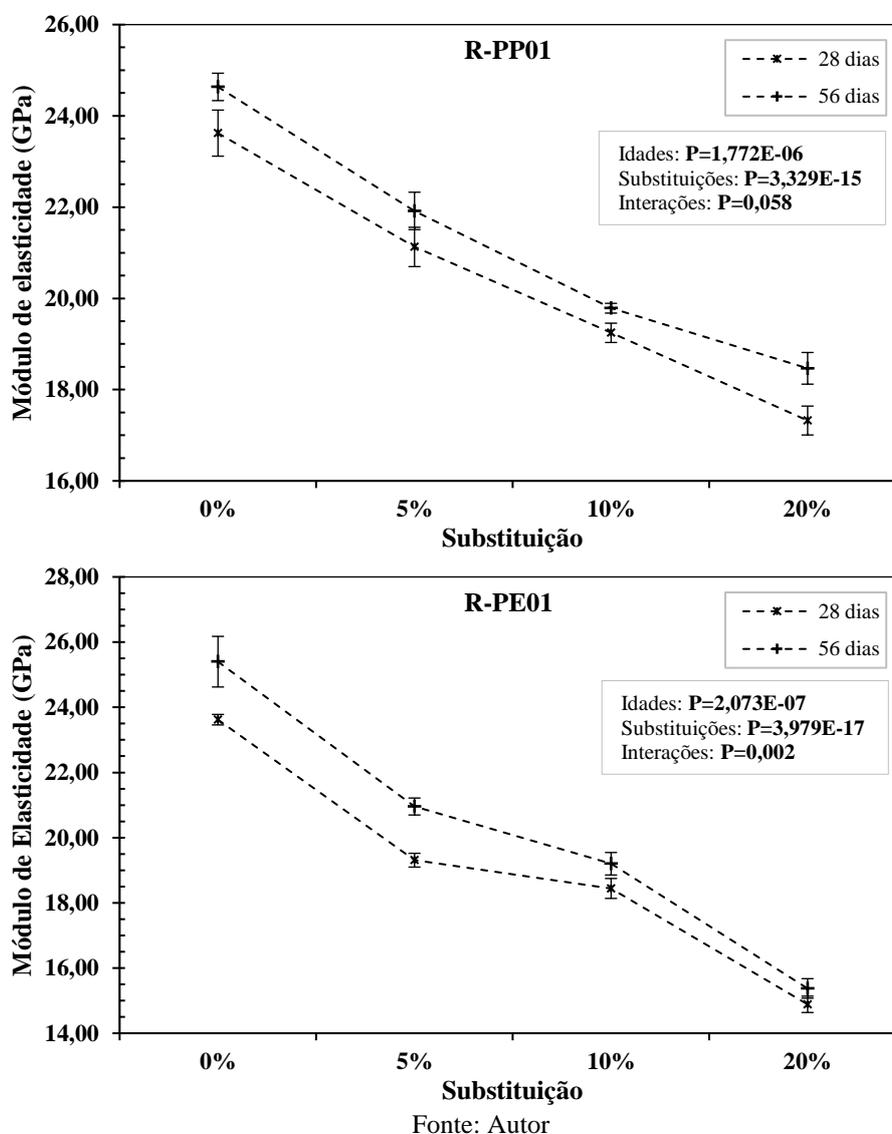
Os dados apresentados neste são os resultados médios obtidos, no APÊNDICE H são demonstrados os valores totais encontrados por cada amostra e tipo de resíduo, bem como o detalhamento das análises estatísticas realizadas.

- Módulo de elasticidade para argamassas com substituição do agregado miúdo por resíduos R-PP01 e R-PE01.

A Figura 45 demonstra a evolução do módulo de elasticidade para as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, já as Figura 46 e 47 apresentam as evoluções dos resultados e compara-os por meio da interação da variância das médias nas idades determinadas.

Figura 45 – Módulo de elasticidade, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, respectivamente.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados).



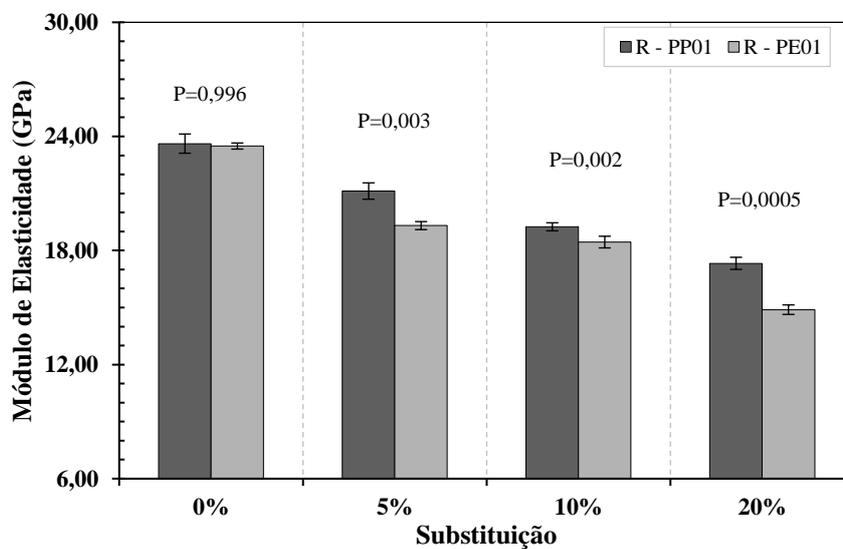
Os maiores resultados alcançados para os módulos de elasticidade são para as argamassas com 56 dias.

As amostragens com substituições por percentuais de R-PP01 apresentaram decaimento dos resultados à medida que o grau de incorporação do resíduo aumentou, uma vez que, a deformação elástica nos polímeros ocorre sob níveis de tensão relativamente baixos da curva tensão-deformação (CALLISTER JR., RETHWISCH, 2016); visto também a comparação com o material de maior rigidez que foi substituído, a areia natural.

Ainda, análogo ao comportamento da curva para o módulo de elasticidade das amostragens com o resíduo anterior, as argamassas com incorporação do R-PE01 apresentam o mesmo decaimento de índices para as maiores idades analisadas. Todavia, pela análise de variância percebe-se que há diferenças significativas para as idades, substituições e interações nas argamassas com os resíduos polietilênicos, fato não apresentados para as interações totais nas amostragens com resíduos polipropilênicos.

Figura 46 – Módulo de elasticidade aos 28 dias, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA, para cada teor de substituição).

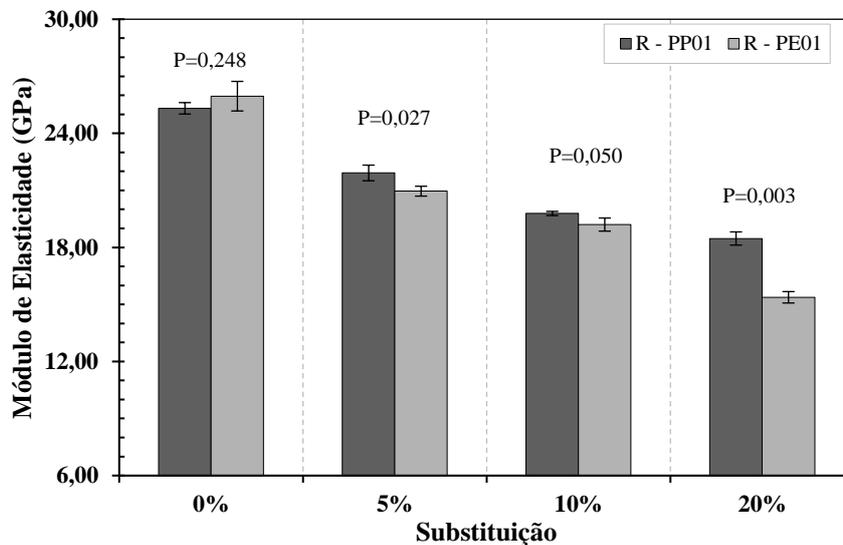


Fonte: Autor

Quando analisados os comportamentos dos resultados dos módulos de elasticidades, comparativamente aos 28 dias, percebe-se que há diferença significativa entre as argamassas que possuem teores não nulos para a substituição dos agregados pelos resíduos plásticos, o que segundo Callister Jr. e Rethwisch (2016) ressalta a natureza da diferença da formação e grau de cristalinidade variável entre os resíduos plásticos utilizados.

Figura 47 – Módulo de elasticidade aos 56 dias, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA, para cada teor de substituição).



Fonte: Autor

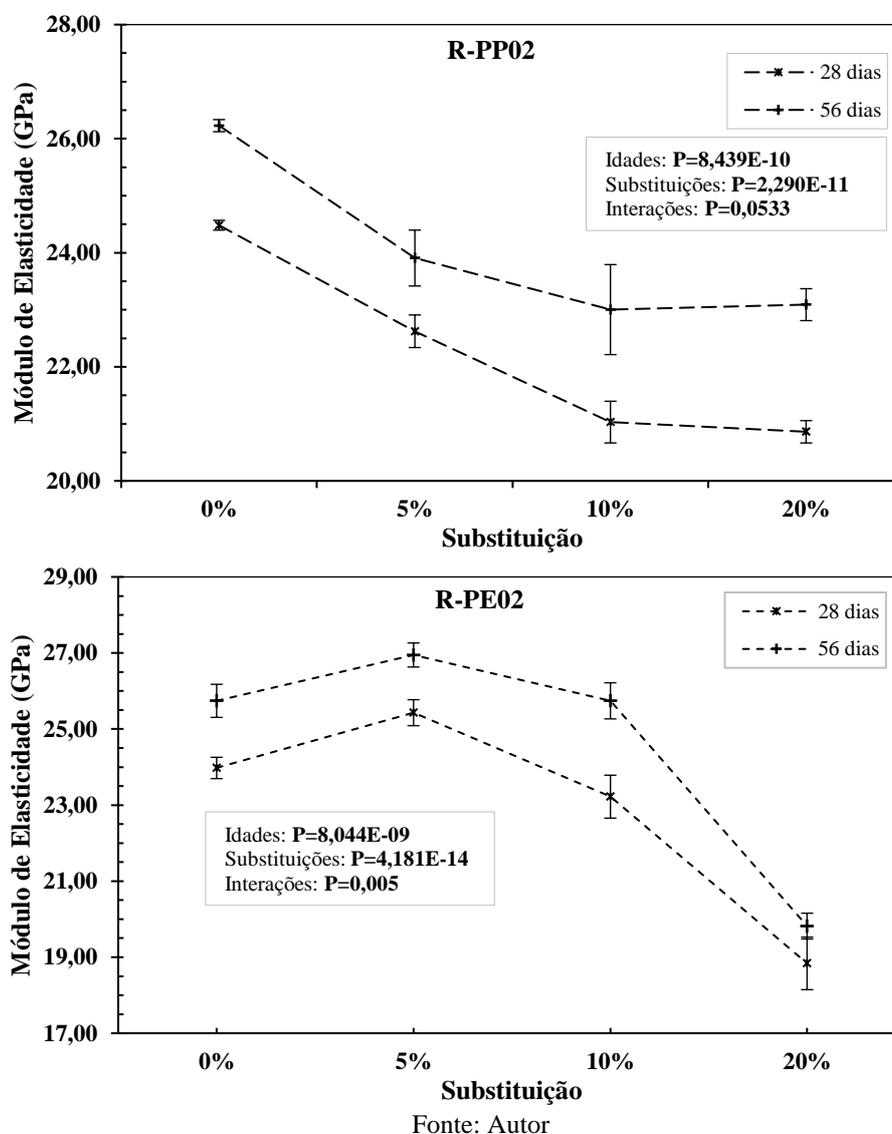
No comportamento dos módulos de elasticidade das argamassas aos 56 dias percebe-se que houve uma modificação em comparação à idade anterior, onde até os percentuais de substituições de agregados naturais por 10% de R-PP01 e R-PE01, não há variação significativa entre si, nas amostragens de argamassas analisadas. Sendo este comportamento tomado como natural na zona de transição da pasta com os agregados; uma vez que segundo Metha e Monteiro (2014), é passível que o processo de hidratação cause efeito benéfico na densidade da zona de transição, logo, o efeito maior para a relação tensão-deformação nas idades superiores analisadas.

- Módulo de elasticidade para argamassas com substituição do agregado miúdo por resíduos R-PP02 e R-PE02.

A Figura 48 demonstra a evolução do módulo de elasticidade para as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, já as Figura 49 e 50 apresentam as evoluções dos resultados e compara-os por meio da interação da variância das médias nas idades determinadas.

Figura 48 – Módulo de elasticidade, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, respectivamente.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados).



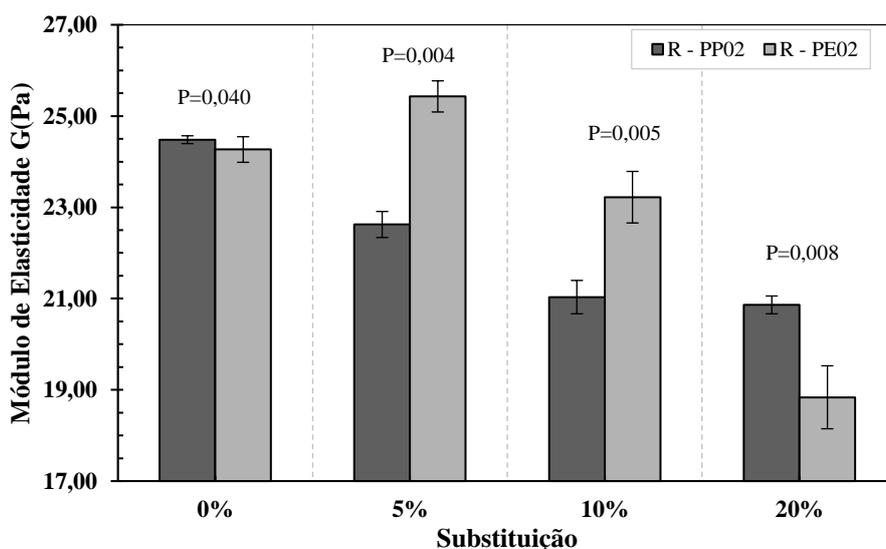
Assim como nas incorporações anteriores com resíduos de mesma origem, mas de granulometria diferenciada, os maiores resultados alcançados estão para os módulos de elasticidade das argamassas com 56 dias.

A análise para as amostras produzidas com R-PP02 demonstra que há variância significativa nas idades e teores de substituições quando verificadas separadamente, porém nas interações, a hipótese de igualdade pode ser considerada. Ainda, percebe-se que os módulos de elasticidade decrescem à medida que o teor de incorporação aumenta.

Já para as amostras produzidas com R-PE02 os melhores resultados são apresentados com os teores de 5%, onde a partir destes, os módulos de elasticidade decrescem à medida que o teor de incorporação aumenta. Nestas, pela análise de variância, percebe-se que há diferenças significativas nas amostras.

Figura 49 – Módulo de elasticidade aos 28 dias, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA, para cada teor de substituição).

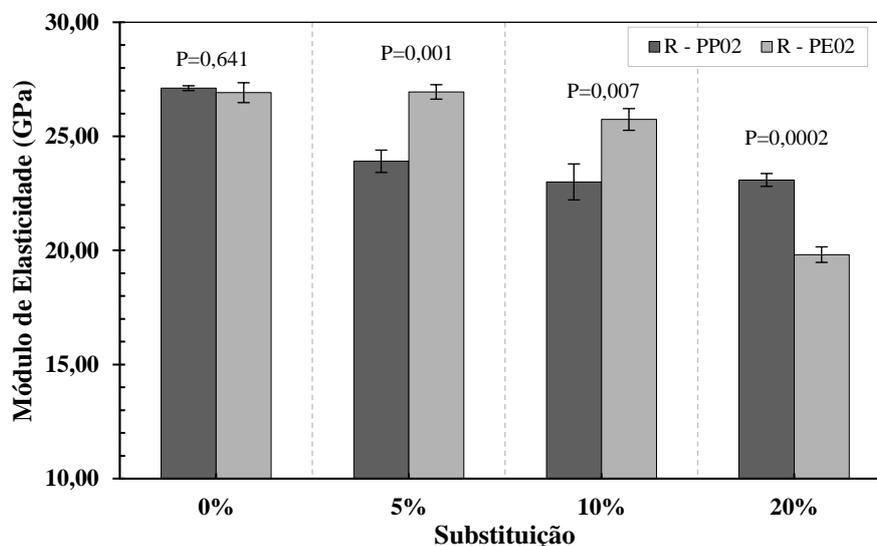


Fonte: Autor

As análises aos 28 dias para os módulos de elasticidades permitem concluir que nos diferentes teores a variância para os dois resíduos é significativa, logo não há hipótese de igualdade para os parâmetros e amostras em questão. Percebe-se que nos teores de 5 e 10% demonstram os melhores resultados para as argamassas produzidas com R-PE02. Assim sendo, conforme demonstrado na Figura 19, os resíduos etilênicos utilizados nestas amostragens possuem maior variabilidade de forma, o que nestes percentuais provocou maior grau de compactidade das argamassas, principalmente na incorporação de 5%.

Figura 50 – Módulo de elasticidade aos 56 dias, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA, para cada teor de substituição).



Fonte: Autor

Análoga a análise das argamassas aos 28 dias; aos 56 dias, há variância significativa dos resultados quando o percentual de substituição dos agregados por R-PP02 e R-PE02 não é nulo. Ainda, constata-se que os melhores resultados continuam sendo para as argamassas produzidas com 5% de R-PE02, assim ressaltando o comportamento da compacidade destas amostragens.

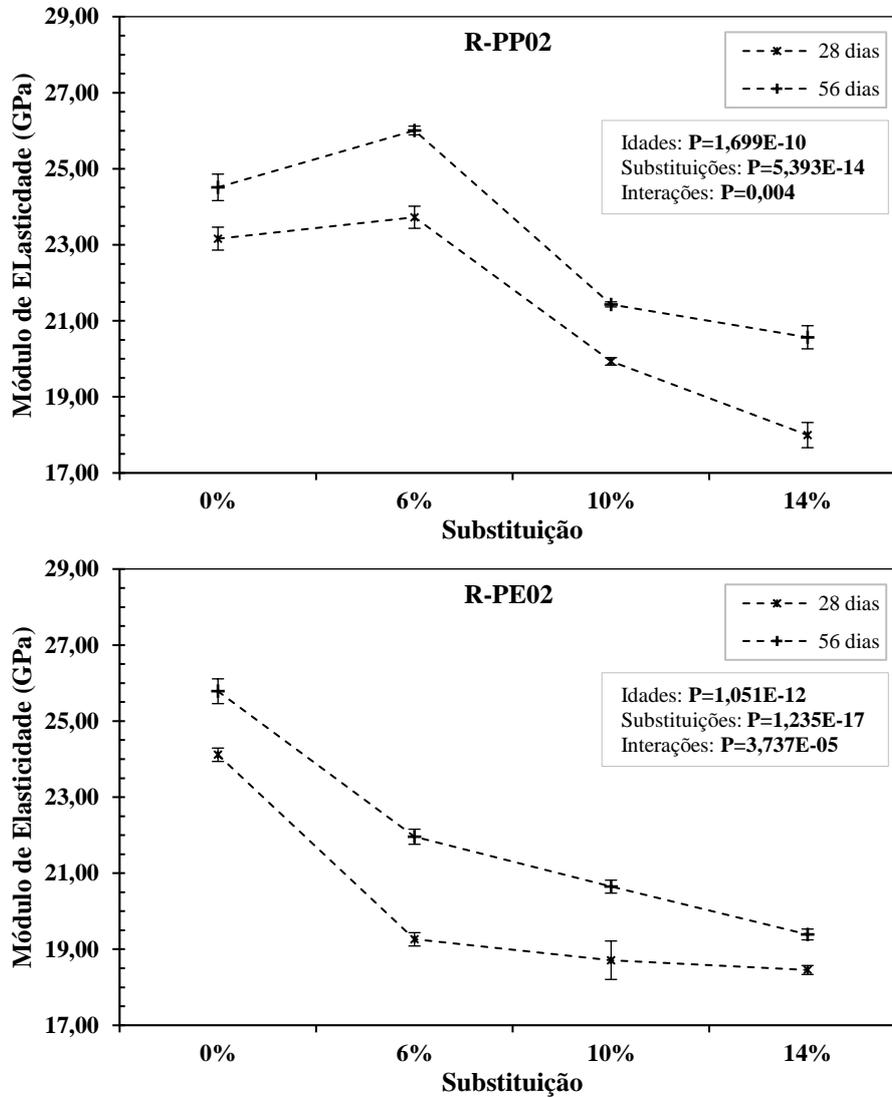
- Módulo de elasticidade para argamassas com substituição do cimento Portland por resíduos R-PP02 e R-PE02.

A Figura 51 demonstra a evolução do módulo de elasticidade para as argamassas produzidas com substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, já as Figura 52 e 53 apresentam as evoluções dos resultados e compara-os por meio da interação da variância das médias nas idades determinadas.

Figura 51 – Módulo de elasticidade, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos

R-PP02 e R-PE02, respectivamente.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios e desvios padrões demarcados).

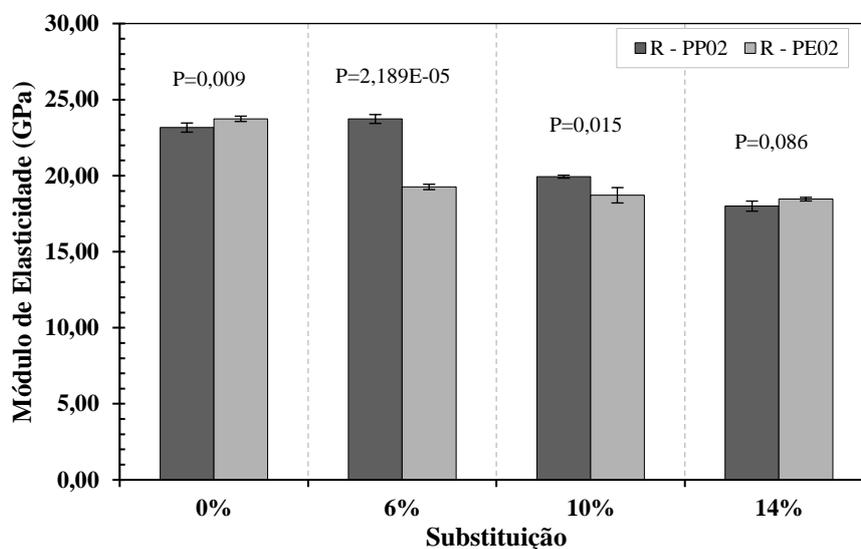


Fonte: Autor

Para os dois tipos de resíduos, nas suas substituições, percebe-se variância significativa nas idades, substituições e interações. Assim como na substituição dos agregados por estes resíduos, na substituição do cimento Portland os melhores resultados alcançados estão para a maior idade analisada, sendo no índice de 6% de substituição por R-PP02 os maiores resultados alcançados, quando a substituição não é nula.

Figura 52 – Módulo de elasticidade aos 28 dias, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA, para cada teor de substituição).

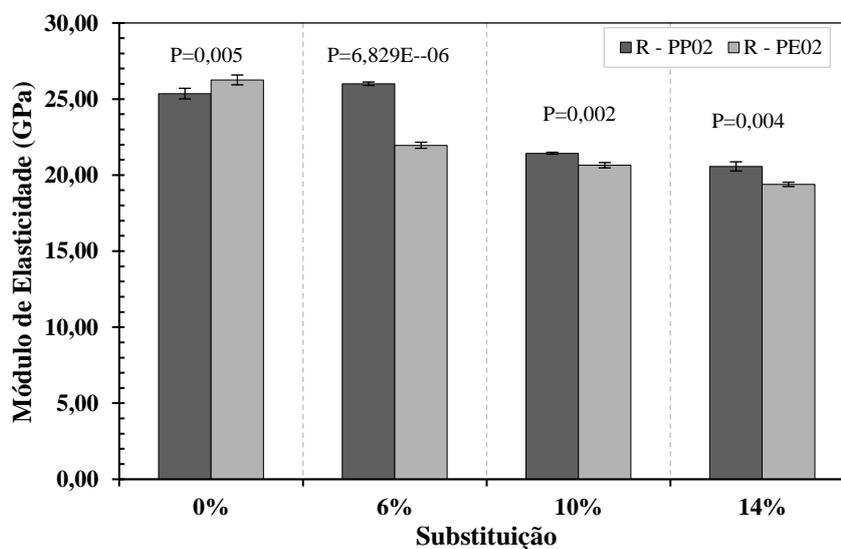


Fonte: Autor

Na idade de 28 dias, para as amostragens analisadas pela comparação entre os resíduos nos diferentes teores de substituição, nota-se que há variâncias significativas no percentual nulo e de 6%; assim, pode-se dizer que dentro dos parâmetros de análise, com 10 e 14% o tipo de resíduo plástico não influencia nos resultados.

Figura 53 – Módulo de elasticidade aos 56 dias, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; One Way ANOVA, para cada teor de substituição).



Fonte: Autor

Diferentemente do comportamento apresentado na idade anteriormente analisada, aos 56 dias o comportamento comparativo das argamassas nas substituições do cimento Portland por R-PP02 e R-PE02, dentro dos parâmetros de análise, identifica-se diferença significativa para todos os percentuais de substituição. Ainda neste comparativo, conforme Callister Jr. e Rethwisch (2016), o grau de cristalinidade do polipropileno é maior que do polietileno, logo, o teor de 6% de R-PP02 influenciou positivamente nos resultados. Além que a finura deste cumpriu o papel de preenchimento e não provocou perdas frente à retirada de teores de cimento Portland.

#### *4.2.2.5 Resistência à tração na flexão.*

As resistências a tração na flexão das argamassas foram obtidas para as idades determinadas, estas seguiram as recomendações prescritas na NBR 13.279 (ABNT, 2005). As comparações são tomadas para as substituições de tipo de resíduo e uso.

Os dados apresentados neste são os resultados médios obtidos, no APÊNDICE I são demonstrados os valores totais encontrados por cada amostra e tipo de resíduo, bem como o detalhamento das análises estatísticas realizadas.

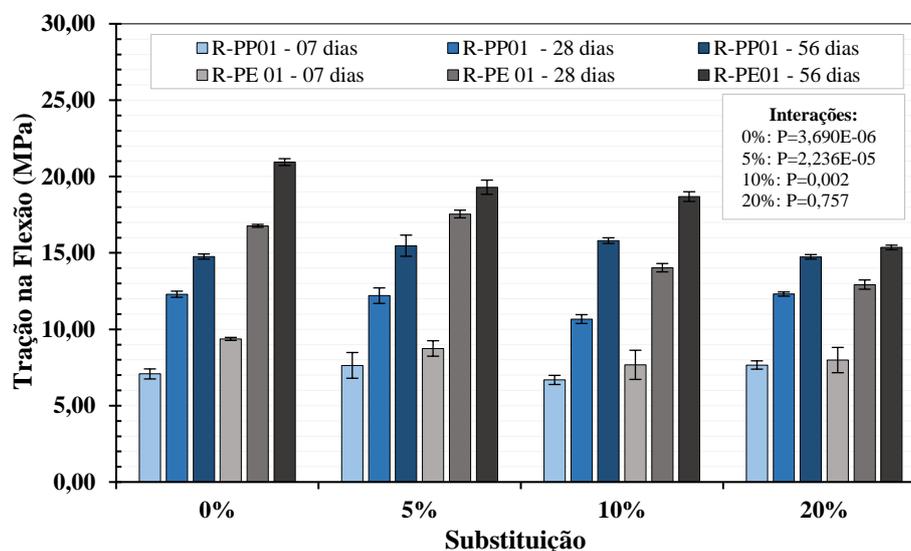
Para todas as argamassas analisadas, dentro dos teores de substituição, há evolução dos resultados obtidos à medida que a idade analisada evolui. Isto ressalta que houve boas interações entre as fases de resíduos, agregados e pasta; assim conforme Metha e Monteiro (2014), a densidade da zona de transição foi melhorada com a evolução do tempo.

Ainda, de maneira geral os melhores resultados são os que apresentaram teores de substituição nulo. Para Mano (1991), percebe-se principalmente pela influência nas propriedades mecânicas dos compósitos visto a dispersão aleatória à aplicação da força.

A Figura 54 demonstra a evolução das resistências a tração na flexão para as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos plásticos dos tipos R-PP01 e R-PE01, esta compara-os por meio da interação da variância das médias.

Figura 54 – Resistência tração na flexão, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios demarcados, P-valor para as interações)



Fonte: Autor

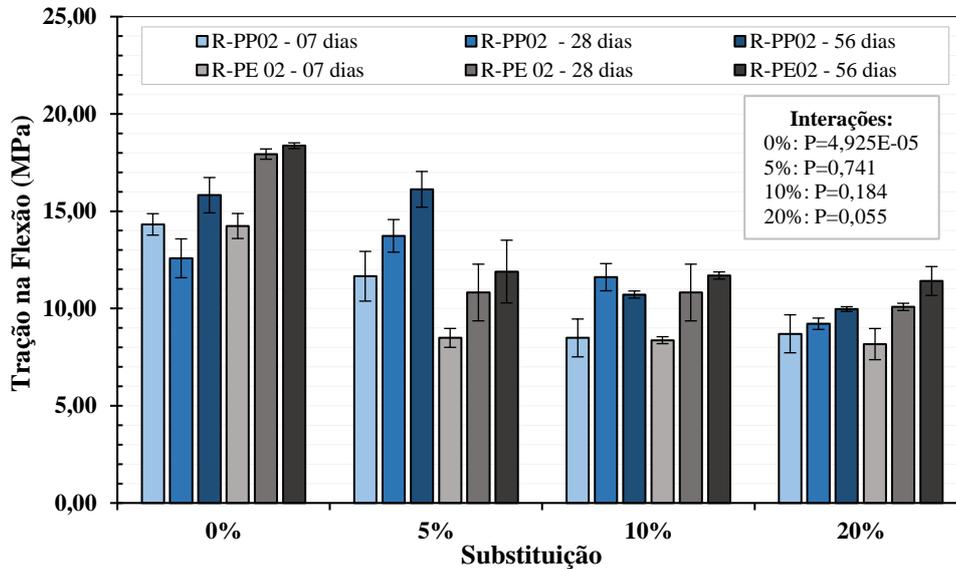
Nas maiores idades analisadas para as argamassas produzidas com R-PP01 verifica-se que o melhor resultado foi o alcançado pela incorporação de 5%. Já para as argamassas com R-PE01 este mesmo comportamento se mantém para as resistências a tração na flexão, quando não considerada a nulidade para a substituição dos agregados naturais.

Ainda, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP01 e R-PE01, nas comparações dentro dos teores de substituições percebe-se que, fora o teor de maior substituição, há variâncias significativas para os percentuais analisados. Ademais, os melhores resultados para a tração na flexão estão para as argamassas produzidas com os resíduos de polímeros etilênicos visto a natureza dos mesmos, o que para Mano (1991), Nunes (2014) e Callister Jr. e Rethwisch (2016), devido ao modelo de arranjo atômico o polietileno possui maior tenacidade que o polipropileno.

A Figura 55 demonstra a evolução das resistências a tração na flexão para as argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos plásticos dos tipos R-PP02 e R-PE02, comparando-as por meio da interação da variância das médias. Nestas, nota-se que há um decréscimo dos resultados totais alcançados se comparados os resíduos de mesma origem, mas com granulometria diferenciada evidenciados nas análises anteriores, o que em analogia à experimentação de Figueiredo (2019), evidencia o efeito fíler.

Figura 55 – Resistência tração na flexão, para substituição do agregado miúdo por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios demarcados, P-valor para as interações)



Fonte: Autor

Para os percentuais de 5, 10 e 20%, na comparação entre as argamassas e dentro das faixas citadas, percebe-se variância não significativa para as interações do tipo de resíduo plástico utilizado nas idades de análise; ainda, notasse que há redução dos índices alcançados dos resultados de resistência de tração na flexão a medida que o percentual de substituição é elevado.

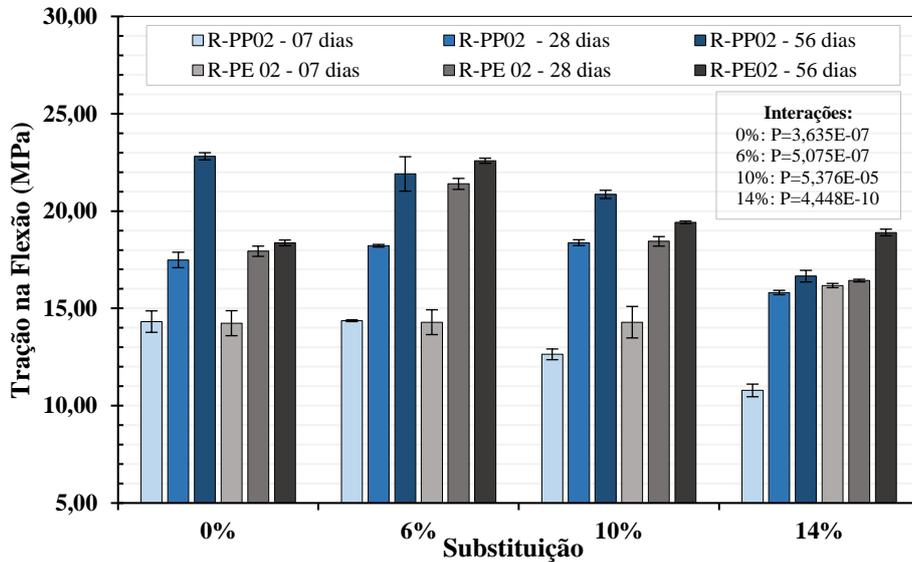
Em comparação ao estudo de Silva (2019), a qual utilizou fibras de resíduos plásticos como reforço de matriz na produção de concretos, notasse que o R-PP02 e o R-PE02 melhoram e mantêm as capacidades de deformabilidade, e assim eventual tenacidade das argamassas frente as similaridades de teores de incorporações.

A Figura 56 demonstra a evolução das resistências a tração na flexão para as argamassas produzidas com substituição do cimento Portland por frações dos resíduos plásticos dos tipos R-PP02 e R-PE02, esta compara-os por meio da interação da variância das médias.

Para os percentuais em que há presença das incorporações dos resíduos plásticos, os melhores resultados são os apresentados pelo índice de 6%; ainda, nota-se que há redução dos índices alcançados dos resultados de resistência de tração na flexão à medida que o percentual de substituição é elevado.

Figura 56 – Resistência tração na flexão, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02.

(Variância significativa quando  $P < 0,05$ ; ANOVA de fator duplo com repetição. Resultados médios demarcados, P-valor para as interações).



Fonte: Autor

Ainda, para substituição do cimento Portland por frações dos resíduos R-PP02 e R-PE02, nas comparações dentro dos teores de substituições, nota-se que há variâncias significativas para os parâmetros analisados.

Aos 56 dias, para as argamassas com os resíduos R-PP02 o teor de substituição de 6% representa cerca de 96% do resultado padrão de incorporação nula; enquanto para as argamassas com os resíduos R-PE02 percebe-se incremento de mais de 18% do resultado alcançado entre os teores de 0 e 6%. Assim, as substituições nos percentuais citados são viáveis.

#### 4.2.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).

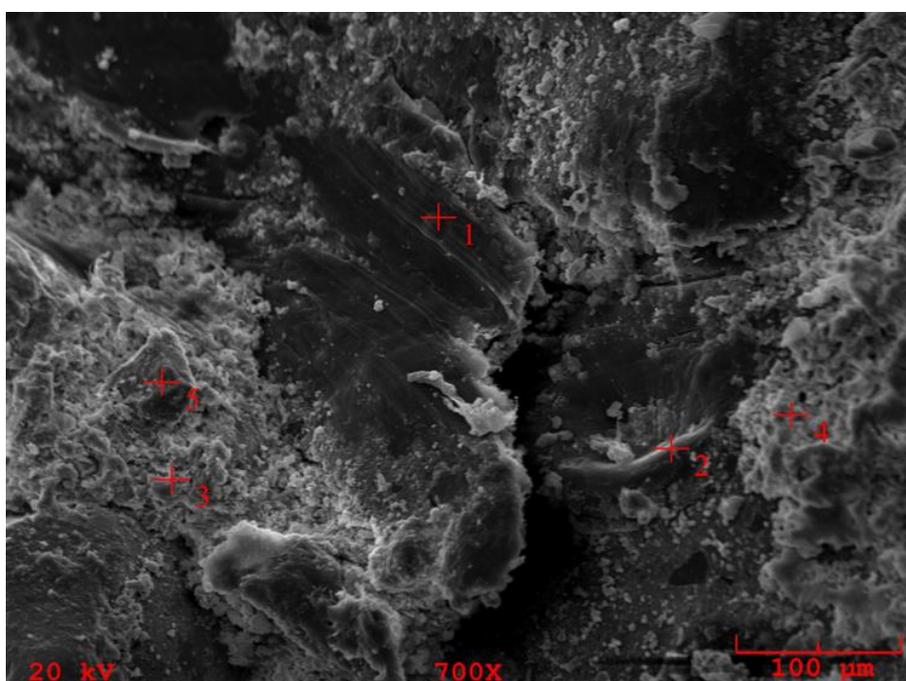
Em cada amostragem foi realizada análise qualitativa e semiquantitativa dos percentuais atômicos de incidência dos feixes sobre as superfícies nos pontos demarcados, isto serviu para identificação química e conseqüentemente identificação do material constituinte da argamassa.

Foram utilizados apenas os fragmentos das amostragens com substituição do agregado miúdo por 20% de resíduos, visto que o tipo de incorporação do resíduo não apresentava maior relevância para o objetivo das análises mencionadas. Os espectros de EDS nos pontos determinados de cada fragmento das argamassas analisadas são apresentados no

APÊNDICE J. As Figuras 57 à 60 demonstram as imagens geradas pelo MEV das superfícies amostrais, o aumento para todas as imagens é na magnitude de 700x. As imagens estão separadas por tipo de resina primária de formação para as amostragens de resíduos plásticos etilênico e polipirilênicos. Nas Tabelas 17 à 20, através do EDS são demonstrados os elementos químicos referentes ao pontos de incidência.

Para todas as amostragens percebe-se ausência de fissões nos resíduos, além de um bom envolvimento com as pastas cimentícias. Sendo que, para os resíduos de menor granulometria, visualmente foram os que apresentaram os melhores envolvimento.

Figura 57 - Superfície aumentada da amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PE01.



Fonte: Autor

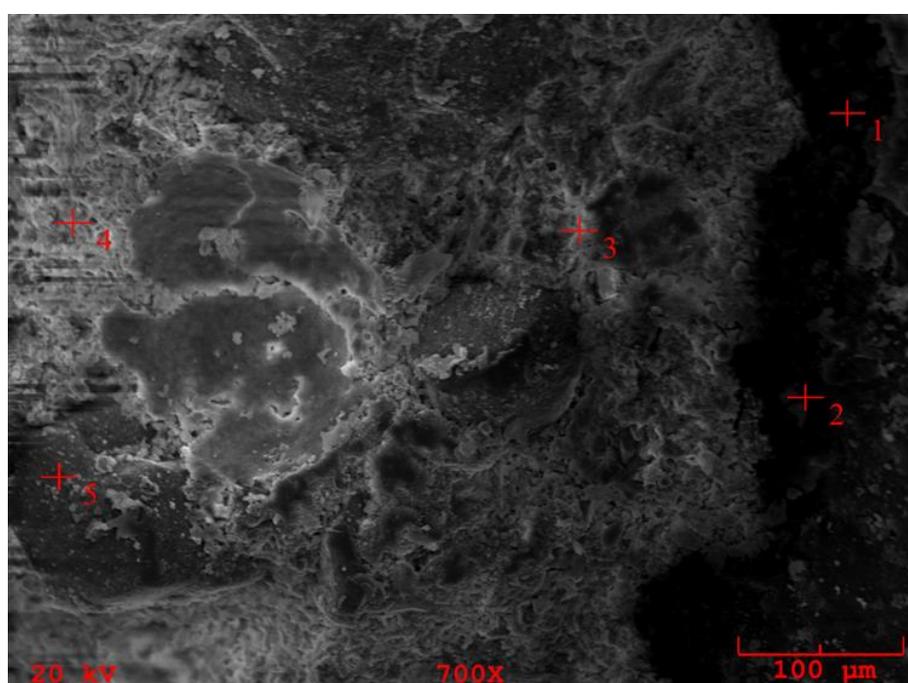
Tabela 17 – Resultado do EDS nos pontos da superfície aumentada para amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PE01.

Elem. Químico	% Atômico de Incidência				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
C	93,40	70,83	3,05	2,67	23,53
O	5,67	21,38	32,90	22,70	26,57
Al	0,02	0,37	2,12	0,45	0,43
Si	0,14	1,36	7,14	3,33	41,56
Ca	0,50	5,37	53,48	69,79	7,59
Ti	0,14	0,24	0,25	0,16	0,09
Fe	0,13	0,46	1,06	0,91	0,23

Fonte: Autor

Avaliando a Figura 57 e a Tabela 17, de acordo com os percentuais de incidência; identifica-se que os pontos 1 e 2 são os referidos resíduos plásticos, visto o material ser um hidrocarboneto e identificasse elevado índice de carbono; os pontos 3 e 4 representam a pasta cimentícia visto o maior percentual de cálcio; o ponto 5 representa o agregado miúdo, uma vez que o índice de silício apresentou percentual elevado. Visualmente, notasse rugosidades nas superfícies dos resíduos, variações de altimetria e sobreposições de materiais, valendo ressaltar que as regiões mais escuras representam os vazios.

Figura 58 - Superfície aumentada da amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PP01.



Fonte: Autor

Tabela 18 – Resultado do EDS nos pontos da superfície aumentada para amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PP01.

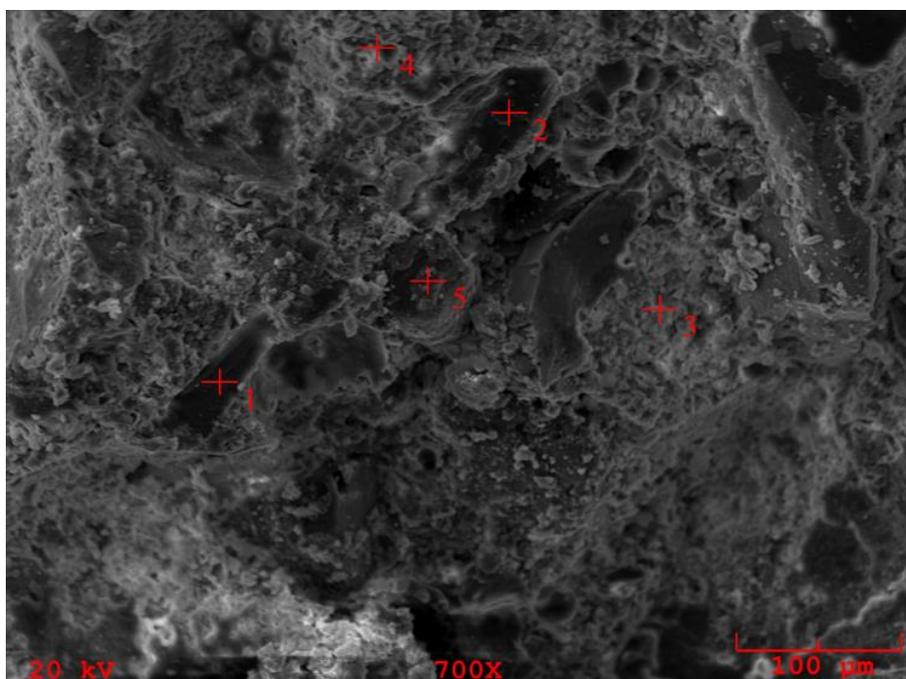
Elem. Químico	% Atômico de Incidência				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
C	76,76	56,18	4,30	8,94	3,80
O	18,12	22,35	47,92	59,39	45,78
Al	0,18	0,50	0,95	1,17	0,29
Si	1,20	2,86	6,48	4,96	49,64
Ca	2,53	13,75	39,59	24,92	0,37
Ti	1,05	2,84	0,16	0,06	0,05
Fe	0,16	1,51	0,59	0,56	0,07

Fonte: Autor

Na Figura 58 e a Tabela 18, de acordo com os percentuais de incidência. Identifica-se que os pontos 1 e 2 são identificados como R-PP01, visto o elevado índice de carbono; os pontos 3 e 4 representam a pasta cimentícia visto o maior percentual de oxigênio e cálcio; o ponto 5 representa o agregado miúdo, uma vez que o índice de silício foi elevado.

Assim como na avaliação do fragmento anterior, visualmente notasse rugosidades nas superfícies dos resíduos, bem como variações de altimetria e sobreposições de materiais. Também percebesse porosidades representadas pelas regiões mais escuras das imagens.

Figura 59 - Superfície aumentada da amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PE02.



Fonte: Autor

Tabela 19 – Resultado do EDS nos pontos da superfície aumentada para amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PE02.

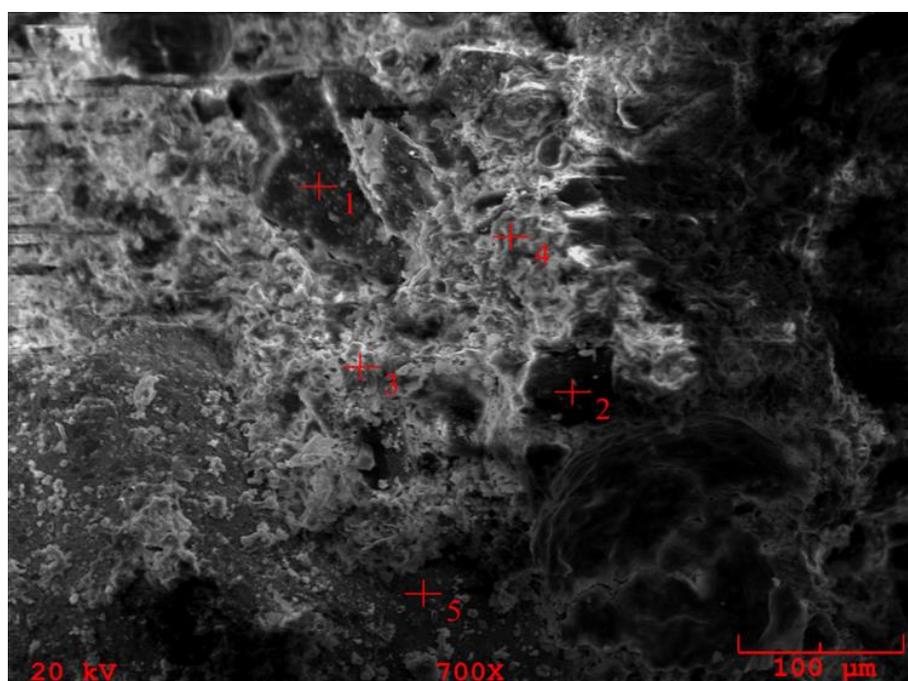
Elem. Químico	% Atômico de Incidência				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
C	80,84	82,51	6,66	6,66	19,80
O	13,94	14,46	33,09	43,04	37,74
Al	0,08	0,11	1,29	2,05	0,43
Si	0,37	0,34	11,04	3,82	31,89
Ca	4,30	1,81	47,01	43,74	9,89
Ti	0,28	0,54	0,11	0,09	0,04
Fe	0,18	0,24	0,80	0,59	0,22

Fonte: Autor

Pela Figura 59 e a Tabela 19, de acordo com os percentuais de incidência; identifica-se que os pontos 1 e 2 são os referidos resíduos plásticos, visto o material ser um hidrocarboneto e identificasse elevado índice de carbono; os pontos 3 e 4 representam a pasta cimentícia visto o maior percentual de cálcio e oxigênio; o ponto 5 representa o agregado miúdo, uma vez que os índices de silício e oxigênio são elevados.

Há rugosidades nas superfícies dos resíduos, bem como variações de altimetria e sobreposições de materiais. Porém, diferentemente dos fragmentos anteriores, as regiões mais escuras das imagens são de menor tamanho e mais espalhadas, variando os vazios.

Figura 60 - Superfície aumentada da amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PP02.



Fonte: Autor

Tabela 20 – Resultado do EDS nos pontos da superfície aumentada para amostra de argamassa produzida com teor de substituição de 20% do agregado miúdo por R-PP02.

Elem. Químico	% Atômico de Incidência				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
C	78,84	67,89	12,82	18,49	18,45
O	16,66	26,21	41,74	28,90	30,21
Al	0,07	0,23	1,79	0,99	0,40
Si	0,82	0,86	6,54	9,42	38,88
Ca	1,33	3,16	36,33	40,91	11,76
Ti	2,08	1,50	0,25	0,13	0,08
Fe	0,21	0,15	0,54	1,17	0,22

Fonte: Autor

Em similaridade pelas análise da argamassa com o R-PE02, no fragmento da argamassa com R-PP02 e pela Figura 59 com a Tabela 19, de acordo com os percentuais de incidência; identifica-se que os pontos 1 e 2 são os referidos resíduos plásticos, visto o elevado índice de carbono; os pontos 3 e 4 representam a pasta cimentícia visto o maior percentual de cálcio e oxigênio; o ponto 5 representa o agregado miúdo, uma vez que os índices de silício e oxigênio são elevados. As regiões mais escuras das imagens também são presentes com variações de espalhamentos e tamanhos, logo variando os vazios.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

Esta pesquisa teve o objetivo de verificar as viabilidades de utilização de quatro tipos de resíduos plásticos, sendo estes polietilenos e polipropilenos, incorporados em compósitos a base de cimento Portland, os quais foram inseridos por substituição de materiais durante o processo de produção de argamassas.

Pelas caracterizações químicas, nas amostragens dos resíduos encontram-se percentuais de metais, o que acreditasse que sejam oriundos dos maquinários da indústria de reciclagem ou de contaminação durante a coleta. Porém, os índices percentuais de incidência são baixos e não viabilizam a utilização deles.

Pelas caracterizações físicas percebe-se que os resíduos R-PP01 e R-PE01 podem ser caracterizados como agregados leves quanto a massa específica e unitária, e granulometria semelhante as areias naturais. Já os resíduos R-PP02 e R-PE02 não se enquadram devidamente como agregados miúdos, visto os padrões se encontrarem fora dos limites de utilização descritos pelas normatizações nacional para granulometria.

Os decréscimos nas massas específicas secas e úmidas das argamassas ocorreu devido aos menores pesos específicos dos resíduos plásticos, quando em comparação com os materiais convencionais, estando coerente com a literatura. O que pode ser considerado para o uso em simples revestimento e nivelamento de estruturas, quando as argamassas não forem solicitadas a esforços significativos.

A variabilidade de forma e arredondamento dos resíduos podem inferir boa compacidade às argamassas, sendo do R-PE02 apresentado com melhor eficiência a esta dinamicidade. Todavia, vale ressaltar que para a otimização e utilização em traços de argamassas e concretos devem ser feitas as compensações de massa por volume entre os resíduos e agregados.

Nas absorções de água pela capilaridade, os melhores resultados foram alcançados pelas argamassas produzidas com R-PP02 e R-PE02, onde, para a substituição do agregado miúdo os teores de substituição de 10 e 20%, na substituição do cimento Portland os melhores resultados estiveram para os teores de 10 e 14%; sendo que nestas duas situações os resultados foram próximos as argamassas com nulidade de substituição. Assim sendo, acredita-se que os resíduos se depositaram, em maioria, nas regiões de superfície das amostragens, e quanto maior o grau de substituição as argamassas se tornam menos densas,

porém mais impermeáveis aos fenômenos capilares, o que poderia ser aplicável para impermeabilizações de baldrame ou de faixas inferiores de revestimento de reboco em paredes.

Todas as argamassas produzidas com os resíduos, nos diferentes teores e substituições apresentaram maior absorção de água na imersão quando maiores os teores de resíduos. Assim sendo, acredita-se que a incorporação desfavorece a utilização para peças que podem sofrer eventuais submersões em meios aquosos, uma vez que os valores encontrados tendem a sugerir maior porosidade dos produtos produzidos, logo maior subtilidade a patologias provocadas por intempéries.

No que tange as resistências a compressão axial das argamassas, para todos os tipos de substituições, houve decréscimos dos resultados alcançados à medida que se elevou os percentuais de substituições. Porém, os resultados alcançados com as argamassas produzidas com o teor de 5% de R-PP01 foram os mais elevados que os demais, sendo que nas primeiras idades há similaridades com as argamassas de percentual nulo, o que pode ser considerado para utilizações de peças que possuam esforços controlados, dentro das faixas encontradas para as amostras desta pesquisa.

Para o módulo de elasticidade, percebe-se que os resultados com R-PE02 foram melhorados com os teores de 5% para substituição da areia, e para substituição do cimento Portland com 6% de R-PP02. Já para a resistência a tração na flexão, os melhores resultados alcançados são para o R-PP02 para substituição de 5% do agregado miúdo e de 6% de substituição do cimento Portland para ambos o R-PP02 e R-PE02. Assim, isto ressalta que os resíduos plásticos, dentro das faixas citadas, conferem maiores ductibilidades e flexibilidades as argamassas.

As microscopias dos fragmentos das argamassas demonstraram boas interações entre os resíduos e os demais constituintes das argamassas, o que infere que houve boa aderência e homogeneização, logo, pode-se dizer que mesmo com as incorporações dos resíduos plásticos as argamassas mantiveram características de coesão.

Desta forma, conclui-se que os resíduos de polipropileno e polietileno; da forma que aqui foram estudados, podem ser aproveitados dentro da construção civil, sejam por substituição parcial do cimento ou agregado miúdo, onde o tipo de solicitação e demanda acarretará a escolha do tipo e forma de uso. Ainda, percebe-se que os resíduos de polipropileno alcançam com melhor eficiência as demandas, mas vislumbra-se que a utilização de qualquer um dos dois resíduos analisados se tornam alternativas de diminuição de acúmulos causadores de poluição e impactos ambientais.

## 5.2 Sugestões para trabalhos futuros.

Vislumbrando os benefícios técnicos citados para os resíduos plásticos estudados nesta pesquisa, são apresentados a seguir algumas possibilidades e sugestões de estudos para trabalhos futuros com estes materiais:

- Estudar a utilização destes resíduos para substituição de produtos naturais em outros tipos de compósitos, tais como concretos cimentícios e produtos geopoliméricos.
- Estudo de inserção destes resíduos como adição em compósitos de matrizes cimentícias e geopoliméricas.
- Estudar possíveis efeitos socioeconômicos para a forma de reinserção de resíduos plásticos demonstrada nesta pesquisa.
- Analisar maiores variabilidades de percentuais de substituição de materiais em argamassas e concretos.
- Analisar o comportamento de perda ao fogo e demais intemperes, quando produzidas argamassas e concretos com estes resíduos introduzidos na mistura.
- Analisar o comportamento de durabilidade, inclusive ao ataque de agentes agressivos como meios ácidos e corrosivos, quando produzidas argamassas e concretos com estes resíduos introduzidos na mistura.
- Analisar a comparação de eficiência nas interações para as substituições destes resíduos na produção de compósitos às demandas práticas de solicitações com os usos propostos na pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNELLI, J. A. M.; CHINELATTO, M.A. **Degradação de Polipropileno: aspectos teóricos e recentes avanços em sua estabilização.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Paulo, v. 2, n. 3, pp. 27-31, 1992.

AGUIAR NETO, S. A.; LIMA, J. M.; SILVA, C. A. S.; PAUMGARTTEN, J. V.V.V.; PIKANÇO, M. S.; QUEIROZ, L. C. **Resíduos Plásticos na Construção Civil: Utilização de Resíduos de Vasilhames de Água Mineral como Agregados de Concretos.** In: 58º Congresso Brasileiro do Concreto, 2016, Belo Horizonte. Ciência e Tecnologia para a Construção em Concreto. Anais. Instituto Brasileiro do Concreto-IBRACON. São Paulo, 2016.

ARASAN, S., AKBULUT, S., HASILOGLU, A. S. **The Relationship between the Fractal Dimension and Shape Properties of Particle.** KSCE Journal of Civil Engineering, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Básico sobre cimento. Disponível em: <<https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento/>> Acesso em: 20 de setembro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil 2014,** Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. ABIPLAST, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil 2015,** Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. ABIPLAST, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil 2016,** Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. ABIPLAST, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil 2018,** Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. ABIPLAST, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: **Agregados - Determinação Da Massa Unitária E Do Volume De Vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215. **Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7389-1. **Agregados - Análise petrográfica de agregado para concreto Parte 1: Agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522. **Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779. **Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11172: **Aglomerantes de origem mineral - Terminologia.** Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579 MB 3432: **Cimento Portland - Determinação da Finura Por Meio da Peneira 75 µm (nº 200).** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13230: **Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos.** Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2016.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16607: **Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

BARIČEVIĆ, A.; RUKAVINA, M.; PEZER, M.; ŠTIRMER, N. **Influence of recycled tire polymer fibers on concrete properties.** Cement and Concrete Composites – Journal – Elsevier. 2018.

BARDINI, V. S. S.; **A Influência do Fíler Mineral em Propriedades de Misturas Asfálticas Densas.** Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

BARROS, C., **Apostila de Polímeros.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Pelotas, 2011.

BRASIL. Departamento Nacional De Produção Mineral - DNPM. **Agregados par a Construção Civil.** Brasília: DNPM, 2013. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em: 17 de setembro de 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Presidência da República. **Agenda nacional de qualidade ambiental urbana. Programa nacional lixo zero.** Brasília, Distrito Federal, 2019.

BRASIL. Ministério da Casa Civil. Presidência da República. **Política Nacional de Resíduos Sólidos,** (Lei 12.305/2010, de 02 de agosto de 2010). Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 73 p. – (Série legislação; n. 81), Brasília, Distrito Federal, 2010

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Presidência da República. **Resíduos de plástico, papel, papelão, papel metalizado, vidro e metal.** Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/9411-res%C3%ADduos-de-pl%C3%A1stico,-papel,-papel%C3%A3o,-papel-metalizado,-vidro-e-metal/>>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Presidência da República. **Resíduos sólidos.** Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos>>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

CALLISTER, W.D.JR.; RETHWISH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução** – 9 ed.; tradução: SOARES, S. M. S. LTC. Rio de Janeiro, 2016.

CANELLAS, S. S. **Reciclagem de PET, Visando a Substituição de Agregado Miúdo em Argamassas.** PUC-Rio, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. Rio de Janeiro, 2005.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C.; **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, n° 1, p. 1-13. Rio de Janeiro, 2003.

DAL MOLIN, D.C.C.; **Adições Mineraias para Concreto Estrutural. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** p. 345-379..São Paulo: IBRACON, 2005.

DEDAVID, B. A. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos: metálicos e semicondutores [recurso eletrônico].** EDIPUCRS. Porto Alegre, 2007.

DO VAL, A. M. G.; DOMINGUES, R. Z.; MATENCIO. **Fisico-Química II. Unidade VI. Fenômenos de Superfície.** Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2013.

FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de construção, 1.** Revisão técnica: DIAS, J. F., 5 ed. (reimpr.). Editora LTC. Rio de Janeiro, 2016.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras.** São Paulo. 248p. Tese (Doutorado em Livre-Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, M. C. **Avaliação Do Uso De Fíler De Resíduo De Construção E Demolição Na Produção De Concreto Autoadensável.** Dissertação De Mestrado. Universidade Estadual De Feira De Santana, Departamento De Tecnologia, Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil E Ambiental. Feira De Santana, 2019.

GORNI, A. A. **Introdução aos plásticos.** Revista Plástico Industrial, Aranda Editora Técnica Cultural, São Paulo, 2010.

HANNANT, D. J. **Polypropylene Fibres in Concrete, Mortar, and Cement,” Chapter 7 in Fibre Cements and Fibre Concretes**, John Wiley & Sons, 1978.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. Editora Edgard Blücher. São Paulo, 1991.

MARTINS, C. H.; MARCANTONIO, G. P. A; LENINE, A. **Resistência Simples À Compressão E Módulo De Elasticidade Do Concreto Produzido Com Substituição Parcial De Agregado Miúdo Por Resíduos Plásticos**. Mix Sustentável, V.4, n.2, p.123-130. Florianópolis, 2018.

MELLO, A. L. Utilização dos resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa. Dissertação de mestrado– Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Bahia, 2011.

MENDONÇA, M. F. **Substituição parcial do cimento portland por cinzas de Bambu (Bambusa Vulgaris)**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Belém, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. IBRACON São Paulo, 2014.

MORASSI, O. J. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. Conselho Regional de Química IV Região, São Paulo, 2013.

NAÇÕES UNIDAS-UNITED NATIONS. **General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Disponível em: <[https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf/](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf/)>. Acesso em: 03 de setembro de 2019.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J.; **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013

NUNES, E. C. D. **Polímeros: conceitos, estrutura molecular, classificação e propriedades**. Editora Érica/Saraiva. São Paulo, 2014.

PARENTE, R. A.; PINHEIRO, L. M. **Plásticos reciclados para elementos estruturais**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, v. 10, n. 47, p. 75-95, São Carlos, 2008.

PASSOS, P. M.; CARASEK, H. **Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto**. Cerâmica, V.64, 2018.

PEREIRA, SS.,CURI, RC. **Modelos de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: a importância dos catadores de materiais recicláveis no processo de gestão ambiental.** In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013, pp. 149-172. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824-06.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2019.

PICANÇO, M. S. **Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibras de Curauá.** 2005. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PLASTIVAL. **Ciclo de vida do plástico.** Disponível em:<<http://www.plastval.pt/index.asp?info=reciclagem/ciclo>>. Acesso em: 05 de março de 2018.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. **Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento.** Estudos Avançados. vol.31, n.89. São Paulo, 2017.

PRABHU, G. G.; HYUN, J. H.; KIM, Y. Y. **Effects of foundry sand as a fine aggregate in concrete production.** Construction and Building Materials, V. 70, 2014

RIBEIRO, S.; BONETTI, C. **Variabilidade Morfométrica de Sedimentos Arenosos: Revisão de Métodos e Uso do Software Image J na Diferenciação de Ambientes Depositionais da Ilha de Santa Catarina e Região Continental, SC, Brasil.** Gravel, V 11, n1. Porto Alegre, 2013

RODOLFO-JR, A.; MEI, L. H. I. **Nanocompósitos de PVC com argila organicamente modificada.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, nº 1, p. 1-9, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v19n1/06.pdf>>. Acesso em 23 de dezembro de 2019.

SANTOS, W. J. DOS; ALVARENGA, R. DE C. S.; SILVA, R. C. DA; PETROTI, L. G.; 282 SOUZA, A. T.; FREIRE, A. S. **Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas** Ambiente Construído, v.9, n. 4, Porto Alegre, 2019.

SILVA, C. A. S. **Resíduo de Garrafão de Água Inserido em Pavimento de Concreto como Agente de Reforço da Matriz.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Belém, 2019.

SILVA, R. B. **Reidratação de cimento de alto forno: análise e otimização por técnicas combinadas de caracterização.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil II T. São Paulo, 2018.

TENÓRIO, A. T.; DOS REIS, A. F.; SILVA, D. E.; LUFT, M.C.M.S; **Redes De Logística Reversa: Um Estudo Do Canal Reverso De Reciclagem Na Indústria Do Plástico,** RACE v. 13, n. 1, Unoesc, 2014. Disponível em:

<[https://pdfs.semanticscholar.org/875c/5479c5aa2c22fd673c1e69305967ca3eaa0e.pdf?\\_ga=2.11738621.874154589.1581449397-1001406278.1581449397](https://pdfs.semanticscholar.org/875c/5479c5aa2c22fd673c1e69305967ca3eaa0e.pdf?_ga=2.11738621.874154589.1581449397-1001406278.1581449397)>. Acesso em: 05 de março de 2018.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência dos materiais**. tradução: FERRÃO. L. P. C. Editora Edgard Blücher. São Paulo, 2011.

VIVEIROS, D. C. S. **Rejeito do minério de manganês como material de construção civil**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Belém, 2017.

ZANELLA, F.; MORAES, R. A.; LIMA, N. B.; LIMA, A. L. S. Sacolas oxidobiodegradáveis: degradação em decorrência da condição de descarte. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, p. 9, n. 5. Disponível em: <<http://revista.ecogestaobrasil.net/v5n9/v05n09a08.pdf>>. Acesso em: 01 de novembro de 2019.

## **APÊNDICE**

### **APÊNDICE A**

- **Valores de arredondamento de forma, segundo o método de Cox (1927)**

<b>R-PP01</b>	<b>R-PP02</b>	<b>R-PE01</b>	<b>R-PE02</b>
0,675	0,800	0,459	0,886
0,641	0,928	0,598	0,804
0,762	0,884	0,889	0,913
0,834	0,954	0,684	0,748
0,764	0,855	0,779	0,844
0,800	0,762	0,518	0,737
0,689	0,734	0,871	0,757
0,695	0,933	0,830	0,872
0,681	1,007	0,612	0,903
0,824	0,885	0,595	0,669
0,819	0,982	0,881	0,721
0,616	0,891	0,770	0,789
0,733	0,885	0,707	0,804

- **Teste de Normalidade**

	<b>R-PP01</b>	<b>R-PP02</b>	<b>R-PE01</b>	<b>R-PE02</b>
N	13	13	13	13
Shapiro-Wilk W	0,9384	0,9534	0,9388	0,9583
p(normal)	0,436	0,6513	0,4418	0,7277

- **Análise de variância.**

<b>Grupo</b>	<b>Contagem</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>
R-PP01	13	9,5346091	0,7334315	0,005312566
R-PP02	13	11,49904824	0,8845422	0,006590637
R-PE01	13	9,194683934	0,7072834	0,020469516
R-PE02	13	10,44696687	0,8036128	0,005833663

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	0,246002877	3	0,082001	8,58505357	0,000115	2,79806064
Dentro dos grupos	0,458476583	48	0,0095516			
Total	0,70447946	51				

- **Teste Tukey.**

	<b>R-PP01</b>	<b>R-PP02</b>	<b>R-PE01</b>	<b>R-PE02</b>
<b>R-PP01</b>		<b>0.00145</b>	0.9034	0.2718
<b>R-PP02</b>	5.575		<b>0.0001639</b>	0.1642
<b>R-PE01</b>	0.9647	6.539		0.07058
<b>R-PE02</b>	2.589	2.986	3.554	

## APÊNDICE B

- Espalhamento (cm).

Substituição do agregado miúdo				
Substituição Resíduo	0%	5%	10%	20%
<b>R-PP01</b>	27,20	26,80	27,30	26,80
	26,40	27,20	26,90	26,90
	27,30	26,50	27,10	27,30
<b>R-PE01</b>	27,50	26,80	27,50	26,80
	27,30	26,30	27,40	27,60
	26,80	28,10	26,40	27,30

Substituição do agregado miúdo				
Substituição Resíduo	0%	5%	10%	20%
<b>R-PP02</b>	26,50	26,00	24,50	25,80
	26,50	26,50	25,00	26,30
	27,00	26,00	25,90	26,40
<b>R-PE02</b>	26,00	26,80	26,70	26,50
	26,30	26,50	26,50	27,00
	26,30	26,60	27,20	27,40

Substituição do cimento Portland				
Substituição	0%	6%	10%	14%

<b>Resíduo</b>				
<b>R-PP02</b>	26,50	27,60	26,70	26,80
	26,50	28,40	26,30	27,40
	27,00	26,80	27,80	25,60
<b>R-PE02</b>	26,00	25,30	27,40	26,90
	26,30	26,10	27,20	26,60
	26,30	27,60	26,90	26,80

- **Análise de variância.**

Substituição do agregado miúdo

**Anova: fator duplo com repetição**

<b>RESUMO</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>Total</b>
<i>R-PP01</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	80,9	80,5	81,3	81	323,7
Média	26,96667	26,83333	27,1	27	26,975
Variância	0,243333	0,123333	0,04	0,07	0,09659091
<i>R-PE01</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	81,6	81,2	81,3	81,7	325,8
Média	27,2	27,06667	27,1	27,23333	27,15
Variância	0,13	0,863333	0,37	0,163333	0,28272727
<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	162,5	161,7	162,6	162,7	
Média	27,08333	26,95	27,1	27,11667	
Variância	0,165667	0,411	0,164	0,109667	

**ANOVA**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Resíduos Plásticos	0,18375	1	0,18375	0,733777	0,40430915	4,493998
Substituições	0,104583	3	0,034861	0,139212	0,935	3,238872

Interações	0,06125	3	0,020417	0,081531	0,96911817	3,238872
Dentro	4,006667	16	0,250417			
Total	4,35625	23				

Substituição do agregado miúdo

### Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	0%	5%	10%	20%	Total
<i>R-PP02</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	80	78,5	75,4	78,5	312,4
Média	26,6667	26,1667	25,1333	26,1667	26,033333
Variância	0,08333	0,08333	0,50333	0,10333	0,4806061

<i>R-PE02</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	78,6	79,9	80,4	80,9	319,8
Média	26,2	26,6333	26,8	26,9667	26,65
Variância	0,03	0,02333	0,13	0,20333	0,1590909

<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	158,6	158,4	155,8	159,4	
Média	26,4333	26,4	25,9667	26,5667	
Variância	0,11067	0,108	1,08667	0,31467	

### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Resíduos Plásticos	2,28167	1	2,28167	15,7356	0,0011066	4,494
Substituições	1,21833	3	0,40611	2,80077	0,073	3,23887
Interações	3,49833	3	1,16611	8,04215	0,0017133	3,23887
Dentro	2,32	16	0,145			

Total	9,31833	23
-------	---------	----

Substituição do cimento Portland

**Anova: fator duplo com repetição**

RESUMO	0%	6%	10%	14%	Total
<i>R-PP02</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	80	82,8	80,8	79,8	323,4
Média	26,6667	27,6	26,9333	26,6	26,95
Variância	0,08333	0,64	0,60333	0,84	0,5645455

<i>R-PE02</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	78,6	79	81,5	80,3	319,4
Média	26,2	26,3333	27,1667	26,7667	26,616667
Variância	0,03	1,36333	0,06333	0,02333	0,4269697

<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	158,6	161,8	162,3	160,1	
Média	26,4333	26,9667	27,05	26,6833	
Variância	0,11067	1,28267	0,283	0,35367	

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Resíduos Plásticos	0,66667	1	0,66667	1,46252	0,2440962	4,494
Substituições	1,42333	3	0,47444	1,04083	0,401	3,23887
Interações	2,19	3	0,73	1,60146	0,2283159	3,23887
Dentro	7,29333	16	0,45583			
Total	11,5733	23				

## APÊNDICE C

- Massa específica (Kg/m<sup>3</sup>).

Substituição do agregado miúdo				
Substituição Resíduo	0%	5%	10%	20%
<b>R-PP01</b>	2254,34	2134,19	2126,05	2117,90
	2259,34	2135,19	2126,08	2117,92
	2259,64	2134,09	2126,06	2117,91
<b>R-PE01</b>	2234,74	2121,97	2117,90	2106,56
	2236,74	2123,97	2117,89	2106,60
	2235,14	2121,87	2117,88	2106,58

Substituição do agregado miúdo				
Substituição Resíduo	0%	5%	10%	20%
<b>R-PP02</b>	2252,31	2130,12	2052,74	1979,42
	2257,31	2131,12	2052,77	1979,44
	2257,61	2130,02	2052,75	1979,43
<b>R-PE02</b>	2166,78	2126,05	2026,05	1930,18
	2168,78	2129,05	2026,04	1930,23
	2167,18	2125,95	2026,03	1930,20

Substituição do cimento Portland				
Substituição	0%	6%	10%	14%

<b>Resíduo</b>				
<b>R-PP02</b>	2183,07	2084,92	1999,79	1948,88
	2188,07	2085,92	1999,82	1948,90
	2188,37	2084,82	1999,80	1948,89
<b>R-PE02</b>	2181,03	1997,75	1952,95	1910,18
	2183,03	2000,91	1952,94	1910,23
	2181,43	1997,65	1952,93	1910,20

- **Análise de variância.**

Substituição do agregado miúdo

**Anova: fator único**

0%

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP01	3	6773,331206	2257,777	8,8633333
R-PE01	3	6706,620571	2235,54	1,12

ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	741,7181398	1	741,7181	148,59128	0,000259972	7,708647
Dentro dos grupos	19,96666667	4	4,991667			
Total	761,6848065	5				

**Anova: fator único**

5%

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP01	3	6403,480582	2134,494	0,37
R-PE01	3	6367,824586	2122,608	1,4033333

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	211,8916715	1	211,8917	238,97557	0,000102194	7,708647
Dentro dos grupos	3,546666667	4	0,886667			
Total	215,4383382	5				

## Anova: fator único

10%

## RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
R-PP01	3	6378,183252	2126,061	0,0002333
R-PE01	3	6353,675921	2117,892	1E-04

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	100,1015411	1	100,1015	600609,25	1,663E-11	7,708647
Dentro dos grupos	0,000666667	4	0,000167			
Total	100,1022078	5				

## Anova: fator único

20%

## RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
R-PP01	3	6353,735921	2117,912	1E-04
R-PE01	3	6319,743	2106,581	0,000463

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	192,5864482	1	192,5864	684143,69	1,282E-11	7,708647
Dentro dos grupos	0,001126	4	0,000282			
Total	192,5875742	5				

---

**Anova: fator único**

0%

## RESUMO

---

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	6767,221874	2255,741	8,8633333
R-PE02	3	6502,729904	2167,577	1,12

---

## ANOVA

---

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	11659,33369	1	11659,33	2335,7597	1,097E-06	7,708647
Dentro dos grupos	19,96666667	4	4,991667			
Total	11679,30036	5				

---

**Anova: fator único**

5%

## RESUMO

---

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	6391,261917	2130,421	0,37
R-PE02	3	6381,043252	2127,014	3,1033333

---

## ANOVA

---

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	17,40351986	1	17,40352	10,021221	0,034	7,708647
Dentro dos grupos	6,946666667	4	1,736667			
Total	24,35018652	5				

---

**Anova: fator único**

10%

## RESUMO

---

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	6158,247277	2052,749	0,0002333
R-PE02	3	6078,113252	2026,038	1E-04

---

## ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	1070,243682	1	1070,244	6421462,1	1,455E-13	7,708647
Dentro dos grupos	0,000666667	4	0,000167			
Total	1070,244349	5				

**Anova: fator único**

**20%**

**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	5938,301303	1979,434	1E-04
R-PE02	3	5790,616994	1930,206	0,000463

**ANOVA**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	3635,109186	1	3635,109	12913354	3,598E-14	7,708647
Dentro dos grupos	0,001126	4	0,000281			
Total	3635,110312	5				

Substituição do cimento Portland

**Anova: fator único**

**0%**

**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	6559,504565	2186,502	8,8633333
R-PE02	3	6545,495232	2181,832	1,12

**ANOVA**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	32,71023339	1	32,71023	6,5529683	0,062646263	7,708647
Dentro dos grupos	19,96666667	4	4,991667			
Total	52,67690006	5				

**Anova: fator único**

**6%**

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	6255,667234	2085,222	0,37
R-PE02	3	5996,312077	1998,771	3,4303127

## ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	11210,84963	1	11210,85	5899,9617	1,722E-07	7,708647
Dentro dos grupos	7,600625312	4	1,900156			
Total	11218,45026	5				

## Anova: fator único

10%

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	5999,4	1999,801543	0,000233333
R-PE02	3	5858,8	1952,939993	1E-04

## ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	3294,01	1	3294,007311	19764043,87	1,536E-14	7,708647
Dentro dos grupos	0,00067	4	0,000166667			
Total	3294,01	5				

## Anova: fator único

14%

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	5846,7	1948,887105	1E-04
R-PE02	3	5730,6	1910,205665	0,000463

## ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	2244,38	1	2244,38069	7972933,178	9,439E-14	7,708647
Dentro dos grupos	0,00113	4	0,0002815			

---

---

Total

2244,38

5

---

---

## APÊNDICE D

- Massa específica (g/cm<sup>3</sup>).

		Substituição do agregado miúdo			
		0%	5%	10%	20%
Resíduo	Substituição				
	R-PP01	1,81	1,71	1,64	1,57
		1,83	1,71	1,69	1,60
		1,82	1,74	1,66	1,61

<b>R-PE01</b>	1,81	1,81	1,69	1,56
	1,82	1,74	1,65	1,53
	1,81	1,78	1,67	1,55

Substituição do agregado miúdo

<b>Resíduo</b>	<b>Substituição</b>			
	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>R-PP02</b>	1,81	1,71	1,65	1,54
	1,83	1,67	1,63	1,53
	1,81	1,69	1,71	1,53
<b>R-PE02</b>	1,81	1,65	1,52	1,52
	1,83	1,68	1,52	1,51
	1,80	1,63	1,50	1,49

Substituição do cimento Portland

<b>Resíduo</b>	<b>Substituição</b>			
	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>R-PP02</b>	1,82	1,68	1,66	1,65
	1,84	1,68	1,67	1,65
	1,81	1,66	1,67	1,66
<b>R-PE02</b>	1,82	1,71	1,66	1,65
	1,83	1,70	1,66	1,64
	1,82	1,66	1,67	1,66

- **Análise de variância.**

Substituição do agregado miúdo

---

**Anova: fator único**

0%

## RESUMO

---

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP01	3	5,44898	1,816326531	0,000104123
R-PE01	3	5,438776	1,81292517	6,07386E-05

---

## ANOVA

---

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	1,73539E-05	1	1,73539E-05	0,210526316	0,670179973	7,708647422
Dentro dos grupos	0,000329724	4	8,24309E-05			
Total	0,000347078	5				

---

**Anova: fator único**

5%

## RESUMO

---

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP01	3	5,168367	1,722789116	0,000373108
R-PE01	3	5,326531	1,775510204	0,00127551

---

## ANOVA

---

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	0,00416927	1	0,00416927	5,057894737	0,087744604	7,708647422
Dentro dos grupos	0,003297237	4	0,000824309			
Total	0,007466507	5				

---

**Anova: fator único**

10%

## RESUMO

---

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP01	3	4,994898	1,664965986	0,00079
R-PE01	3	5,010204	1,670068027	0,000529

---

## ANOVA

---

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
--------------------------	-----------	-----------	-----------	----------	----------------	------------------

---

Entre grupos	3,90462E-05	1	3,90462E-05	0,059211	0,81971768	7,708647422
Dentro dos grupos	0,00263779	4	0,000659447			
Total	0,002676836	5				

**Anova: fator único**

**20%**

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP01	3	4,785714	1,595238095	0,000451
R-PE01	3	4,632653	1,544217687	0,000269

ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	0,003904623	1	0,003904623	10,84337	0,030132594	7,708647422
Dentro dos grupos	0,001440372	4	0,000360093			
Total	0,005344995	5				

Substituição do agregado miúdo

**Anova: fator único**

**0%**

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	5,43877551	1,81292517	0,000138831
R-PE02	3	5,433673469	1,81122449	0,000182216

ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	4,33847E-06	1	4,33847E-06	0,027027027	0,87739012	7,708647
Dentro dos grupos	0,000642094	4	0,000160523			
Total	0,000646432	5				

**Anova: fator único**

**5%**

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	5,076530612	1,692176871	0,000321047
R-PE02	3	4,959183673	1,653061224	0,000806955

ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	0,002295051	1	0,002295051	4,069230769	0,1138561	7,708647
Dentro dos grupos	0,002256004	4	0,000564001			
Total	0,004551055	5				

**Anova: fator único**

**10%**

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	4,994898	1,664965986	0,001570526
R-PE02	3	4,535714	1,511904762	0,0001128

ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	0,035141608	1	0,035141608	41,75257732	0,002954	7,708647
Dentro dos grupos	0,003366653	4	0,000841663			
Total	0,03850826	5				

**Anova: fator único**

**20%**

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	4,596939	1,532312925	6,07386E-05
R-PE02	3	4,515306	1,505102041	0,000182216

ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	0,001110648	1	0,001110648	9,142857143	0,039021	7,708647
Dentro dos grupos	0,000485909	4	0,000121477			
Total	0,001596557	5				

**Anova: fator único****0%**

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	5,459183673	1,819727891	0,000242954
R-PE02	3	5,459183673	1,819727891	3,47078E-05

## ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	1,0842E-19	1	1,0842E-19	7,80951E-16	1,000	7,708647
Dentro dos grupos	0,000555324	4	0,000138831			
Total	0,000555324	5				

**Anova: fator único****6%**

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	5,030612245	1,676870748	0,000138831
R-PE02	3	5,066326531	1,68877551	0,000728863

## ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	0,000212585	1	0,000212585	0,49	0,52250017	7,708647
Dentro dos grupos	0,001735388	4	0,000433847			
Total	0,001947973	5				

**Anova: fator único****10%**

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R-PP02	3	5	1,666666667	6,07386E-05
R-PE02	3	4,989796	1,663265306	2,60308E-05

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,73539E-05	1	1,73539E-05	0,4	0,561438	7,708647
Dentro dos grupos	0,000173539	4	4,33847E-05			
Total	0,000190893	5				

**Anova: fator único**  
14%

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
R-PP02	3	4,959184	1,653061224	2,60308E-05
R-PE02	3	4,94898	1,649659864	6,07386E-05

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,73539E-05	1	1,73539E-05	0,4	0,561438	7,708647
Dentro dos grupos	0,000173539	4	4,33847E-05			
Total	0,000190893	5				

## APÊNDICE E

• **Absorção de água por capilaridade (g/cm<sup>2</sup>).**

**R-PP01 CPII F - 32**

<b>0%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	354	357	359	361	363	365
CPII (g)	361	363	366	369	371	373
CPIII (g)	353	355	357	359	362	365
Média (g)	356	358	361	363	365	368
g/cm <sup>2</sup>	0	0,12	0,24	0,36	0,48	0,59
Área	19,625					

<b>5%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	335	338	339	341	344	345
CPII (g)	336	339	339	348	348	352
CPIII (g)	342	344	348	348	350	353
Média (g)	338	340	342	346	347	350
g/cm <sup>2</sup>		0,14	0,22	0,41	0,49	0,63
Área	19,625					

<b>10%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	321	323	325	330	332	335
CPII (g)	332	338	340	345	347	349
CPIII (g)	326	330	333	337	339	342
Média (g)	326	330	333	337	339	342
g/cm <sup>2</sup>		0,2038	0,3227	0,5605	0,6624	0,798
Área	19,625					

<b>20%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	308	312	314	321	324	332
CPII (g)	314	319	322	331	336	341
CPIII (g)	316	320	324	329	332	339
Média (g)	312,7	317,0	320,0	327,0	330,7	337,3
g/cm <sup>2</sup>		0,2208	0,3737	0,7304	0,9172	1,257
Área	19,625					

**R-PE01 CPII F - 32**

<b>0%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	354	357	359	361	363	365
CPII (g)	361	363	366	369	371	373
CPIII (g)	353	355	357	359	362	365
Média (g)	358	360	363	365	367	369
g/cm <sup>2</sup>		0,13	0,25	0,38	0,48	0,59

Área	19,625					
<b>5%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	355	358	362	364,000	366	369
CPII (g)	341	346	347	357	362	368
CPIII (g)	348	352	353	361	365	368
Média (g)	348	352,000	354,500	360,5	364	368,500
g/cm <sup>2</sup>		0,2038	0,3312	0,6369	0,8153	1,0446
Área	19,625					
<b>10%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	332	332	337	341	347	352
CPII (g)	323	340	336	349	348	351
CPIII (g)	327	328	364	338	342	347
Média (g)	328	336	337	345	348	352
g/cm <sup>2</sup>		0,43	0,46	0,89	1,02	1,22
Área	19,625					
<b>20%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	305	314	318	328	332	343
CPII (g)	299	310	315	327	334	341
CPIII (g)	304	311	316	326	332	340
Média (g)	302	312	317	328	333	342
g/cm <sup>2</sup>		0,51	0,74	1,30	1,58	2,04
Área	19,625					

#### R-PP02 CPI - 32 (substituição do agregado miúdo)

<b>0%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	354	358	359	360	361	363
CPII (g)	361	362	364	366	368	370
CPIII (g)	353	354	355	357	357	358
Média (g)	358	360	362	363	365	367
g/cm <sup>2</sup>		0,13	0,20	0,28	0,36	0,46
Área	19,625					
<b>5%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	335	336	340	342	344	347
CPII (g)	328	335	336	339	342	346
CPIII (g)	332	334	337	341	345	347
Média (g)	332	335	338	341	344	347
g/cm <sup>2</sup>		0,17	0,31	0,46	0,61	0,76
Área	19,625					

<b>10%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	324	326	328	330	332	336
CPII (g)	320	322	326	329	333	335
CPIII (g)	335	337	340	342	345	348
Média (g)	326	328	331	334	337	340
g/cm <sup>2</sup>		0,10	0,25	0,37	0,53	0,68
Área	19,625					
<b>20%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	302	303	307	309	310	312
CPII (g)	300	303	305	307	311	315
CPIII (g)	299	302	305	307	314	318
Média (g)	301	303	306	308	311	314
g/cm <sup>2</sup>		0,10	0,25	0,36	0,48	0,64
Área	19,625					

#### R-PE02 CPI - 32 (substituição do agregado miúdo)

<b>0%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	354	358	359	360	361	363
CPII (g)	361	362	364	366	368	370
CPIII (g)	353	354	355	357	357	358
Média (g)	358	358	359	361	362	364
g/cm <sup>2</sup>		0,025	0,09	0,18	0,23	0,31
Área	19,625					
<b>5%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	304	310	325	327	332	334
CPII (g)	306	312	322	334	336	335
CPIII (g)	303	313	320	326	330	332
Média (g)	304	312	322	329	333	334
g/cm <sup>2</sup>		0,37	0,92	1,26	1,44	1,49
Área	19,625					
<b>10%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	323	328	340	345	349	351
CPII (g)	330	336	341	347	351	352
CPIII (g)	319	324	339	348	351	354
Média (g)	324	329	340	347	350	352
g/cm <sup>2</sup>		0,27	0,82	1,15	1,34	1,44
Área	19,625					
<b>20%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	297	301	306	308	312	316

CPII (g)	298	301	305	308	311	315
CPIII (g)	294	296	299	304	309	315
Média (g)	296	299	303	307	311	315
g/cm <sup>2</sup>		0,15	0,36	0,53	0,73	0,97
Área	19,625					

#### R-PP02 CP I - 32 (substituição do cimento)

<b>0%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	354	358	359	360	361	363
CPII (g)	361	362	364	366	368	370
CPIII (g)	353	354	355	357	357	358
Média (g)	356	358	359	361	362	364
g/cm <sup>2</sup>		0,10	0,17	0,25	0,31	0,39
Área	19,625					

<b>6%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	328	333	338	343	348	352
CPII (g)	327	331	336	340	347	351
CPIII (g)	327	324	329	335	339	343
Média (g)	327	329	334	339	345	349
g/cm <sup>2</sup>		0,10	0,36	0,61	0,88	1,09
Área	19,625					

<b>10%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	338	340	343	348	353	357
CPII (g)	337	339	343	349	354	356
CPIII (g)	335	336	342	348	353	357
Média (g)	337	338	343	348	353	357
g/cm <sup>2</sup>		0,08	0,31	0,59	0,85	1,02
Área	19,625					

<b>14%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	328	328	332	336	339	344
CPII (g)	330	331	334	338	342	345
CPIII (g)	335	337	339	341	343	346
Média (g)	331	332	335	338	341	345
g/cm <sup>2</sup>		0,05	0,20	0,37	0,53	0,71
Área	19,625					

#### R-PE02 CPI (susbtuição do cimento)

<b>0%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	353	358	359	360	361	363

CPII (g)	360	362	364	366	368	370
CPIII (g)	352	354	355	357	357	358
Média (g)	355	358	359	361	362	364
g/cm <sup>2</sup>		0,153	0,221	0,306	0,357	0,442
Área	19,625					
<b>6%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	338	342	345	349	352	355
CPII (g)	337	347	351	358	361	363
CPIII (g)	339	346	350	355	358	361
Média (g)	338	345	349	354	357	360
g/cm <sup>2</sup>		0,36	0,54	0,82	0,97	1,10
Área	19,625					
<b>10%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	329	337	339	346	348	352
CPII (g)	329	336	339	344	348	351
CPIII (g)	334	336	340	343	347	349
Média (g)	331	336	339	344	348	351
g/cm <sup>2</sup>		0,29	0,44	0,70	0,87	1,02
Área	19,625					
<b>14%</b>	0	3hs	6hs	24hs	48hs	72hs
CPI (g)	325	329	332	338	340	342
CPII (g)	327	331	334	338	341	346
CPIII (g)	329	333	336	342	345	348
Média (g)	327	331	334	339	342	345
g/cm <sup>2</sup>		0,20	0,36	0,63	0,76	0,93
Área	19,625					

## APÊNDICE F

- Absorção por imersão (%).

Substituição do agregado miúdo				
Substituição \ Resíduo	0%	5%	10%	20%
<b>R-PP01</b>	6,55	6,98	8,39	9,18
	6,59	7,35	7,02	8,60
	6,53	6,92	7,83	8,54
<b>R-PE01</b>	5,97	7,54	8,48	9,21
	5,46	6,55	8,13	9,35
	5,98	6,20	7,76	8,71

Substituição do agregado miúdo				
Substituição \ Resíduo	0%	5%	10%	20%
<b>R-PP02</b>	6,84	6,63	6,46	9,15
	5,46	5,68	6,48	9,43
	6,14	6,55	8,33	9,03
<b>R-PE02</b>	6,12	6,10	7,05	9,06
	5,17	5,17	6,31	9,03
	6,96	7,10	8,08	9,43

Substituição do cimento Portland				
Substituição \ Resíduo	0%	6%	10%	14%
<b>R-PP02</b>	5,33	7,04	7,90	7,19
	4,64	5,83	6,65	7,16
	3,75	7,06	6,47	7,78
<b>R-PE02</b>	4,68	5,81	6,87	7,12
	4,40	6,76	7,23	6,23
	4,64	6,73	7,16	7,72

- Análise de variância.

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	0%	5%	10%	20%	Total
<i>R-PP01</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	19,6771	21,2461	23,234	26,3202	90,47737465
Média	6,55902	7,08204	7,74465	8,77342	7,539781221
Variância	0,00082	0,05595	0,47318	0,12303	0,864701543
<i>R-PE01</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	17,4086	20,2861	24,3685	27,275	89,33821834
Média	5,80286	6,76204	8,12282	9,09168	7,444851529
Variância	0,08836	0,48113	0,13186	0,11465	1,875831181
<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	37,0856	41,5322	47,6024	53,5953	
Média	6,18094	6,92204	7,93374	8,93255	
Variância	0,2072	0,24555	0,28492	0,12546	

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Resíduos	0,05407	1	0,05407	0,29446	0,594853142	4,494
Substituições	25,8843	3	8,62809	46,9884	3,71066E-08	3,23887
Interações	1,32364	3	0,44121	2,40284	0,10561843	3,23887
Dentro	2,93795	16	0,18362			
Total	30,1999	23				

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	0%	5%	10%	20%	Total
<i>R-PP02</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	18,4377	18,8628	21,2764	27,6103	86,18710005
Média	6,14591	6,28759	7,09212	9,20342	7,182258338
Variância	0,47463	0,27665	1,15556	0,04144	1,981777395
<i>R-PE02</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	18,2514	18,3635	21,4401	27,5181	85,57307692
Média	6,08379	6,12117	7,14669	9,1727	7,131089744
Variância	0,79688	0,93318	0,78937	0,04896	2,181127007
<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	36,6891	37,2263	42,7164	55,1284	
Média	6,11485	6,20438	7,11941	9,18806	
Variância	0,50976	0,49224	0,77887	0,03645	

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Resíduos	0,01571	1	0,01571	0,02782	0,870	4,494
Substituições	36,7211	3	12,2404	21,6803	6,997E-06	3,23887
Interações	0,03751	3	0,0125	0,02214	0,995	3,23887
Dentro	9,03335	16	0,56458			
Total	45,8077	23				

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	0%	6%	10%	14%	Total
<i>R-PP02</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	13,7095	19,9279	21,0198	22,1342	76,79146159
Média	4,56984	6,64262	7,00662	7,37808	6,399288466
Variância	0,6268	0,49427	0,61001	0,12396	1,628087415
<i>R-PE02</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	13,7149	19,3038	21,2588	21,0682	75,34569195
Média	4,57162	6,4346	7,08626	7,02275	6,278807662
Variância	0,02281	0,28929	0,03754	0,55766	1,295193372
<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	27,4244	39,2317	42,2786	43,2025	
Média	4,57073	6,53861	7,04644	7,20041	
Variância	0,25984	0,32641	0,26092	0,31053	

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Resíduos	0,08709	1	0,08709	0,25223	0,622	4,494
Substituições	26,4547	3	8,81823	25,5385	2,437E-06	3,23887
Interações	0,17672	3	0,05891	0,1706	0,915	3,23887
Dentro	5,52468	16	0,34529			
Total	32,2432	23				

## APÊNDICE G

- Resistência a compressão axial (MPa).

Substituição do agregado miúdo – RPP01

Idade	Substituição	Substituição do agregado miúdo – RPP01			
		0%	5%	10%	20%
03 dias		13,19	13,47	8,85	6,73
		13,25	13,52	9,04	7,47
		13,96	13,56	9,17	7,72
07 dias		17,54	13,27	9,97	8,11
		17,39	13,37	10,07	8,81
		16,85	14,64	10,08	8,24
14 dias		18,45	14,81	11,38	8,55
		17,39	14,76	11,4	8,60
		18,23	14,96	11,84	9,48
28 dias		18,31	16,77	11,38	9,73
		18,56	16,63	12,67	9,29
		17,29	16,45	12,38	9,53
56 dias		19,13	17,63	14,89	12,33
		20,14	17,55	14,74	12,57
		19,67	17,74	15,28	12,40

Substituição do agregado miúdo – RPE01

Idade	Substituição	Substituição do agregado miúdo – RPE01			
		0%	5%	10%	20%
03 dias		13,75	13,21	8,54	7,29
		13,56	13,29	8,45	7,59
		13,12	13,39	8,68	7,93
07 dias		17,65	13,57	9,40	8,58
		17,19	13,21	10,45	8,62
		16,89	14,53	10,55	8,67
14 dias		18,36	14,99	11,65	8,60
		17,20	14,70	10,57	8,87
		18,12	14,40	10,71	9,70
28 dias		18,65	15,66	11,72	9,31
		18,12	16,86	12,40	9,04
		17,19	17,55	12,47	9,63
56 dias		21,89	15,99	14,65	12,31
		21,15	17,70	14,57	12,04
		22,79	16,40	15,71	12,63

Substituição do agregado miúdo – RPP02

Idade	Substituição	Substituição do agregado miúdo – RPP02			
		0%	5%	10%	20%
03 dias		13,56	9,21	9,88	8,85
		13,02	10,71	8,45	7,81
		12,92	10,32	9,57	7,13

<b>07 dias</b>	16,13	10,86	11,84	9,58
	16,53	12,09	10,76	8,60
	16,35	11,06	10,71	8,16
<b>14 dias</b>	17,59	14,12	12,70	12,24
	17,10	14,60	12,12	12,61
	17,45	15,03	11,96	11,68
<b>28 dias</b>	18,97	15,45	15,33	12,57
	18,13	15,58	15,30	12,78
	18,71	16,27	15,49	12,20
<b>56 dias</b>	21,57	16,58	15,04	13,20
	21,33	16,45	16,33	13,11
	20,67	16,02	16,34	12,53

Substituição do agregado miúdo – REP02

<b>Idade</b>	<b>Substituição</b>			
	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>03 dias</b>	13,87	10,48	7,34	6,90
	12,95	10,45	7,68	7,08
	13,29	10,94	7,31	6,91
<b>07 dias</b>	17,65	11,70	9,98	9,17
	17,19	12,06	9,53	9,25
	17,38	12,22	9,58	9,10
<b>14 dias</b>	18,69	16,39	11,60	9,56
	18,23	16,02	11,27	9,53
	18,61	16,46	10,86	9,98
<b>28 dias</b>	19,82	19,48	16,56	10,81
	19,93	19,95	17,30	11,09
	19,76	19,90	17,59	11,24
<b>56 dias</b>	21,19	20,43	19,56	12,20
	21,46	20,54	19,45	11,76
	21,37	20,90	19,35	12,13

Substituição do cimento Portland– RPP02

<b>Idade</b>	<b>Substituição</b>			
	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>03 dias</b>	13,56	10,81	10,86	10,03
	13,02	10,62	10,60	10,35
	12,92	10,61	10,51	11,50
<b>07 dias</b>	17,59	13,09	11,40	11,70
	17,10	13,12	11,14	11,45
	17,45	13,83	11,61	11,65
<b>14 dias</b>	18,13	15,12	12,81	11,75
	18,53	14,71	12,09	11,79
	18,35	15,48	12,24	11,73
<b>28 dias</b>	18,97	16,95	14,63	12,99
	18,13	16,90	14,55	12,70

	18,71	16,63	14,74	12,40
<b>56 dias</b>	21,57	19,27	15,85	13,66
	21,33	19,86	15,40	13,86
	19,67	19,84	15,17	13,55

Substituição do cimento Portland - RPE02

<b>Idade</b>	<b>Substituição</b>	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
	<b>03 dias</b>		12,87	10,89	7,11
		12,95	10,22	7,86	7,48
		13,29	10,04	7,27	7,24
<b>07 dias</b>		17,32	11,12	9,42	8,17
		17,39	11,52	9,57	8,55
		17,76	11,75	9,37	8,94
<b>14 dias</b>		18,65	12,65	10,61	10,86
		18,90	12,57	10,40	10,60
		18,38	12,71	10,63	10,51
<b>28 dias</b>		19,69	13,12	13,81	12,40
		19,23	13,50	13,29	12,14
		19,61	13,57	13,61	12,61
<b>56 dias</b>		21,32	18,60	15,09	13,03
		21,51	18,87	15,12	13,85
		21,66	18,70	15,85	13,50

- **Análise de Variância.**

**3 dias**

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	40,4	13,46666667	0,183433333
0,05	3	40,55	13,51666667	0,002033333
0,1	3	27,06	9,02	0,0259
0,2	3	21,92	7,306666667	0,265033333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	89,5804	3	29,86014167	250,7148755	3,006E-08	4,06618
Dentro dos grupos	0,9528	8	0,1191			
Total	90,5332	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>0%</b>		0,9978	1,26E-06	7,18E-08
<b>5%</b>	0,2509		1,15E-06	6,70E-08
<b>10%</b>	22,32	22,57		0,001332
<b>20%</b>	30,92	31,17	8,599	

**7 dias**

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	51,78	17,26	0,1317
0,05	3	41,28	13,76	0,5833
0,1	3	30,116	10,03866667	0,003545333
0,2	3	25,16	8,386666667	0,138633333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	141,438	3	47,14595911	220,0052845	5,038E-08	4,06618
Dentro dos grupos	1,71436	8	0,214294667			

Total 143,152 11

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		6,98E-05	2,48E-07	4,06E-08
5%	13,09		4,46E-05	2,81E-06
10%	27,01	13,92		0,01017
20%	33,2	20,1	6,186	

**14 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	54,07	18,02333333	0,312933333
0,05	3	44,53	14,84333333	0,010833333
0,1	3	34,62	11,54	0,0676
0,2	3	26,63	8,876666667	0,273633333

**ANOVA**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	142,06	3	47,35349722	284,833066	1,815E-08	4,06618
Dentro dos grupos	1,33	8	0,16625			
Total	143,39	11				

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		5,55E-05	2,07E-07	1,66E-08
5%	13,51		4,19E-05	4,39E-07
10%	27,54	14,03		0,0002012
20%	38,85	25,35	11,31	

**28 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	54,16	18,05333333	0,452633333
0,05	3	49,85	16,61666667	0,025733333
0,1	3	36,43	12,14333333	0,458033333
0,2	3	28,55	9,516666667	0,048533333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	140,39	3	46,79671944	190,0503023	8,972E-08	4,06618
Dentro dos grupos	1,96987	8	0,2462333333			
Total	142,36	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>0%</b>		3,09E-02	2,31E-06	9,99E-08
<b>5%</b>	5,015		1,89E-05	5,33E-07
<b>10%</b>	20,63	15,61		0,000868
<b>20%</b>	29,8	24,78	9,168	

## 56 dias

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	58,94	19,64666667	0,2554333333
0,05	3	52,92	17,64	0,0091
0,1	3	44,91	14,97	0,0777
0,2	3	37,3	12,43333333	0,0152333333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	88,9523	3	29,65076389	331,7877347	9,914E-09	4,06618
Dentro dos grupos	0,71493	8	0,089366667			
Total	89,6672	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>0%</b>		1,66E-04	2,41E-07	1,17E-08
<b>5%</b>	11,63		2,02E-05	8,93E-08
<b>10%</b>	27,1	15,47		2,97E-05
<b>20%</b>	41,79	30,17	14,7	

**3 dias**

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	40,43	13,47666667	0,104433333
0,05	3	39,89	13,29666667	0,008133333
0,1	3	25,67	8,556666667	0,013433333
0,2	3	22,81	7,603333333	0,102533333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	85,894	3	28,63133333	501,1318553	1,928E-09	4,06618
Dentro dos grupos	0,45707	8	0,057133333			
Total	86,3511	11				

## Tukey test

	0%	5%	10%	20%
0%		0,7942	2,57E-08	1,07E-08
5%	1,304		3,22E-08	1,25E-08
10%	35,65	34,35		0,005326
20%	42,56	41,26	6,908	

**7 dias**

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	51,73	17,24333333	0,146533333
0,05	3	41,31	13,77	0,4656
0,1	3	30,4	10,13333333	0,405833333
0,2	3	25,87	8,623333333	0,002033333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	134,186	3	44,72854167	175,4060458	1,230E-07	4,06618
Dentro dos grupos	2,04	8	0,255			
Total	136,226	11				

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		1,39E-04	6,12E-07	1,07E-07
5%	11,91		9,96E-05	7,49E-06
10%	24,39	12,47		0,02635
20%	29,57	17,65	5,179	

**14 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	53,68	17,89333333	0,374933333
0,05	3	44,09	14,69666667	0,087033333
0,1	3	32,93	10,97666667	0,344933333
0,2	3	27,17	9,056666667	0,328633333

**ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	139,11	3	46,37000833	163,3417777	1,628E-07	4,06618
Dentro dos grupos	2,27107	8	0,283883333			
Total	141,381	11				

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		0,0003668	1,19E-06	1,40E-07
5%	10,39		0,0001247	5,62E-06
10%	22,48	12,09		0,009661
20%	28,73	18,33	6,242	

**28 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	53,96	17,98666667	0,546233333
0,05	3	50,07	16,69	0,9147
0,1	3	36,09	12,03	0,6213
0,2	3	27,98	9,326666667	0,087233333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	146,551	3	48,85027778	90,06873169	1,6632E-06	4,06618
Dentro dos grupos	4,33893	8	0,542366667			
Total	150,89	11				

## Tukey test

	0%	5%	10%	20%
0%		1,50E-01	2,21E-05	1,03E-06
5%	3,425		0,0001427	3,60E-06
10%	15,29	11,87		0,003004
20%	22,88	19,45	7,581	

## 56 dias

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	65,83	21,94333333	0,674533333
0,05	3	50,09	16,69666667	0,797033333
0,1	3	44,93	14,97666667	0,404933333
0,2	3	36,98	12,32666667	0,087233333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	148,215	3	49,40500833	100,6348622	1,081E-06	4,06618
Dentro dos grupos	3,92747	8	0,490933333			
Total	152,142	11				

## Tukey test

	0%	5%	10%	20%
0%		7,49E-05	9,02E-06	7,57E-07
5%	12,97		0,06591	0,0002793
10%	17,22	4,252		0,007304
20%	23,77	10,8	6,551	

**3 dias**

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	39,5	13,16666667	0,118533333
0,05	3	30,24	10,08	0,6057
0,1	3	27,9	9,3	0,5659
0,2	3	23,79	7,93	0,7504

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	44,2568	3	14,752275	28,91846903	0,0001	4,06618
Dentro dos grupos	4,08107	8	0,510133333			
Total	48,3379	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>0%</b>		0,003253	0,0007454	8,74E-05
<b>5%</b>	7,485		0,567	0,02548
<b>10%</b>	9,377	1,892		0,1656
<b>20%</b>	12,7	5,214	3,322	

**7 dias**

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	49,01	16,33666667	0,040133333
0,05	3	34,01	11,33666667	0,435633333
0,1	3	33,31	11,10333333	0,407633333
0,2	3	26,34	8,78	0,5284

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	91,1099	3	30,36996389	86,04607987	1,985E-06	4,06618
Dentro dos grupos	2,8236	8	0,35295			

Total 93,9335 11

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		0,00003157	0,0000224500	1,39E-06
5%	14,58		0,9612	0,00334
10%	15,26	0,6803		0,005993
20%	22,03	7,454	6,774	

**14 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	52,14	17,38	0,0637
0,05	3	43,75	14,58333333	0,207233333
0,1	3	36,78	12,26	0,1516
0,2	3	36,53	12,17666667	0,219233333

**ANOVA**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	54,2305	3	18,07682222	112,6691252	6,967E-07	4,06618
Dentro dos grupos	1,28353	8	0,160441667			
Total	55,514	11				

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		0,0001247	1,34E-06	1,18E-06
5%	12,09		0,0004642	0,0003631
10%	22,14	10,05		0,9937
20%	22,5	10,41	0,3603	

**28 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	55,81	18,60333333	0,184933333
0,05	3	47,3	15,76666667	0,194233333
0,1	3	46,12	15,37333333	0,010433333

0,2      3      37,55    12,51666667    0,086233333

**ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	55,8036	3	18,60121111	156,3674489	1,932E-07	4,06618
Dentro dos grupos	0,95167	8	0,118958333			
<b>Total</b>	<b>56,7553</b>	<b>11</b>				

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		0,00003748	0,00001417	0,00000008
5%	14,25		0,5347	0,00001353
10%	16,22	1,975		0,00003557
20%	30,57	16,32	14,35	

**56 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	63,57	21,19	0,2172
0,05	3	49,05	16,35	0,0859
0,1	3	47,71	15,90333333	0,559033333
0,2	3	38,84	12,94666667	0,132233333

**ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	104,888	3	34,96276389	140,6433464	2,92828E-07	4,06618
Dentro dos grupos	1,98873	8	0,248591667			
<b>Total</b>	<b>106,877</b>	<b>11</b>				

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		1,08E-05	5,55E-06	1,44E-07
5%	16,81		0,701	0,0001468
10%	18,37	1,552		0,000398
20%	28,64	11,82	10,27	

**3 dias**

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	40,11	13,37	0,2164
0,05	3	31,89	10,63	0,0721
0,1	3	22,33	7,443333333	0,042233333
0,2	3	20,89	6,963333333	0,010233333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	80,631	3	26,87701111	315,3036791	1,213E-08	4,06618
Dentro dos grupos	0,68193	8	0,085241667			
Total	81,313	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>0%</b>		1,42E-05	2,87E-08	1,89E-08
<b>5%</b>	16,22		4,70E-06	1,62E-06
<b>10%</b>	34,99	18,77		0,2628
<b>20%</b>	37,82	21,61	2,834	

**7 dias**

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	52,22	17,40666667	0,053433333
0,05	3	35,98	11,99333333	0,070933333
0,1	3	29,09	9,696666667	0,060833333
0,2	3	27,17	9,056666667	0,000133333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	129,584	3	43,19476667	932,2611511	1,627E-10	4,06618
Dentro dos grupos	0,37067	8	0,046333333			

Total 129,955 11

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		1,02E-08	7,55E-10	3,65E-10
5%	42,93		5,92E-06	1,24E-06
10%	61,14	18,21		0,07297
20%	65,29	22,36	4,15	

**14 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	55,53	18,51	0,0604
0,05	3	48,87	16,29	0,0559
0,1	3	33,73	11,24333333	0,137433333
0,2	3	29,07	9,69	0,0633

**ANOVA**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	155,225	3	51,74173333	652,8238881	6,730E-10	4,06618
Dentro dos grupos	0,63407	8	0,079258333			
Total	155,859	11				

**Tukey test**

	0%	5%	10%	20%
0%		5,12E-05	8,27E-09	2,26E-09
5%	13,66		6,92E-08	1,35E-08
10%	44,71	31,05		0,0006549
20%	54,26	40,61	9,557	

**28 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	59,51	19,83666667	0,007433333
0,05	3	59,33	19,77666667	0,066633333
0,1	3	51,45	17,15	0,2821
0,2	3	33,14	11,04666667	0,047633333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	153,637	3	51,21220833	507,3027076	1,836E-09	4,06618
Dentro dos grupos	0,8076	8	0,10095			
Total	154,444	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>0%</b>		9,95E-01	3,05E-05	5,51E-09
<b>5%</b>	0,3271		3,61E-05	5,75E-09
<b>10%</b>	14,65	14,32		3,99E-08
<b>20%</b>	47,92	47,59	33,27	

## 56 dias

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	64,02	21,34	0,0189
0,05	3	61,87	20,62333333	0,060433333
0,1	3	58,36	19,45333333	0,011033333
0,2	3	36,09	12,03	0,0559

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	165,802	3	55,26734444	1511,413248	2,36632E-11	4,06618
Dentro dos grupos	0,29253	8	0,036566667			
Total	166,095	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>
<b>0%</b>		7,70E-03	9,56E-06	7,11E-12
<b>5%</b>	6,491		0,0003197	3,03E-11
<b>10%</b>	17,09	10,6		2,55E-10
<b>20%</b>	84,33	77,84	67,24	

**3 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	39,5	13,16666667	0,118533333
0,06	3	32,04	10,68	0,0127
0,1	3	31,97	10,65666667	0,033033333
0,14	3	31,88	10,62666667	0,597633333

**ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	14,2046	3	4,734875	24,85824911	0,000208227	4,06618
Dentro dos grupos	1,5238	8	0,190475			
Total	15,7284	11				

**Tukey test**

	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>0%</b>		0,0005252	0,0004924	4,54E-04
<b>6%</b>	9,869		0,9999	0,9987
<b>10%</b>	9,961	0,0926		0,9998
<b>14%</b>	10,08	0,2117	0,1191	

**7 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	52,14	17,38	0,0637
0,06	3	40,04	13,34666667	0,175433333
0,1	3	34,15	11,38333333	0,055433333
0,14	3	34,8	11,6	0,0175

**ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	69,4415	3	23,14716389	296,695115	1,544E-08	4,06618
Dentro dos grupos	0,62413	8	0,078016667			
Total	70,0656	11				

Tukey test				
	0%	6%	10%	14%
0%		4,93E-07	2,05E-08	2,49E-08
6%	25,01		0,0001187	0,0002742
10%	37,19	12,17		0,78
14%	35,84	10,83	1,344	

**14 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	55,01	18,33666667	0,040133333
0,06	3	45,31	15,10333333	0,148433333
0,1	3	37,14	12,38	0,1443
0,14	3	35,25	11,75	0,0012

**ANOVA**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	81,2841	3	27,09469722	324,4226369	1,084E-08	4,06618
Dentro dos grupos	0,66813	8	0,083516667			
Total	81,9522	11				

Tukey test				
	0%	6%	10%	14%
0%		3,69E-06	2,54E-08	1,54E-08
6%	19,39		1,35E-05	2,85E-06
10%	35,72	16,33		0,1101
14%	39,45	20,07	3,737	

**28 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	55,81	18,60333333	0,184933333
0,06	3	50,48	16,82666667	0,029633333
0,1	3	43,92	14,64	0,0091
0,14	3	38,09	12,69666667	0,087033333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	59,5262	3	19,84205556	255,4497014	2,79197E-08	4,06618
Dentro dos grupos	0,6214	8	0,077675			
Total	60,1476	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>0%</b>		2,39E-04	5,62E-07	2,19E-08
<b>6%</b>	11,04		5,31E-05	3,93E-07
<b>10%</b>	24,63	13,59		0,0001259
<b>14%</b>	36,71	25,67	12,08	

## 56 dias

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	62,57	20,85666667	1,070533333
0,06	3	58,97	19,65666667	0,112233333
0,1	3	46,42	15,47333333	0,119633333
0,14	3	41,07	13,69	0,0247

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	103,547	3	34,51576389	104,033649	9,50443E-07	4,06618
Dentro dos grupos	2,6542	8	0,331775			
Total	106,201	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>0%</b>		1,25E-01	1,44E-05	1,65E-06
<b>6%</b>	3,608		9,36E-05	6,62E-06
<b>10%</b>	16,19	12,58		0,02206
<b>14%</b>	21,55	17,94	5,363	

Substituição do cimento Portland - RPE02

## 3 dias

Anova: fator único

### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	39,11	13,03666667	0,049733333
0,06	3	31,15	10,38333333	0,200633333
0,1	3	22,24	7,413333333	0,156033333
0,14	3	22,09	7,363333333	0,014433333

### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	66,5944	3	22,19814167	210,9922376	5,942E-08	4,06618
Dentro dos grupos	0,84167	8	0,105208333			
Total	67,4361	11				

### Tukey test

	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>0%</b>		3,90E-05	9,31E-08	8,60E-08
<b>6%</b>	14,17		1,68E-05	1,48E-05
<b>10%</b>	30,03	15,86		0,9974
<b>14%</b>	30,3	16,13	0,267	

### 7 dias

Anova: fator único

### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	52,47	17,49	0,0559
0,06	3	34,39	11,46333333	0,101633333
0,1	3	28,36	9,453333333	0,010833333
0,14	3	25,66	8,553333333	0,148233333

### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	145,568	3	48,52273333	613,0477995	8,644E-10	4,06618
Dentro dos grupos	0,6332	8	0,07915			
Total	146,201	11				

Tukey test				
	0%	6%	10%	14%
0%		2,08E-08	4,48E-09	2,02E-09
6%	37,1		0,0001055	6,70E-06
10%	49,48	12,37		0,0186
14%	55,02	17,92	5,541	

**14 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	55,93	18,64333333	0,067633333
0,06	3	37,93	12,64333333	0,004933333
0,1	3	31,64	10,54666667	0,016233333
0,14	3	31,97	10,65666667	0,033033333

**ANOVA**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	130,273	3	43,42445278	1425,700228	2,9874E-11	4,06618
Dentro dos grupos	0,24367	8	0,030458333			
Total	130,517	11				

Tukey test				
	0%	6%	10%	14%
0%		9,86E-10	1,75E-11	2,22E-11
6%	59,55		2,16E-06	3,25E-06
10%	80,36	20,81		0,8649
14%	79,26	19,72	1,092	

**28 dias**

Anova: fator único

**RESUMO**

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
0	3	58,53	19,51	0,0604
0,06	3	40,19	13,39666667	0,058633333
0,1	3	40,71	13,57	0,0688
0,14	3	37,15	12,38333333	0,055433333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	94,4332	3	31,47772222	517,5838129	1,695E-09	4,06618
Dentro dos grupos	0,48653	8	0,060816667			
Total	94,9197	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>0%</b>		1,02E-08	1,18E-08	4,14E-09
<b>6%</b>	42,94		0,8245	0,004445
<b>10%</b>	41,72	1,217		0,001636
<b>14%</b>	50,05	7,117	8,334	

## 56 dias

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0	3	64,286	21,42866667	0,038785333
0,06	3	56,17	18,72333333	0,018633333
0,1	3	46,06	15,35333333	0,185233333
0,14	3	40,38	13,46	0,1693

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	112,779	3	37,59311022	365,0241797	6,789E-09	4,06618
Dentro dos grupos	0,8239	8	0,102988			
Total	113,603	11				

## Tukey test

	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>0%</b>		2,36E-05	3,74E-08	9,09E-09
<b>6%</b>	15,15		5,42E-06	1,38E-07
<b>10%</b>	33,58	18,42		0,0003773
<b>14%</b>	43,93	28,77	10,35	

**Anova: fator duplo com repetição**

RESUMO	03 dias	07 dias	14 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R-PP01 - 0%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	40,4	51,78	54,07	54,16	58,94	259,35
Média	13,4667	17,26	18,0233	18,0533	19,64666667	17,29
Variância	0,18343	0,1317	0,31293	0,45263	0,2554333333	4,75368571
<i>R-PE01 - 0%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	40,43	51,73	53,68	53,96	65,83	265,63
Média	13,4767	17,2433	17,8933	17,9867	21,9433333333	17,7086667
Variância	0,10443	0,14653	0,37493	0,54623	0,6745333333	8,01455524
<i>Total</i>						
Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	80,83	103,51	107,75	108,12	124,77	
Média	13,4717	17,2517	17,9583	18,02	20,795	
Variância	0,11518	0,11138	0,28022	0,40088	1,95439	

**ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	1,31461	1	1,31461	4,13037	0,055614196	4,3512435
Colunas	165,76	4	41,4399	130,2	5,08727E-14	2,8660814
Interações	6,62999	4	1,6575	5,20767	0,005	2,8660814
Dentro	6,3656	20	0,31828			
Total	180,07	29				

**Anova: fator duplo com repetição**

RESUMO	03 dias	07 dias	14 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R-PP01 - 5%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15

Soma	40,55	41,28	44,53	49,85	52,92	229,13
Média	13,5167	13,76	14,8433	16,6167	17,64	15,2753333
Variância	0,00203	0,5833	0,01083	0,02573	0,0091	2,8686981

*R-PE01 - 5%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	39,89	41,31	44,09	50,07	50,09	225,45
Média	13,2967	13,77	14,6967	16,69	16,69666667	15,03
Variância	0,00813	0,4656	0,08703	0,9147	0,797033333	2,51818571

*Total*

Contagem	6	6	6	6	6	6
Soma	80,44	82,59	88,62	99,92	103,01	
Média	13,4067	13,765	14,77	16,6533	17,16833333	
Variância	0,01859	0,41959	0,0456	0,37779	0,589416667	

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	0,45141	1	0,45141	1,55472	0,226845306	4,3512435
Colunas	68,6129	4	17,1532	59,0777	8,55197E-11	2,8660814
Interações	0,99649	4	0,24912	0,858	0,505780124	2,8660814
Dentro	5,807	20	0,29035			
Total	75,8678	29				

RESUMO

	03 dias	07 dias	14 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R-PP01 - 10%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	27,06	30,116	34,62	36,43	44,91	173,136
Média	9,02	10,0387	11,54	12,1433	14,97	11,5424
Variância	0,0259	0,00355	0,0676	0,45803	0,0777	4,53324354

*R-PE01 - 10%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	25,67	30,4	32,93	36,59	44,93	170,52
Média	8,55667	10,1333	10,9767	12,1967	14,97666667	11,368
Variância	0,01343	0,40583	0,34493	0,17163	0,404933333	5,18231714

*Total*

Contagem	6	6	6	6	6	6
----------	---	---	---	---	---	---

Soma	52,73	60,516	67,55	73,02	89,84
Média	8,78833	10,086	11,2583	12,17	14,97333333
Variância	0,08014	0,16644	0,26022	0,25272	0,193066667

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	0,22812	1	0,22812	1,15587	0,295124355	4,3512435
Colunas	131,483	4	32,8708	166,557	4,73531E-15	2,8660814
Interações	0,58769	4	0,14692	0,74446	0,573020627	2,8660814
Dentro	3,94709	20	0,19735			
Total	136,246	29				

RESUMO	03 dias	07 dias	14 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R-PP01 -20%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	21,92	25,16	26,63	28,55	37,3	139,56
Média	7,30667	8,38667	8,87667	9,51667	12,43333333	9,304
Variância	0,26503	0,13863	0,27363	0,04853	0,015233333	3,28831143

<i>R-PE01 - 20%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	22,81	25,87	27,17	27,98	36,98	140,81
Média	7,60333	8,62333	9,05667	9,32667	12,32666667	9,38733333
Variância	0,10253	0,00203	0,32863	0,08723	0,087233333	2,76946381

<i>Total</i>						
Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	44,73	51,03	53,8	56,53	74,28	
Média	7,455	8,505	8,96667	9,42167	12,38	
Variância	0,17343	0,07307	0,25063	0,06514	0,0444	

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	0,05208	1	0,05208	0,38616	0,541341256	4,3512435

Colunas	81,8276	4	20,4569	151,675	1,17034E-14	2,8660814
Interações	0,28377	4	0,07094	0,52599	0,717870501	2,8660814
Dentro	2,69747	20	0,13487			
Total	84,8609	29				

### Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	03 dias	07 dias	14 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R-PP02 - 0%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	39,5	49,01	52,14	55,81	63,57	260,03
Média	13,1666667	16,33666667	17,38	18,60333	21,19	17,3353
Variância	0,11853333	0,040133333	0,0637	0,184933	0,2172	7,55566
<i>R-PE02 - 0%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	40,11	52,22	55,53	59,51	64,02	271,39
Média	13,37	17,40666667	18,51	19,83667	21,34	18,0927
Variância	0,2164	0,053433333	0,0604	0,007433	0,0189	7,87988
<i>Total</i>						
Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	79,61	101,23	107,67	115,32	127,59	
Média	13,2683333	16,87166667	17,945	19,22	21,265	
Variância	0,14637667	0,380896667	0,43271	0,53328	0,10119	

### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	4,30165333	1	4,301653333	43,8467	1,896E-06	4,35124
Colunas	212,426853	4	53,10671333	541,3161	4,498E-20	2,86608
Interações	1,70848	4	0,42712	4,353629	0,011	2,86608
Dentro	1,96213333	20	0,098106667			
Total	220,39912	29				

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	03 dias	07 dias	14 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R-PP02 - 5%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	30,24	34,01	43,75	47,3	49,05	204,35
Média	10,08	11,33666667	14,58333333	15,76667	16,35	13,6233
Variância	0,6057	0,435633333	0,207233333	0,194233	0,0859	6,8043
<i>R-PE02 - 5%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	31,87	35,98	48,87	59,33	61,87	237,92
Média	10,62333333	11,99333333	16,29	19,77667	20,623333	15,8613
Variância	0,07543333	0,070933333	0,0559	0,066633	0,0604333	17,316
<i>Total</i>						
Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	62,11	69,99	92,62	106,63	110,92	
Média	10,3516667	11,665	15,43666667	17,77167	18,486667	
Variância	0,36101667	0,33199	0,979066667	4,928377	5,5369467	

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	37,56483	1	37,56483	202,1752	6,425E-12	4,35124
Colunas	314,561553	4	78,64038833	423,2453	5,123E-19	2,86608
Interações	19,4060867	4	4,851521667	26,11106	1,080E-07	2,86608
Dentro	3,71606667	20	0,185803333			
Total	375,248537	29				

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	03 dias	07 dias	14 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R-PP02 - 10%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	27,9	33,31	36,78	46,12	47,71	191,82
Média	9,3	11,10333333	12,26	15,37333	15,903333	12,788
Variância	0,5659	0,407633333	0,1516	0,010433	0,5590333	7,029

*R-PE02 - 10%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	22,33	29,09	33,73	51,45	58,36	194,96
Média	7,443333333	9,696666667	11,243333333	17,15	19,4533333	12,9973
Variância	0,042233333	0,060833333	0,137433333	0,2821	0,0110333	22,3067

*Total*

Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	50,23	62,4	70,51	97,57	106,07	
Média	8,371666667	10,4	11,75166667	16,26167	17,678333	
Variância	1,27741667	0,781	0,425696667	1,063977	4,0087767	

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	0,328653333	1	0,328653333	1,47495	0,2387116	4,35124
Colunas	373,244853	4	93,31121333	418,7677	5,69E-19	2,86608
Interações	32,9992133	4	8,249803333	37,02397	5,577E-09	2,86608
Dentro	4,45646667	20	0,222823333			
Total	411,029187	29				

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO      03 dias      07 dias      14 dias      28 dias      56 dias      Total  
*R-PP02 -20%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	23,79	26,34	36,53	37,55	38,84	163,05
Média	7,93	8,78	12,17666667	12,51667	12,946667	10,87
Variância	0,7504	0,5284	0,219233333	0,086233	0,1322333	4,90446

*R-PE02 - 20%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	20,89	27,52	29,07	33,14	36,09	146,71
Média	6,963333333	9,173333333	9,69	11,04667	12,03	9,78067
Variância	0,010233333	0,005633333	0,0633	0,047633	0,0559	3,23539

*Total*

Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	44,68	53,86	65,6	70,69	74,93	
Média	7,446666667	8,976666667	10,933333333	11,78167	12,488333	

Variância 0,58458667 0,260026667 1,968066667 0,701817 0,3273367

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	8,89985333	1	8,899853333	46,86106	1,185E-06	4,35124
Colunas	103,64858	4	25,912145	136,4372	3,245E-14	2,86608
Interações	6,51091333	4	1,627728333	8,5706	0,0003	2,86608
Dentro	3,7984	20	0,18992			
Total	122,857747	29				

**Anova: fator duplo com repetição**

RESUMO 03 dias 07 dias 14 dias 28 dias 56 dias Total

*R-PP02 - 0%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	39,5	52,14	55,01	55,81	62,57	265,03
Média	13,1667	17,38	18,3367	18,6033	20,8567	17,6687
Variância	0,11853	0,0637	0,04013	0,18493	1,07053	7,0328

*R-PE02 - 0%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	39,11	52,47	55,93	58,53	64,486	270,526
Média	13,0367	17,49	18,6433	19,51	21,4953	18,0351
Variância	0,04973	0,0559	0,06763	0,0604	0,02839	8,566

*Total*

Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	78,61	104,61	110,94	114,34	127,056	
Média	13,1017	17,435	18,49	19,0567	21,176	
Variância	0,07238	0,05147	0,07132	0,34475	0,56194	

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	1,00687	1	1,00687	5,78697	0,02594	4,35124

Colunas	213,881	4	53,4702	307,32	1,2E-17	2,86608
Interações	1,02261	4	0,25565	1,46936	0,249	2,86608
Dentro	3,47977	20	0,17399			
Total	219,39	29				

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	03 dias	07 dias	14 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R-PP02 - 6%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	32,04	40,04	45,31	50,48	58,97	226,84
Média	10,68	13,3467	15,1033	16,8267	19,6567	15,1227
Variância	0,0127	0,17543	0,14843	0,02963	0,11223	10,001
<i>R-PE02 - 6%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	31,15	34,39	37,93	40,19	56,17	199,83
Média	10,3833	11,4633	12,6433	13,3967	18,7233	13,322
Variância	0,20063	0,10163	0,00493	0,05863	0,01863	8,99727
<i>Total</i>						
Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	63,19	74,43	83,24	90,67	115,14	
Média	10,5317	12,405	13,8733	15,1117	19,19	
Variância	0,11174	1,17491	1,87683	3,56478	0,31368	

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	24,318	1	24,318	281,817	3E-13	4,35124
Colunas	255,085	4	63,7712	739,034	2,1E-21	2,86608
Interações	9,16585	4	2,29146	26,5554	#####	2,86608
Dentro	1,7258	20	0,08629			
Total	290,295	29				

Anova: fator duplo com repetição

<i>R-PP02 - 10%</i>						
Contagem	3	3	3	3	3	15

Soma	31,97	34,15	37,14	43,92	46,42	193,6
Média	10,6567	11,3833	12,38	14,64	15,4733	12,9067
Variância	0,03303	0,05543	0,1443	0,0091	0,11963	3,74864

*R-PE02 - 10%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	22,24	28,36	31,64	40,71	46,06	169,01
Média	7,41333	9,45333	10,5467	13,57	15,3533	11,2673
Variância	0,15603	0,01083	0,01623	0,0688	0,18523	8,77551

*Total*

Contagem	6	6	6	6	6	
Soma	54,21	62,51	68,78	84,63	92,48	
Média	9,035	10,4183	11,4633	14,105	15,4133	
Variância	3,23139	1,14398	1,07255	0,37463	0,12627	

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	20,1556	1	20,1556	252,376	8,3E-13	4,35124
Colunas	165,75	4	41,4374	518,854	6,8E-20	2,86608
Interações	7,99118	4	1,9978	25,0152	#####	2,86608
Dentro	1,59727	20	0,07986			
Total	195,494	29				

Anova: fator duplo com repetição

*R-PP02 - 14%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	31,88	34,8	35,27	38,09	41,07	181,11
Média	10,6267	11,6	11,7567	12,6967	13,69	12,074
Variância	0,59763	0,0175	0,00093	0,08703	0,0247	1,26525

*R-PE02 - 14%*

Contagem	3	3	3	3	3	15
Soma	22,09	25,66	31,97	37,15	40,38	157,25
Média	7,36333	8,55333	10,6567	12,3833	13,46	10,4833
Variância	0,01443	0,14823	0,03303	0,05543	0,1693	5,6229

*Total*

Contagem	6	6	6	6	6	
----------	---	---	---	---	---	--

Soma	53,97	60,46	67,24	75,24	81,45
Média	8,995	10,0767	11,2067	12,54	13,575
Variância	3,43963	2,85095	0,37659	0,08644	0,09347

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	18,9767	1	18,9767	165,268	4E-11	4,35124
Colunas	81,1754	4	20,2938	176,74	2,7E-15	2,86608
Interações	12,9622	4	3,24056	28,2222	5,7E-08	2,86608
Dentro	2,29647	20	0,11482			
Total	115,411	29				

## APÊNDICE H

- Módulo de elasticidade (GPa).

Substituição do agregado miúdo – RPP01

Idade	Substituição	0%	5%	10%	20%
	28 dias		24,12	21,55	19,12
		23,64	21,14	19,13	17,67
		23,11	20,69	19,49	17,25
56 dias		25,13	21,50	19,91	18,47
		25,66	21,93	19,71	18,81
		25,15	22,32	19,73	18,12

Substituição do agregado miúdo – RPE01

Idade	Substituição	0%	5%	10%	20%
	28 dias		23,57	19,15	18,33
		23,80	19,22	18,79	14,90
		23,49	19,55	18,21	15,13
56 dias		26,73	20,69	19,21	15,42
		25,98	20,97	18,85	15,05
		25,18	21,21	19,54	15,65

Substituição do agregado miúdo – RPP02

Idade	Substituição	0%	5%	10%	20%
	28 dias		24,39	22,69	20,66
		24,50	22,87	21,05	20,87
		24,56	22,31	21,39	21,05
56 dias		27,00	23,41	22,10	23,29
		27,13	23,92	23,35	22,77
		27,21	24,39	23,56	23,21

Substituição do agregado miúdo – REP02

Idade	Substituição	0%	5%	10%	20%
	28 dias		24,25	25,79	22,65
		23,99	25,11	23,24	18,85
		23,69	25,39	23,78	18,14
56 dias		26,54	26,95	25,26	19,47
		26,99	26,63	25,76	19,83
		27,41	27,26	26,21	20,15

Substituição do cimento Portland– RPP02

Substituição	0%	6%	10%	14%
--------------	----	----	-----	-----

<b>Idade</b>				
<b>28 dias</b>	23,39	23,80	19,91	17,66
	23,28	23,40	19,85	18,01
	22,82	23,97	20,04	18,32
<b>56 dias</b>	25,01	25,89	21,49	20,70
	25,70	26,12	21,45	20,79
	25,36	26,01	21,36	20,22

Substituição do cimento Portland - RPE02

<b>Idade</b>	<b>Substituição</b>	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>14%</b>
<b>28 dias</b>		24,30	19,25	18,20	18,51
		24,10	19,44	18,73	18,54
		23,95	19,09	19,21	18,32
<b>56 dias</b>		26,86	21,75	20,81	19,44
		26,55	21,97	20,66	19,50
		27,20	22,15	20,47	19,23

- **Análise de variância.**

Substituição do agregado miúdo – RPP01

**Anova: fator duplo com repetição**

RESUMO	0	0,05	0,1	0,2	Total
<i>28 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	70,865	63,38	57,7365	51,97	243,9515
Média	23,62167	21,12667	19,2455	17,32333	20,32929167
Variância	0,255158	0,185033	0,044846	0,100133	6,020739203
<i>56 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	75,94219	65,74987	59,35166	55,40208	256,4458085
Média	25,31406	21,91662	19,78389	18,46736	21,37048404
Variância	0,090219	0,168268	0,011576	0,120418	7,378865617
<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	146,8072	129,1299	117,0882	107,3721	
Média	24,46787	21,52165	19,51469	17,89535	
Variância	0,997414	0,328531	0,109527	0,480859	

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	6,504489	1	6,504489	53,33451	1,77192E-06	4,493998
Colunas	144,3185	3	48,10616	394,4535	3,32904E-15	3,238872
Interações	1,125861	3	0,375287	3,07722	0,058	3,238872
Dentro	1,951304	16	0,121956			
Total	153,9001	23				

Substituição do agregado miúdo – RPE01

**Anova: fator duplo com repetição**

RESUMO	0	0,05	0,1	0,2	Total
<i>28 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	70,86	57,92742	55,32495	44,66	228,7723752
Média	23,62	19,30914	18,44165	14,88667	19,0643646
Variância	0,0259	0,04465	0,093534	0,062633	10,58340157
<i>56 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	77,89065	62,87	57,6	46,12398	244,4846339
Média	25,96355	20,95667	19,2	15,37466	20,37371949
Variância	0,603683	0,067733	0,1191	0,090103	15,96581892
<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	148,7507	120,7974	112,925	90,78398	
Média	24,79178	20,1329	18,82083	15,13066	
Variância	1,899503	0,859256	0,257581	0,132536	

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	10,28646	1	10,28646	74,31494	2,076E-07	4,493998
Colunas	286,5835	3	95,52783	690,1446	3,9791E-17	3,238872
Interações	3,243247	3	1,081082	7,81032	0,002	3,238872
Dentro	2,214674	16	0,138417			
Total	302,3279	23				

Substituição do agregado miúdo – RPP02

**Anova: fator duplo com repetição**

RESUMO	0	0,05	0,1	0,2	Total
<i>28 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	73,445	67,87	63,095	62,58412	266,99412
Média	24,481667	22,62333	21,03167	20,86137	22,24951
Variância	0,0073583	0,081733	0,133358	0,038273	2,3744047
<i>56 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	81,335	71,72	69,01	69,27	291,335
Média	27,111667	23,90667	23,00333	23,09	24,277917
Variância	0,0111583	0,240233	0,623033	0,0784	3,2287884
<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	154,78	139,59	132,105	131,8541	
Média	25,796667	23,265	22,0175	21,97569	
Variância	2,0824767	0,62287	1,468798	1,536703	

**ANOVA**

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	24,686606	1	24,68661	162,74	8,439E-10	4,493998
Colunas	57,767494	3	19,25583	126,9391	2,290E-11	3,238872
Interações	1,4405349	3	0,480178	3,16545	0,0533	3,238872
Dentro	2,4270963	16	0,151694			
Total	86,321731	23				

Substituição do agregado miúdo – REP02

**Anova: fator duplo com repetição**

RESUMO	0	0,05	0,1	0,2	Total
<i>28 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	71,93	76,29	69,6659	56,51	274,3958973
Média	23,97667	25,43	23,22197	18,83667	22,86632478
Variância	0,078533	0,1168	0,31902	0,476233	6,771901681
<i>56 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	80,94427	80,84108	77,225	59,45237	298,4627117

Média	26,98142	26,94703	25,74167	19,81746	24,87189265
Variância	0,189571	0,100201	0,225758	0,115197	9,676529903

<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	152,8743	157,1311	146,8909	115,9624	
Média	25,47904	26,18851	24,48182	19,32706	
Variância	2,815808	0,777211	2,122579	0,525157	

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	24,13381	1	24,13381	119,0827	8,044E-09	4,493998
Colunas	173,8628	3	57,95426	285,9618	4,181E-14	3,238872
Interações	3,827327	3	1,275776	6,295018	0,005	3,238872
Dentro	3,24263	16	0,202664			
Total	205,0666	23				

Substituição do cimento Portland– RPP02

#### Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	0,06	0,1	0,14	Total
	23,39			
Contagem	3	3	3	9
Soma	71,17453	59,8	53,98912	184,9636
Média	23,72484	19,93333	17,99637	20,55152
Variância	0,084052	0,009433	0,109228	6,418521

<i>25,00837</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	78,02	64,3	61,70371	204,0237
Média	26,00667	21,43333	20,5679	22,6693
Variância	0,013233	0,004433	0,092764	6,43317

<i>Total</i>				
Contagem	6	6	6	
Soma	149,1945	124,1	115,6928	
Média	24,86575	20,68333	19,28214	
Variância	1,60093	0,680547	2,064627	

#### ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Amostra	20,18255	1	20,18255	386,7092	1,699E-10	4,747225
Colunas	101,2656	2	50,63278	970,1529	5,393E-14	3,885294
Interações	0,921678	2	0,460839	8,829937	0,00438603	3,885294
Dentro	0,626286	12	0,052191			
Total	122,9961	17				

Substituição do cimento Portland - RPE02

### Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	0	0,06	0,1	0,14	Total
<i>28 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	72,345	57,78303	56,135	55,365	241,6280281
Média	24,115	19,26101	18,71167	18,455	20,13566901
Variância	0,030925	0,030863	0,255158	0,013825	5,91083169
<i>56 dias</i>					
Contagem	3	3	3	3	12
Soma	80,60581	65,87551	61,94	58,16795	266,5892724
Média	26,8686	21,9585	20,64667	19,38932	22,2157727
Variância	0,106177	0,039402	0,029033	0,02017	8,807954387
<i>Total</i>					
Contagem	6	6	6	6	
Soma	152,9508	123,6585	118,075	113,5329	
Média	25,4918	20,60976	19,67917	18,92216	
Variância	2,329541	2,21105	1,236944	0,275482	

### ANOVA

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Amostra	25,96099	1	25,96099	395,1801	1,05063E-12	4,493998
Colunas	157,6026	3	52,53418	799,6792	1,23547E-17	3,238872
Interações	3,25299	3	1,08433	16,50575	3,73655E-05	3,238872
Dentro	1,051105	16	0,065694			
Total	187,8676	23				

**28 dias**

0%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP01	3	70,865	23,62166667	0,255158333
R - PE01	3	70,86	23,62	0,0259

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,16667E-06	1	4,16667E-06	2,96498E-05	0,996	7,708647422
Dentro dos grupos	0,562116667	4	0,140529167			
Total	0,562120833	5				

5%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP01	3	63,38	21,12666667	0,185033333
R - PE01	3	57,92742071	19,30914024	0,044650024

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,955103481	1	4,955103481	43,14725758	0,003	7,708647422
Dentro dos grupos	0,459366714	4	0,114841678			
Total	5,414470195	5				

10%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP01	3	57,7365	19,2455	0,04484575
R - PE01	3	55,32495453	18,44165151	0,093534343

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,969258593	1	0,969258593	14,00864202	0,020071959	7,708647422
Dentro dos grupos	0,276760186	4	0,069190047			
Total	1,246018779	5				

20%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP01	3	51,97	17,32333333	0,100133333
R - PE01	3	44,66	14,88666667	0,062633333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	8,906016667	1	8,906016667	109,4329306	0,0005	7,708647422
Dentro dos grupos	0,325533333	4	0,081383333			
Total	9,23155	5				

56 dias

0%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP01	3	75,94219353	25,31406451	0,090219244
R - PE01	3	77,89065336	25,96355112	0,603682788

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,632749286	1	0,632749286	1,823742421	0,248	7,708647422
Dentro dos grupos	1,387804064	4	0,346951016			

Total	2,02055335	5
-------	------------	---

---

5%

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP01	3	65,74987442	21,91662481	0,168267661
R - PE01	3	62,87	20,95666667	0,067733333

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,382279444	1	1,382279444	11,71418324	0,026716368	7,708647422
Dentro dos grupos	0,472001988	4	0,118000497			
Total	1,854281432	5				

10%

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP01	3	59,35166427	19,78388809	0,011576092
R - PE01	3	57,6	19,2	0,1191

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,511387951	1	0,511387951	7,826802003	0,05	7,708647422
Dentro dos grupos	0,261352185	4	0,065338046			
Total	0,772740136	5				

20%

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
--------------	-----------------	-------------	--------------	------------------

R - PP01	3	55,40207625	18,46735875	0,120418179
R - PE01	3	46,12398056	15,37466019	0,090103273

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	14,34717662	1	14,34717662	136,3013268	0,000307753	7,708647422
Dentro dos grupos	0,421042904	4	0,105260726			
Total	14,76821953	5				

Substituição do agregado miúdo

**28 dias**

0%

Anova: fator único

#### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	73,445	24,48166667	0,007358333
R - PE02	3	71,93	23,97666667	0,078533333

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,3825375	1	0,3825375	8,907441545	0,04	7,708647422
Dentro dos grupos	0,171783333	4	0,042945833			
Total	0,554320833	5				

5%

Anova: fator único

#### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	67,87	22,62333333	0,081733333
R - PE02	3	76,29	25,43	0,1168

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	11,81606667	1	11,81606667	119,0335796	0,000400749	7,708647422
Dentro dos grupos	0,397066667	4	0,099266667			

Total 12,21313333 5

10%

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	63,095	21,03166667	0,133358333
R - PE02	3	69,66589734	23,22196578	0,319020425

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	7,196115307	1	7,196115307	31,81455881	0,004863669	7,708647422
Dentro dos grupos	0,904757517	4	0,226189379			
Total	8,100872824	5				

20%

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	62,58411763	20,86137254	0,038273128
R - PE02	3	56,51	18,83666667	0,476233333

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	6,149150834	1	6,149150834	23,90310443	0,008107411	7,708647422
Dentro dos grupos	1,029012922	4	0,257253231			
Total	7,178163756	5				

56 dias

0%

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	81,335	27,11166667	0,011158333
R - PE02	3	80,94426525	26,98142175	0,18957147

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,025445607	1	0,025445607	0,253530932	0,641064523	7,708647422
Dentro dos grupos	0,401459606	4	0,100364902			
Total	0,426905214	5				

5%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	71,72	23,90666667	0,240233333
R - PE02	3	80,84107756	26,94702585	0,10020109

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	13,86567598	1	13,86567598	81,45871889	0,001	7,708647422
Dentro dos grupos	0,680868846	4	0,170217211			
Total	14,54654482	5				

10%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	69,01	23,00333333	0,623033333
R - PE02	3	77,225	25,74166667	0,225758333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	11,24770417	1	11,24770417	26,50286191	0,007	7,708647422
Dentro dos grupos	1,697583333	4	0,424395833			
Total	12,9452875	5				

20%

Anova: fator único

#### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	69,27	23,09	0,0784
R - PE02	3	59,45236893	19,81745631	0,115196999

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	16,06431329	1	16,06431329	165,9562225	0,0002	7,708647422
Dentro dos grupos	0,387193997	4	0,096798499			
Total	16,45150729	5				

Substituição do cimento Portland

**28 dias**

0%

Anova: fator único

#### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	69,485	23,16166667	0,090858333
R - PE02	3	72,345	24,115	0,030925

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,363266667	1	1,363266667	22,38839469	0,009093094	7,708647422
Dentro dos grupos	0,243566667	4	0,060891667			
Total	1,606833333	5				

6%

Anova: fator único

#### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	71,17452941	23,72484314	0,084051691
R - PE02	3	57,78302807	19,26100936	0,030862516

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	29,88871801	1	29,88871801	520,1918663	2,189E-05	7,708647422
Dentro dos grupos	0,229828415	4	0,057457104			
Total	30,11854642	5				

10%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	59,8	19,93333333	0,009433333
R - PE02	3	56,135	18,71166667	0,255158333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,238704167	1	2,238704167	16,92195521	0,015	7,708647422
Dentro dos grupos	0,529183333	4	0,132295833			
Total	2,7678875	5				

14%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	53,98911763	17,99637254	0,109227541
R - PE02	3	55,365	18,455	0,013825

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,315508715	1	0,315508715	5,128032513	0,086	7,708647422
Dentro dos grupos	0,246105082	4	0,06152627			
Total	0,561613797	5				

56 dias

0%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	76,07255183	25,35751728	0,12104462
R - PE02	3	80,60581184	26,86860395	0,106176607

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,42507439	1	3,42507439	30,14748612	0,005	7,708647422
Dentro dos grupos	0,454442454	4	0,113610613			
Total	3,879516844	5				

6%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	78,02	26,00666667	0,013233333
R - PE02	3	65,87551333	21,95850444	0,0394016

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	24,58142609	1	24,58142609	934,0346543	6,829E-06	7,708647422
Dentro dos grupos	0,105269868	4	0,026317467			
Total	24,68669596	5				

10%

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	64,3	21,43333333	0,004433333
R - PE02	3	61,94	20,64666667	0,029033333

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,928266667	1	0,928266667	55,47410359	0,002	7,708647422
Dentro dos grupos	0,066933333	4	0,016733333			

Total 0,9952 5

---

14%

Anova: fator único

#### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R - PP02	3	61,70370908	20,56790303	0,092763844
R - PE02	3	58,16794721	19,38931574	0,020170165

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,083602002	1	2,083602002	36,89946069	0,004	7,708647422
Dentro dos grupos	0,225868017	4	0,056467004			
Total	2,309470019	5				

## APÊNDICE I

- **Tração na flexão (MPa).**

Substituição do agregado miúdo

Resíduo	Substituição		0%	5%	10%	20%
	Idade					
R-PP01	07 dias		6,82	6,68	6,41	7,40
			6,97	7,96	6,64	7,95
			7,45	8,27	7,00	7,64
	28 dias		12,13	11,83	10,50	12,46
			12,23	12,78	10,50	12,22
			12,52	12,00	11,00	12,24
	56 dias		14,72	14,87	15,59	14,68
			14,95	16,23	15,91	14,64
			14,62	15,32	15,91	14,91
R-PE01	07 dias		9,31	8,68	6,74	8,91
			9,48	9,28	7,64	7,73
			9,32	8,27	8,64	7,32
	28 dias		16,67	17,82	14,00	12,78
			16,86	17,50	14,32	12,73
			16,79	17,32	13,78	13,28
	56 dias		21,09	19,83	19,06	15,37
			20,69	18,96	18,50	15,51
			21,06	19,12	18,51	15,20

Substituição do agregado miúdo

Resíduo	Substituição		0%	5%	10%	20%
	Idade					
R-PP02	07 dias		14,00	12,46	7,64	7,64
			14,00	10,18	9,55	8,90
			14,96	12,32	8,27	9,56
	28 dias		12,91	13,14	11,27	9,09
			13,37	14,69	12,41	9,55
			11,46	13,37	11,14	9,00
	56 dias		15,05	15,59	10,82	9,87
			16,82	15,59	10,82	9,94
			15,59	17,19	10,50	10,10
R-PE02	07 dias		13,88	8,91	8,27	7,32
			13,86	8,59	8,58	8,27
			14,98	7,96	8,26	8,91
	28 dias		18,12	11,14	12,41	10,18
			18,06	12,09	10,50	9,87
			17,63	9,23	9,55	10,19
	56 dias		18,51	10,55	11,48	11,86
			18,38	13,68	11,78	11,82
			18,21	11,46	11,83	10,55

Substituição do cimento Portland

Resíduo	Substituição		0%	6%	10%	14%
	Idade					
			14,00	14,37	12,50	10,41

<b>R-PP02</b>	<b>07 dias</b>	14,00	14,32	12,96	10,99
		14,96	14,41	12,46	10,96
	<b>28 dias</b>	17,05	18,29	18,51	15,70
		17,82	18,15	18,21	15,83
		17,59	18,21	18,41	15,92
	<b>56 dias</b>	22,91	22,79	20,70	16,32
		22,60	21,90	20,77	16,79
		22,93	21,03	21,10	16,86
	<b>R-PE02</b>	<b>07 dias</b>	13,88	13,68	14,87
13,86			14,96	14,64	16,23
14,98			14,23	13,37	16,24
<b>28 dias</b>		18,12	21,09	18,67	16,37
		18,06	21,65	18,48	16,50
		17,63	21,45	18,18	16,41
<b>56 dias</b>		18,51	22,58	19,47	18,73
		18,38	22,72	19,35	18,90
		18,21	22,46	19,44	19,07

- **Análise de variância.**

Substituição do agregado miúdo

0%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP01</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	21,234319	36,887077	44,293795	102,41519
Média	7,0781063	12,295692	14,764598	11,379466
Variância	0,10748	0,0404442	0,0277937	11,594037

*R - PE01*

Contagem	3	3	3	9
Soma	42,717361	53,808033	55,095961	151,62135
Média	14,23912	17,936011	18,36532	16,846817
Variância	0,4125723	0,0696649	0,0215967	3,9855626

*Total*

Contagem	6	6	6
Soma	63,95168	90,695109	99,389756
Média	10,658613	15,115852	16,564959
Variância	15,592058	9,5880023	3,9093156

**ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	134,5137	1	134,5137	1187,6684	2,269E-13	4,7472253
Colunas	113,70362	2	56,851811	501,96447	2,716E-12	3,8852938
Interações	9,5740751	2	4,7870375	42,266425	3,690E-06	3,8852938
Dentro	1,3591036	12	0,1132586			
Total	259,1505	17				

5%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP01</i>				

Contagem	3	3	3	9
Soma	22,913606	36,608273	44,293795	103,81568
Média	7,6378688	12,202758	14,764598	11,535075
Variância	0,7088313	0,2587821	0,0277937	10,022791

*R - PE01*

Contagem	3	3	3	9
Soma	26,238406	52,646039	57,910838	136,79528
Média	8,7461354	17,54868	19,303613	15,199476
Variância	0,2564139	0,0642552	0,2157242	24,13721

*Total*

Contagem	6	6	6
Soma	49,152013	89,254313	102,20463
Média	8,1920021	14,875719	17,034105
Variância	0,7545746	8,7028791	6,2782018

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	60,425252	1	60,425252	236,68326	2,909E-09	4,7472253
Colunas	255,02699	2	127,51349	499,46518	2,797E-12	3,8852938
Interações	15,189425	2	7,5947124	29,74818	2,236E-05	3,8852938
Dentro	3,0636008	12	0,2553001			
Total	333,70527	17				

10%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO      7 dias      28 dias      56 dias      Total

*R - PP01*

Contagem	3	3	3	9
Soma	20,056105	32,006611	47,418525	99,481241
Média	6,6853682	10,66887	15,806175	11,053471
Variância	0,0886644	0,0835215	0,033798	15,732659

*R - PE01*

Contagem	3	3	3	9
Soma	23,0184	42,098488	56,064519	121,18141
Média	7,6728	14,032829	18,688173	13,464601
Variância	0,9116025	0,0751543	0,1011099	23,204546

*Total*

Contagem	6	6	6
Soma	43,074505	74,105098	103,48304
Média	7,1790841	12,35085	17,247174
Variância	0,6926132	3,4583361	2,5457368

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	26,160955	1	26,160955	121,31674	1,249E-07	4,7472253
Colunas	304,17517	2	152,08758	705,2789	3,603E-13	3,8852938
Interações	4,7347741	2	2,3673871	10,978333	0,0019478	3,8852938
Dentro	2,5877011	12	0,2156418			
Total	337,6586	17				

20%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP01</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	22,987213	36,919469	44,235577	104,14226
Média	7,6624042	12,30649	14,745192	11,571362
Variância	0,0738602	0,0185119	0,0214184	9,7385334

*R - PE01*

Contagem	3	3	3	9
Soma	23,958819	38,781519	46,077622	108,81796
Média	7,9862729	12,927173	15,359207	12,090884
Variância	0,6826848	0,0915998	0,0227224	10,785182

*Total*

Contagem	6	6	6
Soma	46,946031	75,700988	90,313198
Média	7,8243385	12,616831	15,0522
Variância	0,3340853	0,159619	0,1307607

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	1,2145658	1	1,2145658	8,0011146	0,0152145	4,7472253
Colunas	162,28197	2	81,140984	534,52706	1,871E-12	3,8852938
Interações	0,0861641	2	0,0430821	0,2838089	0,7578263	3,8852938

Dentro	1,821595	12	0,1517996
Total	165,40429	17	

Substituição do agregado miúdo

0%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	42,962527	37,736788	47,464866	128,16418
Média	14,320842	12,578929	15,821622	14,240464
Variância	0,3038731	0,9956257	0,8243222	2,5061623

*R - PE02*

Contagem	3	3	3	9
Soma	42,717361	53,808033	55,095961	151,62135
Média	14,23912	17,936011	18,36532	16,846817
Variância	0,4125723	0,0696649	0,0215967	3,9855626

*Total*

Contagem	6	6	6
Soma	85,679888	91,54482	102,56083
Média	14,279981	15,25747	17,093471
Variância	0,2885817	9,0356138	2,2794881

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	30,568837	1	30,568837	69,801029	2,40489E-06	4,7472253
Colunas	24,484219	2	12,242109	27,953692	3,04499E-05	3,8852938
Interações	22,194271	2	11,097136	25,339253	4,925E-05	3,8852938
Dentro	5,2553099	12	0,4379425			
Total	82,502636	17				

5%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	34,967936	41,196097	47,464866	123,6289
Média	11,655979	13,732032	15,821622	13,736544
Variância	1,6306624	0,702948	0,8243222	4,043104
<i>R - PE02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	25,459383	32,464069	35,695209	93,618661
Média	8,4864609	10,821356	11,898403	10,402073
Variância	0,2361742	2,121968	2,5958399	3,520135
<i>Total</i>				
Contagem	6	6	6	
Soma	60,427319	73,660166	83,160075	
Média	10,07122	12,276694	13,860013	
Variância	3,7604874	3,6715769	5,9855585	

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	50,034131	1	50,034131	37,007882	5,47252E-05	4,7472253
Colunas	43,451929	2	21,725964	16,069669	0,000403769	3,8852938
Interações	0,8301535	2	0,4150768	0,3070127	0,741	3,8852938
Dentro	16,22383	12	1,3519858			
Total	110,54004	17				

10%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	25,459383	34,824309	32,142572	92,426264
Média	8,4864609	11,608103	10,714191	10,269585
Variância	0,9451084	0,4887935	0,0337637	2,30523
<i>R - PE02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	25,109747	32,460834	35,084559	92,655141
Média	8,3699156	10,820278	11,694853	10,295016
Variância	0,032197	2,1271114	0,0344332	2,7764813

<i>Total</i>			
Contagem	6	6	6
Soma	50,56913	67,285144	67,227131
Média	8,4281883	11,214191	11,204522
Variância	0,394997	1,2325624	0,3157884

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	0,0029102	1	0,0029102	0,0047691	0,946080539	4,7472253
Colunas	30,939862	2	15,469931	25,350796	4,91378E-05	3,8852938
Interações	2,3910147	2	1,1955074	1,9590949	0,184	3,8852938
Dentro	7,3228143	12	0,6102345			
Total	40,656601	17				

20%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	26,095908	27,642008	29,908913	83,646828
Média	8,6986359	9,2140026	9,9696375	9,294092
Variância	0,9517349	0,0853898	0,0149908	0,5695328

<i>R - PE02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	24,504595	30,243347	34,233919	88,981861
Média	8,1681984	10,081116	11,411306	9,8868734
Variância	0,6412353	0,0348974	0,5516658	2,3002506

<i>Total</i>			
Contagem	6	6	6
Soma	50,600503	57,885355	64,142831
Média	8,4334172	9,6475591	10,690472
Variância	0,7215973	0,2736804	0,8501853

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	1,5812542	1	1,5812542	4,1613522	0,063997671	4,7472253

Colunas	15,312207	2	7,6561035	20,148401	0,000145961	3,8852938
Interações	3,0862324	2	1,5431162	4,0609853	0,055	3,8852938
Dentro	4,559828	12	0,3799857			
Total	24,539522	17				

Substituição do cimento Portland

0%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	42,962527	52,464866	68,439913	163,8673
Média	14,320842	17,488289	22,813304	18,207478
Variância	0,3038731	0,1575477	0,0339191	13,937637

*R - PE02*

Contagem	3	3	3	9
Soma	42,717361	53,808033	55,095961	151,62135
Média	14,23912	17,936011	18,36532	16,846817
Variância	0,4125723	0,0696649	0,0215967	3,9855626

*Total*

Contagem	6	6	6
Soma	85,679888	106,2729	123,53587
Média	14,279981	17,71215	20,589312
Variância	0,2885817	0,1510217	5,9575745

ANOVA

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	8,331294	1	8,331294	50,029094	1,295E-05	4,7472253
Colunas	119,731	2	59,865502	359,49	1,957E-11	3,8852938
Interações	21,656247	2	10,828124	65,022459	3,635E-07	3,8852938
Dentro	1,9983477	12	0,166529			
Total	151,71689	17				

6%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
--------	--------	---------	---------	-------

<i>R - PP02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	43,099939	54,654283	68,439913	166,19413
Média	14,366646	18,218094	22,813304	18,466015
Variância	0,0021104	0,0044242	0,0339191	13,422068

<i>R - PE02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	42,872102	64,188759	67,758863	174,81972
Média	14,290701	21,396253	22,586288	19,424414
Variância	0,4078896	0,0787865	0,0173367	15,216231

<i>Total</i>				
Contagem	6	6	6	
Soma	85,972041	118,84304	136,19878	
Média	14,328673	19,807174	22,699796	
Variância	0,1657303	3,0634924	0,0359633	

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	4,133377	1	4,133377	45,549648	2,047E-05	4,7472253
Colunas	216,91384	2	108,45692	1195,1908	1,553E-14	3,8852938
Interações	11,10362	2	5,55181	61,180722	5,075E-07	3,8852938
Dentro	1,0889332	12	0,0907444			
Total	233,23977	17				

10%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO      7 dias      28 dias      56 dias      Total

<i>R - PP02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	37,917638	55,129275	62,570602	155,61751
Média	12,639213	18,376425	20,856867	17,290835
Variância	0,0763956	0,0223797	0,0447097	13,360627

<i>R - PE02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	42,872425	55,330453	58,265972	156,46885
Média	14,290808	18,443484	19,421991	17,385428
Variância	0,6539059	0,0598282	0,004323	5,7459173

<i>Total</i>			
Contagem	6	6	6
Soma	80,790063	110,45973	120,83657
Média	13,46501	18,409955	20,139429
Variância	1,1104512	0,0342322	0,6372743

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	0,0402652	1	0,0402652	0,2804169	0,6060865	4,7472253
Colunas	143,98283	2	71,991417	501,3667	2,735E-12	3,8852938
Interações	7,1464396	2	3,5732198	24,88482	5,376E-05	3,8852938
Dentro	1,7230841	12	0,1435903			
Total	152,89262	17				

14%

Anova: fator duplo com repetição

RESUMO	7 dias	28 dias	56 dias	Total
<i>R - PP02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	32,354788	47,4444	49,972064	129,77125
Média	10,784929	15,8148	16,657355	14,419028
Variância	0,1054834	0,0123677	0,0879622	7,6133134

<i>R - PE02</i>				
Contagem	3	3	3	9
Soma	48,519947	49,283466	56,700534	154,50395
Média	16,173316	16,427822	18,900178	17,167105
Variância	0,0117865	0,0046561	0,0288901	1,7129704

<i>Total</i>			
Contagem	6	6	6
Soma	80,874734	96,727866	106,6726
Média	13,479122	16,121311	17,778766
Variância	8,7573205	0,1195483	1,555818

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	33,983679	1	33,983679	811,88664	2,167E-12	4,7472253
Colunas	56,430515	2	28,215258	674,07625	4,716E-13	3,8852938

---

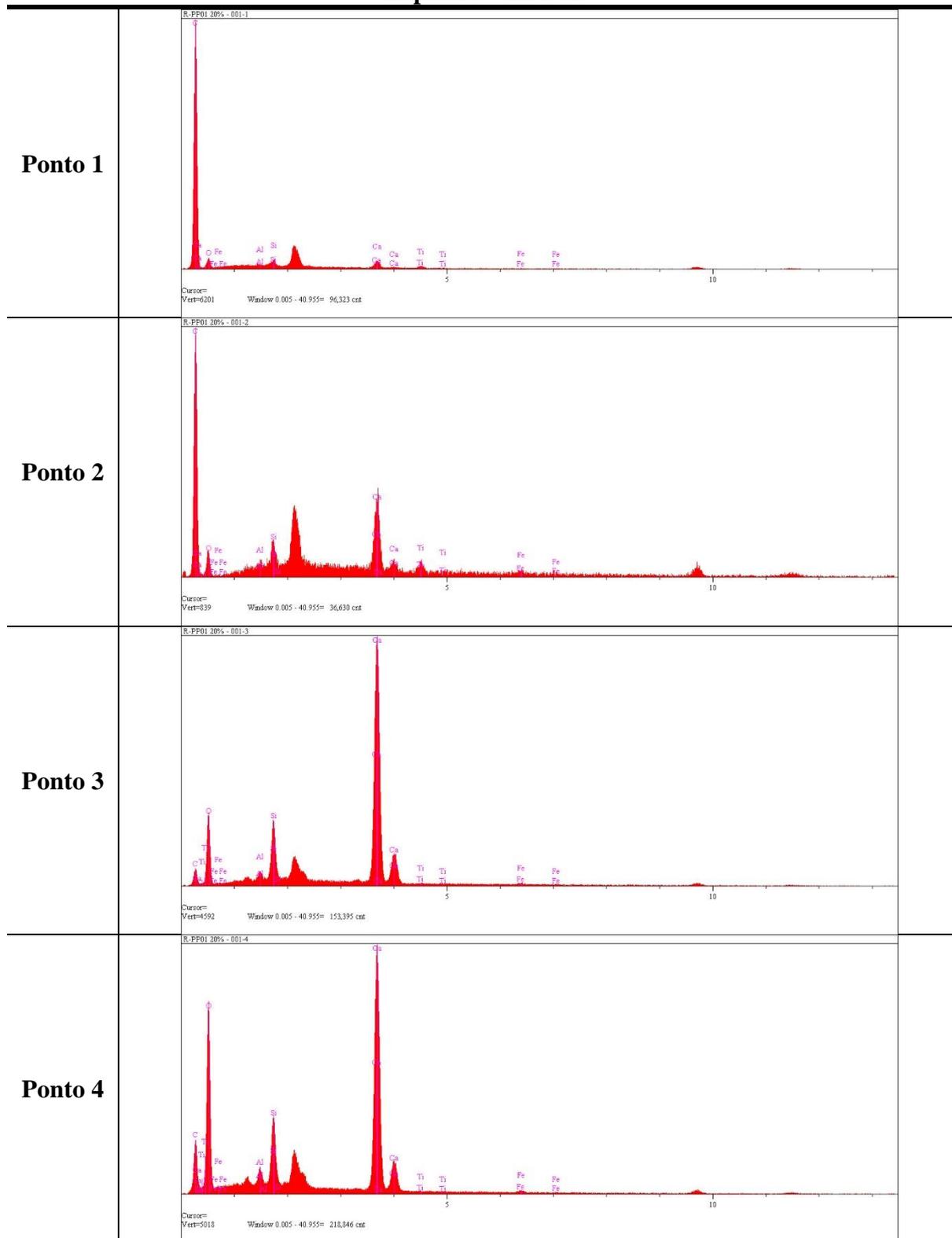
Interações	17,677463	2	8,8387317	211,16161	4,448E-10	3,8852938
Dentro	0,502292	12	0,0418577			
Total	108,59395	17				

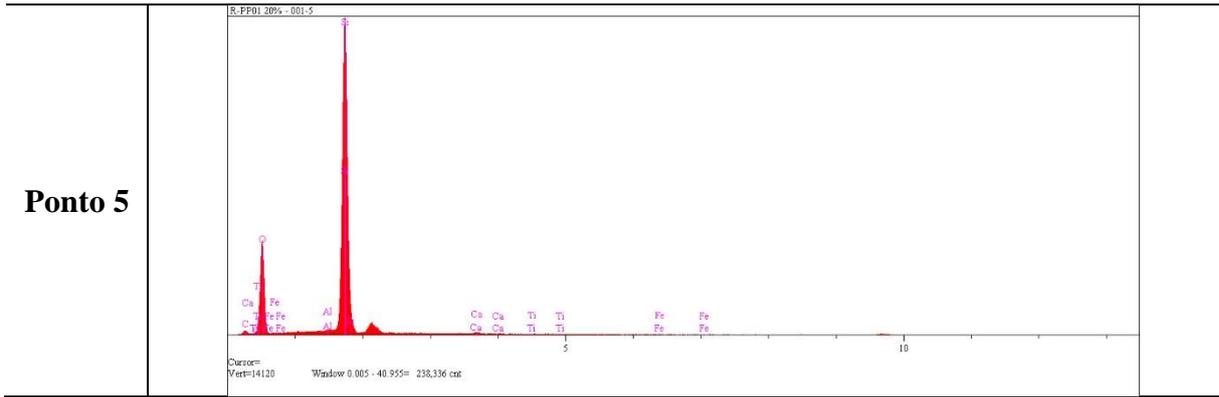
---

## APÊNDICE J

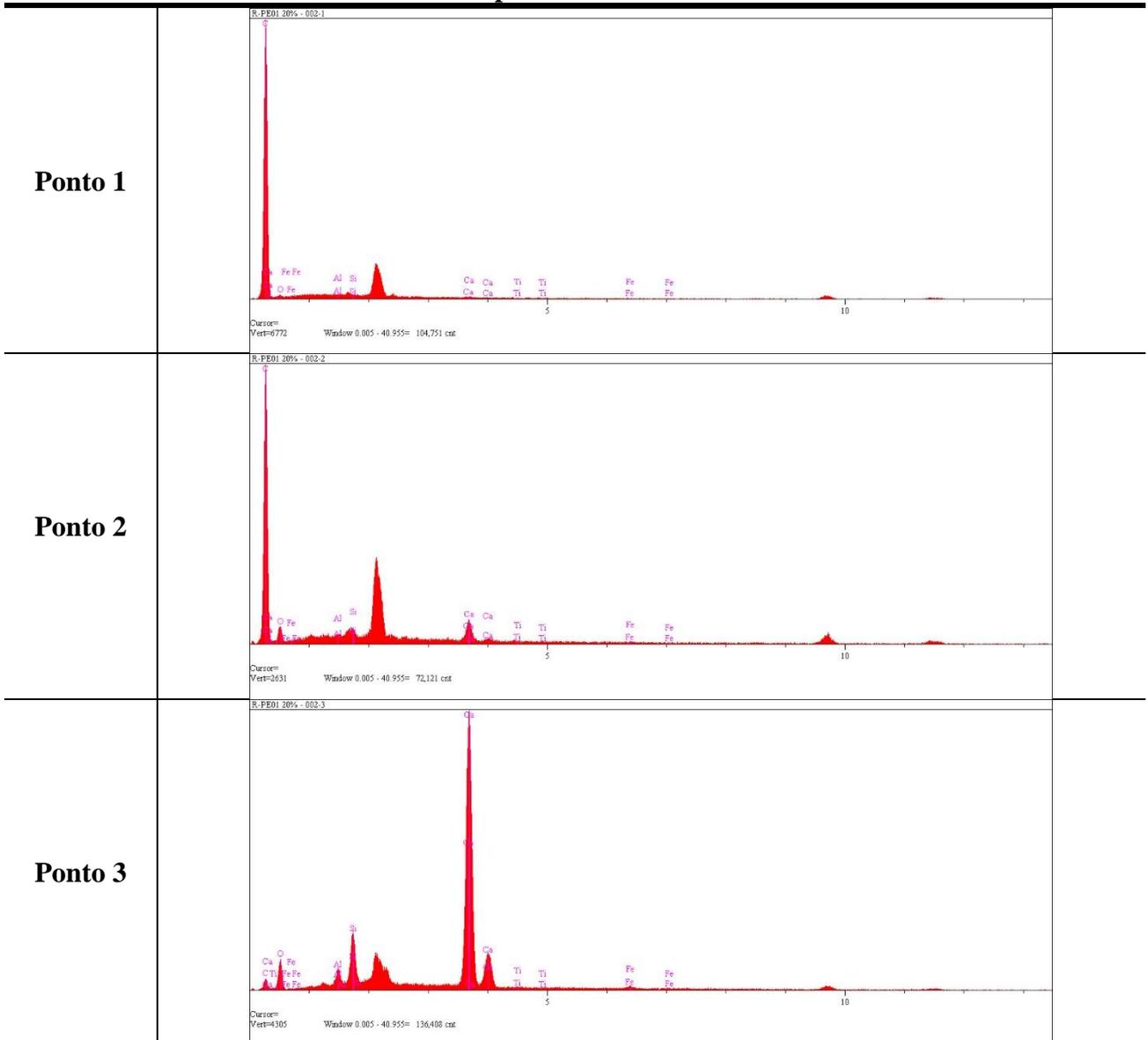
- Espectros de EDS nos pontos determinados de cada fragmento das argamassas analisadas.

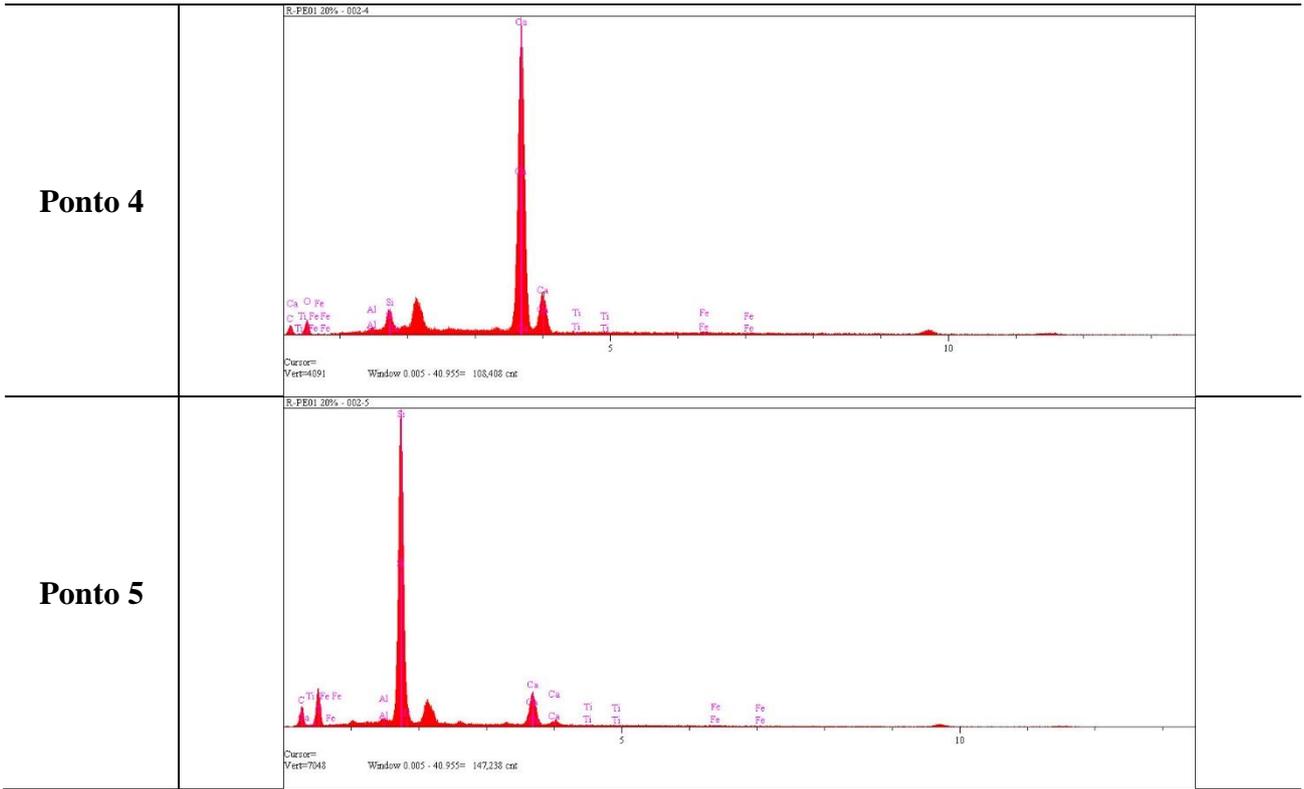
### Espectro – RPP01



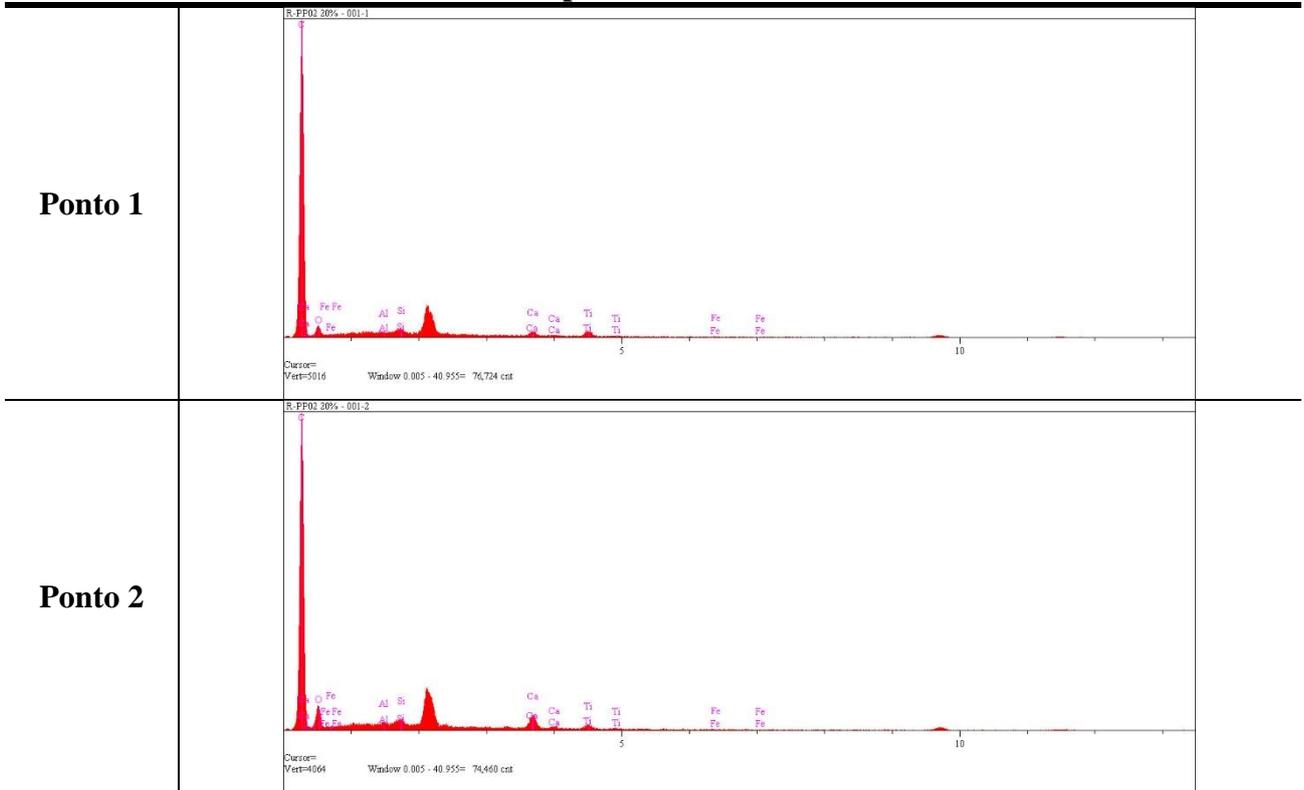


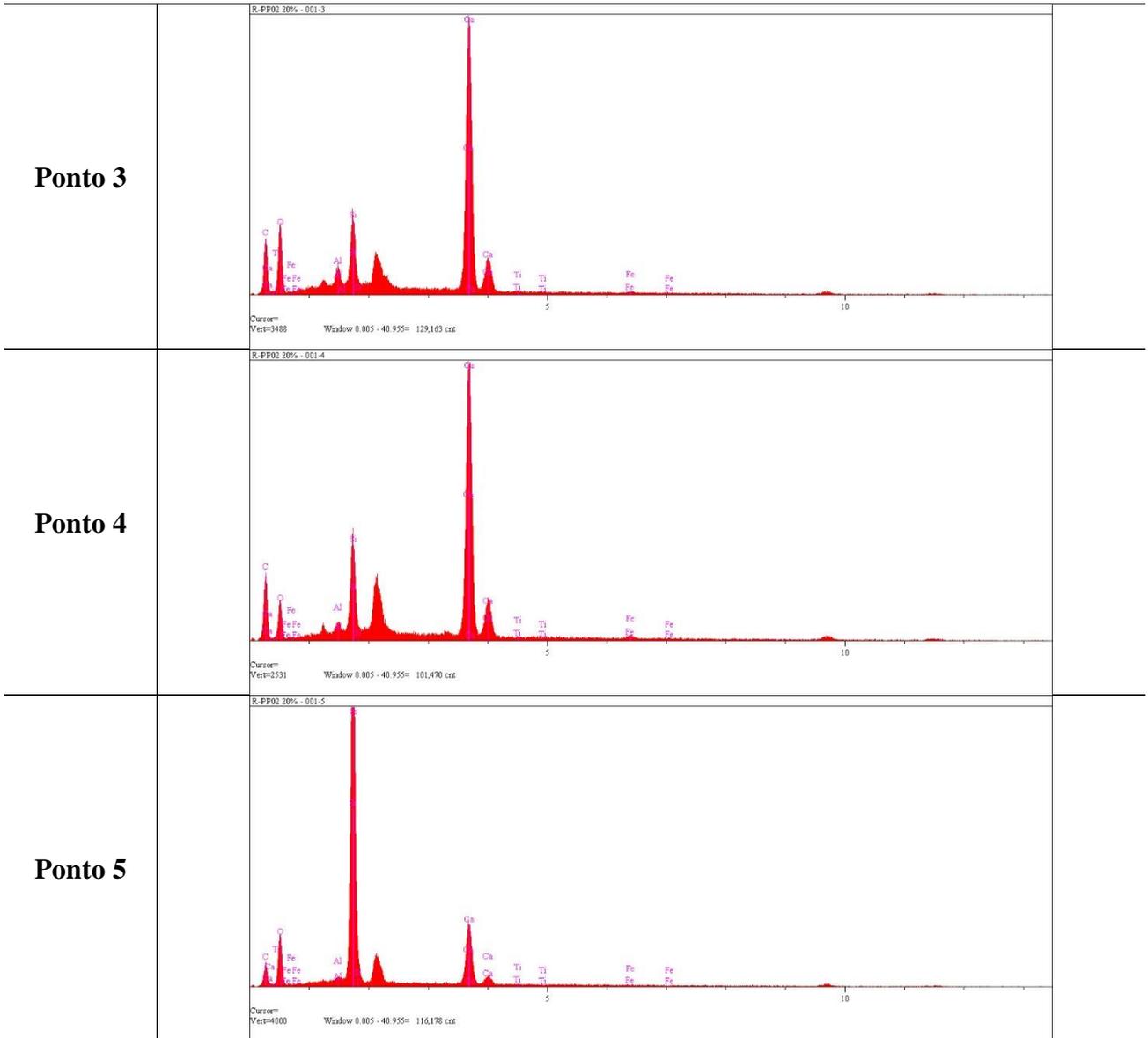
### Espectro – RPE01





**Espectro – RPP02**





**Espectro – RPE02**

