

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**CAMILA ESCARAMUSA VAZ**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSA MODIFICADA: COM AREIA DE  
PET**

**Alegrete  
2016**

**CAMILA ESCARAMUSA VAZ**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSA MODIFICADA: COM AREIA DE  
PET**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Pampa,  
como requisito parcial para obtenção do  
Título de Bacharel em Engenharia Civil .**

**Orientador: Aldo Leonel Temp**

**Alegrete  
2016**

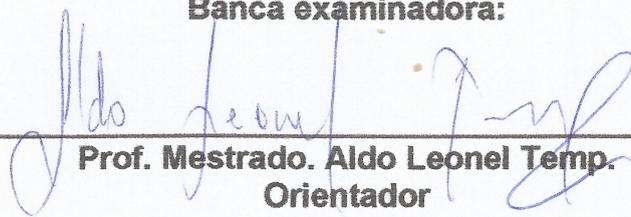
**CAMILA ESCARAMUSA VAZ**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSA MODIFICADA: COM  
AREIA DE PET**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Pampa,  
como requisito parcial para obtenção do  
Título de Bacharel em Engenharia Civil.**

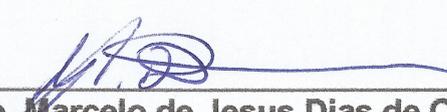
**Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28/11/16.**

**Banca examinadora:**



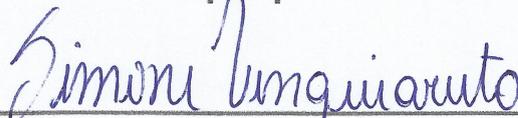
---

**Prof. Mestrado. Aldo Leonel Temp.  
Orientador  
Unipampa.**



---

**Prof. Mestrado. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira  
Unipampa.**



---

**Prof. Mestrado. Simone Dornelles Venquiaruto  
Unipampa.**

**Dedico este trabalho aos meus pais, Ciloé (in memoriam) e Laura, as minhas irmãs Carla, Marília e Suélen, pelo incentivo e apoio aos meus estudos.**

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus pela luz e proteção que me guiaram no decorrer deste estudo.

Ao Prof. Mr. Aldo Leonel Temp, pela competente orientação e contribuições, as quais foram mais do que relevantes para o desenvolvimento desse trabalho.

A Prof. Mr Simone Dornelles Venquiaruto, pela ajuda no estudo do traço, e por ter doado a areia de PET e ao Prof. Mauricio pela doação do cimento.

Aos laboratoristas Eng. Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira e a Raquel dos Santos Machado, pelas orientações e assistência no decorrer dos ensaios.

Aos colegas de curso Paulo e Gracieli pela ajuda na execução dos ensaios.

À Universidade Federal do Pampa por disponibilizar a infraestrutura do Laboratório de Materiais de Construção Civil para a realização dos ensaios necessários à realização desta pesquisa.

Ao Fabiano pelo apoio e incentivo no decorrer deste trabalho.

Á minha família, minha profunda e sincera gratidão pelo constante incentivo e apoio aos meus estudos.

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma maneira despenderam esforços para a concretização deste trabalho.

“Não é todo mundo que vai entender o seu  
caminho, mas tudo bem...

Não é o deles, é o seu!”

Dario Taboca

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho da argamassa modificada com substituição de areia natural pela areia de PET. Os traços foram realizados com 5%, 15% e 30% de agregado de plástico por agregado natural. A substituição foi feita em volume e apenas na fração granulométrica 1-2mm.

Os ensaios realizados no estado fresco foram: índice de consistência, densidade e teor de ar incorporado. No estado endurecido analisou-se a absorção por capilaridade, resistência de compressão e de tração na flexão.

Após análise dos ensaios no estado fresco conclui-se que:

A densidade da argamassa diminui com o aumento das substituições dos agregados plásticos por naturais. Esse fato pode ser explicado pela menor densidade dos agregados plásticos em relação a areia natural.

O teor de ar aumenta com o acréscimo de areia de PET. Isso por que as argamassas apresentaram suas superfícies muito porosas, o que facilitou a entrada de ar.

O índice de consistência também aumentou com a inserção de agregados plásticos, devido ao acréscimo de água que foi necessário para que a argamassa apresentasse um índice de consistência considerável.

Nos ensaios no estado endurecido pode-se observar que:

No de ensaio de absorção de água por capilaridade, as amostras com substituições apresentaram uma redução em relação à amostra de referência, o mesmo ocorreu com o coeficiente de capilaridade. A amostra que apresentou a menor absorção e coeficiente de capilaridade foi a T3 com 15% de areia de PET.

Na resistência á compressão, as amostras com 5 e 15% de areia de PET, apresentaram resistência superior a amostra de referência, porém não ocorreu o mesmo com a amostra de 30%.

O ensaio de resistência de flexão à tração apresentou resultado inferior ao de compressão. No entanto as amostras de 5 e 15% também apresentaram valores de resistência superiores à amostra de referência, e a amostra de 30% resultado inferior.

## ABSTRACT

His work aims to evaluate the performance of modified mortar with natural sand substitution by PET sand. The traces were made with 5%, 15% and 30% of plastic aggregate per natural aggregate. The replacement was done in volume and only in the particle size 1-2mm.

The tests performed in the fresh state were: consistency index, density and air content incorporated. In the hardened state the absorption by capillarity, compression and tensile strength in the flexion was analyzed.

After analysis of the assays in the fresh state it is concluded that:

The density of the mortar decreases with the increase of the substitutions of the plastic aggregates by natural ones. This fact can be explained by the lower density of plastic aggregates in relation to natural sand.

The air content increases with the addition of PET sand. This is because the mortars presented their very porous surfaces, which facilitated the entry of air.

The consistency index also increased with the insertion of plastic aggregates, due to the addition of water that was necessary for the mortar to present a considerable consistency index.

In the tests in the hardened state it can be observed that:

In the water absorption test by capillarity, the samples with substitutions showed a reduction in relation to the reference sample, the same occurred with the capillary coefficient. The sample that presented the lowest absorption and capillary coefficient was the T3 with 15% of PET sand.

In the compressive strength, samples with 5 and 15% of PET sand showed superior resistance to the reference sample, but the same did not occur with the 30% sample.

The test of tensile flexural strength presented a lower result than the compression test. However, the 5 and 15% samples also presented resistance values higher than the reference sample, and the 30% sample had lower results.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: História da argamassa: linha do tempo .....	21
Figura 2: Exemplo de calcário, cal virgem e hidratada .....	24
Figura 3: Argamassa de assentamento .....	28
Figura 4: Camadas de revestimento argamassado .....	29
Figura 5: Monômero, Mero, Polímero .....	33
Figura 6: Obtenção dos materiais poliméricos .....	33
Figura 7: Poli hidrocarboneto .....	37
Figura 8: Poliamida .....	37
Figura 9: Poliéster .....	37
Figura 10: Sequência cabeça-cauda .....	37
Figura 11: Sequência cabeça-cabeça, cauda-cauda .....	38
Figura 12: Isomeria cis e trans .....	38
Figura 13: Arranjo isotático .....	39
Figura 14: Arranjo sindiotático .....	39
Figura 15: Arranjo atático .....	39
Figura 16: Flake e Pó de PET .....	44
Figura 17: Resultado do ensaio de Microscopia ótica .....	45
Figura 18: Peneiras .....	51
Figura 19: Frasco de LE CHATELIER .....	57
Figura 20: Frasco LE CHATELIER em banho de água .....	57
Figura 21: Frasco LE CHATELIER com cal .....	58
Figura 22: Frasco LE CHATELIER com cimento .....	58
Figura 23: Peneiras utilizadas para obter a fração 1-2mm .....	61
Figura 24: Porcentagem de areia de PET retida na peneira 2,4mm .....	61
Figura 25: Areia de PET .....	62
Figura 26: Separação dos materiais para execução da argamassa de referência .....	63
Figura 27: Cilindro utilizado para determinar o volume de areia de PET .....	63
Figura 28: Argamassa na betoneira .....	64
Figura 29: Processo do ensaio de absorção de água por capilaridade .....	66
Figura 30: Desenho da distribuição de água interna absorvida por capilaridade .....	67
Figura 31: Superfícies das amostras com 5 e 30% de areia de PET .....	73
Figura 32: Ensaio de Índice de consistência .....	74
Figura 33: Processo do ensaio de absorção por capilaridade .....	75
Figura 34: Absorção da água na amostra com 5% de areia de PET .....	75
Figura 35: Ensaio de resistência à compressão .....	77
Figura 36: Ensaio de resistência de flexão à tração .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixa granulométrica da areia .....	25
Tabela 2: Resultado do ensaio de Dureza Shor.....	45
Tabela 3: Resultado do ensaio de tração do PET virgem e reciclado. ....	45
Tabela 4: Composição granulométrica.....	52
Tabela 5: Distribuição granulométrica .....	53
Tabela 6: Composição granulométrica da areia natural. ....	53
Tabela 7: Composição granulométrica da areia de PET .....	54
Tabela 8: Massa específica da areia .....	56
Tabela 9: Massa específica da cal e do cimento .....	59
Tabela 10: Massa unitária .....	60
Tabela 11: Traço em volume para argamassa 1:4 .....	62
Tabela 12: Índice de consistência .....	73
Tabela 13: Absorção de água por capilaridade .....	75

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Síntese relativamente ao uso de argamassas tradicionais de cal e areia...	21
Gráfico 2: Curva tensão versus deformação dos polímeros.....	40
Gráfico 3: Polímeros mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro.....	41
Gráfico 4: Produção de plástico reciclado pós-consumo.....	42
Gráfico 5: Distribuição do mercado de reciclagem mecânica de plástico no Brasil.....	46
Gráfico 6: Distribuição granulometria da areia natural.....	53
Gráfico 7: Distribuição granulométrica da areia de PET.....	55
Gráfico 8: Densidade de massa das amostras.....	71
Gráfico 9: Teor de ar incorporado nas amostras.....	71
Gráfico 10: Coeficiente de capilaridade.....	76
Gráfico 11: Resistência à compressão.....	77
Gráfico 12: Resistência de tração na flexão.....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Granulometria da areia e suas propriedades.....	25
Quadro 2: Ensaio para o cimento. ....	27
Quadro 3: Ensaio para cal .....	27
Quadro 4: Ensaio para areia natural.....	27
Quadro 5: Propriedades da argamassa no estado fresco e suas definições.....	29
Quadro 6: Propriedades da argamassa no estado endurecido e suas definições.....	31
Quadro 7: Principais polímeros comerciais. ....	34
Quadro 8: Classificação dos polímeros. ....	35
Quadro 9: Nomenclaturas das amostragens. ....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS - Copolímero acrilonitrila / butadieno / estireno  
AES - Copolímero acdonitrila / etileno/ estireno  
ASA- Copolímero acrilonitrila / estireno/ acrilato  
CO - Monóxido de Carbono  
CPE - Polietileno clorado  
CR – Policloropreno  
DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral  
EAA - Copolímero etileno/ácido acrílico  
EPDM - Copolímero etileno/ propileno / dieno  
EPS Poliestireno Expandido  
EVA - Copolímero etileno /acetato de vinila  
EVOH - Copolímero etileno/álcool vinílico  
FV - Fibra de vidro  
GRUP - Poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro  
H - Hidrogênio  
HDPE - Polietileno de alta densidade  
HTPS - Poliestireno de alto impacto  
IIR - Borracha butílica (isobutileno/isopreno)  
IPP - Polipropileno isotático  
IPS - Poliestireno isotático  
IR- Borracha de isopreno  
IRMP - Índice de Reciclagem Mecânica de Plástico  
LDPE - Polietileno de baixa densidade  
LLDPE - Polietileno de baixa densidade linear (copolímero etileno / alfa-olefina)  
MBS - Copolímero metacrilato de metila/ butadieno /estireno  
MFE - Poli (tetrafluoroetileno)  
N - Nitrogênio  
NBR - Borracha nitrílica (acrilonitrila /butadieno)  
NR - Borracha nitrílica (acrilonitrila /butadieno)  
O - Oxigênio  
PA - Poliamida (náilon)  
PAN - Poliacrilonitrila

PB - Polibutadieno  
PBT - Poli (tereftatato de butila)  
PC- Policarbonato  
PDMS - Polidimetilsiloxano  
PE - Polietileno  
PEEIK Poli (éter-éter-cetona)  
PEI – Poli (éter-imida)  
PEN - Poli (naftalato de etileno)  
PEO - Poli (óxido de etileno)  
PET - Poli (tereftalato de etileno)  
PHB- Poli (hidroxibutirato)  
PI- Polimida  
PMMA - Poli (metacrilato de metila)  
POM - Poli (óxido de metileno)  
PP - Polipropileno  
PPO - Poli (óxido de propileno)  
PPS - Poli (sulfeto de fenileno)  
OS - Poliestireno  
PU - Poliuretano  
PVAC - Poli (acetato de vinila)  
PVC - Poli (cloreto de vinila)  
PVDC - Poli (dicloreto de vinilideno)  
PVDF - Poli (difluoreto de vinilideno)  
PVF - Poli (fluoreto de vinila)  
SAN - Copolímero estireno/ acrilonitrila  
SBR- Borracha sintética de estireno/butadieno  
SPP - Polipropileno sindiotático  
SPS - Poliestireno sindiotático  
t- toneladas  
TPU - Poliuretano termoplástico  
UHMWPE- Polietileno de ultra alta massa molar  
UP - Poliéster insaturado  
UR - Umidade relativa  
VC/VAC - Copolímero cloreto de vinila / acetato de vinila

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 Objetivos .....	18
1.1.1 Objetivo geral .....	18
1.1.2 Objetivo geral .....	18
1.1.3 Objetivos específicos .....	18
1.2 Justificativa.....	18
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA .....	20
2.1 Argamassa.....	20
2.1.1 Histórico da argamassa.....	20
2.1.2 Materiais que constituem as argamassas .....	22
2.1.2.1 Cimento .....	22
2.1.2.2 Cal .....	23
2.1.2.3 Areia .....	25
2.1.2.4 Ensaio necessários para os constituintes da argamassa.....	26
2.1.3 Tipos de argamassas .....	27
2.1.4 Propriedades no estado fresco.....	29
2.1.5 Propriedades no estado endurecido.....	31
2.2 Polímero .....	32
2.2.1 Classificação dos polímeros.....	35
2.2.2 O plástico reciclado no Brasil .....	41
2.2.3 Processo de reciclagem do PET .....	43
2.2.4 Propriedades do PET reciclado.....	44
2.2.5 Aplicações do plástico reciclado na construção civil .....	46
2.3 Compósitos cimentícios com agregado reciclado de plásticos .....	48
2.4 Método de dosagem .....	49
3 METODOLOGIA.....	51
3.1 Caracterização dos Materiais.....	51
3.1.1 Agregado miúdo .....	51
3.1.1.1 Composição granulométrica da areia natural .....	51
3.1.1.2 Composição granulométrica da areia de PET .....	54
3.1.1.3 Massa específica da areia natural. ....	55
3.1.1.4 Massa específica do cimento e da cal. ....	56
3.1.1.5 Massa unitária. ....	59
3.1.2 Etapa experimental .....	60
3.2.1 Materiais.....	60
3.2.2 Dosagem .....	62
3.2.3 Preparação da argamassa .....	62
3.2.4 Métodos e procedimento de dosagem .....	64
3.2.4.1 Índice de consistência.....	64
3.2.4.2 Absorção por capilaridade. ....	65
3.2.4.3 Resistência à compressão.....	67
3.2.4.4 Resistência à tração na flexão.....	68
4. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS.....	70

4.1 Ensaio no estado fresco.....	70
4.1.1 Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	70
4.1.2 Índice de consistência.....	73
4.2 Ensaio no estado endurecido.....	74
4.2.1 Absorção de água por capilaridade.....	74
4.2.2 Resistência à compressão.....	77
4.2.3 Resistência de tração na flexão.....	78
5. Conclusão.....	80
REFERÊNCIAS.....	82

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil, na última década, apresentou um crescimento acelerado, principalmente pelo grande ingresso dos programas habitacionais de interesse social. Diante do grande volume de construções, houve a necessidade de inserção de novos materiais de construção principalmente em argamassa de revestimento e assentamento, e um desses materiais é a reutilização do plástico na construção civil.

Por meio do uso de materiais reutilizados, a construção civil almeja a diminuição de patologias, de impactos ambientais e de extração dos recursos naturais utilizados pela construção, como areia e brita.

Atualmente, os produtos incorporados nas argamassas são disponibilizados no mercado sem alguns ensaios necessários, que determinam o desempenho e certas características físicas e mecânicas nos revestimentos argamassados.

Porém, as poucas especificações na utilização destes materiais, muitas vezes pelo próprio fabricante, resultam em uma série de manifestações patológicas que podem diminuir a vida útil da edificação.

Pereira (2009) destaca que muitos casos de manifestações patológicas em revestimentos de argamassa vêm sendo relatados em todo o Brasil. Ele comenta que a utilização de argamassas é feita de modo empírico, sem um estudo prévio de suas características, ou mesmo de sua aplicabilidade em um determinado projeto.

A falta de informações quanto às características dessas argamassas acaba restringindo o conhecimento técnico, o que resulta em produto inadequado, pois não atende as necessidades específicas previstas no projeto de uma edificação, o que dificulta o emprego de novos materiais na execução de argamassas.

O crescimento cada vez maior dos resíduos plásticos na sociedade, desperta o interesse de novos métodos para resolver a eliminação de resíduos da indústria.

A construção civil percebe a importância da preservação ambiental, e vem procurando novos procedimentos que sejam capazes de associar o crescimento econômico às questões ambientais. Para este fim, várias pesquisas têm sido realizadas no sentido de incorporar plásticos em processos de construção. Uma das técnicas utilizadas é a substituição de agregados naturais por agregados reciclados de plástico em materiais cimentícios.

Conforme Mello (2011), apesar de no Brasil o Polietileno Tereftalato (PET) ser um dos materiais com maior índice de reciclagem, sua aplicação é pouco conhecida quanto ao desempenho nas propriedades da argamassa.

Diante do contexto apresentado, este trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade de uma possível solução para minimizar os impactos ambientais por meio do uso de uma argamassa modificada utilizando Polietileno Tereftalato (PET).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.2 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo geral estudar o comportamento de argamassas utilizando como parte do agregado miúdo natural a areia de PET

### **1.1.3 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos têm-se:

- verificar no estado fresco a consistência das argamassas de referência e modificadas;
- avaliar o desempenho no estado endurecido da resistência à compressão das argamassas de referência e modificadas;
- observar o desempenho no estado endurecido da resistência à tração na flexão das argamassas de referência e modificadas;
- analisar o comportamento no estado endurecido das argamassas à absorção de água por capilaridade.

## **1.2 Justificativa**

Neste trabalho optou-se por avaliar o comportamento do PET em argamassas, devido este ser o plástico mais reciclado no país, e pelo fato de manter suas propriedades mesmo após o processo de reciclagem.

A indústria da construção civil consome 16% dos produtos das recicladoras de materiais plásticos, o polietileno tereftalato (PET) possui o maior índice de reciclagem do plástico pós-consumo, segundo a Plastivida (2011).

Convém notar a importância de reutilizar este material em alguma etapa construtiva a fim de gerar novas empregabilidades destes produtos e,

consequentemente, para que ocorra uma redução do descarte deste item, uma vez que este possui um tempo muito alto de degradação.

De acordo com Valverde (2001), o consumo interno de areia é de 50% para a produção de concretos pré-fabricados, e os 50% restantes para argamassas em geral. Conforme o DNPM (2015) a extração brasileira de areia no ano de 2014 foi de 391.765 mil toneladas.

Supondo essa quantidade apenas para produção de argamassa têm-se 195.883 mil toneladas de areia. Admitindo-se uma substituição de 30% de areia, por flocos de PET, reutilizaria 58.775 mil toneladas de PET.

A inserção deste produto resulta em benefícios ambientais e sócioeconômicos. Da parte ambiental reduz a extração de areia, e com a reciclagem da garrafa PET diminui o impacto ambiental gerado pela mesma, devido seu tempo de degradação. Com relação ao socioeconômico, a reciclagem tem importância social, pois cria oportunidade de renda por meio das cooperativas de reciclagem.

Presume-se que a utilização do PET na composição das argamassas poderia reduzir o consumo de areia, visto que diminuiria o impacto ambiental, bem como poderia resultar em propriedades benéficas no desempenho das argamassas e reduzir o custo final das habitações.

## 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Argamassa

#### 2.1.1 Histórico da argamassa

A argamassa surgiu para atender uma deficiência do sistema construtivo dos nossos antepassados. Esse sistema era constituído de pedras empilhadas, o qual formava seus abrigos, mas devido às intempéries climáticas, precisavam de algo que impedisse a mobilidade destas pedras. Assim surge a argamassa que primeiramente era constituída de água e barro.

Segundo Leal (2013), o homem primitivo sempre procurou abrigos seguros para suprir suas necessidades. Supõe-se que no começo empilhavam-se pedra sobre pedras de forma aleatória, comprometendo a estabilidade. Desde então, eles procuravam um material que unisse as pedras e proporcionasse estabilidade em seus abrigos.

Para suprir as necessidades dos nossos antepassados, conseqüentemente surgiu a argamassa, que era constituída de pequenas camadas de argila, inicialmente seca e depois molhada, de forma a reduzir ou eliminar as fendas entre as pedras, conforme informa Almeida (2012).

No entanto, esta argamassa era facilmente deteriorada pelos agentes atmosféricos e foi substituída, posteriormente, por uma mais resistente e durável, ou seja, pela argamassa de cal.

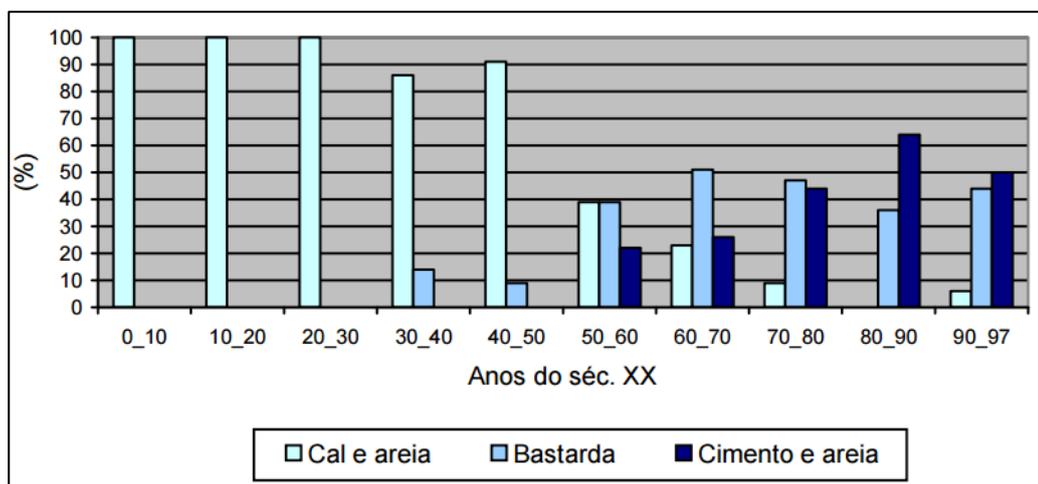
Conforme Margalha (2011), os gregos teriam sido os primeiros a utilizar a cal na argamassa de revestimento e, segundo Recena (2012), os romanos teriam adaptado esta mistura, inserindo agregados graúdos como seixo rolado, areia e fragmentos de cerâmica vermelha. Este último autor ainda afirma que, para melhorar o desempenho das argamassas em relação à umidade, posteriormente os romanos passaram a incorporar às misturas cinza vulcânica (pozolana).

A pozolana deriva da palavra *pozzolana*, nome de uma localidade italiana chamada Pozzuoli, situada próximo do Vesúvio, onde se encontram cinzas vulcânicas denominadas cinzas pozolânicas (ROQUE, 2012).

A argamassa foi modificada com a descoberta do cimento Portland e, de acordo com Margalha (2011), o emprego do cimento substituiu em parte o uso da cal, já que o cimento foi desenvolvido para melhorar as argamassas, principalmente quanto à durabilidade.

O emprego do solo é outra possível composição da argamassa, denominada de argamassa bastarda (SANTIAGO, 2007). O Gráfico 1 apresenta o uso dos constituintes da argamassa ao longo dos séculos.

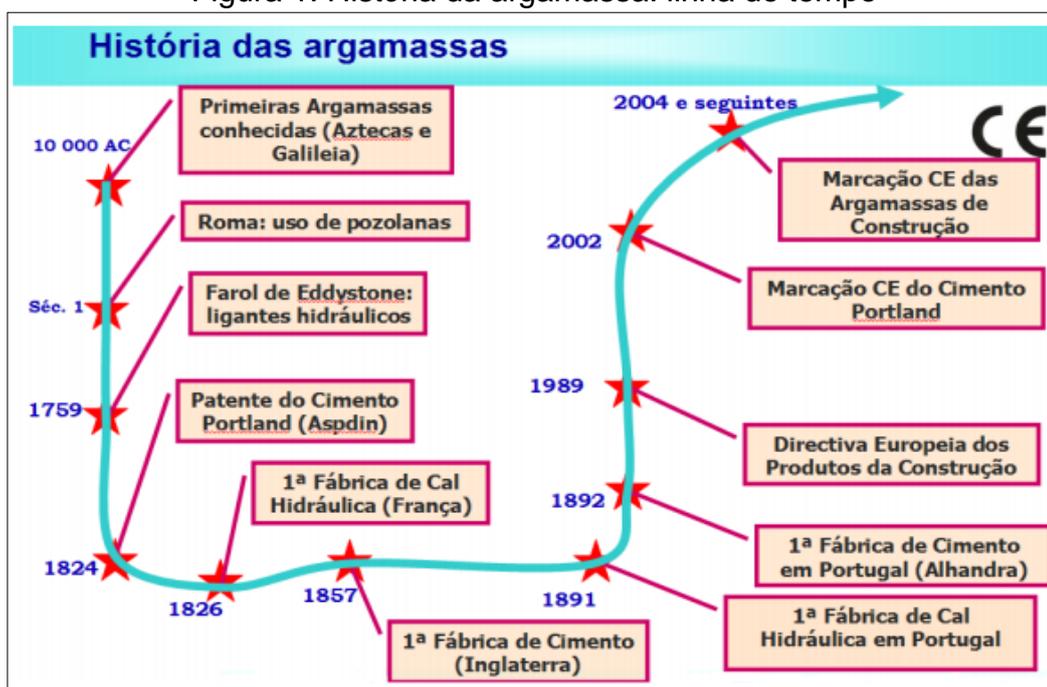
Gráfico 1: Síntese relativa ao uso de argamassas tradicionais de cal e areia.



Fonte: Margalha (2011, pág. 6)

Neste contexto, se inicia a história da cal e do cimento como aglomerantes para argamassas de alvenarias. A Figura 1 apresenta a linha do tempo da argamassa.

Figura 1: História da argamassa: linha do tempo



Fonte: Almeida (2010, pág.6)

## **2.1.2 Materiais que constituem as argamassas**

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo ainda conter aditivos e adições minerais.

Os aglomerantes são produtos capazes de provocar a aderência dos materiais, sendo eles a cal, o cimento e o gesso. Estes produtos podem ser utilizados isolados, ou adicionados a materiais inertes, e no caso do uso exclusivo de aglomerante e água, tem-se a presença de uma pasta, e quando se mistura a pasta com agregado, obtém-se a argamassa.

### **2.1.2.1 Cimento**

No ano de 1756, uma importante etapa para o desenvolvimento do cimento foi dada pelo inglês John Smeaton, que conseguiu obter um produto de alta resistência, por meio de calcinação de calcários moles e argilosos (RENÓ, 2007).

Estudos feitos por Varela (2005) relatam que entre 1812-1818, o francês Vicat elaborou a teoria da hidraulicidade, onde ele mencionou as proporções de calcário e de sílica necessárias para obter uma mistura que, após uma cozedura e trituração, fosse um aglutinante hidráulico. Vale frisar que atualmente o tempo de pega do cimento é determinado pelo ensaio de aparelho de Vicat.

Já em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin, queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino, e ele percebeu que após a secagem tornava-se tão dura quanto pedra empregada em construções (RENÓ, 2007).

Aspdin verificou que a mistura não se dissolvia na água e patenteou no mesmo ano com o nome de Cimento Portland, e conforme Varela (2005), essa mistura recebeu esse nome devido ao produto ter cor e características semelhantes às das pedras da ilha de Portland, que fica situada ao sul da Inglaterra.

Oliveira (2000b) define o Cimento Portland como um o produto obtido pela moagem de clinker, constituído por silicatos de cálcio, certa porção de sulfato de

cálcio natural, e eventuais adições de materiais que modificam suas propriedades ou trabalhabilidade.

O clinker é obtido pela mistura, cozedura e moagem de rocha calcária, argila e minério de ferro. Estes materiais são homogeneizados, moídos e submetidos a um tratamento térmico em forno rotativo em uma temperatura de 1450C°.

Os componentes fundamentais do cimento são: a cal, a sílica, a alumina e o óxido de ferro, que constituem entre 95 a 96% do total na análise de óxidos, conforme descreve Oliveira (2000b).

As propriedades físicas do cimento para o citado autor possuem três aspectos distintos: a propriedade do produto em sua condição natural (em pó), a mistura de cimento e água (dando origem a pasta) e a mistura da pasta com agregados padronizados, formando a argamassa.

Pode-se notar que as propriedades da pasta e argamassas estão diretamente relacionadas com o desempenho e características do cimento. Conforme Recena (2014), o cimento Portland determina as características das argamassas no estado endurecido, proporcionando melhor trabalhabilidade, elevada resistência mecânica e, sem dúvida, maior durabilidade.

### **2.1.2.2 Cal**

A cal é um nome genérico de um aglomerante simples, resultante da calcinação de rochas calcárias, que se apresenta através de diversas variedades, com características resultantes da natureza da matéria prima empregada e do processamento conduzido (OLIVEIRA, 2000a).

Segundo Santiago (2007), o uso da cal diminuiu bastante devido a grande difusão do Cimento Portland, porém, até meados do século XIX era o aglomerante utilizado nas construções, tanto para assentamentos, quanto para revestimentos.

Apesar da redução do uso da cal, o emprego desta pode ser constatado em várias regiões do Brasil de baixa renda, pois, atualmente tenta-se recuperar a empregabilidade da cal, principalmente em habitações de baixo custo, segundo relata Santiago (2007).

Ao decorrer dos anos, a cal passou por muitas adaptações para melhor aproveitamento de suas propriedades, e hoje os diversos tipos de cal são: cal virgem ou viva, extinta, hidratada, aérea e cal hidráulica. Salienta-se que a cal virgem resulta

da “queima” da pedra calcária em fornos, e apresenta-se em formato de grão grande ou em pó.

Oliveira (2000a) define a cal viva como resultado do processo da calcinação do calcário que contém óxidos de cálcio, exibindo uma estrutura porosa e formatos idênticos aos dos grãos da rocha original. Na calcinação, o carbonato de cálcio decompõe-se em óxidos de cálcio e anidridos carbônicos, quando expostos a uma temperatura de 900C<sup>o</sup>.

Esta não é ainda a cal utilizada na construção, pois é necessário que a cal virgem seja hidratada, sendo este processo conhecido como queima ou extinção. O procedimento consiste em adicionar dois ou três volumes de água para um de cal, gerando um forte desprendimento de calor.

Neste processo, o óxido deve ser hidratado, transformando-se em hidróxido, que é o constituinte básico da cal. A operação de hidratação chama-se extinção e denomina-se cal extinta. (OLIVEIRA, 2000a). Quando esta hidratação é feita no canteiro da obra ela é denominada de cal hidratada. A Figura 2 apresenta as diferenças entre calcário, cal virgem e hidratada.

Figura 2: Exemplo de calcário, cal virgem e hidratada.



Fonte: Oliveira (2011, pág. 20)

A cal aérea é constituída principalmente por óxido ou hidróxido de cálcio, a qual endurece lentamente ao ar por reação com o dióxido de carbono atmosférico. (COELHO, 2009). Esta se apresenta na forma de virgem ou hidratada.

A respeito da cal hidráulica, o supracitado autor destaca que ela possui propriedades de ganhar presa e endurecer debaixo de água.

Cita Recena (2014) que o emprego da cal nas argamassas tem o objetivo de proporcionar à mistura melhores características como plasticidade, retenção de água e incorporação de areia que redundam maior trabalhabilidade. Outra função da cal é a

capacidade de absorver deformações sujeitas às argamassas, e isso torna-se de grande importância quando utilizada em paredes ou lajes, destaca (COELHO, 2009).

Devido à finura e leveza dos seus grãos, a cal tem capacidade de proporcionar fluidez, coesão e retenção de água hidratando e melhorando a trabalhabilidade da argamassa. Segundo Coelho (2009), isso ocorre devido a suas partículas quando misturadas com a água, funcionarem como um verdadeiro lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia.

### 2.1.2.3 Areia

Albuquerque (2000) apresenta a definição geológica da areia com sedimento de grãos geralmente de quartzo, com diâmetros entre 0,06 a 2mm considera a mesma como um material de construção.

Na visão de Margalha (2011), as areias provêm da desagregação das rochas e, no conceito químico, podem distinguir-se dois grupos principais: as areias siliciosas (quartzosas e graníticas) e as areias calcárias.

As areias classificam-se em finas, médias e grossas. A Tabela 1 apresenta esta faixa granulométrica.

Tabela 1: Faixa granulométrica da areia

Areia	Diâmetro dos grãos (mm)
Fina	0,15 a 0,6
Média	0,6 a 2,4
Grossa	2,4 a 4,8

Fonte: Adaptado de Bauer (2000)

A composição da granulometria influencia as propriedades do concreto e da argamassa, pois, caso a areia não seja bem graduada, maior será o índice de vazios e, conseqüentemente, maior será o consumo da pasta cimento resultando um aumento na retração e no custo. O Quadro 1, apresenta a granulometria da areia e suas propriedades.

Quadro 1: Granulometria da areia e suas propriedades.

Granulometria	Tipo	Propriedades
Contínua (bem graduada)		Maior trabalhabilidade e menor consumo de cimento

Descontínua		Maior resistência.
Uniforme		Maior consumo de água.

Fonte: próprio autor

As possíveis impurezas presentes na areia afetam a granulometria e aumentam a absorção de água afetando a trabalhabilidade. Estas impurezas podem ser torrões de argila, matéria orgânica, materiais pulverulentos e carbonosos. A presença de finos de argila prejudica a aderência da pasta cimento e a decomposição da matéria orgânica gera patologias como eflorescências e manchamentos.

Uma das atribuições da areia é proporcionar à mistura estabilidade de volume, diminuindo a possibilidade do processo de retração, conforme comenta Recena (2014).

Coelho (2009) destaca que a incorporação de areia é a propriedade que expressa a facilidade da pasta de cal hidratada envolver e recobrir os grãos do agregado e, conseqüentemente, juntar os mesmos.

Margalha (2011) relata que as características do agregado, tais como dureza, forma dos grãos, granulometria e porosidade, influenciam no comportamento da argamassa.

Indica-se o uso de areia fina para reduzir a porosidade e a absorção da água na mistura e da areia grossa para reduzir a ocorrência de fendilhão. O fendilhão é outra patologia que ocorre no reboco e afeta sua impermeabilização, facilitando a entrada de água e microrganismo que comprometem a durabilidade do revestimento e da própria parede.

#### 2.1.2.4 Ensaios necessários para os constituintes da argamassa

Conforme visto no item anterior, a qualidade de cada material citado é de extrema importância para o melhor desempenho da argamassa. Sob esse enfoque, é necessário que os materiais passem por uma análise criteriosa, especificada pela

Norma Brasileira (NBR). A seguir, os Quadros 2, 3 e 4 apresentam as recomendações de ensaios da NBR, respectivamente, para o cimento, a cal e a areia natural.

Quadro 2: Ensaios para o cimento.

<b>Cimento</b>	
<b>Ensaio</b>	<b>NBR</b>
Massa específica	NM 23
Determinação do tempo de pega	NM 65/45
Finura	5732(EB-1) e 5733(EB-2)

Fonte: próprio autor

Quadro 3: Ensaios para cal

<b>Cal virgem e cal hidratada</b>	<b>NBR</b>
Retirada e preparação de amostra - Procedimento	6471:1998
Análise química	6473:2003
Determinação da estabilidade	9205:2001
Determinação da plasticidade	9206:2003
Determinação da capacidade de incorporação de areia no plastômetro de Voss	9207:2000
<b>Cal hidratada para argamassas</b>	
Determinação da finura	9289:2000
Determinação de retenção de água	9290:1996
Determinação da água da pasta de consistência norma	14399:1999

Fonte: próprio autor

Quadro 4: Ensaios para areia natural.

<b>Areia</b>	
<b>Ensaio</b>	<b>NBR</b>
Massa específica	NM 52:2002
Massa unitária	NM 45:2006
Absorção	NM 30:2001
Peneiramento	NM 248:2003
Determinação de impurezas orgânicas	NM 49:2001
Determinação do teor de partículas leves	9936:1987
Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis	9917:2009
Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis	7218:2010
Reatividade álcali-agregado	15577-4:2009

Fonte: próprio autor

### 2.1.3 Tipos de argamassas

Quanto à função, as argamassas são classificadas em: de assentamento e de revestimento.

A argamassa de assentamento de alvenaria é utilizada para a elevação de paredes e muros de tijolos ou blocos (Figura 3). As suas principais funções são:

- unir as unidades de alvenaria, de forma a constituir um elemento monolítico, contribuindo na resistência aos esforços laterais;
- selar as juntas e garantir a estanqueidade da parede à penetração de água das chuvas;
- absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem.
- distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos.

Figura 3: Argamassa de assentamento.



Fonte: próprio autor

A argamassa de revestimento é utilizada para revestir paredes, muros e tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros. Esta argamassa é constituída de três camadas: chapisco, emboço e reboco. A Figura 4 apresenta essas camadas na alvenaria.

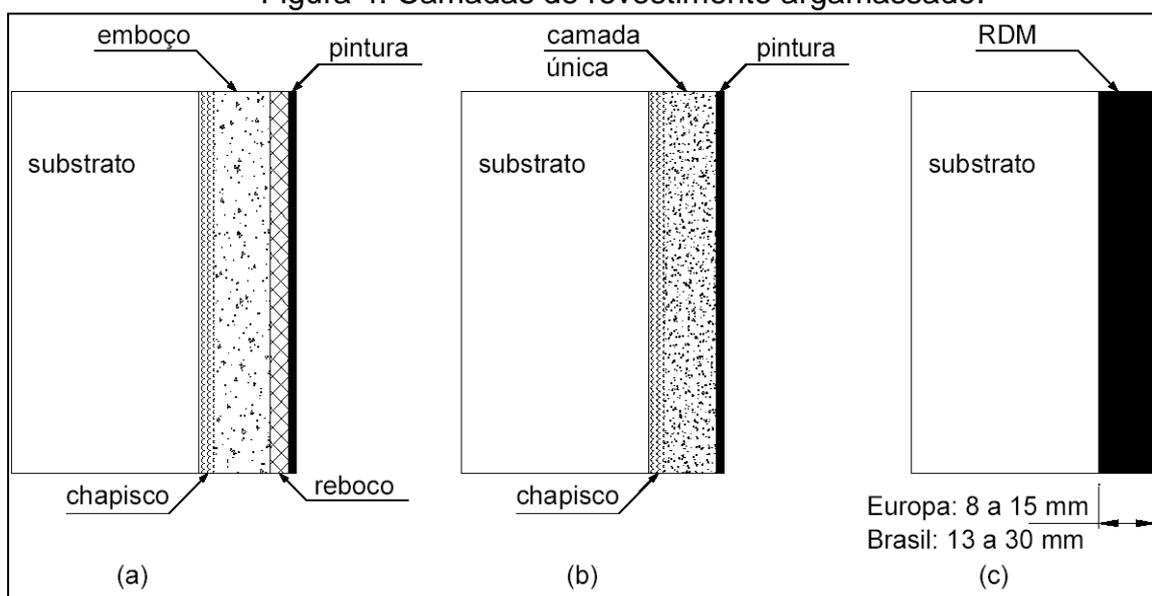
Aplica-se o chapisco com a finalidade de deixar a superfície mais áspera e serve como ancoragem para o revestimento posterior, facilitando, assim, a aderência do emboço à superfície a ser revestida.

O emboço deve ser sarrafeado com régua e apresentar superfície plana e áspera para dar aderência no reboco (quando for aplicado). O emboço é também chamado de reboco grosso, e é diretamente aplicado sobre o chapisco.

O reboco é uma camada fina de argamassa, aplicada sobre o emboço para dar melhor aspecto à superfície de revestimento. As principais funções da argamassa de revestimento são:

- proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso dos revestimentos externos;
- integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (30%), isolamento acústico (50%), estanqueidade à água (70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais.

Figura 4: Camadas de revestimento argamassado.



Fonte: Carasek (2007, pág. 21)

#### 2.1.4 Propriedades no estado fresco

As propriedades da argamassa no estado fresco são avaliadas pela consistência, trabalhabilidade, coesão, tixotropia, plasticidade, retenção de água, massa específica e adesão inicial (LEAL 2013). As propriedades estão definidas no Quadro 5.

Quadro 5: Propriedades da argamassa no estado fresco e suas definições.

Propriedades	Definições
Trabalhabilidade	Facilidade de manuseamento de uma argamassa por parte do operário que a aplica.
Teor em ar	Porção de ar contido numa argamassa.
Consistência	Capacidade da argamassa em manter fluidez ao longo do tempo de aplicação, sendo influenciada pela quantidade de água que se introduz

	na mistura.
Tixotropia	Capacidade de ganhar consistência de um modo aparentemente rápido em repouso, voltando à configuração anterior de fluido quando em movimento.
Autorregularização	Aptidão da argamassa fluída, no estado fresco, possui para se adaptar naturalmente a uma superfície lisa.
Poder Molhante	Capacidade de a argamassa fresca molhar o suporte associado, facilitando assim a aderência.
Tempo de Armazenamento (Validade)	Período de tempo durante o qual a argamassa mantém suas propriedades de aplicação, em condições definidas pelo seu fabricante.
Tempo de Repouso (Maturação)	Período de tempo entre a preparação da argamassa e o instante em que esta deve ser aplicada.
Tempo de Vida	Intervalo de tempo após a amassadura, durante o qual a argamassa pode ser utilizável.
Tempo Aberto	Intervalo de tempo máximo para a conclusão, a partir do momento da aplicação de uma argamassa.
Tempo de Ajustabilidade	Intervalo de tempo máximo em que se pode corrigir a aplicação de uma argamassa, sem perdas significativas das suas propriedades mecânicas.
Tempo de Presa	Período de tempo a partir do qual a argamassa começa a endurecer. A partir deste período a argamassa torna-se pouco sensível à água.
Tempo de Endurecimento	Intervalo de tempo necessário para que uma argamassa aumente a sua resistência. Na prática é o tempo fundamental para utilização..
Aplicação por passos (fresco/ sobre fresco)	Método de aplicação que se baseia na aplicação de uma camada de argamassa sobre a anterior, antes de a primeira terminar a presa.
Compactação	Método manual ou mecânico para ampliar a densidade de uma argamassa fresca.
Retenção de Água	Aptidão de uma argamassa hidráulica fresca reter a água de amassadura, quando exposta à sucção do suporte, possibilitando o seu endurecimento normal.
Coesão	Refere-se às forças físicas de tração que existem entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta ligante.
Plasticidade	Propriedade que a argamassa tem de manter a deformação, após redução do esforço de deformação, sendo influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de ligantes e pela intensidade de mistura das argamassas.
Massa específica	A massa específica absoluta da mistura ligante/agregado refere-se ao volume de material sólido não considerando os vazios.
Adesão inicial	Propriedade que caracteriza o comportamento futuro do conjunto suporte-argamassa e depende das características de trabalhabilidade da

	argamassa e também quanto à porosidade e rugosidade do suporte onde a argamassa será aplicada.
--	--

Fonte: Adaptado Lourenci (2003, pág.44)

### 2.1.5 Propriedades no estado endurecido

Na concepção de Leal (2013), no estado endurecido, a avaliação das argamassas está relacionada na sua interação com a base onde será aplicada. O Quadro 6 apresenta as propriedades e definições nesse estado.

Quadro 6: Propriedades da argamassa no estado endurecido e suas definições.

Propriedades	Definições
Durabilidade	Resistência da argamassa a condições químicas, mecânicas e climáticas, que se mantêm ao longo da vida útil.
Porosidade	Relação entre o volume de poros existentes na argamassa e o seu volume total.
Capilaridade	Capacidade que uma argamassa tem de absorver água, de forma natural, sem se fazer pressão.
Impermeabilidade	Competência de uma argamassa para impedir a penetração de água, sob uma determinada pressão.
Permeabilidade ao vapor de água	Corrente de vapor de água que penetra a argamassa, em condições de equilíbrio, por unidade de superfície e pressão de vapor.
Deformabilidade	Habilidade de uma argamassa no estado endurecido se deformar por meio de tensões, sem que ocorra a rotura da estrutura.
Deformação transversal	Flexão no centro de um provete de argamassa, submetido a uma carga em três pontos.
Adesão inicial / Aderência	Propriedade que caracteriza o comportamento futuro do conjunto suporte-argamassa e depende das características de trabalhabilidade da argamassa e também quanto à porosidade e rugosidade do suporte onde a argamassa será aplicada.
Resistência mecânica	Capacidade de a argamassa resistir a tensões de tração, compressão ou corte, sendo influenciada pelo endurecimento da argamassa. Também é influenciada pela proporção dos constituintes, suas características e sua pureza.
Resistência à tração	Aptidão da argamassa para aguentar a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície
Resistência ao corte	Resistência criada pela aplicação de uma força exercida paralelamente ao plano de aderência.
Rotura adesiva	Rotura que ocorre na interface entre a argamassa e o suporte, ou

	material, associado. O valor recebido equivale à aderência.
Rotura coesiva	Rotura que ocorre no interior da argamassa (a resistência desta é inferior à do suporte), ou rotura que acontece no suporte (onde a resistência da argamassa é superior a do suporte).
Resistência à flexão	Tensão de rotura de uma argamassa, determinada pela utilização de uma força de flexão em três pontos.
Resistência à compressão	Valor de rotura de uma argamassa. Obtido através da aplicação de uma força de compressão em dois pontos opostos.
Resistência à abrasão	Resistência ao desgaste da superfície de uma argamassa endurecida, por execução mecânica.
Resistência ao fogo	Resistência dos elementos que constituem uma argamassa quando sujeita a elevadas temperaturas decorrentes da ação do fogo.
Resistência ao ataque de agentes químicos agressivos	É relativo à composição química da argamassa, natureza dos materiais, resistência ao desgaste superficial e à permeabilidade das argamassas, e dos materiais a ela adjacentes.
Retração	Diminuição do volume de uma argamassa, sem suporte, durante o seu endurecimento.
Rugosidade	Textura da superfície de uma argamassa.
Dureza superficial	Reação da superfície de uma argamassa endurecida, à penetração de uma bola de aço submetida a uma carga.
Condutibilidade térmica	A condutibilidade térmica quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica.

Fonte: Adaptado Lourenci (2003, pág.45)

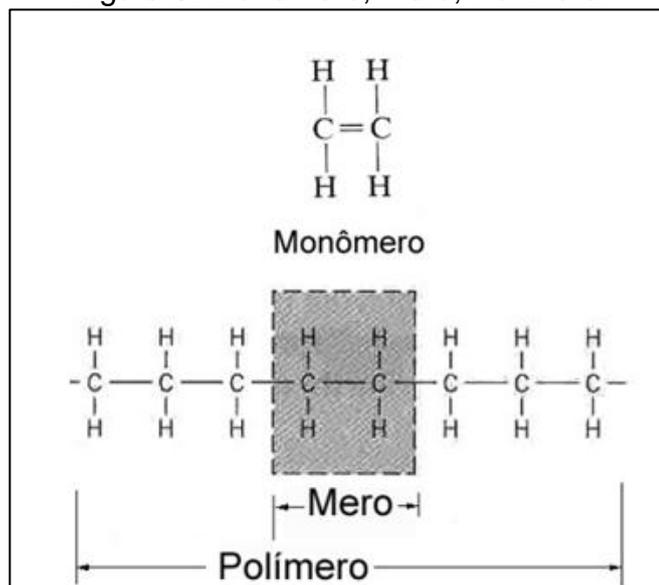
## 2.2 Polímero

A definição clássica de polímero origina-se da palavra grego poli (muitos) e mero (partes).

Segundo Canevarolo Jr. (2000), um polímero é formado por muitas unidades de repetição (denominados meros) ligadas por uma ligação covalente. Este autor ainda comenta que os polímeros podem ser divididos em três classes: plásticos, borrachas e fibras, sendo que esta classificação depende do número médio de meros por cadeia, do tipo de cadeia e de monômero.

Na concepção de Adamian (2009), o termo polímero é aplicado há pelo menos 50 monômeros, unidos por ligações covalentes, no qual há a presença constante de carbono e hidrogênio, formando macromoléculas de unidades químicas repetidas. A Figura 5 apresenta a um exemplo de monômero, mero e polímero.

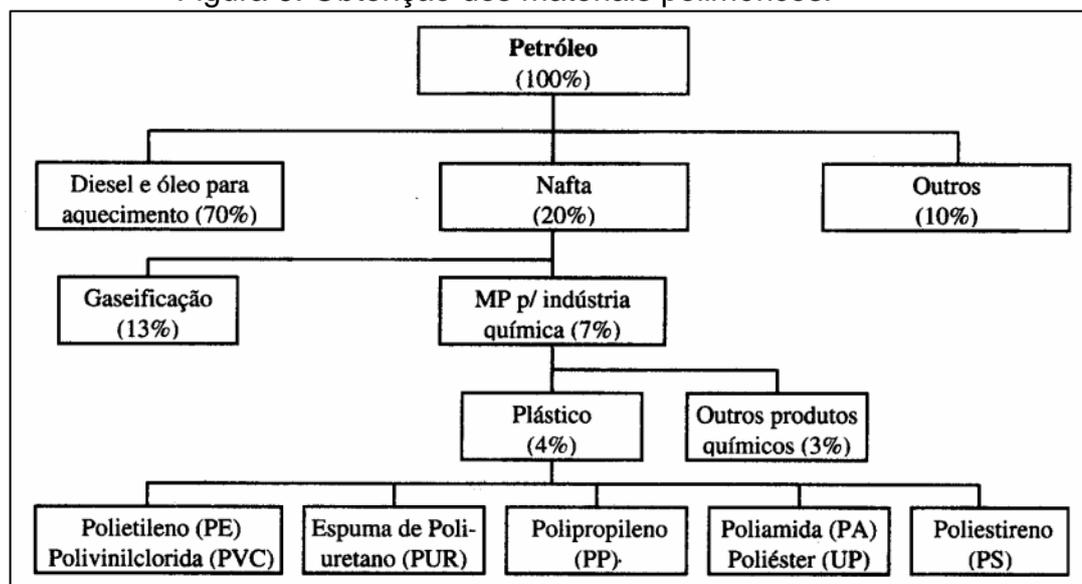
Figura 5: Monômero, Mero, Polímero.



Fonte: Adaptado Demarquete (2013, pág. 6).

A matéria prima para os polímeros é chamada de monômero, que é uma molécula constituída por um único mero. O petróleo e o gás natural são os principais componentes para a produção do monômero, relata Michaeli (2010). A Figura 6 apresenta a obtenção dos materiais poliméricos.

Figura 6: Obtenção dos materiais poliméricos.



Fonte: Michaeli (2010, pág. 16)

O Quadro 7, apresenta os principais polímeros e suas respectivas abreviaturas.

Quadro 7: Principais polímeros comerciais.

Polímero	Abreviatura
Copolímero acrilonitrila / butadieno / estireno	ABS
Copolímero acdonitrila / etileno/ estireno	AES
Copolímero acrilonitrila / estireno/ acrilato	ASA
Polietileno clorado	CPE
Policloropreno	CR
Copolímero etileno/ácido acrílico	EAA
Copolímero etileno/ propileno / dieno	EPDM
Copolímero etileno /acetato de vinila	EVA
Copolímero etileno/álcool vinílico	EVOH
Poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro	GRUP
Polietileno de alta densidade	HDPE
Poliestireno de alto impacto	HTPS
Borracha butílica (isobutileno/isopreno)	IIR
Polipropileno isotático	IPP
Poliestireno isotático	IPS
Borracha de isopreno	IR
Polietileno de baixa densidade	LDPE
Polietileno de baixa densidade linear (copolímero etileno / alfa-olefina)	LLDPE
Copolímero metacrilato de metila/ butadieno /estireno	MBS
Borracha nitrílica (acrilonitrila /butadieno)	NBR
Borracha natural (poli-cis-isopreno)	NR
Poliamida (náilon)	PA
Poliacrilonitrila	PAN
Polibutadieno	PB
Poli (tereftatato de butila)	PBT
Policarbonato	PC
Polidimetilsiloxano	PDMS
Polietileno	PE
Poli(éter-éter-cetona)	PEEK
Poli(éter-imida)	PEI
Poli (naftalato de etileno)	PEN
Poli (óxido de etileno)	PEO
Poli (tereftalato de etileno)	PET
Poli (hidroxibutirato)	PHB
Polimida	PI
Poli (metacrilato de metila)	PMMA
Poli (óxido de metileno)	POM
Polipropileno	PP
Poli (óxido de propileno)	PPO
Poli (sulfeto de fenileno)	PPS
Poliestireno	PS
Poli (tetrafluoroetileno)	MFE
Poliuretano	PU
Poli (acetato de vinila)	PVAc
Poli (cloreto de vinila)	PVC
Poli (dicloreto de vinilideno)	PVDC
Poli (difluoreto de vinilideno)	PVDF
Poli (fluoreto de vinila)	PVF
Copolímero estireno/ acrilonitrila	SAN
Borracha sintética de estireno/butadieno	SBR

Polipropileno sindiotático	SPP
Continuação do Quadro 7...	
Poliestireno sindiotático	SPS
Poliuretano termoplástico	TPU
Poliétileno de ultra alta massa molar	UHMWPE
Poliéster insaturado	UP
Copolímero cloreto de vinila / acetato de vinila	VC/VAc

Fonte: Canevarolo Jr. (2006, pág. 69)

### 2.2.1 Classificação dos polímeros

Conforme Mano (1998), pode-se classificar os polímeros de diversas maneiras, conforme o critério escolhido. O Quadro 8, apresenta a classificação dos polímeros.

Quadro 8: Classificação dos polímeros.

Nº	Critério	Classe do polímero
1	Origem do polímero	Natural
		Sintético
2	Número de monômeros	Homopolímero
		Copolímero
3	Método de preparação do polímero	Polímero de adição
		Polímero de condensação
		Modificação de outro polímero
4	Estrutura química da cadeia polimérica	Poliéster
		Poliamida
		Poli-hidrocarboneto
5	Encadeamento da cadeia polimérica	Sequência cabeça-cauda
		Sequência cabeça-cabeça, cauda-cauda
6	Configuração dos átomos da cadeia polimérica	Sequência cis
		Sequência trans
7	Taticidade da cadeia polimérica	Isotático
		Sindiotático
		Atático
8	Fusibilidade e/ou solubilidade do polímero	Termoplástico
		Termorrígido
9	Comportamento mecânico do polímero	Borracha ou elastômero
		Plástico
		Fibra

Fonte: Mano (1998, pág. 14)

Para as definições das classes dos polímeros, segue-se a numeração do quadro 8.

#### 1) Origem dos polímeros

Naturais:

- Polissacarídeos (celulose, amido);
- Proteínas (biopolímeros, lã);

- Natural (poliisopreno).

Sintéticos:

- Borrachas;
- Plásticos;
- Fibras;
- Adesivos;
- Recobrimentos.

## 2) Números de monômeros

De acordo Adamian (2009), têm-se as seguintes definições:

- Homopolímero: polímero formado a partir de um único monômero.
- Copolímero: polímero formado por dois ou mais monômeros.

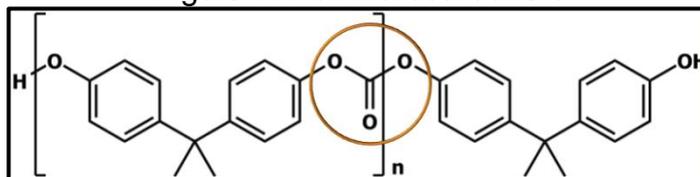
## 3) Método de preparação do polímero

- Polímero de adição: neste processo, os monômeros sempre apresentam duplas ligações entre átomos de carbono, não há formação de subprodutos e o peso de uma molécula de polímero é igual à soma dos pesos moleculares de todas as moléculas dos monômeros que a formam.
- Polímero de condensação: há perda de matéria, com formação de subprodutos, como água os quais precisam ser removidos do meio reacional. Os pesos moleculares dos polímeros são menores que aqueles obtidos por poliadição.
- Modificação de outro polímero: resulta de reações químicas sobre polímeros já existentes sejam eles naturais ou sintéticos, ocorre mudanças no peso molecular na solubilidade nas resistências mecânica e elétrica permitindo uma diversificação ampla de suas aplicações, Mano(1998).

## 4) Estrutura química da cadeia polimérica

- Poli-hidrocarboneto: caracterizada pela ligação (O – CO – O), e possuir cadeias lineares com presença de aromáticos. Conforme a Figura 7.

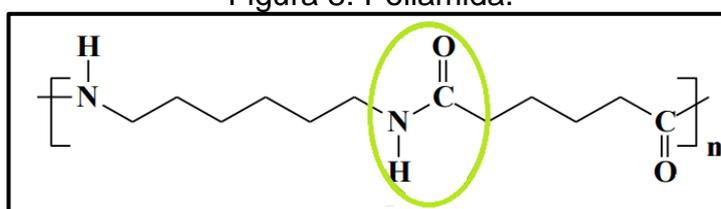
Figura 7: Poli hidrocarboneto



Fonte: Dalmolin ( 2014, pág. 35)

- Poliamida: Caracterizadas pela ligação amida (- NH – CO -) na cadeia principal. A Figura 8 apresenta essa configuração.

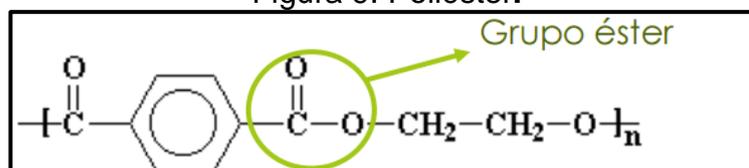
Figura 8: Poliamida.



Fonte: Dalmolin ( 2014, pág. 40)

- Poliéster: são polímeros de condensação que possuem em sua estrutura vários grupos éster (CO – O) na cadeia principal. Essa formação é ilustrada da Figura 9.

Figura 9: Poliéster.

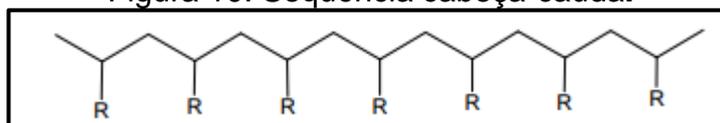


Fonte: Dalmolin ( 2014, pág. 38)

### 5) Encadeamento da cadeia polimérica

- Sequência cabeça-cauda: Durante o crescimento da cadeia sempre é o carbono cauda do monômero, que se apresenta para se ligar com a cabeça, conforme a Figura 10.

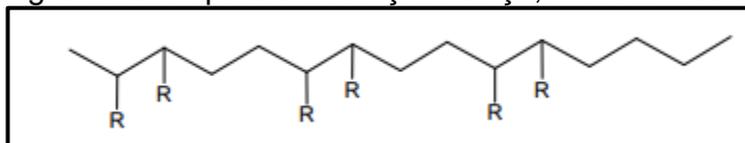
Figura 10: Sequência cabeça-cauda.



Fonte: Canevarolo Jr (2006, pág.56)

- Sequência cabeça-cabeça, cauda-cauda: Neste caso sempre é um outro carbono que apresenta-se para ligar com o carbono radical da cadeia em crescimento. Essa sequência é apresentada na Figura 11.

Figura 11: Sequência cabeça-cabeça, cauda-cauda.



Fonte: Canevarolo Jr (2006CA, pág.56)

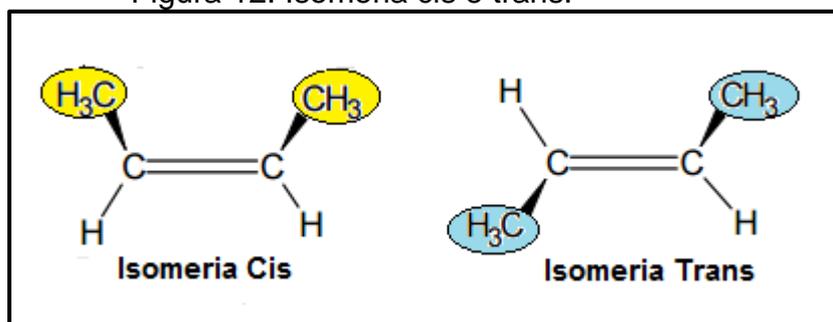
#### 6) Configuração dos átomos da cadeia polimérica

A configuração dos átomos na cadeia polimérica pode ser do tipo: cis ou trans. Essa isometria geométrica também pode ser denominada estereoisomeria, que são compostos que possuem a mesma estrutura e o mesmo grupo funcional. Eles diferenciam-se através da disposição espacial dos átomos que constituem as moléculas.

- Isomeria cis: ocorre quando os grupos ligantes iguais estão do mesmo lado no plano.
- Isomeria trans: ocorre quando os grupos ligantes iguais estão em lados opostos no plano.

A Figura 12 apresenta um exemplo de isomeria cis e trans.

Figura 12: Isomeria cis e trans.



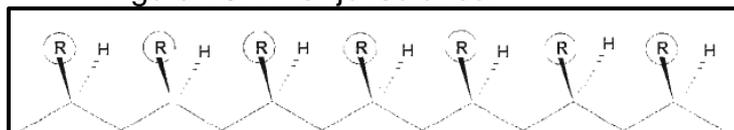
Fonte: Raupp (2009, pág. 5)

#### 7) Taticidade da cadeia polimérica

De acordo com Canevarolo Jr (2006), a taticidade é a regularidade espacial com que os grupos laterais são alocados na cadeia polimérica. A taticidade também pode ser considerada como a posição do radical em relação ao eixo da cadeia, propriedade de um polímero possuir um arranjo espacial ordenado. Existem três tipos de posição quanto ao radical: isotático, sinditático e atáticos.

- Isotático: todos os grupos laterais são dispostos de um mesmo lado do plano definido pelos átomos da cadeia principal. A Figura 13 apresenta um arranjo isotático, na representação, todos os grupos laterais R estão direcionados para frente do plano. Representam-se as ligações saindo do plano com um triângulo preto e as ligações entrando no plano por linhas tracejadas.

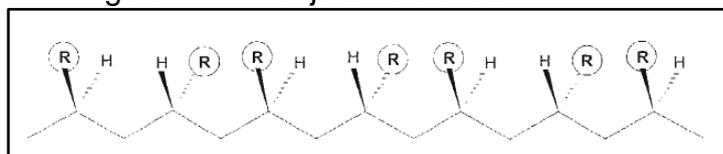
Figura 13: Arranjo isotático.



Fonte: Canevarolo Jr (2006, pág. 57).

- Sindiotático: os grupos laterais são dispostos de maneira alternada, ora para cima, ora para baixo com relação ao plano da cadeia principal. A Figura 14 apresenta um arranjo sindiotático.

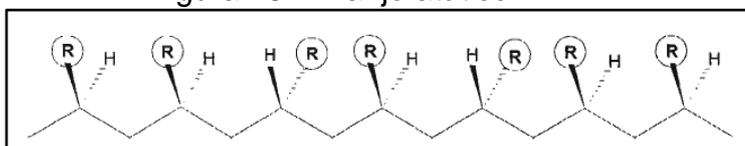
Figura 14: Arranjo sindiotático.



Fonte: Canevarolo Jr (2006, pág. 57)

- Atático: não há uma regularidade nessa disposição. A Figura 15 apresenta essa disposição.

Figura 15: Arranjo atático.



Fonte: Canevarolo Jr (2006, pág. 57)

## 8) Fusibilidade ou solubilidade do polímero

Neste critério os polímeros podem ser termorrígidos ou termofixos e termoplásticos.

- Termorrígidos: são polímeros que não são capazes de se fundirem, por apresentar uma polimerização química irreversível. São muito estáveis a variações de temperatura. O aquecimento do polímero acabado a altas

temperaturas promove decomposição do material antes de sua fusão, logo, sua reciclagem é complicada.

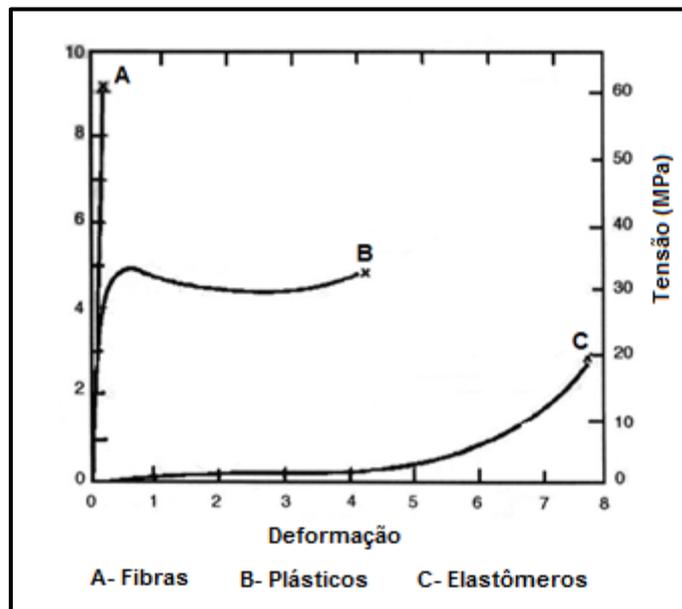
- Termoplásticos: esses polímeros podem ser aquecidos e moldados, e novamente reaquecidos e resfriados. Este ciclo de amolecimento é reversível e é responsável por sua reciclagem.

#### 9) Comportamento mecânico do polímero

Quanto ao comportamento mecânico os polímeros são divididos em três tipos: plásticos, fibras, elastômeros.

- Plásticos: apresentam um comportamento semelhante ao de um metal, possui uma região de deformação plástica, seguida de um limite de escoamento e uma região plástica, até o rompimento. Conforme a curva B do Gráfico 2.
- Elastômeros (borrachas): caracteriza-se por um comportamento completamente elástico, segundo a curva C do Gráfico 2.
- Fibras: considerado um polímero frágil e rompe-se durante a deformação plástica, de acordo com a curva A do Gráfico 2

Gráfico 2: Curva tensão versus deformação dos polímeros.



Fonte Adamian adaptado (2009 pg. 142)

### 2.2.2 O plástico reciclado no Brasil

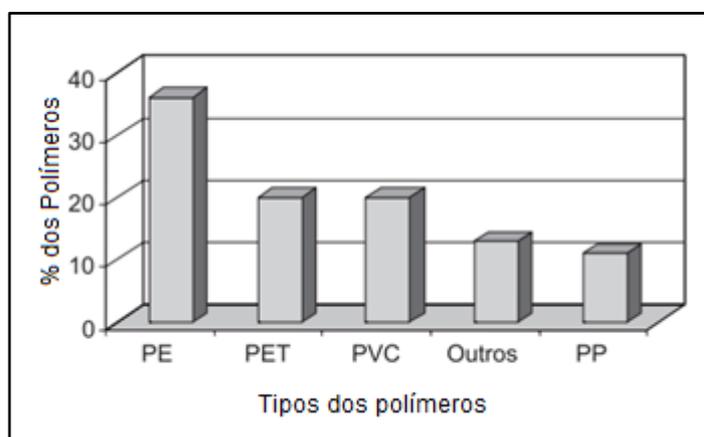
Michaeli (2010) menciona que há alguns anos, o reaproveitamento dos resíduos plásticos vem sendo cada vez discutido. O objetivo do reaproveitamento é permitir que o lixo fosse inserido novamente na produção através da preparação do material.

Mano (1998) salienta os seguintes motivos para reciclar os plásticos:

- Conservação de energia: a reciclagem dos plásticos economiza 80% de energia requerida para produzir os mesmos plásticos a partir de matérias-primas.
- Aumento das opções de gerenciamento dos rejeitos: a maior parte das nações industrializadas está enfrentando uma crise de acúmulo de rejeitos sólidos. Os plásticos reciclados economizam espaço no aterro e na fábrica de recuperação de plásticos.
- Redução dos custos de descarte: o custo do uso de aterro é alto e a reciclagem auxilia a manter baixo o custo de descarte do lixo.
- Conservação dos recursos naturais: a reciclagem é um meio de reutilizar produtos derivados de petróleo, assim economiza-se este limitado recurso natural.

Silva (2005) menciona que os principais polímeros encontrados nos resíduos sólidos urbanos são o polietileno de alta e baixa densidade (PEAD e PEBD), o PET, o PVC e o PP. O Gráfico 3, apresenta a porcentagem dos polímeros mais encontrados no resíduo sólido brasileiro.

Gráfico 3: Polímeros mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro.

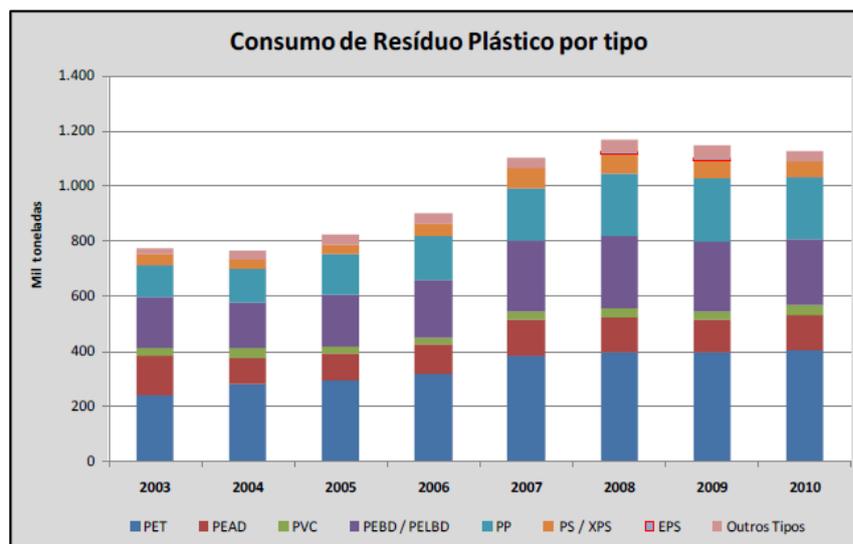


Fonte: Da Silva (2005 pág. 1)

Observa-se no Gráfico 3, que o PET ocupa a segunda colocação na quantidade de resíduos sólidos descartados no Brasil e dados do Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2008), mostram que mais de 20% da coleta seletiva no Brasil é composta por resíduos plásticos que cresce ano a ano.

Conforme dados do Índice de Reciclagem Mecânica Pós Consumo (IRmP), o Brasil atingiu um índice de reciclagem de 21,7% em 2011, mas possui uma estrutura de coleta seletiva com capacidade para 40%, caso isso ocorra o Brasil pode superar o índice de países da Europa que possuem o um índice de 24,7%. O Gráfico 4, apresenta os tipos dos plásticos mais reciclados pós consumo no país.

Gráfico 4: Produção de plástico reciclado pós-consumo.



Fonte: IRmP (2011, pág. 16)

O Gráfico 4, apresenta o consumo de cada tipo de plástico por ano, verifica-se que os plásticos mais reciclados no Brasil são o PET e o PEAD, e que o volume de reciclagem aumentou durante os anos.

A tendência é que a reciclagem de plásticos cresça ainda mais, o que é extremamente importante para o desenvolvimento de uma nova fase de relacionamento entre os plásticos, a sociedade e o meio ambiente. Reciclar não é suficiente, é preciso inserir ou desenvolver novas utilidades deste plástico para incentivar o seu reaproveitamento.

### 2.2.3 Processo de reciclagem do PET

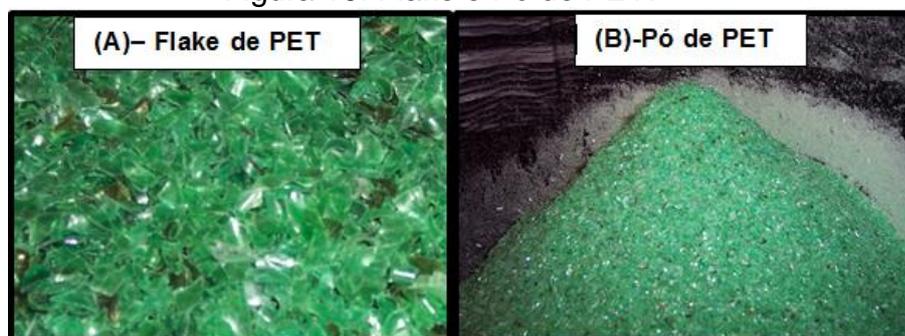
De acordo com Canellas (2005), a forma mais indicada para se processar o PET em uma linha de reciclagem, é recebê-lo já separado por cor e prensado em fardos, os rótulos e tampas serão separados por densidade nos tanques citados a seguir. O processo de reciclagem consiste em:

- Colocar os fardos sobre uma plataforma para serem abertos por um operador para dar início ao processo;
- As garrafas passam por um removedor de rótulos onde se extrai de 70 a 90 % dos rótulos;
- Após, as mesmas passam por uma esteira de seleção onde se supervisiona as garrafas de outras cores que não podem ser separadas mecanicamente, de outros materiais como, pedras maiores, metais;
- Opcionalmente pode-se instalar sobre a esteira uma placa magnética ou um detector de metal para impedir que os metais cheguem aos moinhos danificando suas facas;
- Antes de chegar aos moinhos é imprescindível que as garrafas passem por uma pré-lavagem, com a finalidade de prolongar a vida útil das navalhas, possibilitando um adiamento da afiação das mesmas;
- Logo realiza-se a primeira moagem e utiliza-se uma peneira de aproximadamente 30mm. Sua função é diminuir de tamanho o PET e manter os vedantes e os rótulos em um tamanho apropriado para que possam ser separados nos tanques de maneira mais eficiente. Esta moagem também recebe água que complementa a pré-lavagem das garrafas;
- Em seguida encaminha-se para o tanque de adaptação para coletar as garrafas moídas e a água introduzida no moinho;
- As garrafas são encaminhadas para primeiro tanque de separação por meio de uma rosca transportadora, neste tanque os plásticos serão separados por densidade, ficando sobre a superfície os rótulos e as tampas, o PET por ser mais denso, se deposita no fundo e é retirado por uma rosca transportadora;
- No segundo tanque de separação é feita a separação definitiva dos materiais. Neste estágio se encontram o PET em forma de Flake e em forma de pó;

- Posteriormente estes passam por um lavador de pás agitadoras onde é feito o enxágue do PET, aconselha-se que se introduza neste processo, água o mais limpa possível, para garantir a descontaminação do material;
- Encaminha-se o material para a secadora centrífuga que irá secar o PET por meio de centrifugação, onde a água é expelida para fora e o PET é transportado para o Segundo Moinho.
- No segundo moinho define-se o tamanho do flake, através de uma peneira de aproximadamente 8 a 12 mm. Nesse processo não recomenda-se o uso de água, pois nesta fase o PET já foi lavado e seco. Com isto é possível prolongar a vida útil das navalhas, adiando sua afiação e possibilitando uma coleta maior do pó do PET;

Depois deste processo separa-se o flake do pó de PET e armazena-se em seus respectivos silos, o flake antes de ser armazenado ainda é lavado, seco e separado para o ensaque. A Figura 16 apresenta o Flake e o Pó de PET.

Figura 16: Flake e Pó de PET.



Fonte: Grupo Unifibras (2016, não paginado.)

#### 2.2.4 Propriedades do PET reciclado

Silva (2003) realizou ensaios de dureza, tração e microscopia ótica, com amostras garrafas PET virgem e reciclada.

O ensaio de microscopia permite realizar a análise da superfície do material, onde pode-se verificar se há incrustações, riscos e pontos de penetração.

A finalidade do ensaio de dureza permite classificar os materiais plásticos conforme a profundidade de impressão provocada por uma carga aplicada sobre um penetrador. Para realizar este utilizou o durômetro Shore D.

O objetivo do ensaio de tração é descrever o comportamento do material, quando submetido a forças que tendem “puxá-los”,(separá-los) até que se rompa.

Com o resultado é possível determinar a tensão de ruptura e sua deformação. As tabelas 5, 6, e a Figura 17 apresentam respectivamente os resultados destes ensaios.

Tabela 2: Resultado do ensaio de Dureza Shor.

<b>Amostras de PET</b>	<b>Dureza Shor</b>
Virgem	71 ± 0,6
Reciclado	66 ± 07

Fonte: Silva (2003, pág. 18)

Sobre a Tabela 5, Silva (2003) comenta que a diferença entre as durezas não são discrepantes, mas muito próximas.

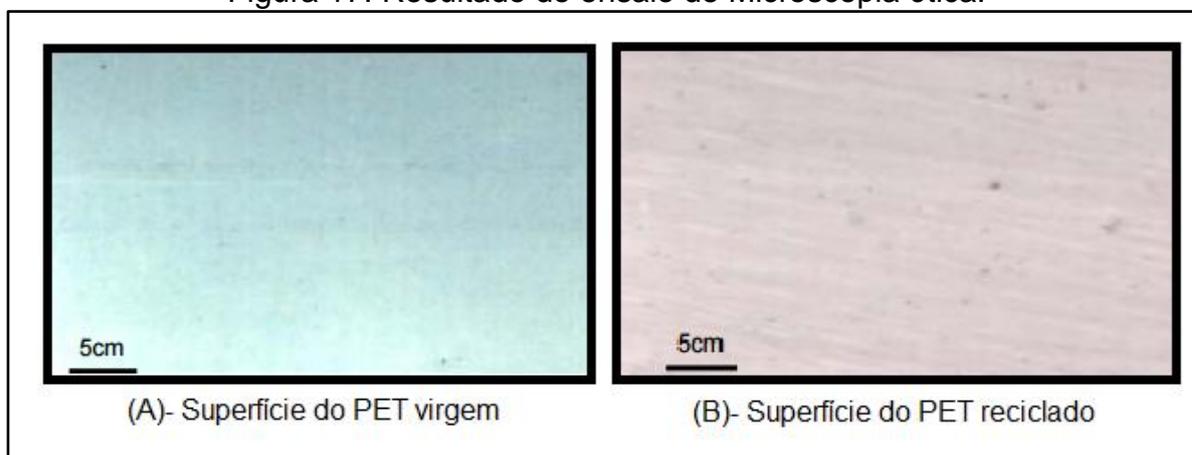
Tabela 3: Resultado do ensaio de tração do PET virgem e reciclado.

<b>Amostra de PET</b>	<b>Tensão de ruptura (Mpa)</b>	<b>Resistencia de Ruptura (Mpa)</b>
Virgem	51,58 ± 0,9	0,132 ± 0,2
Reciclado	69,41 ± 1,6	0,076 ± 0,3

Fonte: Silva (2003, pág. 18)

Comparando os resultados da Tabela 6, o autor citado relata que o PET virgem possui média menor se comparado com o reciclado em relação à tensão de ruptura. Este comenta que isso deve-se a adição de pigmentação que é dada ao PET virgem que age prejudicando seu desempenho, resultando na diminuição de sua força de ruptura.

Figura 17: Resultado do ensaio de Microscopia ótica.



Fonte: Silva (2003, pág. 20)

Na figura 17, percebe-se que a cor do PET virgem é diferente da cor do PET reciclado, isso é resultado do processo químico no qual o PET é submetido para se tornar um PET reciclado. Analisando a Figura 17-(B), o referido autor menciona que as manchas na superfície do PET, representam incrustações devido a contaminações que não foram removidas das embalagens durante o processo de reciclagem. Este ainda comenta que os contaminantes não foram adequadamente removidos em seu processo de lavagem após as duas moagens, ou permaneceram nos tanques de descontaminação durante a fase de reprocesso.

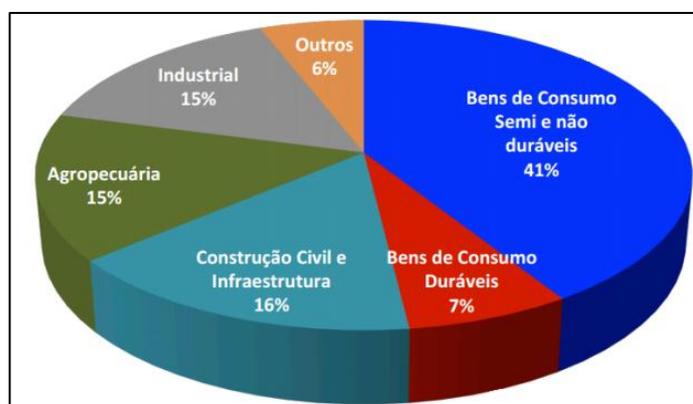
O mesmo concluiu que por meio dos resultados obtidos o PET não sofre perdas significativas quando reciclado, e que pode substituir o virgem desde que não seja utilizado como embalagens de alimentos.

### 2.2.5 Aplicações do plástico reciclado na construção civil

Modro (2008), afirma que a indústria da construção civil tem realizado estudos dos diversos tipos de resíduos de garrafa PET, com o objetivo de descobrir novas empregabilidades dos mesmos como materiais de construção. Tais estudos resultam em alguns favorecimentos destas aplicações.

O Gráfico 5, apresenta a demanda de material plástico reciclado por segmentos de mercado, é possível observar que a construção consome 16% dos produtos deste material reciclado.

Gráfico 5: Distribuição do mercado de reciclagem mecânica de plástico no Brasil



Fonte: Plastivida (2011, pg. 10)

De acordo com Mota (2008), pesquisadores da UFRJ por meio do (IMA) Instituto de Macromoléculas desenvolveram um método para transformar o plástico desperdiçado nos lixões em outro produto nobre e cada vez mais escasso: a madeira. O produto foi registrado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) com o nome de IMAWOOD, por ser “madeira do IMA” em inglês, e consiste basicamente de mistura de polietileno de baixa densidade e de alta densidade. Canellas (2005) comenta que este produto pode substituir diversos materiais, principalmente a madeira natural, pois pode ser serrado, aparafusado, pregado e aplainado.

O mesmo autor cita outro tipo de material desenvolvido nos Laboratórios do Centro Federal de Tecnologia do Paraná/CEFET-PR são os blocos intertravados chamado de ISOPET, são confeccionados em concreto leve com EPS (isopor) reciclado. Para confeccioná-los utilizam-se garrafas plásticas recicladas posicionadas no interior do bloco na vertical ou na horizontal. Estes blocos possuem canaletas que substituem as formas na moldagem de vergas, contravergas e cintas de amarração. Devido sua superfície porosa, é possível eliminar o chapisco, o emboço e o reboco da parede aplicando apenas uma argamassa colante de finalização.

Provenzano (2006) elaborou painéis modulares para parede que incorporam as garrafas plásticas no seu interior. Estes painéis são formados por colunas verticais com garrafas plásticas cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plana em seu perímetro e revestidas nas duas faces e laterais com argamassa. Os painéis são formados por colunas verticais com garrafas plásticas cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plana em seu perímetro e revestidas nas duas faces e laterais com argamassa. Esse sistema mostrou-se benéfico quanto ao desempenho térmico e proporcionou maior rigidez através da redução do peso e maior espessura da parede.

Soncim (2004) analisou o comportamento de solos misturados ao resíduo da reciclagem de garrafas pet na construção de reforço de subleitos de pavimentos rodoviários. Após correção da curva granulométrica de solos não indicados para pavimentos com 30% de areia de PET a classificação deste solo alterou-se para boa para execução de subleitos rodoviários.

Vargas (2013) apresentou a proposta de utilização de um sistema de lajes nervuradas com o emprego de garrafa PET como material de enchimento, percebeu que estas lajes apresentam melhor eficiência estrutural, devido à redução de seu

peso próprio, e um melhor isolamento térmico, contribuindo assim, para a energética das construções.

### **2.3 Compósitos cimentícios com agregado reciclado de plásticos**

Existem alguns estudos que abordam o tema do aproveitamento de resíduos plásticos como agregado em materiais cimentícios. Esses estudos visam diminuir o impacto ambiental e os custos dos setores industriais a partir da geração de novas matérias primas alternativas. Nesta seção serão apresentadas algumas dessas pesquisas.

Canellas (2005) analisou a possibilidade da utilização de flocos de PET reciclado como substitutos de agregados em argamassas. Em seu trabalho, substituiu os agregados por flocos nas proporções de 10%, 30% e 50%. A melhor viabilidade de utilização resultou-se na substituição de 30% pois não apresentou perdas significativas de plasticidade e resistência à compressão e à tração, o contrário ocorreu com maiores substituições.

Mello (2011) pesquisou as propriedades de uma argamassa utilizando partículas de polietileno de alta densidade (PEAD) reciclado pós-consumo como alternativa aos agregados naturais. O mesmo observou que os agregados de PEAD obtidos da reciclagem mecânica de plásticos e triturados por micronização apresentaram características semelhantes às da areia com relação à uniformidade e finura. Verificou que utilizando 50% em volume de PEADr nos agregados em traços experimentais, ocasionou a redução da trabalhabilidade, sendo verificados exsudação excessiva, segregação das partículas e redução do índice de consistência.

Almeida (2004) verificou o uso de areia de pet na fabricação de concretos e concluiu que o teor da areia de PET tem influência direta na trabalhabilidade do concreto. Acima de 25% de areia de PET, o concreto apresentou queda significativa da resistência à compressão para 28 dias. Segundo o mesmo, a densidade do concreto diminui com o aumento dos teores de areia de PET, o autor indica a utilização da areia de PET, em teores menores de 50%.

A avaliação do fio de poliéster reciclado do plástico PET como fibra em argamassa foi realizada por Junior (2013), o qual verificou as propriedades de resistência à compressão, resistência à tração e resistência ao impacto de argamassas reforçadas com fio de poliéster 100% reciclado de garrafas PET. Essas propriedades foram verificadas em três corpos de prova sendo uma argamassa de

referência sem fibra, uma com 0,25% de adição de fio de poliéster e outra com adição de 0,25% de fibras de vidro. Concluiu que a argamassa com fibra de poliéster apresentou o melhor desempenho no que diz respeito à compressão, à aderência e ao impacto, apesar de consumir mais água para adquirir a mesma consistência dos demais traços testados.

Corrêa (2015), estabeleceu um comparativo da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção do concreto estrutural, verificou que a adições acima de 10% de flocos poliméricos reduziu em 20% a resistência à compressão em relação à argamassa de referência (sem adição). Amostra com PP apresentou maior módulo de elasticidade quando comparado ao PET. O corpo de prova com PP teve maior estabilidade no desempenho mecânico e propriedades de barreira para permeação dos íons cloretos em relação às amostras de PET e de referência quando submetidas à câmara umidade por 90 dias. Com relação à análise morfológica o PET possui melhor adesão à massa cimentícia que o PP.

## **2.4 Método de dosagem**

Para Recena (2012), chama-se método de dosagem a obtenção de resultados, que podem ser considerados excelentes. O mesmo autor comenta que em um processo de dosagem, devem ser consideradas as condições gerais de aplicação, a habilidade de quem aplica o clima da região onde está inserida a obra, o microclima do local de aplicação e as características intrínsecas do substrato e de sua preparação.

O método CIENTEC baseia-se na obtenção de uma mistura com o menor volume de pasta possível, exigindo menos quantidade de água possível para uma dada trabalhabilidade, e na verificação de uma resistência à tração suficiente para transmitir o esforço de tração à interface da argamassa com o substrato, podendo ser avaliada indiretamente pela resistência compressão simples, Recena (2012).

Este procedimento consiste:

- Caracterizar os materiais empregados no estudo (cimento, areia, cal e demais adições);
- Definir a proporção (traço) de melhor trabalhabilidade; visa determinar a proporção entre aglomerante e agregado que conduza à melhor trabalhabilidade. Esta característica é definida pelo índice de consistência.

Todas as argamassas são executadas com a mesma quantidade de água, e a que apresentar o maior índice de consistência estará representando a mistura que poderá ser obtida com a trabalhabilidade requerida a partir do menor consumo de água;

- Definir a proporção do (traço) final: conhecendo o traço entre cal e areia, é feita substituição de cal por cimento Portland em no mínimo três proporções, determinando três traços diferentes. Em laboratório deve-se moldar corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, para serem ensaiados à compressão aos 7 e 28 dias de idade e, à tração por compressão diametral, aos 28 dias de idade.

A sequência do método consiste em explicar a conversão de traços de massa para volume, uma vez que os ensaios em laboratórios são feitos a partir de proporcionamentos em massa e em obra os traços são convertidos para volume. De acordo com Recena (2012) isso gera algumas alterações devido aos sucessivos arredondamentos no cálculo e simplificações feitas para não dificultar as operações de produção.

O método CIENTEC de Dosagem de Argamassa representa a pesquisa através de uma proporção que exige a menor quantidade de água possível para garantir a trabalhabilidade almejada, com garantia de manter as características físico-mecânicas especificadas.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização dos Materiais

Os materiais utilizados na composição das argamassas foram: Cimento Portland, agregado miúdo (areia média), cal, areia de PET e água potável.

##### 3.1.1 Agregado miúdo

De acordo com a NBR 7211/2005 que define agregado miúdo como agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras estabelecidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1. A Figura 18 pode ser visualizada as peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.

Figura 18: Peneiras.



Fonte: Autoria própria

##### 3.1.1.2 Composição granulométrica da areia natural

A composição granulométrica da areia regula a água de amassamento das argamassas. Assim, a fração granulométrica NBR 7211/2005, apresenta os limites dos agregados miúdos Tabela 7, que conforme o módulo de finura (MF) classifica em zona utilizável inferior (MF entre 1,55 a 2,20), zona ótima (MF entre 2,20 a 2,90) e zona utilizável superior (MF entre 2,90 a 3,50).

Tabela 4: Composição granulométrica.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada.			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona Ótima	Zona utilizável	Zona Ótima
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211 (2005, pág.5)

A distribuição granulométrica determinada segundo a ABNT NBR NM 248, inicia-se como a seleção de peneiras de série normal e série intermediária de peneiras, conforme demonstra a Tabela 8.

De acordo com Carasek (2007) a capacidade de aderência é dependente também dos teores e das características da areia empregada na confecção das argamassas. De uma forma simplista, com o aumento do teor de areia, há uma redução na resistência de aderência; por outro lado é a areia, por constituir-se no esqueleto indeformável da massa, que garante a durabilidade de aderência pela redução da retração. Areias ou composições inertes com altos teores de finos (principalmente partículas inferiores a 0,075 mm) podem prejudicar a aderência. A Tabela 9 apresenta o resultado do ensaio de granulometria da areia natural. O Gráfico 6 apresenta a distribuição granulometria da areia natural.

Tabela 5: Distribuição granulométrica

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3
4,75 mm	-
2,38 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: NBR NM 248 (2001, pág. 2).

Tabela 6: Composição granulométrica da areia natural.

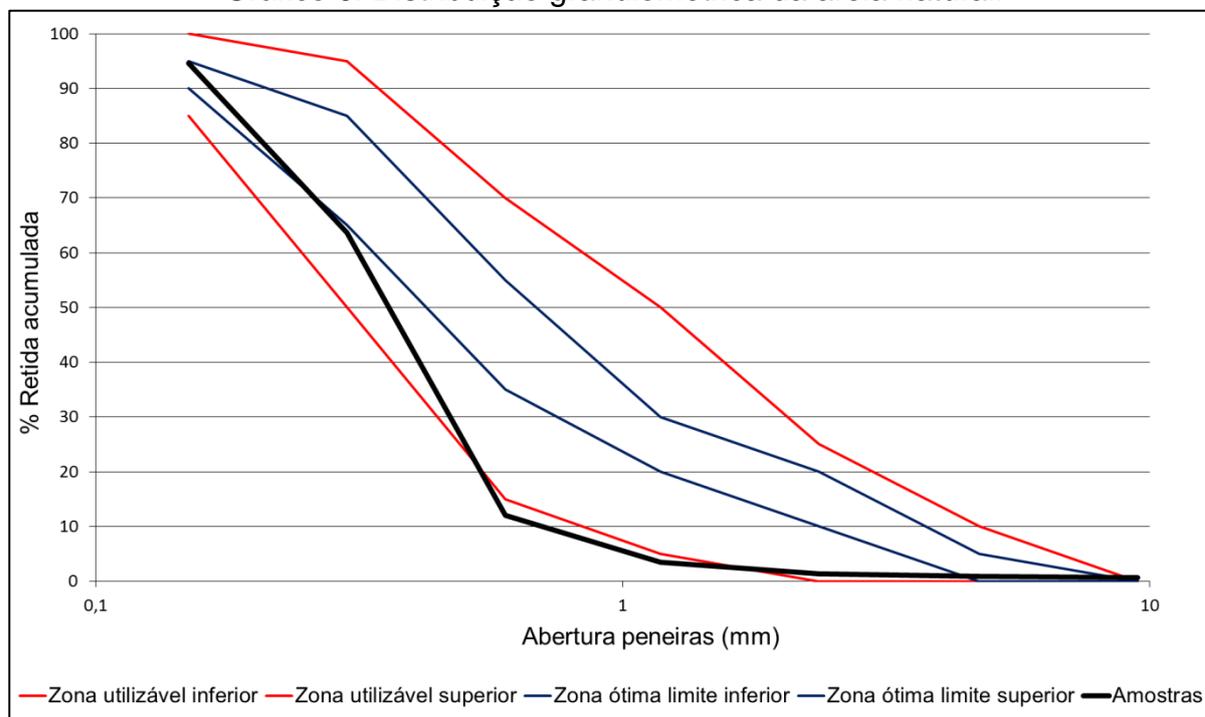
Abertura da Malha (mm)	Porcentagem em massa, retida acumulada				AREIA Resultados
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	
9,5	0	0	0	0	<b>0,67</b>
4,75	0	0	5	10	<b>0,86</b>
2,36	0	10	20	25	<b>1,38</b>
1,18	5	20	30	50	<b>3,49</b>
0,6	15	35	55	70	<b>12,02</b>
0,3	50	65	85	95	<b>63,64</b>
0,15	85	90	95	100	<b>94,65</b>
D <sub>máx</sub> = 1,7			Módulo de Finura = 1,18		

Fonte: própria autoria.

A areia natural possui um módulo de finura de 1,18 e enquadra-se abaixo da zona utilizável inferior, resultando em uma areia muito fina.

Verifica-se no Gráfico 6, que a areia natural possui parte de sua fração granulométrica dentro da zona utilizável inferior e parte abaixo desta.

Gráfico 6: Distribuição granulométrica da areia natural.



### 3.1.1.3 Composição granulométrica da areia de PET

Para determinar a composição granulométrica da areia de PET utilizou-se o mesmo procedimento da areia natural. A Tabela 10 e o Gráfico 7, apresentam respectivamente a composição e a distribuição granulométrica da areia de PET.

Verifica-se no gráfico 7, que a areia de PET está dentro da zona ótima.

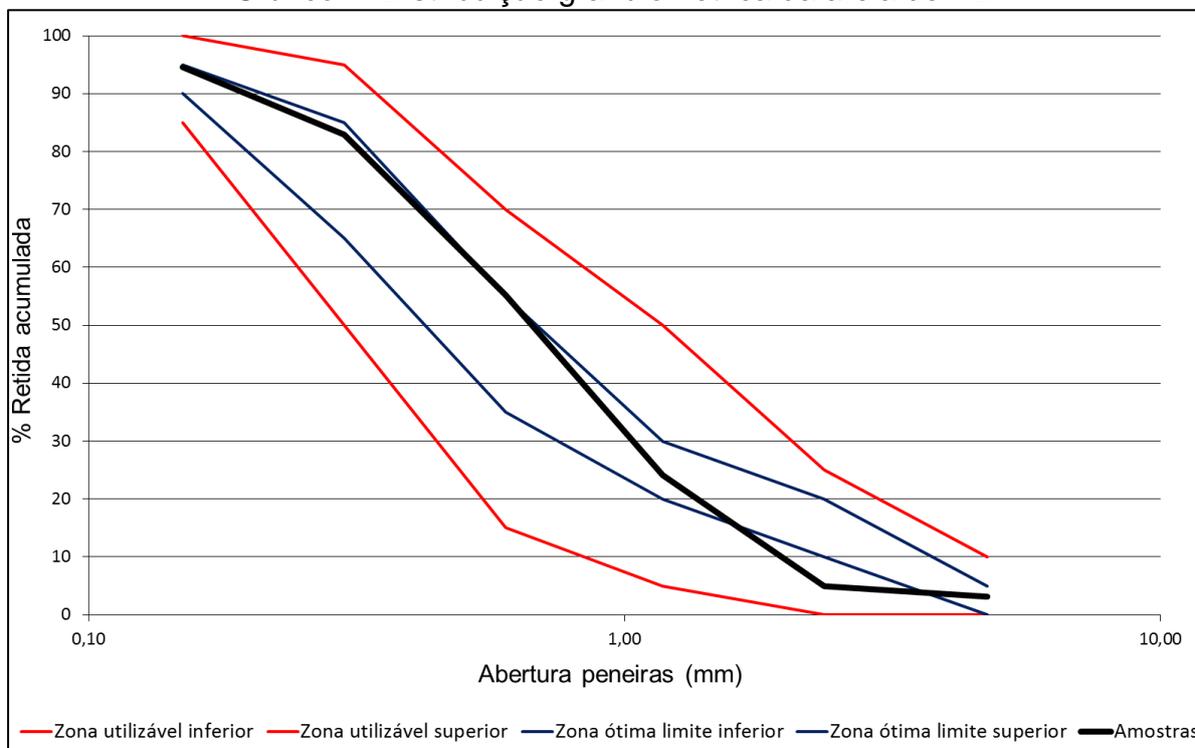
Tabela 7: Composição granulométrica da areia de PET

(mm)	Porcentagem em massa, retida acumulada				<b>AREIA DE PET</b>
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	<b>Resultados</b>
4,75	0,00	0,00	5,00	10,00	<b>3,07</b>
2,36	0,00	10,00	20,00	25,00	<b>4,97</b>
1,18	5,00	20,00	30,00	50,00	<b>24,06</b>
0,60	15,00	35,00	55,00	70,00	<b>55,24</b>
0,30	50,00	65,00	85,00	95,00	<b>82,95</b>
0,15	85,00	90,00	95,00	100,00	<b>94,56</b>
D <sub>máx</sub> = 4,75			Módulo de Finura 2,65		

Fonte: própria autoria.

A areia de PET apresenta um módulo de finura de 2,65 e enquadra-se na zona ótima, classificando-se como uma areia média.

Gráfico 7: Distribuição granulométrica da areia de PET



Fonte: própria autoria.

#### 3.1.1.4 Massa específica da areia natural.

A determinação da massa específica da areia é determinada pela NBR 9776-Agregados – determinação da massa específica.

O ensaio consiste em colocar a água no frasco até a marca de 200cm<sup>3</sup>, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas esorra totalmente. Após deve-se introduzir, cuidadosamente, 500g de agregado miúdo seco no frasco o qual deve ser devidamente agitado para a eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume, em cm<sup>3</sup>, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo, alertando-se para que as faces internas devam estar completamente secas e sem grãos aderentes. A massa específica do agregado miúdo é calculada mediante a expressão 1. A Tabela 11 apresenta a massa específica da areia natural.

A massa específica é determinada pela Equação 1.

$$\gamma = \frac{500}{l - 200} \quad \dots(1)$$

Onde:

$\gamma$ =massa específica do agregado miúdo ( g/cm<sup>3</sup> );

l= leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo cm<sup>3</sup>)

Tabela 8: Massa específica da areia

$\gamma_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,65
$\gamma_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,66
$\gamma$ média(g/cm <sup>3</sup> )	2,65

Fonte: própria autoria.

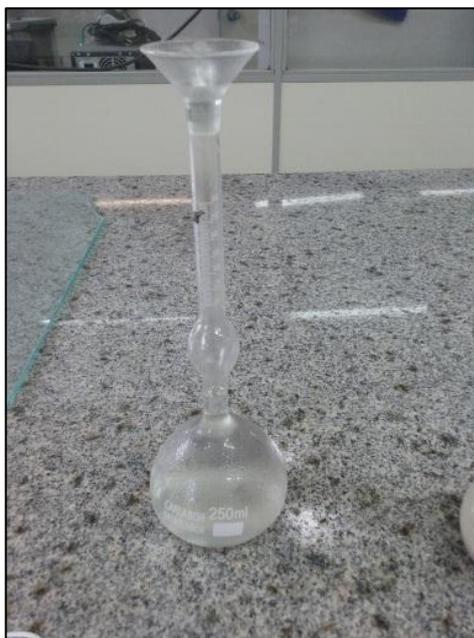
Conforme Recena (2012) a massa específica da areia é aproximadamente 2,63 g/cm<sup>3</sup>, logo a massa específica da areia natural é aceitável.

### 3.1.1.5. Massa específica do cimento e da cal.

Este ensaio foi realizado de acordo com a NM 23:2001, Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.

O procedimento consistiu em encher o frasco de LE CHATELIER, (Figura 19), até as marcas correspondentes de 0 a 1 cm<sup>3</sup>, com líquido não reagente com a amostra, no caso utilizou-se querosene. A figura 19 apresenta o frasco de LE CHATELIER.

Figura 19: Frasco de LE CHATELIER.



Fonte: própria autoria.

Após, colocou-se o frasco no banho de água durante 30 minutos (figura 20).

Figura 20: Frasco LE CHATELIER em banho de água.



Fonte: própria autoria.

O cimento utilizado foi o CPIV -32, lote de agosto da empresa CIMPOR e a cal hidratada CH II da empresa FIDA. Após 30 minutos, foi feita a primeira leitura do volume ( $V_1$ ) e determinado o peso do frasco com o líquido sem o cimento ( $m_1$ ). Na sequência, colocou-se aproximadamente 60g da amostra no frasco, para que provocasse o deslocamento do líquido em 18 e 24  $\text{cm}^3$ . Após retirar as bolhas de ar com movimento circulares do frasco, pesou-se novamente e determina-se ( $m_2$ ) e o volume ( $V_2$ ). Realizou-se o mesmo procedimento para a cal e para o cimento, com

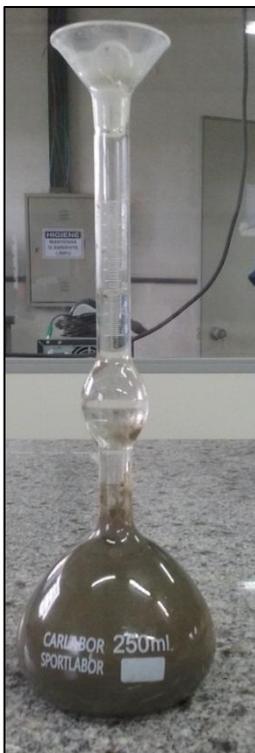
duas amostras para cada material. A Figura 21 e 22 apresentam o ensaio da massa específica da cal e do cimento.

Figura 21: Frasco LE CHATELIER com cal.



Fonte: própria autoria.

Figura 22: Frasco LE CHATELIER com cimento.



Fonte: própria autoria.

A massa específica é determinada para seguinte equação:

$$\gamma = \frac{m}{v} \quad \dots(2)$$

Onde:

m: peso do frasco com líquido e cimento ou cal ( $m_2$ ) – peso do frasco com líquido ( $m_1$ );

v: volume do frasco com o líquido e cimento ou cal ( $V_2$ ) – volume do frasco com o líquido ( $V_1$ ).

A Tabela 12 apresenta a massa específica da cal e do cimento.

Tabela 9: Massa específica da cal e do cimento

	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )
Cal	2,39
Cimento	2,69

Fonte: própria autoria.

De acordo com a especificação técnica da empresa CIMPOR, a massa específica do cimento deve estar entre 2,7 a 3,2 g/ cm<sup>3</sup>. Na ficha técnica da empresa FIDA, não se encontrou a massa específica da cal.

Conforme Recena (2012), a massa específica da cal e do cimento é respectivamente 2,5 e 2,7 Kg/dm<sup>3</sup>.

A massa específica do cimento está de acordo com o recomendado pela empresa. A cal apresenta uma pequena variação em relação à massa específica citada por Recena (2012), essa diferença pode ter influência com teor de finos.

### 3.1.1.6 Massa unitária.

A massa unitária do agregado é determinada pela NBR 7251/82. O procedimento consiste em determinar o volume do recipiente, pesá-lo vazio e com agregado.

$$\delta = \frac{m_{\text{recipiente+amostra}} - m_{\text{recipiente}}}{\text{volume}} \quad \dots(3)$$

Onde:

$\delta$  : massa unitária;

m: massa.

A massa unitária do agregado é determinada pela Equação 3. A tabela 13 apresenta a massa unitária da areia, da cal e do cimento.

Tabela 10: Massa unitária

Material	Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )
Cimento	0,98
Cal	0,68
Areia	1,62

Fonte: própria autoria.

Recena (2012), comenta que a massa unitária do cimento, da cal e da areia é respectivamente 1, 0,65 e 1,5 kg/dm<sup>3</sup>. A massa unitária da areia apresenta uma pequena diferença que pode estar relacionada com a granulometria da areia, pois esta propriedade muda conforme a região de extração da areia.

### 3.2. Etapa experimental

O método de dosagem de argamassa utilizado neste trabalho foi o método CIENTEC. Realizaram-se amostras feitas com porcentagens de 0, 5, 15 e 30% de areia de PET, pois segundo Canellas (2005) amostras com teores maiores de 30% apresentam perdas significativas de plasticidade e resistência à compressão e à tração.

#### 3.2.1 Materiais

Utilizou-se cimento, cal, areia natural, areia de PET e água. Os ensaios foram realizados utilizando a substituição da areia de PET em volume e somente na fração 1-2mm, com a finalidade de descartar os maiores fragmentos e o pó presente na areia de PET. A Figura 23 apresenta o conjunto de peneiras utilizado.

Figura 23: Peneiras utilizadas para obter a fração 1-2mm.



Fonte: própria autoria.

A Figura 24 apresenta a porcentagem de areia retida na peneira 2,4mm. É possível verificar a importância deste peneiramento, pois a areia apresenta partículas consideravelmente grandes, que poderiam atrapalhar a ligação da matriz e agregado. A figura 25 apresenta a areia de PET.

Figura 24: Porcentagem de areia de PET retida na peneira 2,4mm.



Fonte: própria autoria.

Figura 25: Areia de PET.



Fonte: própria autoria.

### 3.2.2 Dosagem

Foram realizadas 24 amostras, a fim de obter 6 amostras para cada traço. Executaram-se amostras com traço base em volume de 1:4 e a/c (relação água e cimento) inicialmente=1.

Tabela 11: Traço em volume para argamassa 1:4

Amostra	Cimento	Cal	Areia	PET	Água
T1-0%	0,75	0,25	4	0	1,47
T2-5%	0,75	0,25	3,8	0,2	1,53
T3-15%	0,75	0,25	3,4	0,6	1,47
T4-30%	0,75	0,25	2,8	1,2	1,52

Fonte próprio autor

### 3.2.3 Preparação da argamassa

Para a preparação da argamassa, primeiro realizou-se a separação dos materiais para cada traço (cimento, cal areia e água), conforme a figura 26.

Figura 26: Separação dos materiais para execução da argamassa de referência.



Fonte: própria autoria.

Para determinar o volume da areia de PET, utilizou-se um cilindro conforme a figura 27.

Figura 27: Cilindro utilizado para determinar o volume de areia de PET.



Fonte: própria autoria.

Após a separação e pesagem dos materiais, colocaram-se os materiais secos na betoneira e aos poucos foi acrescentada a água.

Figura 28: Argamassa na betoneira.



Fonte: própria autoria.

### 3.2.4 Métodos e procedimento de dosagem

Para analisar o desempenho da argamassa modificada realizaram-se os seguintes ensaios:

- Estado Fresco:  
Índice de consistência.
- Estado Endurecido:  
Absorção por capilaridade;  
Resistência à compressão;  
Resistência à tração na flexão.

Os resultados destes ensaios serão comparados com uma argamassa de referência, sem adição de PET.

#### 3.2.4.1 Índice de consistência.

Este ensaio foi realizado em conformidade com a norma NBR 13276/2002. Para a execução do ensaio o ambiente de laboratório deve apresentar temperatura de  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $60\pm 5\%$ .

Os materiais necessários para realizar o ensaio são:

- balança com resolução de 0,1g;
- mesa de consistência;

- molde tronco cônico;
- soquete metálico;
- misturador mecânico;
- paquímetro.

O procedimento para realizar este ensaio consiste em, primeiramente, umedecer o tampo da mesa de consistência e as paredes do molde tronco-cônico. Logo é preciso centralizar o molde na mesa e enchê-lo com três camadas de argamassa, aplicando em cada uma delas respectivamente 15, 10 e 5 golpes com o soquete. Caso seja preciso, recomenda-se completar o volume do molde com mais argamassa. Na sequência, é feito o rasamento com o auxílio de uma régua e após retira-se o molde.

Posteriormente, promove-se a queda da mesa de consistência 30 vezes em 30 segundos. Após a última queda, deve-se medir o espalhamento da argamassa em três diâmetros com o paquímetro.

A média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros, indica o índice de consistência.

#### **3.2.4.2 Absorção por capilaridade.**

Para realização deste ensaio, consultou-se a NBR 15259/2005, específica para argamassas de assentamento e revestimento.

As aparelhagens necessárias para a execução deste ensaio são:

- espátula metálica;
- recipiente apropriado com dispositivo que garanta nível constante de água;
- bases que mantenham os corpos-de-prova afastados do fundo do recipiente mas permitam contato de sua face inferior com a água;
- balança com resolução 0,01g.

O ensaio deve ser realizado aos 28 dias de idade das amostras, serão produzidos no mínimo três corpos de prova.

Após a execução das amostras, recomenda-se lixar os corpos de prova, na superfície que entrará em contato com a água e em seguida devem ser pesados para determinar sua massa seca ( $m_o$ ), antes de realizar o ensaio. O recipiente do ensaio deve estar em ambiente com temperatura constante de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $60 \pm 5\%$ .

Deve-se determinar a massa saturada ( $m_t$ ) dos corpos-de-prova com 10 min e 90min, durante o ensaio. Após a última leitura, os corpos-de-prova podem ser rompidos por compressão diametral de forma a verificar a distribuição de água em seu interior.

A absorção de água por capilaridade (expressa em  $g/cm^2$ ) é obtida pelo aumento de massa dos corpos-de-prova que foram parcialmente imersos em água por meio da seguinte Equação 4. A Figura 29 apresenta o processo deste ensaio.

Figura 29: Processo do ensaio de absorção de água por capilaridade.



Fonte : Jantsch (2015, pg.101)

$$A_t = \frac{m_t - m_o}{16} \quad \dots(4)$$

Onde:

$A_t$  : Absorção de água por capilaridade ( $g/cm^2$ );

$m_t$  : Massa do corpo-de-prova durante o ensaio (g);

t: Corresponde aos tempos de 10 min e 90 min;

$m_o$  : Massa do corpo-de-prova seco (g);

16: Área da seção transversal ( $cm^2$ ).

O coeficiente de capilaridade (C) deve igualmente ser calculado para cada corpo-de-prova de acordo com a equação abaixo:

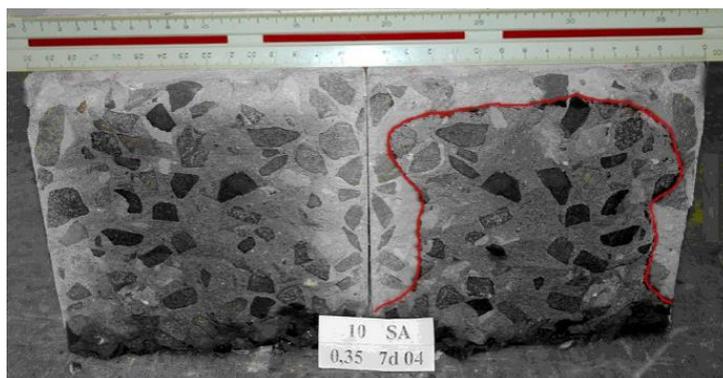
$$C = m_{90} - m_{10} \quad \dots(5)$$

Onde:

C: Coeficiente de capilaridade ( $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ ).

A NBR 9779/2012 recomenda que a distribuição da água absorvida, deve ser desenhada, para verificar a altura da ascensão capilar interna conforme a Figura 30.

Figura 30: Desenho da distribuição de água interna absorvida por capilaridade.



Fonte: Neto (2011, pág. 103,)

### 3.2.4.3 Resistência à compressão.

A resistência à compressão de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos é determinada pela norma NBR 13279 (2005).

Os materiais necessários para a execução do ensaio são:

- Moldes prismáticos de 4x4x16cm;
- Mesa de adensamento;
- Régua metálica;
- Espátula;
- Máquina para ensaios de resistência;
- Dispositivo de carga;
- Cronômetro;
- Utensílios para laboratório.

Recomenda-se moldar três amostras para cada idade de ensaio de ruptura (3, 7 e 28 dias). A moldagem dos corpos-de-prova baseia-se em colocar argamassa em cada compartimento do molde em duas camadas. Em cada camada deve-se aplicar

30 quedas na mesa de adensamento antes de rasar o molde com auxílio da régua metálica.

Conforme a norma, os corpos-de-prova devem permanecer nos moldes por 48h, em ambiente de laboratório com temperatura do ar de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $60 \pm 5\%$  antes de serem desmoldados.

Após desmoldados, os corpos de provas são posicionados no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio. A face do prisma rasada pela régua durante a moldagem não deve ficar em contato com o dispositivo de apoio nem com o de carga.

Logo se aplica uma carga de  $500 \pm 50\text{N/s}$  até que ocorra a ruptura do corpo-de-prova. Para calcular a resistência a compressão é utilizada a seguinte equação:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \dots(6)$$

Onde:

$R_c$ : Resistência à compressão (MPa);

$F_c$  : Carga máxima aplicada (N);

1600: Área da seção do dispositivo de carga de  $40 \times 40\text{mm}$  ( $\text{mm}^2$ ).

#### 3.2.4.4 Resistência à tração na flexão.

Os materiais e os procedimentos para execução deste ensaio são iguais aos utilizados para verificação da resistência à compressão. A diferença consiste no ensaio de resistência propriamente dito.

Com o objetivo de determinar a resistência à tração na flexão o corpo-de-prova deve ser posicionado nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio de modo que a face rasada com a régua não fique em contato com os dispositivos de carga nem com os de apoio. Após, se aplica uma carga de  $50 \pm 10\text{N/s}$  até que se obtenha a ruptura da amostra. O cálculo da resistência à tração na flexão é o seguinte:

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad \dots(7)$$

Onde:

$R_f$  : Resistência à tração na flexão (MPa);

$F_f$  : Carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);

L: Distância entre os suportes (mm).

## 4. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS.

### 4.1 Ensaio no estado fresco.

Os resultados obtidos dos ensaios no estado fresco são apresentados na forma de gráficos e tabelas e posteriormente, são discutidos com as suas respectivas análises. Para um melhor entendimento dos resultados as nomenclaturas das amostragens estão descritas no Quadro 9 a seguir:

Quadro 9: Nomenclaturas das amostragens.

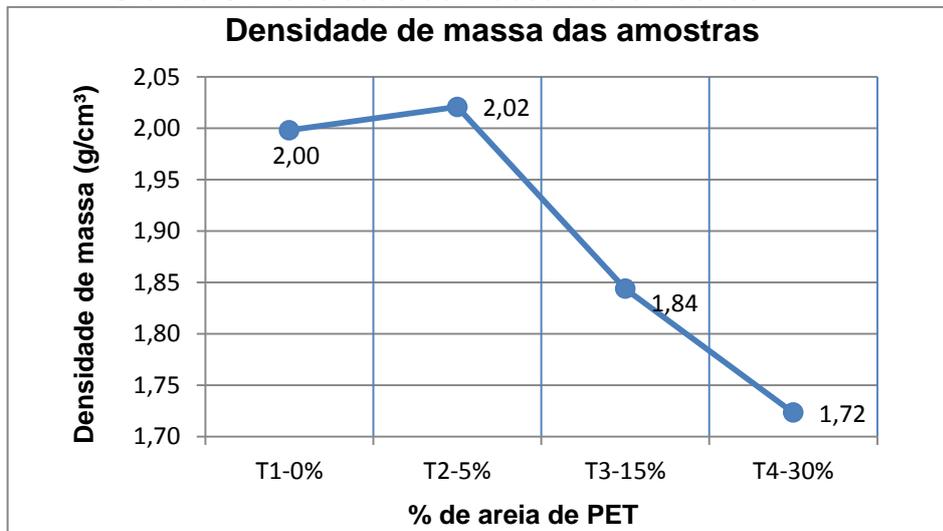
<b>Tipo</b>	<b>Nomenclatura</b>
Argamassa padrão sem adição de Areia PET	T1-0%
Argamassa com adição de 5% de Areia PET	T2-5%
Argamassa com adição de 15% de Areia PET	T3-15%
Argamassa com adição de 30% de Areia PET	T4-30%

Fonte próprio autor

#### 4.1.1 Densidade de massa e teor de ar incorporado.

O experimento foi realizado de acordo com a norma NBR 13278/2005 e os resultados encontrados são apresentados a seguir. Utilizou-se no ensaio um copo de aço inox com capacidade de 500 ml. Quanto à densidade de massa, a tabela 5 da norma NBR 13281/2005 fornece uma classificação para as argamassas de assentamento e revestimento. No caso deste estudo, ambas as argamassas (de referência e com substituições), apresentam valores que as enquadram na categoria D4 (densidade de massa classe 4), com densidade entre 1,6-2 g/cm<sup>3</sup>.

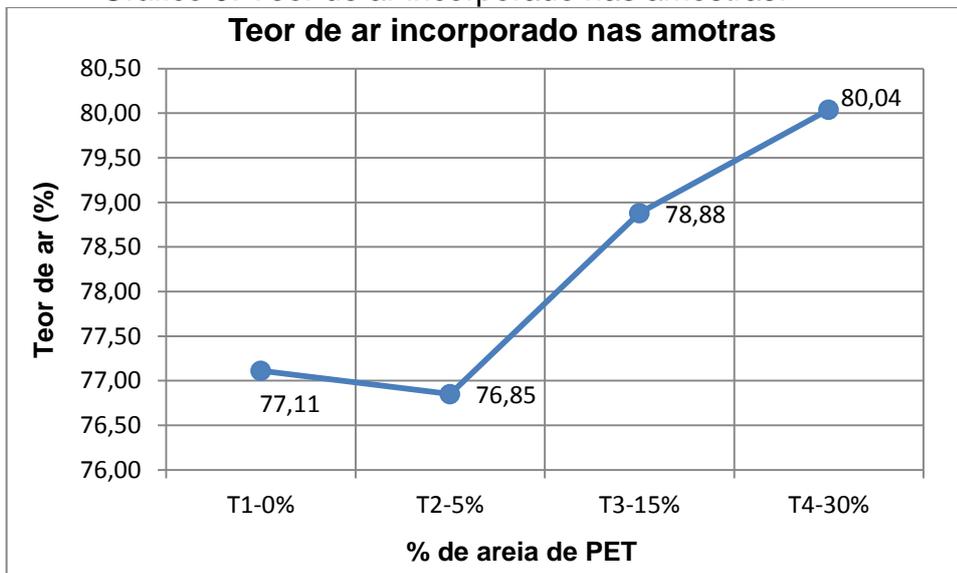
Gráfico 8: Densidade de massa das amostras



Fonte: própria autoria.

Conforme o Gráfico 8, a densidade da massa tem uma diminuição linear. Entretanto a amostra T2-5% apresenta um pequeno aumento de 1% em relação à T1-0%. Observa-se que quanto mais se adiciona areia PET a densidade de massa é reduzida, sendo que, para T3-15% há uma redução de 8% e T4-30% uma diminuição de 14% com relação amostragem padrão. Segundo Silva (2014), isso ocorre devido à menor densidade dos agregados de resíduos plásticos em comparação com a areia do rio.

Gráfico 9: Teor de ar incorporado nas amostras.



Fonte: própria autoria.

Percebe-se no Gráfico 9, que com maior quantidade de agregado de plástico substituído por agregado natural, resulta no aumento teor de ar. A amostra T2-5% apresenta uma diferença de 0,34% em relação a T1-0%, o que não é muito relevante.

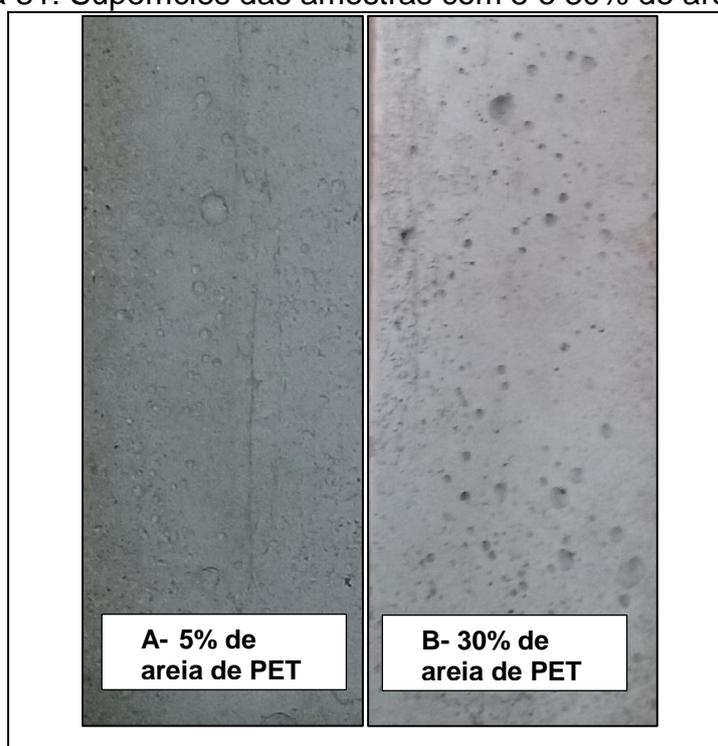
Verifica-se que apesar do teor de ar apresentar um acréscimo este aumento não tem um impacto tão relevante em termos de resultados porque apresenta apenas 3% de diferença da amostra T4-30% comparado a T1-0%.

O ar incorporado corresponde aos vazios formados pela entrada de ar observada no interior da argamassa. Esse ar é um fenômeno que ocorre principalmente devido ao processo mecânico que introduz ar na argamassa, esse processo promove a fusão de pequenas bolhas e forma bolhas maiores que, devido à sua maior flutuação, são carregadas para a superfície da argamassa onde se rompem.

Conforme Mansur (2007), as argamassas modificadas com polímeros apresentam o teor de ar incorporado maior que as argamassas sem adição de polímero. O mesmo ainda comenta que devido à presença dos surfactantes as bolhas formadas são pequenas e estáveis dificultando a sua remoção. Surfactantes são substâncias que diminuem a tensão superficial e capazes de modificar propriedades físico-químicas das substâncias.

Isso explica o aumento do teor de ar nas argamassas com substituições, pois as amostras com substituições apresentaram as suas superfícies mais porosa e quanto maior a porcentagem de areia de PET, mais porosidade apresentava, conforme observado na figura 31.

Figura 31: Superfícies das amostras com 5 e 30% de areia de PET.



Fonte: própria autoria.

#### 4.1.2 Índice de consistência.

O ensaio de consistência, usando a mesa de espalhamento foi realizado conforme a norma NBR 13276/2005, que propõe que a argamassa deva ter um índice ideal de  $260 \pm 5$  mm.

Tabela 12: Índice de consistência

Índice de consistência (mm)	
T1-0%	264,0
T2-5%	289,33
T3-15%	267,00
T4-30%	268,33

Fonte: própria autoria.

A argamassa T2-5% apresentou um índice de consistência maior em relação aos demais traços, isso pode ter ocorrido pelo acréscimo de água a mais durante o preparo da argamassa, pois acréscimo de água na argamassa é medida visualmente.

Ao produzir a argamassa e perceber visualmente que a quantidade de água é a ideal, pode-se realizar o ensaio de consistência. Se este for menor que 260 mm se recomenda o acréscimo de água, se for maior indica-se realizar o ensaio novamente. Este processo é repetido até que o índice esteja entre 260 e 300 mm, estando dentro deste limite o índice é aceitável. Nesse processo é possível, que ao executar a amostra de T2-5% tenha-se colocado mais água em relação às outras amostras, porém esta se enquadra dentro do limite do índice de consistência.

Com a substituição de 5% de areia natural pela areia de PET, precisou-se de um acréscimo de água de 12,9% a mais em relação à argamassa de referência, com T3-15%, um acréscimo de 11,7 % e com T4-30%, 1% a mais de água em relação à de referência.

Figura 32: Ensaio de Índice de consistência.



Fonte: própria autoria.

## 4.2 Ensaio no estado endurecido.

Os resultados obtidos dos ensaios no estado endurecidos são apresentados na forma de gráficos, tabelas e posteriormente, são discutidos com as suas respectivas análises.

### 4.2.1 Absorção de água por capilaridade.

O ensaio de absorção de água por capilaridade, realizado conforme a norma NBR 15259/2005 consistiu na pesagem dos corpos-de-prova antes e depois de entrarem em contato com uma lâmina de água de 5 mm. Antes das amostras

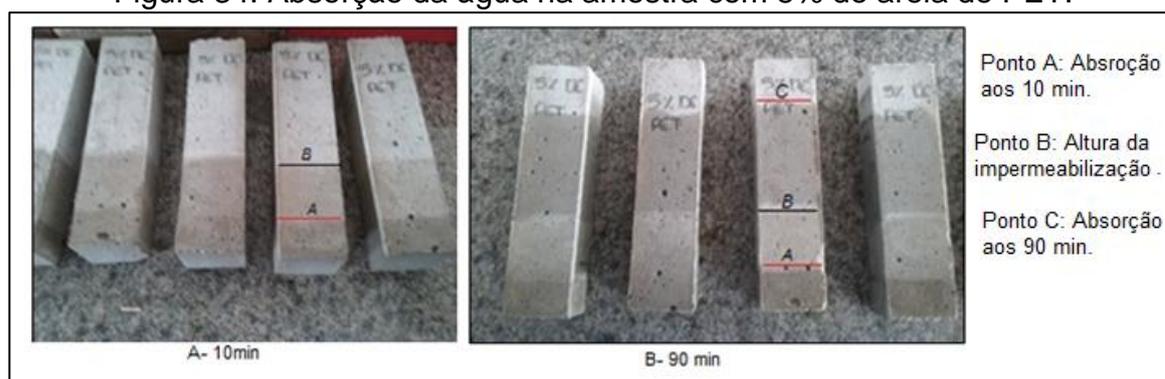
entrarem em contato com a água, foi aplicada uma resina acrílica impermeabilizante nas laterais das amostras.

Figura 33: Processo do ensaio de absorção por capilaridade.



Fonte: própria autoria.

Figura 34: Absorção da água na amostra com 5% de areia de PET.



Fonte: própria autoria.

Na Figura 34, o ponto B indica o nível do impermeabilizante aplicado à amostra antes de entrar em contato com a água. O ponto A representa o nível de absorção da água aos 10 minutos e o ponto C aos 90 minutos.

Tabela 13: Absorção de água por capilaridade

Amostras	T1-0%	T2-5%	T3-15%	T4-30%
Absorção aos 10min (g/mm <sup>2</sup> )	0,006	0,007	0,006	0,007
Absorção aos 90min (g/mm <sup>2</sup> )	0,020	0,019	0,014	0,017

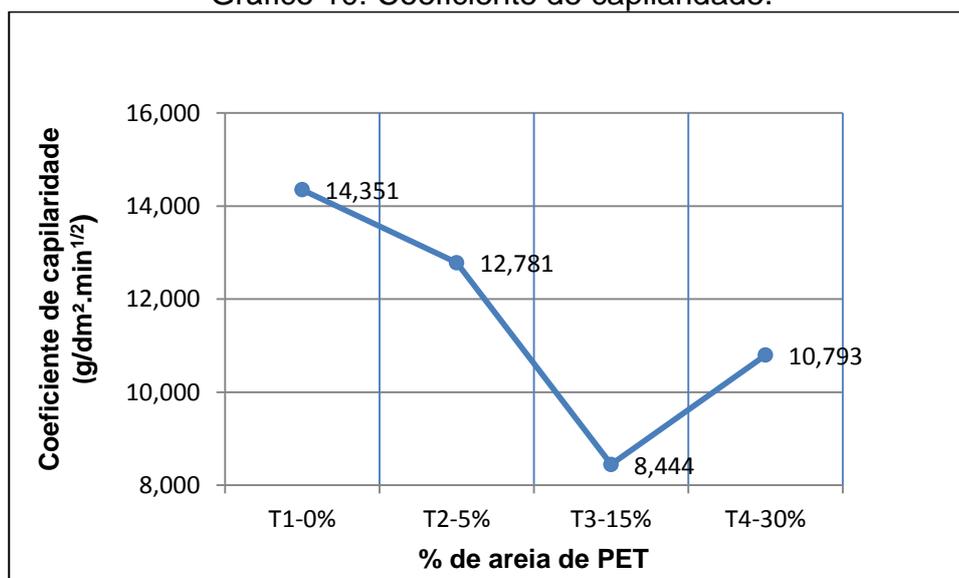
Fonte: própria autoria.

Analisando a Tabela 13, é possível verificar que a absorção capilar diminuiu com a substituição de agregados plásticos por naturais, todas as amostras com incorporação de areia de PET, apresentam absorção menor que a amostra de referência (T1). A diferença mais significativa foi com substituição de 15%.

No gráfico 10 é possível observar que as amostras com substituições exibem coeficiente de capilaridade menor que a amostra de referência. A diferença mais considerável também é da amostra com 15% de substituição.

A amostra de 30% apresenta um coeficiente de capilaridade maior que as amostras de 5% e 15% de substituição, isso pode ter ocorrido porque a superfície da amostra T4-30% apresentou sua superfície mais porosa em relação as outras amostras com substituições, essa porosidade pode ter facilitado a absorção de água durante o ensaio.

Gráfico 10: Coeficiente de capilaridade.



Fonte: própria autoria.

Observa-se no gráfico 10, que a amostra T1-0% apresentou o maior coeficiente de capilaridade. De acordo com a classificação da Tabela 4 da NBR 13281:2005, as amostras T2-5%, T3-15% e T4-30% possuem classificação C5, pois apresentam coeficiente de capilaridade(C) entre 5,0 a 12 g/dm<sup>2</sup>·min<sup>1/2</sup>. A amostra T1-0% classifica-se como C6, pois apresenta um coeficiente de capilaridade maior que 12.

Bauer (2013) menciona que o coeficiente de capilaridade em aplicações gerais deve ser inferior a C3 (2,0 a 4,0 g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>), para paredes expostas a chuva a classificação remendada é C1( $\leq 1,5$  g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>) ou C2 ( 1 a 2,5 g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>).

Conforme a citação acima, o coeficiente de capilaridade das amostras não se enquadra para aplicações gerais nem para paredes expostas a chuva.

#### 4.2.2 Resistência à compressão.

Este ensaio foi realizado aos 28 dias e conforme a NBR 13279(2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. A figura 35 apresenta o ensaio de resistência à compressão.

Figura 35: Ensaio de resistência à compressão.



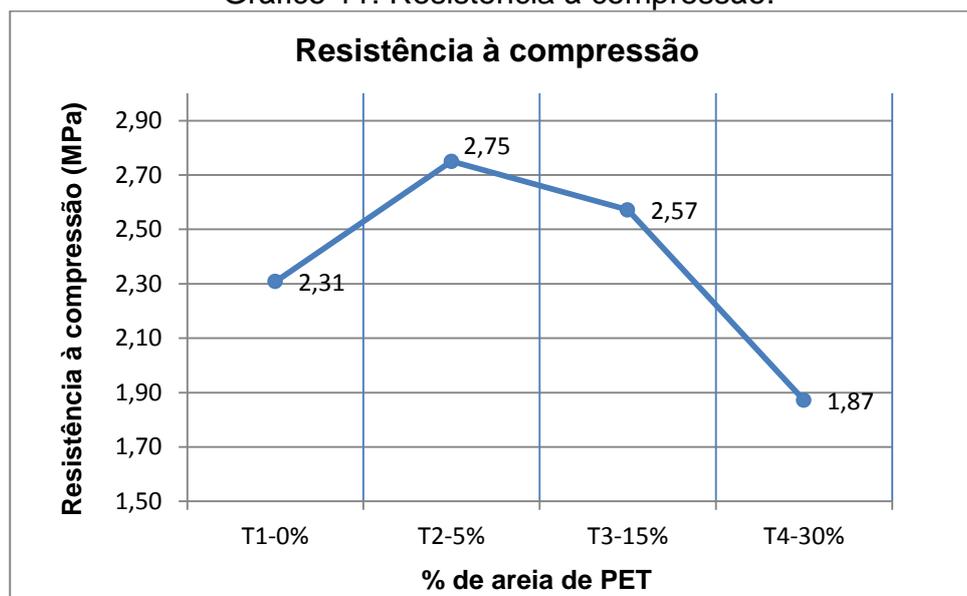
Fonte: própria autoria.

Nos resultados apresentados no Gráfico 11, todas as amostras se enquadram na classe P2, conforme a tabela 1 da NBR 13281:2005. A amostra T2-5% apresenta a maior resistência em relação às demais amostras. Nota-se que as substituições de 5 e 15% apresentaram resistência à compressão superior à argamassa de referência. Observa-se que o aumento das substituições resulta na diminuição da resistência, como no caso do T3-15% e do T4-30%. A amostra T4-30% apresenta uma resistência inferior à do T1-0%.

De acordo com Silva (2014), isso ocorre porque os agregados de plásticos ao contrário dos agregados naturais apresentam uma superfície lisa, são impermeáveis e menos resistentes, e isso pode estar comprometendo a ligação matriz e agregado.

As amostras T2-5% e T3-15% apresentaram um crescimento da resistência à compressão de 19% e 11% respectivamente em relação a amostra T1-0%.

Gráfico 11: Resistência à compressão.



Fonte: própria autoria.

#### 4.2.3 Resistência de tração na flexão.

Este ensaio foi realizado aos 28 dias e em conformidade com NBR 13279 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. A Figura 36 apresenta o rompimento de um corpo de prova na flexão à tração.

Observa-se, no Gráfico 12, que a amostra T2-5% e T3-15% possui uma resistência de tração à flexão maior que a de referência, porém o aumento da substituição resulta em uma diminuição da resistência, até mesmo com valores de resistência menores que a argamassa de referência, como no caso da T4-30%. Este comportamento é semelhante ao resultado da resistência à compressão.

Figura 36: Ensaio de resistência de flexão à tração.



Fonte: própria autoria.

Gráfico 12: Resistencia de tração na flexão.



Fonte: própria autoria.

A resistência de tração na flexão apresentou valores menores que a resistência à compressão. Para Silva (2014), isso acontece porque o comportamento flexural é mais afetado por pequenos defeitos, nomeadamente, neste caso, por uma ligação fraca entre matriz e agregados.

Quanto a classificação da tabela 3 da NBR 13281:2005, ambos os traços se enquadram na classe R1, com valores de resistência de tração na flexão  $\leq 1,5$  MPa.

As amostras T2-5% e T3-15% apresentaram um ganho de resistência à tração na flexão em relação à amostra T1-0% de 29% e 3% respectivamente.

## 5. Conclusão.

O presente trabalho procurou avaliar as características da argamassa com substituição de areia de PET por areia natural, por meio de ensaios no estado fresco e endurecido.

No estado fresco das argamassas com substituições podemos concluir que:

- A densidade da argamassa diminuiu com o aumento das substituições dos agregados plásticos por naturais. Esse fato pode ser explicado pela menor densidade dos agregados plásticos em relação a areia natural;
- O teor de ar aumenta com o acréscimo de areia de PET. Isso ocorre devido à presença dos surfactantes que facilitam a formação de bolhas pequenas e mais estáveis sendo de difícil remoção, Mansur (2007).
- O índice de consistência diminuiu com a inserção de agregados plásticos, o que acarretou em um acréscimo de água para que a argamassa apresentasse um índice de consistência considerável.

No estado endurecido das argamassas podemos concluir que:

- No de ensaio de absorção de água por capilaridade, as amostras com substituições apresentaram uma redução em relação à amostra de referência, o mesmo ocorreu com o coeficiente de capilaridade. A amostra que apresentou a menor absorção e coeficiente de capilaridade foi a T3 com 15% de areia de PET.
- Na resistência à compressão, as amostras com 5 e 15% de areia de PET, apresentaram resistência superior a amostra de referência, porém não ocorreu o mesmo com a amostra de 30%.
- O ensaio de resistência de flexão à tração apresentou resultado inferior ao de compressão. No entanto as amostras de 5 e 15% também apresentaram valores de resistência superiores à amostra de referência, e a amostra de 30% resultado inferior.

Com base nesse trabalho conclui-se que é viável a substituição de 5% areia de PET por areia natural, pois a amostra T2-5% superou a amostra T1-0% nas propriedades mecânicas.

## REFERÊNCIAS

Adamian Rupen. Novos Materiais Tecnologia e aspectos econômicos. 1 Ed. 2008. Rio de Janeiro, Editora COPPE/UFRJ.

Albuquerque Alexandre S. Agregados. In BAUER, Luis. A. F. Materiais de construção 1. 2000 Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional 2000b, pg. 63-119

Almeida, José Luís Mesquita dos Santos et al. Argamassas tradicionais e industriais de alvenaria em edifícios. 2012. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Disponível em:  
<https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/57494/1/000141371.pdf>. Acesso em: 15 abril 2016, 17:05:15.

Almeida, M., Junior, M., Soncim, S., & Junior, G. (2004). Uso de areia de PET na fabricação de concretos. In Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável (p. 39). Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/profile/Gilson\\_Athayde\\_Junior/publication/281123674\\_u\\_so\\_de\\_areia\\_de\\_pet\\_na\\_fabricacao\\_de\\_concretos/links/55d7c9c308aeb38e8a85bd72.pdf/download?version=va](https://www.researchgate.net/profile/Gilson_Athayde_Junior/publication/281123674_u_so_de_areia_de_pet_na_fabricacao_de_concretos/links/55d7c9c308aeb38e8a85bd72.pdf/download?version=va). Acesso 1 de junho de 2016, 11:40.

Araújo JR, J. M. Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Disponível em :  
[http://www.estruturas.unb.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=115:teses-e-dissertacoes-2004&catid=51&Itemid=80&lang=en](http://www.estruturas.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=115:teses-e-dissertacoes-2004&catid=51&Itemid=80&lang=en)  
Acesso em: 18 março 2016, 18:53:45

Associação Brasileira de Cimento Portland. Guia básico de utilização do Cimento Portland. 7.ed. São Paulo: ABCP, 2002. Disponível em:  
<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento>. Acesso em 18 de abril de 2016, 13:43:10

Astos, P. K. X. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento. São Paulo, 2001. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)–Universidade de São Paulo. Disponível em:  
[http://icposgrados.weebly.com/uploads/8/6/0/0/860075/tese\\_pedro\\_k1\\_\\_x\\_\\_bastos.pd](http://icposgrados.weebly.com/uploads/8/6/0/0/860075/tese_pedro_k1__x__bastos.pd)  
Acesso 21 de abril de 2016 20:31

BAUER, Elton et al. Análise das argamassas de revestimento (industrializadas e usinadas), empregadas em obras do Distrito Federal, quanto aos requisitos e ao desempenho. IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras (CIMPAR), João Pessoa-(PA-Brasil), 2013. Disponível em:[http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/A1\\_094.pdf](http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/A1_094.pdf). Acesso 16 de novembro de 2016, 20:00.

Canellas, Susan S ales. Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas. Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio, 2005. Disponível em :[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7374/7374\\_1.PDF](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7374/7374_1.PDF). Acesso 31 de maio de 2016, 19:40.

Canevarolo JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. Editora Artiber, São Paulo, 2006.

Carasek. Helena. Notas de aula: Argamassas. Universidade Federal de Goiás 2007. Disponível em:  
[http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa\\_ibracon\\_cap26\\_apresentacao.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf). Acesso 18 de maio de 2016, 17:15

Coelho, A.; Torgal, F. Pacheco; Jalali, Said. A cal na Construção. Edição Tecminho ISBN p. 978-972, 2009.

Correa, Priscila Marques. Estudo comparativo da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção do concreto estrutural. 2015. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em:  
<http://hdl.handle.net/10183/130090>  
Acesso 7 de junho de 2016,11:50

Da Silva Spinacé, Márcia Aparecida; DE PAOLI, Marco Aurelio. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Quim. Nova, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

Dalmolin, Carla. Notas de aula: Estrutura Molecular de Polímeros. 2014. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Tecnologia, Joinville. Disponível em:  
[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carlad/materiais/02\\_EstruturaMolecular.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carlad/materiais/02_EstruturaMolecular.pdf). Acesso 18 de maio de 2016, 11:15

Demarquete Nicole R. Notas de aula: Introdução à Ciência dos Materiais para Engenharia 2013. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Disponível em:  
<http://www.pmt.usp.br/pmt5783/Pol%C3%ADmeros.pdf> . Acesso 18 de maio de 2016, 19:10.

Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>  
Acesso 09 de junho de 2016 15:00

Jantsch, Ana Cláudia Akele. Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes 2015. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?q=an%C3%81lise+do+desempenho+de+argamassas+estabilizadas+submetidas+a+tratamento+superficial+com+aditivos+cristalizante+s&btnq=&hl=pt-br&as\\_sdt=0%2c5](https://scholar.google.com.br/scholar?q=an%C3%81lise+do+desempenho+de+argamassas+estabilizadas+submetidas+a+tratamento+superficial+com+aditivos+cristalizante+s&btnq=&hl=pt-br&as_sdt=0%2c5). Acesso: 13 de outubro de 2016, 15:00.

John, Vanderley M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, v. 102, 2000. Disponível em [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0,5&q=Reciclagem+Residuos+Construcao+Civil](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0,5&q=Reciclagem+Residuos+Construcao+Civil). Acesso em: 18 março 2016, 11:27:30

Junior Antonio W. da S.; Gonçalves Patrícia P.; Cabral Antonio E. B. Avaliação do fio de poliéster reciclado do plástico pet como fibra em argamassa. -X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA), Fortaleza 2013. Disponível em: <http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/474>. Acesso 7 de junho de 2016, 10:30

Leal, Márcio Manuel Rodrigues. Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado. 2013. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Setúbal. Disponível em: [http://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/3954/1/Desenvolvimento%20argamassas%20revestimento%20com%20comportamento%20termico%20melhorado\\_M%C3%A1rcio%20Leal.pdf](http://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/3954/1/Desenvolvimento%20argamassas%20revestimento%20com%20comportamento%20termico%20melhorado_M%C3%A1rcio%20Leal.pdf). Acesso em: 15 abril 2016, 16:27:45.

Lourenç, Sidnei – Caracterização de argamassas de revestimento fabricadas com materiais alternativos. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Tecnológicas, 2003. Dissertação de Mestrado. Disponível em: [http://www.tede.udesc.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=234](http://www.tede.udesc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=234). Acesso 21 de abril de 2016, 18:20

Mano, Eloisa B.; Mendes Luís C. Introdução a polímeros 2ª revista ampliada. São Paulo 1998, Editora Edgar Blücher LTDA.

MANSUR, A. A. P. Mecanismos Físico-Químicos de Aderência na Interface Argamassa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimento. 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte. Disponível: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MAPO7RCP68/alexandra\\_ancelmo\\_mansur.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MAPO7RCP68/alexandra_ancelmo_mansur.pdf?sequence=1). Acesso 12 de novembro de 2016 22:00

Margalha, Maria Goreti. Argamassas. 2011. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Patrimônio. Universidade de Évora. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4969/1/Argamassas.pdf>. Acesso 17 de abril de 2016, 15:12:03

Mello, Anselmo Lima et al. Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa. 2011. Tese de Doutorado. Master Dissertation in Civil Engineering, Universidade Federal da Bahia, Salvador. Disponível em <http://www.meau.ufba.br/site/node/1659>. Acesso em: 19 março 2016, 13:55:38.

Michaeli Walter, Greif Helmut. e tal. Tecnologias dos Plásticos. 1. Ed. 5ª reimpressão 2010. Editora Edgard Blucher LTDA. São Paulo.

Modro, Nlr. Desenvolvimento e Caracterização de Concreto de Cimento Portland Contendo Resíduos Poliméricos de PET. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação de M. Sc., UNIVILLE, Joinville, SC, Brasil, 2008. Disponível em: [http://univille.edu.br/data/sitelimages/8/Dissertacao\\_Neilson\\_Luiz\\_Ribeiro\\_Modro.pdf](http://univille.edu.br/data/sitelimages/8/Dissertacao_Neilson_Luiz_Ribeiro_Modro.pdf). Acesso 1 de junho de 2016, 09:40.

Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica no Brasil (2010) Disponível em: [http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao\\_IRMP2010.pdf](http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao_IRMP2010.pdf). Acesso 21 de abril de 2016, 15:00.

Motta Debora. O milagre da reciclagem de plástico em madeira in FAPERJ (2008). Disponível em: <http://www.faperj.br/?id=1280.2.3>. Acesso 4 de junho de 2016, 17:40.

Norma brasileira ABNT NBR NM ISO 3310-1. Peneiras de ensaio.

Norma brasileira NBR 13276/2002. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

Norma brasileira NBR 13279 (2005). Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão.

Norma brasileira NBR 15259/2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

Norma brasileira NBR 7211/2005. Agregados para concreto – Especificação.

Norma brasileira NBR 9779/2012. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade.

Norma brasileira ABNT NBR NM 248. Determinação da composição granulométrica.

OLIVEIRA Helio M. de. Aglomerantes. In BAUER, Luis. A. F. Materiais de construção 1 2000a. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, pg. 16-34.

OLIVEIRA Helio M. de. Cimento Portland. In BAUER, Luis. A. F. Materiais de construção 1. 2000b Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional 2000b, pg. 35-62

Oliveira. Elena M. D. Notas de aula: Materiais de construção civil. 2005. Instituto Federal Rio grande do Sul. Disponível em:  
<http://academico.riogrande.ifrs.edu.br/elena.oliveira/Materiais%20de%20Constru%E7%E3o%20Civil/Aula5.pdf>.

Acesso: 15 de maio de 2016,15:10

Pereira, Claudio Henrique de Almeida Feitosa. Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa. 2009. Tese de Doutorado Universidade de Brasília. Disponível em:  
<http://repositorio.unb.br/handle/10482/2451>.

Acesso 20 de abril de 2016, 19:50

PLASTIVIDA: Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica no Brasil (2011). Disponível em:  
[http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao\\_IRMP2011.pdf](http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao_IRMP2011.pdf). Acesso 14 de abril de 2016, 14:40.

Provenzano, Thaís I. et al. Caracterização do desempenho térmico de vedações com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas para habitação de interesse social. IV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006 Florianópolis. Disponível em:

[http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/entac2006\\_3275\\_3284.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/entac2006_3275_3284.pdf). Acesso 31 de maio de 2016, 18:00.

Raupp, Daniele; Serrano, Agostinho; Moreira, Marco Antônio. Desenvolvendo habilidades viso espaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em química. Experiências em ensino de ciências, v. 4, n. 1, p. 65-78, 2009.

Recena, Fernando Antonio Piazza Conhecendo a argamassa 1º edição Editoração Eletrônica Visual Produções (2012). EDIPURS. Porto Alegre.

Recena, Fernando Antonio Piazza. Técnicas Aplicáveis a Trabalhos de Restauração de Prédios de Interesse Histórico e Cultural. (2014). EDIPURS. Porto Alegre

RENÓ, Maria Luiza Grillo. Uso de técnicas de otimização robusta multi-objetivos na produção de cimento. 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá. Disponível em:

<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0036354.pdf> . Acesso 18 abril de 2016, 00:10

Roque António J. da Silva, contributo para a história e reabilitação 2012. Dissertação de mestrado. Universidade de Lusófona de humanidade e tecnologias Disponível em: <http://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/3915>. Acesso 17 abril de 2016, 20:15

Santiago, Cybèle Celestino. Argamassas tradicionais de cal. Salvador Bahia 2007. Editora da Universidade federal da Bahia.

DA SILVA, Alexandra M.; DE BRITO, Jorge; VEIGA, Rosário. Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 226-236, 2014

<https://scholar.google.com.br/scholar?hl=ptBR&q=Incorporation+of+fine+plastic+aggregates+in+rendering+mortars&btnG=&lr=>

Acesso 11 novembro de 2016, 14:15

Silva Spinacé, Márcia Aparecida; DE PAOLI, Marco Aurelio. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Quim. Nova, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

Silva, Talita de C.; Miranda, L. F. Estudo comparativo das propriedades do poli (tereftalato de etileno) virgem e reciclado. Universidade Mackenzie, Departamento de Engenharia de Materiais, São Paulo, 2003. Disponível em: [http://www.mackonline.com.br/fileadmin/Graduacao/EE/Revista\\_on\\_line/Estudo\\_Comparativo\\_Poli.pdf](http://www.mackonline.com.br/fileadmin/Graduacao/EE/Revista_on_line/Estudo_Comparativo_Poli.pdf). Acesso 4 de junho de 2016, 14:10.

Soncim, Sérgio Pacífico et al. O emprego do resíduo da reciclagem de garrafas pet (polietileno tereftalato) como agregado em reforço de subleitos de rodovias. Anais do IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, 2004. Disponível em :[https://www.academia.edu/6057980/o\\_emprego\\_do\\_res%c3%8dduo\\_da\\_reciclagem\\_de\\_garrafas\\_pet\\_polietileno\\_tereftalato\\_como\\_agregado\\_em\\_refor%c3%87o\\_de\\_subleitos\\_de\\_rodovias](https://www.academia.edu/6057980/o_emprego_do_res%c3%8dduo_da_reciclagem_de_garrafas_pet_polietileno_tereftalato_como_agregado_em_refor%c3%87o_de_subleitos_de_rodovias). acesso 6 de junho de 2016, 15:25.

Valverde, Fernando Mendes. Agregados para construção civil. Balanço Mineral Brasileiro, 2001. Disponível em

[https://scholar.google.com.br/scholar?q=+Agregados+para+constru%C3%A7%C3%A3o+civil&btnG=&hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5](https://scholar.google.com.br/scholar?q=+Agregados+para+constru%C3%A7%C3%A3o+civil&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5). Acesso em: 19 março 2016, 13:07:18.

Varela, Noel; Vieira, Fernando Sales. Cimento: Uma matéria-prima essencial no fabrico de argamassas. In: 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa. 2005. Disponível em: <http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2037.pdf>  
Acesso 17 abril de 2016, 11:05:20

Vargas Alexandre. Análise experimental de lajes pré-fabricadas Tese de Doutorado 2013. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Disponível em: <http://dspace.unesc.net/handle/1/1662>. Acesso 31 de maio de 2016 18:30.