

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ROSIÉLI RIBEIRO JARDIM

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
MIÚDO POR AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE PET EM CONCRETOS
CONVENCIONAIS**

**Alegrete
2016**

ROSIÉLI RIBEIRO JARDIM

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
MIÚDO POR AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE PET EM CONCRETOS
CONVENCIONAIS**

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: Simone Dornelles Venquiaruto.

**Alegrete
2016**

ROSIÉLI RIBEIRO JARDIM

ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE PET EM CONCRETOS CONVENCIONAIS

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, novembro de 2016.

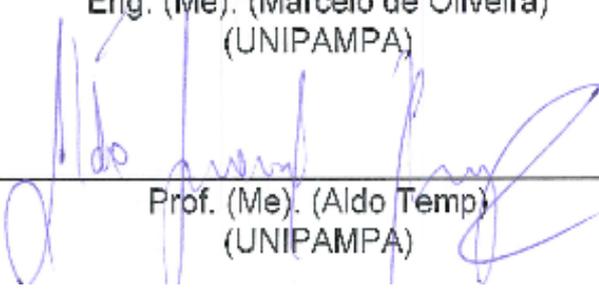
Banca examinadora:



Prof. (Me). (Simone Venquiaruto)
Orientador
(UNIPAMPA)



Eng. (Me). (Marcelo de Oliveira)
(UNIPAMPA)



Prof. (Me). (Aldo Temp)
(UNIPAMPA)

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos pelo apoio e compreensão. Ao meu namorado pelo grande amor dedicado a mim. Aos meus queridos amigos que sempre estiveram comigo me incentivando.

RESUMO

A utilização de materiais reciclados gera inúmeros benefícios econômicos e ambientais, pois minimizam a extração de recursos naturais, além de diminuir a poluição e gastos. Este trabalho de pesquisa objetivou verificar a influência da substituição parcial da areia natural em concretos convencionais por agregado miúdo reciclado de PET quanto às suas propriedades mecânicas (resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral), nas idades de controle de 7 e 28 dias. O programa experimental foi dividido em duas etapas distintas. Na primeira etapa, foi desenvolvido um estudo de dosagem pelo Método do IPT/EPUSP. A partir da elaboração do diagrama de dosagem, determinou-se um traço com consumo de cimento intermediário, para possibilitar a confecção de um concreto de desempenho normal. A segunda etapa do programa experimental correspondeu às moldagens dos concretos do traço intermediário e da execução dos ensaios mecânicos. Parte dos concretos foi confeccionada com substituição parcial do agregado miúdo por agregado reciclado de PET nos teores de 10% e 15% (substituição em volume), e parte dos concretos foram moldados com 100% de agregado miúdo natural, para servirem como referência. A partir dos resultados médios obtidos nos ensaios mecânicos foi realizada uma análise estatística onde constatou-se não haver diferença significativa entre os resultados dos concretos com substituição de PET nos teores estudados (10% e 15%) e às suas respectivas referências.

Palavras-Chave: agregado miúdo, agregado miúdo reciclado de PET, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral.

ABSTRACT

The use of recycled materials generates numerous economic and environmental benefits, as they minimize the extraction of natural resources, as well as reduce pollution and expenses. The objective of this research was to verify the influence of the partial replacement of natural sand on conventional concretes by small recycled PET aggregate with respect to its mechanical properties (resistance to axial compression and tensile strength by diametral compression), in the control ages of 7 and 28 days. The experimental program was divided into two distinct stages. In the first step, a dosage study was developed using the IPT / EPUSP method. From the elaboration of the dosage diagram, a trait with intermediate cement consumption was determined, to allow the construction of a concrete of normal performance. The second stage of the experimental program corresponded to the moldings of the concretes of the intermediate trace and the execution of the mechanical tests. Part of the concretes was made with partial replacement of the small aggregate by recycled aggregate of PET in the contents of 10% and 15% (substitution in volume), and some of the concretes were cast with 100% of natural kid's aggregate, to serve as reference. From the results obtained in the mechanical tests, a statistical analysis was carried out, where it was verified that there was no significant difference between the results of concrete with substitution of PET in the contents studied (10% and 15%) and their respective references.

Keywords: small aggregate, recycled kid's PET aggregate, axial compression strength, diametral compression tensile strength.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar saúde, força e disposição para enfrentar as adversidades dessa caminhada.

A minha família, pelo carinho e apoio dado a mim para superar mais essa etapa da minha vida.

Ao meu namorado, pelo amor, paciência e incentivo dado a mim em todos os momentos difíceis que enfrentei durante o curso.

A minha amiga Lisi, pela amizade, ensinamentos, paciência em toda essa árdua jornada que enfrentamos.

Aos demais amigos e colegas, pelos momentos de descontração, horas de estudo e apoio nas horas que mais precisei.

A minha orientadora, pelo tempo dedicado a mim para, ensinamentos passados e todo auxílio dado para tornar esse trabalho possível.

E, por fim, a todas as demais pessoas que de alguma forma me ajudaram a tornar o meu sonho em realidade.

“As grandes coisas são feitas por pessoas que tem grandes ideias e saem pelo mundo para fazer com que seus sonhos se tornem realidade”.

Ernest Holmes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do consumo de PET no Brasil	25
Figura 2 – Poluição em um trecho do rio Tietê.....	26
Figura 3 – Processo de Moagem	27
Figura 4 – Processo de Lavagem.....	27
Figura 5 – Produtos originados do processo de reciclagem de PET	28
Figura 6 – Diagrama de desenvolvimento da primeira etapa do experimento	39
Figura 7 – Diagrama de desenvolvimento da segunda etapa do experimento.....	39
Figura 8 – Corpos de prova da dosagem experimental.....	40
Figura 9 – Diagrama de dosagem do método IPT.....	41
Figura 10 – Aspectos do traço com 15% da substituição do agregado reciclado de PET e alguns corpos de prova moldados.....	43
Figura 11 – Determinação <i>Slump Test</i> para o Traço de Referência, Traço com 10% de agregado reciclado de PET, Traço com 15 % de agregado reciclado de PET, respectivamente	44
Figura 12 – Prensa utilizada para a realização do ensaio de resistência à compressão axial	45
Figura 13 – Prensa utilizada para a realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral (a) e aspectos do corpo de prova após a realização do ensaio na idade de 7 dias (b).....	46
Figura 14 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural	48
Figura 15 – Agregado miúdo reciclado de PET	49
Figura 16 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado de PET	50
Figura 17 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural com substituição de 10% de agregado reciclado de PET	52
Figura 18 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural com substituição de 15% de agregado reciclado de PET	53
Figura 19 – MEV dos agregados miúdos com ampliação de 50 vezes	54
Figura 20 – MEV dos agregados miúdos com ampliação de 300 vezes	55
Figura 21 – Curva granulométrica do agregado graúdo	56
Figura 22 – Resistência à compressão axial em função do tempo	58
Figura 23 – Resistência à tração por compressão diametral em função do tempo ...	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características de PET	24
Tabela 2 – Composição dos concretos reciclados e concretos de referência	33
Tabela 3 – Resultados dos ensaios realizados nos concretos dos diferentes teores	35
Tabela 4 – Traço Unitário utilizado na segunda etapa do experimento.....	41
Tabela 5 – Representação esquemática do número de amostras destinadas aos ensaios mecânicos nas respectivas idades de controle	43
Tabela 6 – Temperaturas e umidades relativas do ar para os traços executados	45
Tabela 7 – Exigências físicas, químicas e mecânicas do cimento Portland CPIV32.	46
Tabela 8 – Ensaio e Normas utilizadas na caracterização física dos agregados	47
Tabela 9 – Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo natural..	47
Tabela 10 – Resultados obtidos de massa específica unitária e massa específica de duas amostras de agregado miúdo natural	48
Tabela 11 – Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo reciclado de PET	49
Tabela 12 – Resultados de massa específica unitária e massa específica de agregado miúdo reciclado de PET.....	51
Tabela 13 – Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo natural com substituição de 10% de agregado miúdo reciclado de PET.....	51
Tabela 14 – Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo natural com substituição de 15% de agregado miúdo reciclado de PET.....	53
Tabela 15 – Composição granulométrica das amostras de agregado graúdo	55
Tabela 16 – Resultados obtidos de massa específica unitária e massa específica de duas amostras de agregado graúdo.....	56
Tabela 17 – Resultados de massa específica unitária média dos concretos estudados.....	57
Tabela 18 – Análise de variância (ANOVA) dos resultados de resistência à compressão axial	59
Tabela 19 – Análise de variância (ANOVA) dos resultados de resistência à tração por compressão diametral	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos Resíduos Sólidos.....	21
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

CCA – Cinza da casca de arroz

CEMPRE – Associação Empresarial dedicada à Promoção da Reciclagem e Gestão Integrada do lixo.

CP II F32 – Cimento Portland com Fíler.

CP III 40 RS – Cimento Portland Resistente a Sulfatos.

CP IV 32 – Cimento Portland Pozolânico.

CP V ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura.

ONU – Organização das Nações Unidas.

PC – Policarbonato.

PE – Polietileno.

PET – Politereftalato de Etileno.

PMMA – Poli Metilmetacrilato.

PP – Polipropileno.

PS – Poliestireno.

PVC – Poli Cloreto de Vinila.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos.....	17
1.1.1	Objetivo geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	Justificativa.....	18
1.3	Estrutura do trabalho.....	19
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	Sustentabilidade Ambiental.....	20
2.2	Resíduos.....	21
2.3	Polímeros.....	22
2.4	Politereftalato de etileno (PET).....	23
2.5	Reciclagens de garrafas PET.....	25
2.6	Concreto.....	29
2.6.1	Cimento Portland.....	30
2.6.2	Agregados para Concreto.....	30
2.6.3	Agregados Reciclados.....	31
2.6.4	Água.....	31
2.7	Concreto com adição de resíduos recicláveis.....	32
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	Materiais e Métodos.....	37
3.1.1	Delimitação dos fatores controláveis e de resposta.....	37
3.2	Programa Experimental.....	38
3.3	Proporcionamento e Execução dos Concretos.....	40
3.3.1	Dosagem experimental – Método do IPT.....	40
3.3.2	Definição do traço da segunda etapa do experimento.....	41
3.3.3	Produção dos Concretos.....	42
3.3.4	Moldagem, adensamento e cura dos corpos-de-prova.....	42
3.3.5	Ensaio de Controle.....	43

3.3.6	Abatimento do Tronco de Cone	44
3.3.7	Resistência à compressão Axial	45
3.3.8	Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	45
3.4	Caracterizações dos Materiais Utilizados na Pesquisa Experimental	46
3.4.1	Cimento Portland	46
3.4.2	Agregados	47
3.4.3	Agregado Miúdo Natural	47
3.4.2.2	Agregado Miúdo Reciclado de PET	49
3.4.2	Composição do Agregado Miúdo Natural e Agregado Miúdo Reciclado de PET	51
3.4.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos Agregados Miúdo Natural e Agregados Reciclado de PET	54
3.4.4	Agregado Graúdo	55
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	57
4.1	Resistência à Compressão Axial	57
4.2	Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 11 anos, segundo a ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2014) houve um crescimento na produção de lixo no Brasil, o qual foi muito maior do que o crescimento populacional. Nos anos de 2003 a 2014, a geração de lixo aumentou 29%, enquanto a taxa de crescimento populacional foi de apenas 6%. No ano de 2014 foi gerado 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos no país. Nos últimos anos as iniciativas de coleta seletiva vêm crescendo, em 2014, por exemplo, 65% dos municípios brasileiros faziam alguma ação de coleta seletiva, sendo pública ou privada. Em 2010, esse número era de 57,6%. Apesar da intensificação da coleta seletiva por parte dos municípios, essa ação pouco tem refletido no aumento dos índices de reciclagem, que praticamente não mudaram desde 2009.

De acordo com CEMPRE (Associação Empresarial dedicada à Promoção da Reciclagem e Gestão Integrada do lixo, 2015) a Política Nacional de Resíduos Sólidos, visa à redução do volume de resíduos gerados, a ampliação da reciclagem, aliada a mecanismos de coleta seletiva com inclusão social de catadores e a extinção dos lixões. Atualmente apenas 13% dos resíduos urbanos são reciclados, mas o potencial para reciclagem é muito maior. Além de proporcionar o uso racional dos aspectos econômicos, a reciclagem economiza recursos naturais, como a água, o uso racional de energia e menor emissão de gases do efeito estufa.

A forma de utilizar os recursos no presente com a preocupação de possíveis impactos no futuro é conhecida como Sustentabilidade Ambiental. Segundo Silva et. Al (2008) o resultado de todo consumo excessivo dos recursos naturais gera uma grande apreensão com o desgaste ambiental.

A construção civil, nas últimas décadas, está gradativamente mais atenta à sustentabilidade ambiental. Em função disso, há a necessidade de demanda de inserção de novos materiais. É sabido que a utilização de materiais reciclados gera inúmeros benefícios econômicos e ambientais, pois minimizam a extração de recursos naturais, além de diminuir a poluição e redução de gastos.

Atualmente no Brasil, as grandes cidades sofrem com o descaso com o lixo, que muitas vezes é depositado em vários locais inapropriados. Os resíduos provindos das garrafas PET representam uma grande percentagem desse material e contribuem para o aumento da sujeira nas cidades e entupimento. Em grandes centros urbanos a dificuldade é aumentada, pois o não escoamento da água acarreta problemas mais graves como os alagamentos e as enchentes. Além disso, as garrafas que são depositadas na natureza podem ir parar nos rios causando poluição e afetando os animais daquele ecossistema (LAGARES, 2007).

Devido aos problemas oriundos das garrafas PET, o reaproveitamento se faz necessário. Quando as garrafas PET passam por um processo de reciclagem específico, segundo a CNP RECICLAGEM (2015) originam-se dois novos produtos em forma de flocos e pó. O subproduto em forma de flocos é conhecido comercialmente por flakes e possui dimensões de 8 a 12 mm. O subproduto em forma de pó possui dimensões de até 2 mm e quanto ao seu aspecto, se assemelha a um agregado miúdo (areia natural).

A areia é um recurso natural amplamente utilizado na Construção Civil com baixo custo, isso torna praticamente impossível sua substituição por outro tipo de material. Mas também vários problemas ambientais são causados, devido sua extração como: erosão/assoreamento, diminuição da pressão sobre os lençóis de água subterrâneos (CANELLAS, 2005)

O rio Jacuí, localizado no estado do Rio Grande do Sul, é responsável por praticamente metade da sua produção de areia. Devido ao grande volume de areia retirada do rio, muitos impactos ambientais contribuem para a sua degradação. Entretanto, o estado do Rio Grande do Sul não provém de outras regiões ricas em jazidas de areia que poderiam amenizar os problemas encontrados nesse rio. (OLIVEIRA, 2013).

Em função do exposto, tornam-se imprescindíveis estudos científicos que viabilizem a utilização de novos materiais que possam contribuir para a redução da exploração da areia de rio. Nos últimos anos têm surgido pesquisas que objetivam a utilização de materiais alternativos para a produção de concretos. Alguns desses trabalhos (Pietrobelli (2010), Santos *et al.* (2015), Modro (2009), entre outros), têm focado no estudo da viabilidade

do pó de PET como um material alternativo que pode substituir a areia natural.

Este trabalho de pesquisa visa verificar a viabilidade da substituição parcial da areia natural por resíduo de PET em concretos convencionais.

1.1 Objetivos

Os objetivos gerais e específicos dessa pesquisa são apresentados sequencialmente nos itens 1.1.1 e 1.1.2, respectivamente.

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a viabilidade da utilização de agregado miúdo reciclado de PET em substituição parcial ao agregado miúdo natural em concretos convencionais frente suas propriedades mecânicas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- a) Avaliar a influência da substituição parcial de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado de PET na trabalhabilidade dos concretos pelo método do tronco de cone (NBR NM 67, 1998).
- b) Avaliar a influência da substituição parcial de agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de PET na resistência à compressão axial de concretos convencionais (NBR 7215, 1997), nas idades de controle de 7 e 28 dias.
- c) Avaliar a influência da substituição parcial de agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de PET na resistência à tração por compressão diametral de concretos convencionais (NBR 7222, 2011), nas idades de controle de 7 e 28 dias.
- d) Avaliar a significância dos teores de PET utilizados nas propriedades mecânicas dos concretos produzidos através de uma análise de variância (ANOVA).

1.2 Justificativa

A preocupação com o meio ambiente vem aumentando nos últimos anos, já que cada vez mais, observam-se sinais mais evidentes de sua degradação. Além disso, a crise econômica que afeta vários países do mundo vem contribuindo para esse quadro. A Construção Civil necessita da utilização de vários materiais extraídos do meio ambiente e devido aos problemas ambientais encontrados, tem-se um aumento no custo da matéria prima devido à escassez da mesma. Com esses fatores, a construção civil vem sofrendo grandes consequências com a redução do crescimento habitacional e investimentos em infraestrutura. Devido a esses problemas, é de fundamental importância à realização de pesquisas que venham a contribuir para a redução dos impactos ambientais e buscar soluções para reduzir os custos na Construção Civil (CORÓ, 2002).

Existem atualmente muitas técnicas para a utilização de materiais menos agressores ao meio ambiente e de mais baixo custo para serem aplicados nas construções. Entre essas técnicas destaca-se a utilização de resíduos reciclados nos quais podem ser utilizados como um material a ser adicionado ao concreto. Esses novos materiais oferecem possibilidades interessantes para projetos estruturais avançados e para o aperfeiçoamento de estruturas já existentes (CORÓ, 2002).

O polímero PET é muito utilizado em garrafas de plástico, normalmente para o armazenamento de água ou refrigerante. Esse material é muito abundante, já que é utilizado por várias empresas de bebidas, sendo 100% reciclável e apresentar baixo custo de produção. Entretanto, na maioria das cidades brasileiras esse material não passa por um processo de reciclagem e acaba tornando-se um grande problema ambiental. Sendo assim, a utilização desse material na Construção Civil pode contribuir de maneira bastante expressiva, não só para reduzir os problemas ambientais causados por esse material na natureza, mas também para reduzir os custos (PIETROBELLI, 2010).

Frente à necessidade da procura de novos materiais que possam desenvolver bom desempenho com custo relativamente baixo e que favoreçam a preservação da natureza. Assim através dessa pesquisa será

verificada a viabilidade da substituição parcial de agregado reciclado de PET pelo agregado miúdo natural.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução sobre o tema de estudo, os objetivos gerais e específicos e a justificativa da pesquisa. O segundo capítulo exhibe a fundamentação teórica na qual o trabalho foi embasado.

No terceiro capítulo, serão descritos os procedimentos metodológicos utilizados. O quarto capítulo apresenta os resultados e as discussões do programa experimental. E por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões obtidas a partir da análise dos resultados experimentais.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sustentabilidade Ambiental

No início do século XX, a humanidade passou por grandes transformações não só econômicas, mas também sociais. Devido a processos como a industrialização e o aumento da população mundial o planeta vem sofrendo inúmeros danos ambientais. Além disso, a intervenção humana que explora o meio ambiente de maneira inconsequente vem contribuindo como agravante desse problema. Devido a isso, cada vez mais, temos a necessidade de encontrarmos soluções menos agressoras ao meio ambiente para vivermos de forma confortável e para garantirmos o futuro das próximas gerações (NETA, 2011).

Segundo Cavalcanti (2003), sustentabilidade significa a possibilidade de se obterem continuamente condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em dado ecossistema.

Para a execução de trabalhos com responsabilidade ambiental é necessário realizar-se atitudes que venham a contribuir para um planeta mais sustentável independente se essa tarefa é realizada por pessoas ou empresas. Logo, as atitudes devem ser tomadas com extrema responsabilidade não visando somente o crescimento econômico, mas também garantindo a proteção do meio ambiente e, conseqüentemente, o emprego dessa sustentabilidade, contribuirá positivamente para a qualidade de vida nas próximas gerações (PAES, 2011).

Um indivíduo deve pensar de forma coerente e responsável quando interage com o meio ambiente. Essa responsabilidade ambiental tem por objetivo conscientizar as pessoas sobre a importância e a necessidade que temos com essa preservação. Logo, essa consciência com a importância da sustentabilidade implica diretamente na qualidade de vida que temos atualmente e nas que teremos nas próximas gerações (PAES, 2011).

2.2 Resíduos

Segundo a norma da ABNT, NBR 10.004:2004, resíduos sólidos são aqueles que:

Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT; NBR 10004, 2004, p1).

Os resíduos sólidos possuem uma larga diversidade e complexidade, sendo que suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com a fonte ou atividade geradora, podendo ser classificados segundo a NBR 10004 conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos Resíduos Sólidos

Classes	Condição
I	Perigosos
II	Não Perigosos
IIA	Não Perigosos e Não Inerentes
IIB	Não Perigosos e Inerentes

Fonte: adaptado de NBR 10004 (ABNT 2004)

A Lei Federal 12.305, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

Um dos conceitos mais importantes dessa Política é o de Responsabilidade compartilhada pelo período de vida dos produtos. O lixo (resíduos sólidos) que é produzido não pode ser tratado como obrigação de uma entidade ou pessoa, pois representa uma questão ambiental (NETA, 2011).

O ambiente é de todos, assim como o seu uso comum. Com isso, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o Estado, o cidadão e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos

sólidos devem prezar pela minimização do volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como a redução dos impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental dos produtos (BRASIL, 2010).

A Lei 12305 também rege o gerenciamento de resíduos sólidos, que é o conjunto de ações exercidas direta ou indiretamente em diferentes etapas, desde a coleta do resíduo sólido, até a reciclagem ou outras formas de destinação. Outro ponto muito importante imposto pela lei foi agregar ao lixo valor econômico, no qual é constantemente associado à poluição. No entanto, nem todos os resíduos sólidos podem ser reutilizados ou reciclados. A destinação correta do resíduo vai depender diretamente de sua classificação de periculosidade, para que não cause danos ao meio ambiente e a saúde humana (BRASIL, 2010).

2.3 Polímeros

“Para os químicos os polímeros, são materiais poliméricos, constituídos por substâncias orgânicas sintéticas, que podem ser moldados com o auxílio de calor e da pressão [...]” (SANTOS; MÓL, 2010, p. 137).

A palavra POLÍMERO de origem grega Poli, sua definição é muito, Mero que refere a “parte” ou “unidade” (que se repete). Para a formação dos polímeros os meros são unidos entre si através de ligações primárias. Por analogia pode-se dizer que as moléculas de um polímero estão ordenadas de formato idêntico a um novelo de lã, a extração de um fio de novelo de lã não se dá de forma simples. Da mesma maneira não é possível remover facilmente uma molécula de uma porção de polímero, pois as cadeias “seguram-se” entre si (GORNI 2003).

A reação que constitui um polímero é chamada de reação de polimerização, onde a molécula inicial (monômero) junta-se consecutivamente com outras, produzindo o dímero, trímero, tetrâmero e finalmente o polímero. Essa reação se dá por inúmeras técnicas e processos distintos, nas quais as mais utilizadas são: polimerização por adição e polimerização por condensação (ANDRADE, 2007, p. 1269).

A classificação dos polímeros pode ser de diferentes formas, no qual depende do seu objetivo. As mais usuais são: a partir da estrutura química, do

método de preparação, das características tecnológicas e do comportamento mecânico (GORNÍ 2003).

Segundo suas características tecnológicas os polímeros podem ser classificados em termoplásticos e termorrígidos (GORNÍ, 2003).

Polímeros termoplásticos apresentam ligações químicas fracas (van der Waals) entre as cadeias, nas quais quando há inserção de energia ocorre separação das mesmas (GORNÍ, 2003).

Quando esses polímeros são submetidos por altas temperaturas, as cadeias poliméricas são rompidas e ocorre movimentação entre elas, isso facilita seu reprocessamento. Assim faz com que esses materiais possam ser reciclados várias vezes (ANDRADE, 2007, p. 1279).

Os exemplos de polímeros termoplásticos são: polietileno (PE), polipropileno (PP), (tereftalato de etileno) (PET), policarbonato (PC), poliestireno (PS), poli cloreto de vinila (PVC), poli metilmetacrilato (PMMA) (CALLISTER, 2007, p. 400).

Os polímeros termorrígidos apresentam numerosas cadeias poliméricas ligadas entre si por ramificações, isso torna difícil sua movimentação (GORNÍ 2003).

Quando esse tipo de polímero é submetido a altas temperaturas ocorre à decomposição do material antes de sua fusão. Com isso é muito difícil de ocorrer à reciclagem nesse material (ANDRADE, 2007, p. 1285).

Alguns exemplos de polímeros termorrígidos são os: epóxis, fenólicos, poliésteres (CALLISTER, 2007, p. 401).

2.4 Politereftalato de etileno (PET)

O PET (Politereftalato de etileno) é um polímero termoplástico formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol, foi desenvolvido em 1941, pelos químicos britânicos Whinfield e Dickson (ABIPET, 2010).

O PET possui propriedades como: Resistência Mecânica, Resistência Térmica, Resistência à Tração, Resistência à Gorduras, Resistência à Abrasão e Resistência Química. Ainda apresenta leveza, transparência, brilho (MANO, 2004). A Tabela 1 apresenta algumas propriedades desse material.

Tabela 1 – Características de PET

Características do Polímero	Valores
Massa Molar	15.000 – 42.000 g/mol
Densidade	1,33 – 1,45 g/mL
Índice de Refração	1,65 – 1,66
Temperatura de Fusão	250 – 270°C
Temperatura de Transição Vitrea	70 – 74°C

Fonte: adaptado de Montenegro et al. (2000)

O plástico do tipo PET faz parte do nosso dia a dia, pois estão em formas de garrafas para armazenar líquidos como sucos e refrigerantes. Ainda podendo ser utilizado para outras tipologias de embalagens, e também como matéria-prima para indústria têxtil (AYRES 2013).

A fabricação de garrafas PET abrange em um processo de moldagem que pode ser realizado de duas diferentes formas: injeção e insuflação.

A moldagem é feita por injeção da matéria prima, no qual consiste simplesmente em forçar por meio de um pistão, uma carga de material plástico aquecido em um cilindro, para um molde, no qual o material preenche as cavidades. Com isso, obtém-se a conformação da peça esperada (ANDRADE, 2007, p. 1269).

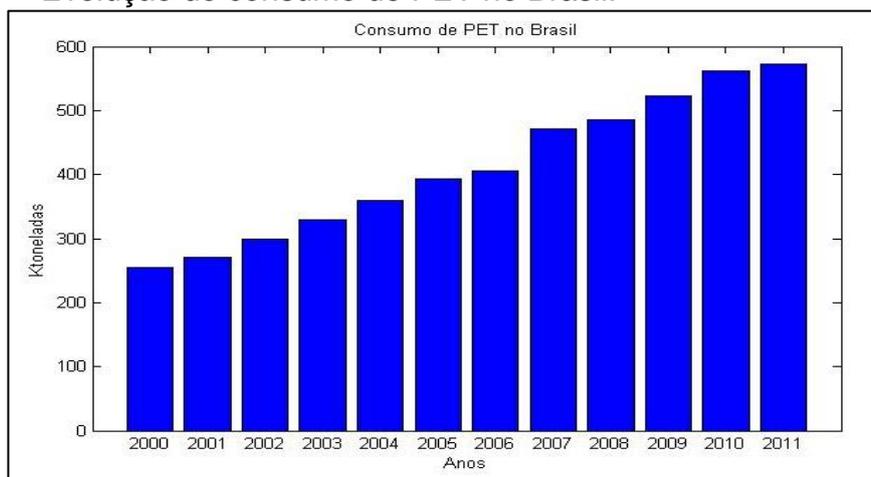
A moldagem por insuflação (alongamento, orientação) das garrafas PET é fácil, porém as operações mecânicas realizadas podem ser difíceis. Inicialmente a matéria-prima é estirada e assim é aplicada uma baixa pressão, em seguida aplica-se uma alta pressão, formando-se a garrafa com o mesmo formato existente na cavidade do molde (ANDRADE, 2007, p. 1272).

A utilização das embalagens de vidro foi importante até meados dos anos noventa, porém logo após esses tipos de polímeros passou a ganhar mercado nas embalagens (CRISPIM; BORGHI, 2009).

Segundo a ABIPET (2010) a embalagem de PET tem mostrado ser o recipiente ideal para a indústria de bebidas em todo o mundo, reduzindo custos de transporte e produção, evitando desperdícios em todas as fases de produção e distribuição.

A Figura 1 mostra a evolução no consumo de embalagens PET no decorrer dos anos.

Figura 1 – Evolução do consumo de PET no Brasil.



Fonte: Adaptado de ABIPET (2013, Não Paginado)

As embalagens de PET são amplamente empregadas por indústrias de refrigerantes e sucos entre outros. Atualmente a produção no mercado brasileiro chega cerca de 9 bilhões de unidades por ano, porém 53% dessas embalagens não são reaproveitadas. Sendo assim, cerca de 4,7 bilhões de unidades anualmente são descartadas na natureza. Todavia entre os anos de 1995 e 2005, a produção de garrafas PET cresceu de 120 mil toneladas para cerca de 374 mil toneladas, principalmente na indústria de refrigerante (ALEGRIA, 2007).

Mesmo sendo um produto totalmente reciclável, com baixo custo em sua produção. O descarte inadequado dessas embalagens acarreta em uma iminente ameaça ao meio ambiente.

2.5 Reciclagens de garrafas PET

Por apresentar boas propriedades mecânicas os polímeros podem levar cerca de 400 anos para que a natureza consiga elimina-los totalmente. Com isso, o meio ambiente sofre pela demora da decomposição desses resíduos.

A reciclagem traz benefícios, pois proporciona outra finalidade para materiais que poluem o meio ambiente. Quando ocorre o descarte inadequado de plásticos nas ruas, no instante em que chove, a água transporta esses materiais junto ao sistema de drenagem para aos rios e estes, posteriormente, transportam esses resíduos para os mares. Os animais

aquáticos, muitas vezes por não conseguirem distinguir os plásticos de sua alimentação natural, ingerem esses resíduos e como consequência, acabam morrendo, gerando um grave problema ambiental (MACHADO, 2013).

A Figura 2 mostra a abundância de garrafas PET e outros tipos de poluição acumuladas em um trecho do rio Tietê localizado na cidade de Salto no Estado de São Paulo.

Figura 2 – Poluição em um trecho do Rio Tietê



Fonte: Globo (2014, Não Paginado)

A ONU (Organização das Nações Unidas) determinou que reciclar é uma das opções mais consideráveis em relação ao conceito de desenvolvimento sustentável, esse processo deve ser respeitado em dois casos:

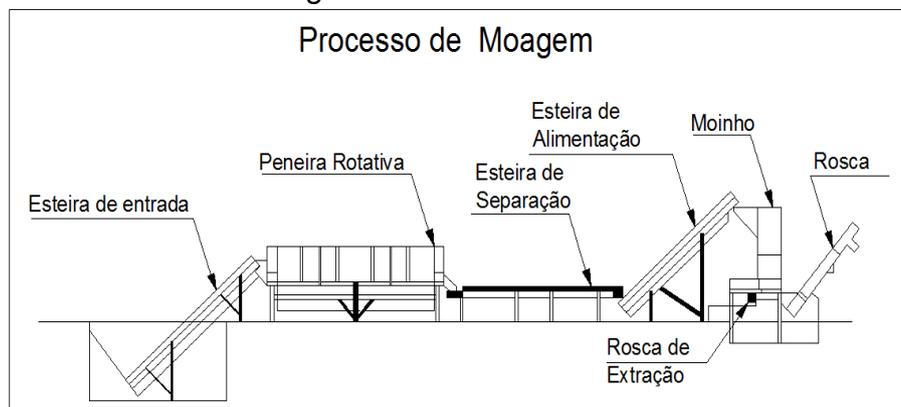
- Quando a recuperação dos resíduos for técnica e economicamente viável, bem como higienicamente utilizável;
- Quando as características de cada material sejam respeitadas (PACHECO, 1999).

A reciclagem de PET é praticada em grande quantidade por cooperativas e empresas de reciclagem. O processo de reciclagem aborda três etapas básicas: recuperação, revalorização e transformação (FERREIRA et al, 2016).

A recuperação é iniciada no momento do descarte e termina com a confecção do fardo, que se torna sucata comercializável (ABIPET, 2010).

A revalorização se inicia com a moagem de garrafas PET, normalmente devem ser realizada com a colocação dos fardos dos materiais nas esteiras de entrada. Posteriormente, esse material é colocado em uma esteira rotativa, equipamento que realiza a separação de impurezas como pedras e materiais orgânicos do plástico. Essa peneira normalmente utiliza água para realizar a separação. A Figura 3 mostra como é realizado o processo de moagem (ABIPET, 2010).

Figura 3 – Processo de Moagem

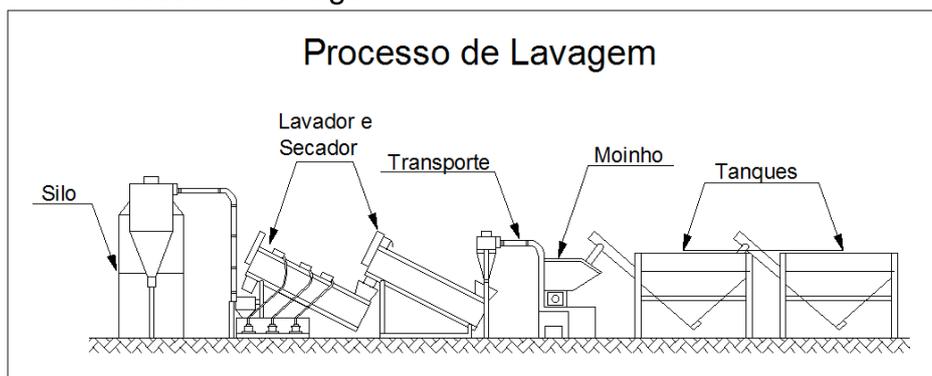


Fonte: adaptado de Recicláveis (201X, Não Paginado)

Quando o material é retirado da peneira rotativa ele passa por outro processo de separação, dessa vez visual, para que se verifique se não restaram detritos indesejáveis no material a ser separado. Logo após, o material novamente é colocado em uma esteira e levado para a primeira moagem. Logo após é realizado o processo de lavagem do material reciclado.

A Figura 4 mostra o processo de lavagem (ABIPET, 2010).

Figura 4 – Processo de Lavagem



Fonte: adaptado de Recicláveis (201X Não Paginado)

Esse processo começa inicialmente com a retirada do material de um silo de armazenamento. O material chega através de tubulações a um tanque onde o material é lavado e posteriormente colocado em outro tanque para a realização da secagem. Depois da secagem o material é transportado para um moinho e após, finalmente é colocado nos tanques de armazenamentos (ABIPET, 2010).

Os produtos originados após esses processos de reciclagem são chamados de: pó de PET e flakes de PET. A Figura 5 mostra esses produtos respectivamente.

Figura 5: Produtos originados do processo de reciclagem de PET.



(a) Pó de PET



(b) Flake de PET

Fonte: CNP Reciclagem (2015, Não Paginado)

Uma das principais dificuldades enfrentadas na reciclagem desses materiais é no sistema de coleta seletiva e na triagem. Coletar se torna difícil quando os cidadãos não fazem a separação correta do lixo, pois os plásticos que podem ser reciclados se misturam com lixo orgânico. Infelizmente muitos desses produtos acabam sendo descartados devido ao excesso: de sujeira, presença de resíduos orgânicos e misturados com óleo.

De acordo com a nona edição do Censo da Reciclagem de PET no Brasil, realizado pela Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), apontou que em 2012, cerca de 331 mil toneladas de embalagens PET pós-consumo são destinadas à reciclagem, o que representa 58,0% do total de embalagens desse material que são descartadas pelo consumidor brasileiro. A atividade gera um faturamento anual de R\$ 2,4 bilhões para o setor da indústria do PET no país (ABIPET, 2012).

2.6 Concreto

No decorrer dos séculos, o concreto foi empregado em imponentes e diversas tipologias de obras. As conhecidas obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com a utilização de solos com origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que na presença da água apresentavam propriedades de endurecimento (BETTIGIN, 2009).

O concreto é um material amplamente utilizado na Construção Civil. Entre os anos de 1990 e 1995 foram produzidas mais de um milhão de toneladas de cimento a cada ano. Considerando entre uma média de 250 Kg de cimento para cada metro cúbico de concreto, pode-se estimar que mais de 4,4 bilhões de metros cúbicos foram produzidos a cada ano desse período. Como um metro cúbico de concreto tem massa de cerca de 2,5 toneladas, esses 4,4 bilhões de metros cúbicos de concreto têm massa de cerca de 11 bilhões de toneladas, ou seja, mais de 2 toneladas de concreto por pessoa por ano. Somente a água doce foi mais consumida durante o mesmo período de tempo (AITCIN, 2000, p.651).

Dentre a variedade de propriedades que o concreto apresenta seja no estado fresco ou endurecido, duas delas são responsáveis pela sua larga utilização a Resistência à água e a Plasticidade. O concreto quando submetido à presença de água se deteriora com menor intensidade em relação a outros materiais como o aço e madeira. O mesmo pode obter várias formas construtivas, devido ao seu comportamento plástico (PEDROSO, 2009, p. 14).

Outros motivos dessa larga utilização do concreto se devem a facilidade de produção, juntamente com a abundância e preços baixos dos materiais constituintes, pois em qualquer lugar do mundo eles podem ser encontrados. Além do fato do concreto requer consideravelmente menor energia na sua produção, se comparado a outros materiais de engenharia. E também podem ser inseridos ou substituídos materiais reciclados provenientes de resíduos de construção, plásticos, entre outros (PEDROSO, 2009, p. 14).

2.6.1 Cimento Portland

O cimento Portland é o principal constituinte do concreto. É um tipo de aglomerante hidráulico que só endurece reagindo com a água. Como componentes fundamentais têm-se: a cal (CaO), a sílica (SiO₂), e alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), certa proporção de magnésia (MgO) (METHA; MONTEIRO, 1994 p. 188).

Há várias tipologias no mercado de cimento Portland com adições de alguns materiais. Essas diferentes composições proporcionam ao concreto algumas propriedades como: resistência, trabalhabilidade, durabilidade, impermeabilidade.

2.6.2 Agregados para Concreto

Segundo Neto (2005) a definição de agregados mais aceita é: um material granular, sem forma ou volume definidos, e dimensões e propriedades adequadas às obras de Engenharia, em particular para a produção de concretos e argamassas de Cimento Portland.

No final do século XIX e final do século XX acreditava-se que os agregados apenas preenchiam o concreto, que mesmo ocupando cerca de 70% a 80% do seu volume sua utilização destinava-se apenas a baratear o custo final do concreto. Através da sua larga utilização verificou-se que as características dos agregados influenciavam em propriedades do concreto tais como: porosidade, composição granulométrica, absorção d'água, estabilidade, resistência mecânica. A partir de conhecida essa influência cuidou-se melhor da seleção dos agregados, onde é observado o ambiente de inserção da estrutura de concreto que será produzida (Neto, 2005).

Como os agregados eram abundantes, baratos e de boa qualidade, tornava-se fácil acreditar no papel secundário. Mas, com o incremento com o uso do concreto, sua aplicação em larga escala logo chegou em evidência o seu verdadeiro papel e deu aos agregados sua verdadeira importância técnica, econômica e social. Em anos recentes, o esgotamento das jazidas de agregado natural de boa qualidade perto dos grandes centros consumidores, o aumento dos custos de transporte, o acirramento da competição comercial entre os produtores de concreto e a conscientização da sociedade, que demanda leis de proteção ao meio ambiente, vieram a contribuir para um melhor entendimento da questão (Neto, 2005, p.323).

Bauer (2008) informa que os agregados são classificados de três formas:

- Segundo a origem: Naturais: os que são encontrados na natureza de forma particulada como a areia e o cascalho; Industrializados: no qual sua composição particulada é obtida por processos industriais como agregados reciclados.
- Segundo as dimensões das partículas: Miúdos, como a areia; Graúdos, como cascalhos e britas.
- Segundo o peso específico aparente: Leves, médios e pesados.

A Norma NBR 7211 (ABNT, 2009), classifica os agregados como: agregado graúdo as partículas que possuem diâmetro maior que 4,80 mm (peneira nº 4) e agregado miúdo àquelas inferiores a 4,80 mm, porém maiores que 0,75 mm (peneira 200).

2.6.3 Agregados Reciclados

Cada vez mais se faz necessário à utilização de agregados reciclados de resíduos sólidos seja pela redução de impactos ambientais gerados por esses tipos de materiais ou também pela redução dos custos (PIETROBELLI, 2010).

Alguns tipos de agregados reciclados podem ser provenientes de resíduos da construção civil, moagem de garrafas PET, rejeitos cerâmicos entre outros. O uso desses materiais visa melhorar propriedades do concreto como: trabalhabilidade, resistência à tração, resistência à compressão.

Mesmo que o uso de agregados reciclados no concreto seja um procedimento recente, porém é muito importante a realização de pesquisas e testes práticos, já que são inegáveis os benefícios que este processo proporciona (GONÇALVES 2001).

2.6.4 Água

A água é indispensável para a Construção Civil, entretanto ela pode ser prejudicial a estruturas de concreto se utilizada com uma baixa qualidade ou em quantidades erradas em uma obra. Quando a água é colocada em excesso ocorre à formação de bolhas e canaliculos nos quais formam vazios

na estrutura e resultam na redução da resistência e tornam o concreto mais permeável (SILVA, 2004).

A utilização de água não potável que contenha substâncias danosas em teores acima dos estabelecidos por norma, pode influenciar no seu comportamento e propriedades que são: baixa resistência, modificação do tempo de pega, a ocorrência da eflorescência, o aparecimento de manchas e a corrosão da armadura são os efeitos adversos citados como os mais significativos (RIBEIRO, 2006).

2.7 Concreto com adição de resíduos recicláveis

Atualmente as questões ambientais vêm sendo muito discutidas. Devido ao consumo desenfreado dos recursos naturais houve um aumento da poluição no planeta. A cada dia é demonstrado a importância de alcançar uma política de sustentabilidade nos setores sociais e econômicos. A forma encontrada na área da Construção Civil é a utilização do concreto com materiais reciclados. A seguir é descrito sucintamente algumas pesquisas realizadas com alguns desses materiais (COSTA; IGNÁCIO, 2011).

Ribeiro *et al.* (2010) estudou o comportamento mecânico de corpos de prova com matriz de concreto de cimento Portland reforçada com diferentes teores de fibras de garrafas PET. Foram utilizados os seguintes dados e materiais: resistência de 25 MPa, utilização do Cimento CII F32, areia, britas 0 e 1, fibras de garrafa PET. Foi usado o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para a definição do traço de concreto de cimento Portland, no qual foi obtido um traço em massa de 1:2,33:0,95:2,20:0,60 para cimento:areia:brita0:brita1:água. Logo foram moldados corpos de prova com o traço de referência e em seguida com o traço modificado com diferentes teores de fibras (2%,3%,4%). Os ensaios realizados foram os de: resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e resistência ao impacto. Os resultados mostraram que o acréscimo de fibras fez com que diminuísse a resistência à compressão e à tração, no entanto, foi observado um ganho significativo na resistência ao choque. O autor acredita que esse comportamento pode estar associado ao formato da fibra, que apresentava aspecto lamelar.

Mota *et al.* (2010) analisaram a viabilidade da utilização de agregados reciclados em concreto estrutural. Os materiais eram provenientes da obra de modernização da Refinaria Henrique Laje (São Paulo). Para a obtenção dos agregados graúdos e miúdos os entulhos foram pré-selecionados e triturados em uma usina de reciclagem da região. Foram escolhidos os seguintes dados e materiais: resistência do concreto de 20,25 e 30 MPa, agregado miúdo e graúdo reciclado, areia natural, brita 1 e como aglomerante foi utilizado o cimento CIII 40 RS (Cimento Portland Resistente a Sulfatos). Os traços utilizados para os concretos de referência estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – Composição dos concretos reciclados e concretos de referência

Traço	Fator a/c	Água (l)	Cimento (kg/m ³)	Agregado miúdo (kg/m ³)	Agregado graúdo (Kg/m ³)
C 30	0,43	215	500	617	1038
C 25	0,53	213	402	703	1038
C 20	0,60	212	355	744	1038

Fonte: adaptado Mota *et al.* (2010)

Foram moldados os corpos de prova para referência com 100% de agregados naturais e os concretos com 100% de agregados reciclados para que houvesse um comparativo entre ambos, isso se repetiu para cada classe de resistências na Tabela 2. Os ensaios realizados foram os de trabalhabilidade através do tronco de cone e o de resistência à compressão axial. Os resultados obtidos mostraram que traços de classe C20 e C25 apresentaram resistência abaixo dos concretos de referência ao contrário o concreto da classe C30 (convencional e reciclados), que alcançaram a resistência à compressão requerida (30 MPa). O autor acredita que a resistência à compressão esperada para as classes C20 e C25, não foi atingida em função do fato dos agregados reciclados terem absorvido parte da água de mistura, diminuindo a relação a/c efetiva do concreto. Outra explicação, segundo o autor, é que com o aumento da relação a/c, a pasta torna-se cada vez mais o fator limitante da resistência.

Pietrobelli (2010) estudou a viabilidade do PET reciclado em concreto sob o aspecto resistência à compressão axial. Foram utilizados os seguintes

dados e materiais: resistência de 30 e 45 MPa, utilização do Cimento CII F32, areia natural, brita 2 e agregado miúdo de polietileno. O método adotado de dosagem foi o empírico, sendo o traço de 30 MPa: 1 : 1,47 : 2,28 : 0,43 e para o traço 45 MPa 1 : 0.79 : 1.75 : 0.38 para cimento: areia: brita2: água. Foram moldados corpos de prova com o traço de referência e em seguida com o traço modificado com diferentes teores do agregado miúdo substituído pelo de polietileno nos teores de 15%,30%,45%. Os ensaios realizados foram os de trabalhabilidade através do tronco de cone e o ensaio de resistência à compressão axial. Os resultados mostraram que tanto para as resistências de 30 e 45 MPa, nas diferentes idades rompidas (7, 14 e 28 dias), os concretos investigados apresentaram uma redução significativa da resistência à compressão axial à medida que foi adicionado o agregado miúdo de polietileno. Tendo em vista os ensaios mecânicos realizados, com o objetivo de avaliar o desempenho dos corpos de prova, produzidos com traços variando o percentual de agregado de PET observou-se a significativa variação de desempenho. Porém, deve-se compreender que algumas características do agregado miúdo reciclado, no qual interferiu diretamente em alguns resultados obtidos, quando comparados aos traços produzidos com agregados naturais. Isso se deve à diferença de massa entre o agregado miúdo reciclado de PET e o agregado natural justificando, desta forma, os traços produzidos em peso apresentarem uma quantidade de PET bastante elevada.

Santos *et al.* (2015) estudaram a viabilidade da utilização dos concretos produzidos com areia de PET e a substituição parcial do cimento Portland pela cinza da casca de arroz. Foram utilizados os seguintes materiais: CPV-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), brita do tipo granítica, areia natural, areia de PET, cinza da casca de arroz, aditivo TEC-MULT 40. Os procedimentos para elaboração da pesquisa partiram da definição dos teores de areia de PET e CCA que seriam utilizados nos concretos, sendo que o traço 1 : 1,46 : 1,19 : 2,96 : 0,61 foi disponibilizado por uma central dosadora de concreto da cidade de Camboriú- SC, corresponde a uma resistência de dosagem de 35 MPa. Para todos os concretos produzidos, a areia de PET foi usada em substituição de 5% na massa de areia natural; já o cimento foi substituído por cinza da casca do arroz nos

teores de 2,5% (T5P2,5C ERKA), 5% (T5P5C ERKA e T5P5C TM), 7,5% (T5P7,5C TM) e 10% (T5P10C TM). Além disso, é necessário ressaltar que foi preciso substituir o aditivo ERKA C405 pelo TEC-MULT 40 a partir da produção do traço T5P5C, pois com o emprego do primeiro aditivo citado, o traço não atingiu a trabalhabilidade requerida de (10 ± 2) cm. No estado fresco dos concretos realizou-se os ensaios de abatimento de tronco de cone para verificar a trabalhabilidade. Para cada traço moldaram-se 48 corpos de prova cilíndricos com dimensões de acordo com a NBR 5738 (2015). Nas idades especificadas (1, 7, 28 e 63 dias), foram realizados os ensaios no estado endurecido de resistência à compressão axial e módulo de elasticidade estático. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos dos ensaios realizados.

TABELA 3 – Resultados dos ensaios realizados nos concretos dos diferentes teores.

Traço	Aditivo (g)	Slump Test (cm)	Resistência Média à Compressão (Axial)				Módulo de Elasticidade Estático	
			1 dia	7 dias	28 dias	63 dias	28 dias	63 dias
REF	76,80	9,20	4,9	29,19	37,58	43,53	38,85	40,75
T5P2,5C EKA	66,70	8,30	5,19	22,09	31,14	35,48	37,37	34,85
T5P5C EKA	190,00	9,10	11,43	26,11	29,41	36,61	40,73	35,80
T5P5C TM	84,00	11,20	8,88	23,45	27,85	32,13	30,03	20,55
T5P7,5C TM	89,50	11,50	10,79	23,57	25,1	28,10	42,18	29,85
T5P10C TM	94,00	10,80	7,96	28,97	37,45	37,65	24,83	35,83

Fonte: adaptado Santos *et al.* (2015)

No estado fresco todos os concretos obtiveram bons resultados, com exceção do traço com 5% de substituição do cimento Portland, que não atingiu a trabalhabilidade estabelecida de (10 ± 2) cm. Com isso constatou-se que o uso combinado com areia de PET, considerando os teores avaliados, o teor de 10% de CCA (Cinza da casca de arroz) em substituição ao cimento foi o que se mostrou mais adequado para recuperar o ganho de resistência da mistura com a redução de consumo de cimento, mostrando que é viável o uso de resíduos para obtenção de concretos estruturais.

Modro (2009) verificou a influência da adição de resíduos de PET em relação à resistência mecânica. Os resíduos foram utilizados como substitutos de parte dos agregados, no qual esses materiais foram adquiridos na indústria

de reciclagem de embalagens. Os materiais utilizados foram: areia de PET, flake de PET, CPV-ARI, areia fina, areia média, pedrisco, pó de pedra, o aditivo plastificante RHEOBUILT 1000. O traço de concreto utilizado como padrão apresenta a seguinte composição - 1: 0,5: 2,0: 2,0: 0,5: 0,65: 0,01 (cimento, pedrisco, pó de pedra, areia média, areia fina, água e aditivo plastificante, respectivamente), denominado Padrão. Com base neste traço foram desenvolvidos mais 8 traços, sendo que a diferença entre eles está relacionada à quantidade de resíduos utilizados em substituição dos agregados, mas na mesma proporção volumétrica. Para todos os traços foram substituídas porcentagens de 10%, 20%, 30%, 40% tanto para a areia e flake de PET. Foram moldados 15 corpos de prova, sendo 5 para as idades de 1, 3 e 7 dias, nos quais foram analisadas as propriedades no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco verificou-se a trabalhabilidade através do ensaio de tronco de cone, no estado endurecido fez-se a análise microestrutural e ensaio de resistência à compressão axial. Através da análise microestrutural permitiu a confirmação da distribuição uniforme dos resíduos na matriz cimentícia, não sendo constatadas delaminações ou destacamentos dos resíduos da matriz ou qualquer indicação de interação química entre os materiais. Todas as substituições apresentaram diminuição da resistência à compressão dos traços em relação ao padrão (sem adição de resíduo de polímero). Isso está relacionado com a menor interação química entre o polímero e a matriz cimentícia e a porosidade residual gerada, mas principalmente devido a menor resistência mecânica intrínseca dos polímeros com respeito aos agregados minerais que são muito mais resistentes mecanicamente.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o tipo de pesquisa realizado e os métodos e procedimentos adotados para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Materiais e Métodos

Nesse item serão abordados sequencialmente: os fatores controláveis e de resposta, a programação do experimento, o detalhamento dos ensaios, a caracterização dos materiais e a produção dos concretos.

3.1.1 Delimitação dos fatores controláveis e de resposta

Partindo dos objetivos do trabalho que é avaliar algumas propriedades do concreto com substituição parcial de agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de PET quanto ao seu estado fresco e endurecido, foram definidas as variáveis de resposta:

- Trabalhabilidade;
- Resistência à compressão axial;
- Resistência à tração por compressão diametral;

Segundo Dafico (2001) o concreto é considerado trabalhável quando este apresenta características de fluidez e estabilidade nos quais os meios de transporte, lançamento, adensamento e acabamento exigirão para esse material. A trabalhabilidade é muito conhecida em termos de consistência, na qual o ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR NM 67, 1998) é muito utilizado para obtenção de dados em relação à mesma.

Segundo Helene e Tutikian (2011) a resistência à compressão dos concretos está sendo cada vez mais utilizada como principal parâmetro para o controle de qualidade dos concretos fabricados em obra ou aqueles dosados em central. Por ter facilidade na moldagem dos corpos de prova e na execução do ensaio de compressão axial e ainda ser um parâmetro que se mostra sensível às alterações de composição e mistura do concreto, permitindo inferir modificações em outras propriedades do concreto.

A resistência à tração assim como a resistência à compressão são propriedades importantes para o cálculo de concretos estruturais. Metha e

Monteiro (2008) constataram que os resultados de resistência à tração por compressão diametral também são influenciados pelos parâmetros de ensaio, tipo de cura, característica do agregado e pela incorporação de superplastificante.

Após a definição das variáveis de resposta, foram determinadas as variáveis independentes, ou fatores controláveis que serão utilizados na segunda etapa da pesquisa experimental:

- relação água/cimento – 0,50;
- tipo de cimento – CPIV 32 (Cimento Portland Pozolânico);
- teor de agregado miúdo reciclado de PET em substituição a areia – 10% e 15%

Para Metha e Monteiro (2008) a relação água/cimento é um dos fatores mais importantes que influencia tanto a resistência mecânica, como também outras propriedades do concreto. A escolha do fator água/cimento de 0,50 se justifica por corresponder a uma situação intermediária, em que o concreto apresenta uma matriz que não é tão densa e nem muito permeável.

A escolha do tipo de cimento é aceita pela facilidade ao adquirir nessa região do Estado do Rio Grande do Sul.

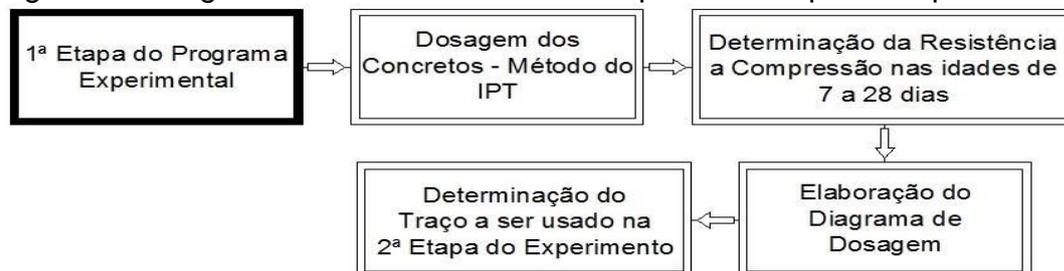
O estudo de substituição de agregado miúdo reciclado de PET por areia natural em concretos não é inédita, no entanto, esse tema é pioneiro na Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete/RS. A definição dos teores estudados (10% e 15%) se justifica, principalmente, em função da limitação quantitativa do material disponível para a pesquisa.

3.2 Programa Experimental

O programa experimental será realizado em duas etapas distintas. Na primeira etapa, compreendida por um período de 28 dias, será realizado um estudo de dosagem pelo Método do IPT/EPUSP (HELENE E TERZIAN, 1992) e será elaborado o diagrama de dosagem dos concretos de referência para as idades de controle de 7 e 28 dias. De posse do diagrama de dosagem, será determinado o traço intermediário que será utilizado nos experimentos da segunda etapa da pesquisa.

A Figura 6 mostra o diagrama de desenvolvimento da primeira etapa do programa experimental.

Figura 6 – Diagrama de desenvolvimento da primeira etapa do experimento.



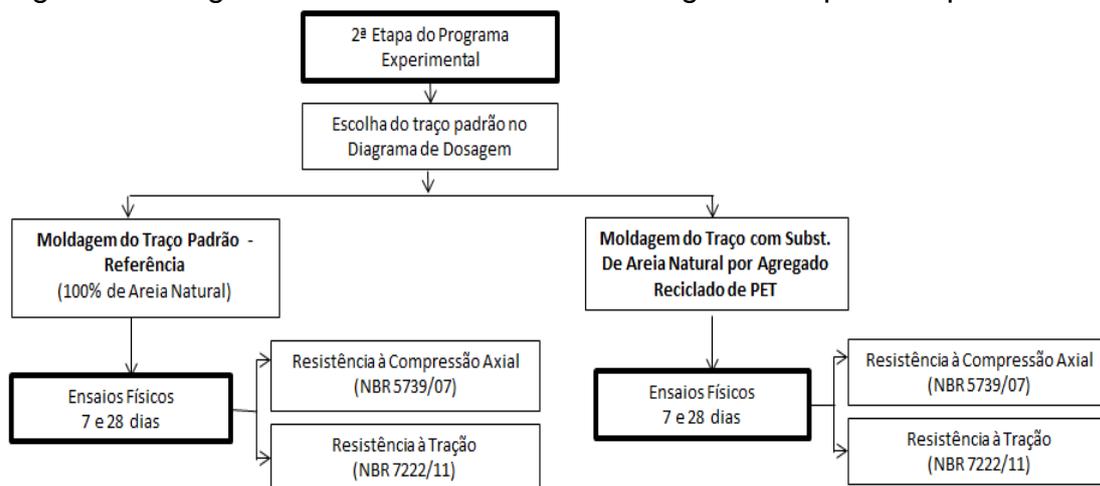
Fonte: elaboração própria

A segunda etapa da pesquisa experimental correspondeu na execução do traço selecionado na sua forma original e na reprodutibilidade desse traço substituindo-se parte do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado de PET (substituição em volume de 10% e 15%).

O controle de qualidade do concreto fresco será realizado através do ensaio de abatimento do tronco de cone. No estado endurecido, as amostras serão avaliadas quanto as suas propriedades mecânicas (resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral).

A Figura 7 apresenta o cronograma das atividades que serão desenvolvidas na segunda etapa do programa experimental.

Figura 7 – Diagrama de desenvolvimento da segunda etapa do experimento.



Fonte: elaboração própria

3.3 Proporcionalamento e Execução dos Concretos

O proporcionalamento e execução dos concretos correspondente à primeira e segunda etapa do Programa Experimental serão discutidos mais detalhadamente nos próximos itens.

3.3.1 Dosagem experimental – Método do IPT

A dosagem experimental foi iniciada a partir de um traço intermediário (1:5), no qual foi definido o teor ótimo de argamassa para um dado abatimento. Após a definição do traço intermediário e da moldagem dos corpos-de-prova de controle, foram executados mais dois traços de concreto, sendo um mais rico (1:3) e outro mais pobre em cimento (1:7). A trabalhabilidade foi estabelecida conforme a NBR 67 (ABNT,1998) e fixado seu valor em 80 ± 20 mm.

A Figura 8 mostra alguns corpos de prova que foram utilizados para determinação da dosagem experimental.

Figura 8 – Corpos de prova da dosagem experimental - (traço 1:5).



(a) Corpos de prova moldados.

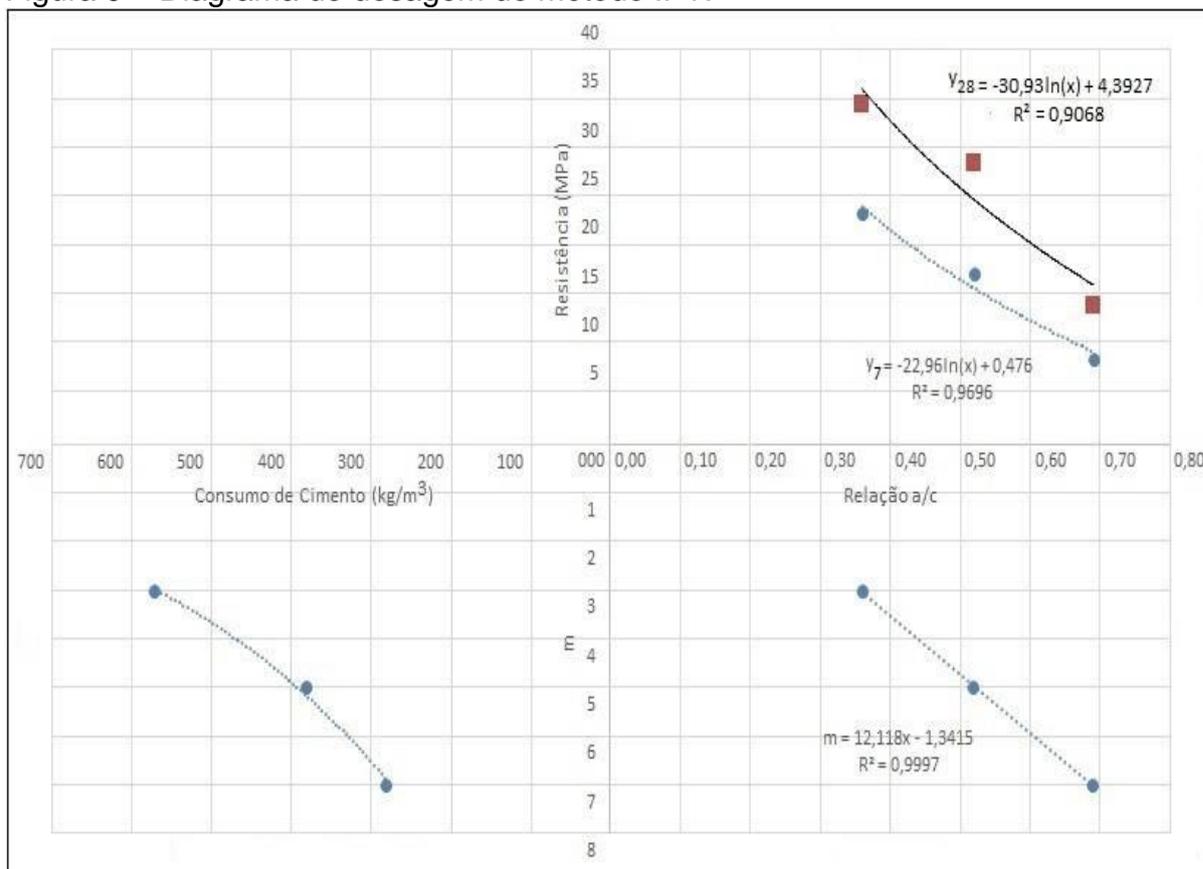


(b) Corpos de prova desmoldados.

Fonte: elaboração própria

Após a determinação dos resultados de resistência à compressão axial nas idades de controle de 7 e 28 dias, foi elaborado o diagrama de dosagem, no qual é mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Diagrama de dosagem do método IPT.



Fonte: elaboração própria

3.3.2 Definição do traço da segunda etapa do experimento

A partir do Diagrama de Dosagem obtido na primeira parte da pesquisa foi determinado um traço com consumo intermediário de cimento para ser utilizado na segunda etapa do experimento. O mesmo é apresentado conforme a Tabela 4, juntamente com a relação água cimento e seu consumo.

TABELA 4 – Traço Unitário utilizado na segunda etapa da pesquisa.

Traço Unitário	1: 2,06 : 2,94
Relação a/c	0,52
Consumo de cimento	371,79 Kg/m^3

Fonte: elaboração própria

3.3.3 Produção dos Concretos

O preparo do concreto foi executado segundo a norma NBR 12655 (ABNT, 2015), em uma betoneira de eixo inclinado. Os materiais como o cimento, o agregado graúdo e o miúdo foram pesados, já a água de amassamento e o agregado reciclado de PET foram medidos em volume no recipiente dosador.

Após a imprimação da betoneira, a colocação dos materiais obedecerá à seguinte sequência: 100% da brita, 70% da água (aproximadamente); 100% do cimento; 100% do agregado reciclado de PET, 100% da areia e o restante da água. Após a colocação de todos os componentes na betoneira, a mistura foi homogeneizada por aproximadamente 4 minutos. Concluído o tempo de mistura, foi realizada a verificação do abatimento do tronco de cone (fixado em 9 ± 1 mm).

3.3.4 Moldagem, adensamento e cura dos corpos-de-prova

Os corpos de prova possuem dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura conforme a norma NBR 5738 (ABNT, 2015). A moldagem das amostras ocorreu após a determinação da sua consistência.

Nas primeiras 24 horas, as amostras foram armazenadas em câmara úmida com a superfície do concreto protegida. Após 24 horas, os corpos-de-prova foram desmoldados, identificados e acondicionados novamente em câmara úmida até a idade de controle dos ensaios. A Figura 10 mostra o aspecto do traço com 15% de substituição do agregado reciclado de PET e após a moldagem dos corpos de prova.

Figura 10 – Aspecto do traço com 15% de substituição do agregado reciclado de PET e alguns corpos de prova moldados.



a) Concreto com 15% de agregado de PET



b) Corpos-de-prova após a moldagem

Fonte: elaboração própria

3.3.5 Ensaios de Controle

Os ensaios de controle que foram realizados nos concretos na segunda etapa do experimento, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido são apresentados nos próximos itens.

A Tabela 5 mostra um esquema do quantitativo de amostras ($\phi 10 \times 20 \text{cm}$) que serão utilizados nos ensaios mecânicos, com suas respectivas idades de controle.

Tabela 5 – Representação esquemática do número de amostras destinadas aos ensaios mecânicos nas respectivas idades de controle.

ENSAIOS DE CONTROLE	Referência		Teores de Substituição do Agregado Miúdo Reciclado de PET			
			Teor -10%		Teor -15%	
			7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Resistência à Compressão Axial (Fc)	3 Cps	3 Cps	3 Cps	3 Cps	3 Cps	3 Cps
Resistência à Tração (Ft)	3 Cps	3 Cps	3 Cps	3 Cps	3 Cps	3 Cps

Fonte: elaboração própria

3.3.6 Abatimento do Tronco de Cone

A trabalhabilidade do concreto fresco foi determinada por meio do ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test). A realização do ensaio seguiu as recomendações da norma NBR NM 67 (ABNT, 1998).

A trabalhabilidade do concreto fresco do Traço de Referência foi de 11cm. Para os traços com 10% e 15% de substituição de agregado reciclado de PET, os resultados do Slump Test foram de 11,5 cm e 6 cm, respectivamente. A Figura 11 apresenta o registro fotográfico dos abatimentos obtidos para os traços investigados.

Figura 11 – Determinação *Slump Test* para o Traço de Referência, Traço com 10% de agregado reciclado de PET, Traço com 15% de agregado reciclado de PET, respectivamente.



Fonte: elaboração própria

A perda de abatimento do traço com 15 % de Agregado de PET (Figura 11) em relação aos demais traços (Traços de Referência e com 10% de Agregado de PET) pode estar associada ao aumento do teor de PET na mistura e também quanto ao seu formato conforme apresentado no subitem 3.4.3. Durante a execução das moldagens, realizados em dias distintos, ocorreram variações de temperatura e da umidade relativa do ar, conforme as informações apresentadas na Tabela 6, fato que pode ter contribuído para a perda de abatimento dos concretos.

Tabela 6 – Temperaturas e umidades relativas do ar para os traços executados.

Traços	Temperatura (°C)	Umidade do Ar (%)
Referência	13,1	48
10% de Agregado de PET	11,3	47
15% de Agregado de PET	16,6	77

Fonte: elaboração própria

3.3.7 Resistência à compressão Axial

A resistência à compressão do concreto seguiu as recomendações da norma NBR 7215 (ABNT, 1997). Para a realização dos ensaios foi utilizada uma prensa modelo EMIC 150 (Figura 12), com capacidade de carga de 1500KN. A velocidade de carregamento dos corpos-de-prova foi de 2,4 mm/min, atendendo os padrões normativos.

Figura 12 – Prensa utilizada para a realização do ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Elaboração Própria

3.3.8 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A resistência à tração por compressão diametral seguirá as recomendações da norma NBR 7222 (ABNT, 2011). Para a realização dos ensaios foi utilizada uma prensa modelo EMIC DL 20000, com capacidade de carga de 200 KN. A velocidade de carregamento dos corpos-de-prova foi de 3 mm/min, atendendo os padrões normativos. A Figura 13 mostra a prensa utilizada e o aspecto de um corpo de prova após a realização do ensaio.

Figura 13 – Prensa utilizada para realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral (a) e aspecto do corpo de prova após realização do ensaio na idade de 7 dias (b).



(a)

Fonte: Elaboração própria



(b)

3.4 Caracterizações dos Materiais Utilizados na Pesquisa Experimental

Os próximos itens (3.4.1 e 3.4.2) apresentam as caracterizações dos materiais utilizados nessa pesquisa.

3.4.1 Cimento Portland

Como material aglomerante foi utilizado cimento Portland CPIV 32 (*Intercement Cimpor*). Os resultados dos ensaios de caracterização física, química e mecânica desse produto foram fornecidos pelo fabricante e são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Exigências físicas, químicas e mecânicas do cimento Portland CPIV 32.

Exigências Físicas e Mecânicas							
Blaine (cm ³ /g)	Finura		Tempo de Pega (min.)		Resistência à Compressão		
	# 200(%)	# 325(%)	Início de Pega	Fim de Pega	03 Dias (MPa)	07 Dias (MPa)	28 Dias (MPa)
4690	0,1	-	350	440	19,3	23,2	38,2
Exigências Químicas							
MgO (%)	SO ₃ Média (%)	Perda ao fogo (%)	Resíduo Insolúvel (%)				
4,4	1,7	2	29,3				

Fonte: do fabricante, em 16 de setembro de 2016.

3.4.2 Agregados

Para o desenvolvimento desse trabalho foi utilizado como agregado graúdo, brita de origem basáltica, adquirida de jazida da região (Alegrete/RS). Como agregados miúdos foram utilizados areia natural proveniente do rio Ibicuí (Manoel Viana/RS) e agregado miúdo reciclado de PET, oriundo de uma empresa de reciclados, localizada no Estado do Paraná/PR.

Após a aquisição, os agregados foram ensaiados quanto as suas propriedades físicas (Tabela 8) no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNIPAMPA – campus Alegrete/RS.

Tabela 8 – Ensaios e Normas utilizadas na caracterização física dos agregados.

Agregados	Ensaios	Normas Regulamentadoras
Agregado Miúdo Natural	Granulometria	NBR NM 248 (ABNT 2003)
Agregado Reciclado de PET	Massa Específica Unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
	Massa Específica	NBR 9776 (ABNT, 1987)
Agregado Graúdo	Granulometria	NBR NM 248 (ABNT 2003)
	Massa Específica Unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
	Massa Específica	NBR NM 53 (ABNT, 2003)

Fonte: elaboração própria

3.4.3 Agregado Miúdo Natural

A composição granulométrica do material NBR NM 248 (ABNT, 2003) foi determinada a partir do ensaio de duas amostras. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos.

TABELA 9 - Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo natural

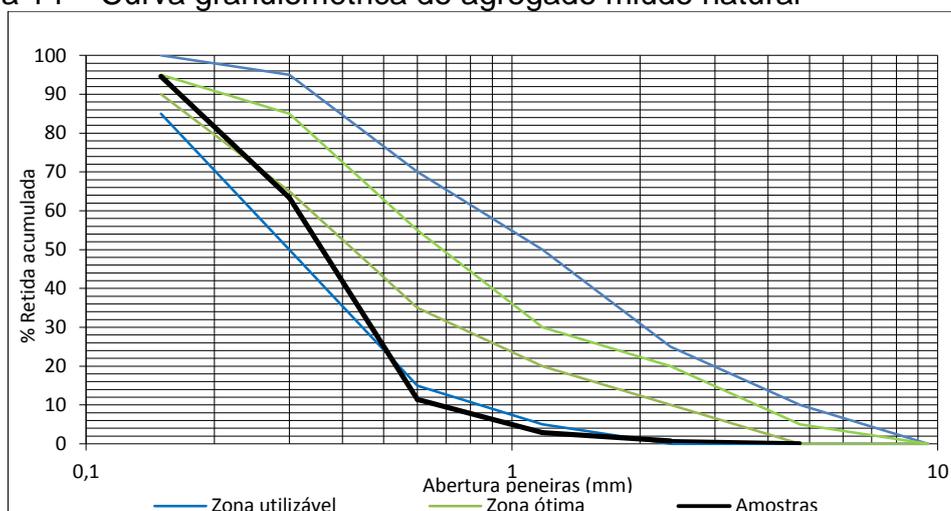
<i>Peneiras</i> (mm)	<i>Nº</i>	<i>Amostra</i> 1(g)	<i>% Retida</i>	<i>% Retida</i> <i>Acumulada</i>	<i>Amostra</i> 2 (g)	<i>% Retida</i>	<i>% Retida</i> <i>Acumulada</i>	<i>% Retida</i> <i>Média</i>	<i>% Retida</i> <i>Acumulada</i> <i>Média</i>
4,75	4	0,71	0,14	0,14	1,2	0,24	0,24	0,19	0,19
2,36	8	2,81	0,57	0,71	2,4	0,48	0,72	0,52	0,72
1,18	16	11,81	2,39	3,10	9,3	1,87	2,59	2,13	2,84
0,6	30	46,71	9,44	12,54	38,5	7,73	10,32	8,58	11,43
0,3	50	257,4	52,01	64,55	258,7	51,93	62,24	51,97	63,40
0,15	100	148,82	30,07	94,62	161,2	32,36	94,60	31,21	94,61
Fundo		26,63	5,38	100,00	26,9	5,40	100,00	5,39	100,00
Total		494,89	100		498,2	100,00		100,00	
								Diam. Máx (mm)	1,18
								Módulo de Finura	1,73

Fonte: elaboração própria

O módulo de finura obtido para a amostra de agregado miúdo (1,73) indica que a areia é classificada como fina, pois o módulo de finura médio obtido encontra-se entre os limites de 1,71 a 2,85 (BAUER, 2008, p. 80).

A Figura 14 apresenta a curva granulométrica média das amostras, junto com os limites normativos, especificados pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Figura 14 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural



Fonte: elaboração própria.

De acordo com a Figura 14, observa-se que a curva granulométrica do agregado miúdo encontra-se próxima a zona utilizável inferior. Também foi observado que nas peneiras de malha 1,18 mm e 0,6 mm a porcentagem retida acumulada da amostra encontra-se abaixo dos limites normativos, ou seja, não atende os percentuais prescritos pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009) para estas peneiras.

A Tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios de massa unitária NBR NM 45 (ABNT, 2006) e massa específica NBR 9776 (ABNT, 1987), respectivamente.

Tabela 10- Resultados obtidos de massa específica unitária e massa específica de duas amostras de agregado miúdo natural.

Ensaio	Amostra		Resultado Médio
	1	2	
Massa Específica Unitária (g/cm ³)	1,64	1,62	1,63
Massa Específica (g/cm ³)	2,65	2,66	2,65

Fonte: elaboração própria

3.4.2.2 Agregado Miúdo Reciclado de PET

O agregado miúdo reciclado de PET foi adquirido na empresa Petceu Indústria e Comércio de Reciclagem Plástica Ltda., localizada na cidade de Céu Azul, Paraná/PR. A Figura 15 apresenta o aspecto do agregado miúdo reciclado de PET.

Figura 15 – Agregado miúdo reciclado de PET



Fonte: elaboração própria

Foram ensaiadas duas amostras para a realização do ensaio de granulometria seguindo as orientações da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). A Tabela 11 apresenta a composição granulométrica para as duas amostras.

TABELA 11 - Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo reciclado de PET

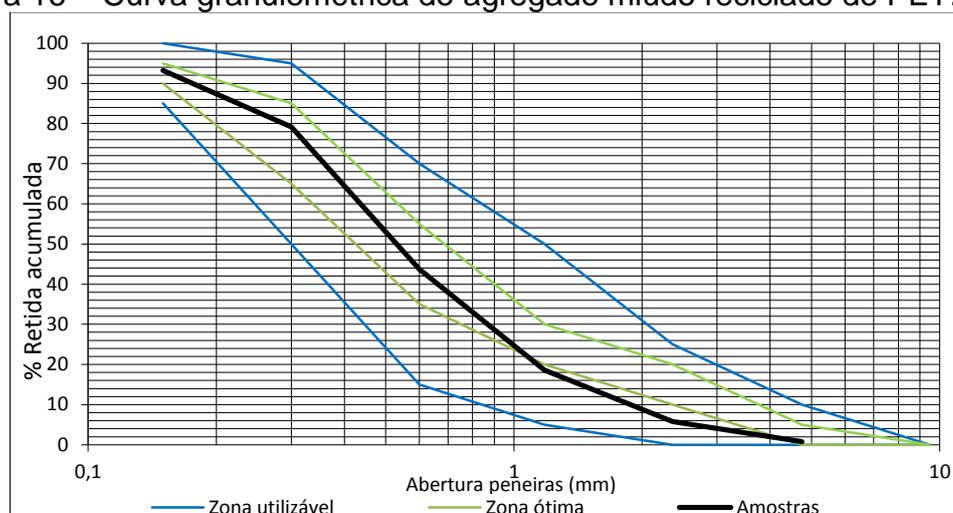
Peneiras		Amostra 1 (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Amostra 2 (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Retida Média	% Retida Acumulada Média
(mm)	Número								
4,75	Nº 4	3,84	0,81	0,81	3,40	0,69	0,69	0,75	0,75
2,36	Nº 8	23,78	5,00	5,81	24,60	4,99	5,68	5,00	5,75
1,18	Nº 16	64,19	13,50	19,31	60,20	12,22	17,90	12,86	18,61
0,6	Nº 30	115,27	24,24	43,55	127,50	25,88	43,79	25,06	43,67
0,3	Nº 50	169,91	35,73	79,27	174,0	35,32	79,11	35,53	79,19
0,15	Nº 100	67,98	14,30	93,57	68,10	13,82	92,94	14,06	93,25
Fundo		30,58	6,43	100,00	34,80	7,06	100,00	6,75	100,00
Total		475,55	100		492,6	100		100	
								Diam. Máx. (mm)	4,75
								Módulo de Finura	2,41

Fonte: elaboração própria

Os resultados obtidos na Tabela 11 indicam que a areia é considerada média, pois o módulo de finura obtido encontra-se entre os limites de 2,11 a 3,38 (BAUER, 2008, p. 80).

A Figura 16 mostra a curva granulométrica da média das amostras e os limites inferiores e superiores (zona utilizável e zona ótima), de acordo com as prescrições da NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Figura 16 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado de PET.



Fonte: elaboração própria

Nota-se (Figura 16) que a granulometria do agregado miúdo reciclado de PET se encontra quase que totalmente dentro dos limites granulométricos da zona ótima, segundo a NBR NM 7211 (ABNT, 2009). Do ponto de vista da análise granulométrica, os resultados indicam que é possível a substituição parcial da areia natural por agregado miúdo reciclado de PET, uma vez que o material reciclado apresenta uma granulometria semelhante à do agregado natural.

Para obtenção da massa específica unitária e da massa específica foram realizados os ensaios normalizados pela NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR 9776 (ABNT, 1987), respectivamente. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos após execução desses ensaios.

Tabela 12- Resultados de massa específica unitária e massa específica do agregado miúdo reciclado de PET.

Ensaio	Amostras		Resultado Médio
	1	2	
Massa Específica Unitária (g/cm ³)	0,28	0,28	0,28
Massa Específica (g/cm ³)	1,36	-	-

Fonte: elaboração própria

O agregado reciclado de PET (Tabela 12) apresentou massa específica unitária e massa específica inferiores ao do agregado miúdo natural (redução de 83% e 49 %, respectivamente). Os resultados mostram que o agregado de PET é bem mais leve que a areia natural usualmente utilizada para a produção dos concretos.

3.4.2 Composição do Agregado Miúdo Natural e Agregado Miúdo Reciclado de PET

Objetivando verificar a influência da substituição parcial de agregado miúdo reciclado de PET na granulometria do agregado miúdo natural, foram realizados novos ensaios para as composições das misturas estudadas (mistura de areia natural com substituição de agregado miúdo reciclado de PET em volume nos teores de 10% e 15%). Os ensaios de granulometria seguiram as orientações da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003).

A Tabela 13 apresenta a composição granulométrica de uma amostra de areia natural com substituição em volume de 10% de agregado miúdo reciclado de PET.

TABELA 13 - Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo natural com substituição de 10% de agregado miúdo reciclado de PET.

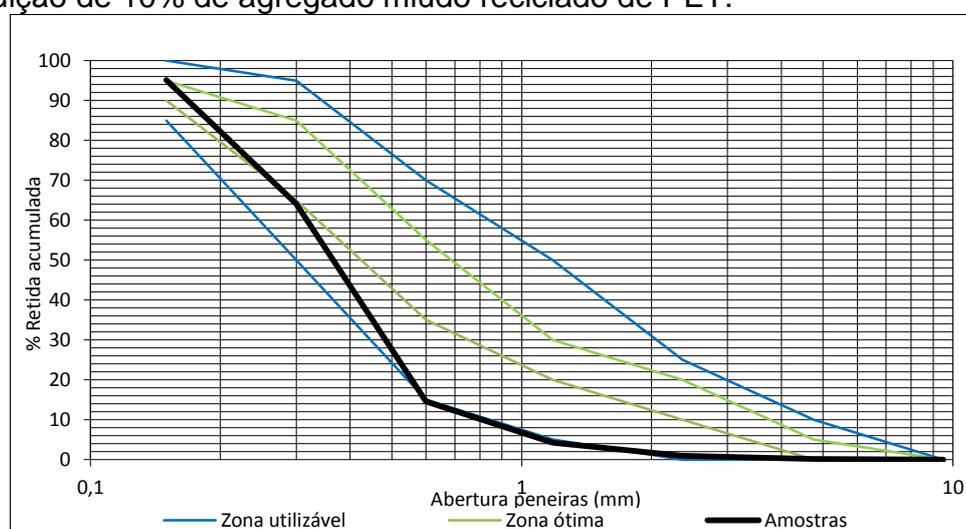
Peneiras		Amostra 1 (g)	% Retida	% Retida Acumulada
(mm)	Número			
4,75	Nº 4	0,4	0,09	0,09
2,36	Nº 8	3,8	0,84	0,93
1,18	Nº 16	14,9	3,28	4,21
0,6	Nº 30	46,7	10,30	14,51
0,3	Nº 50	224,8	49,56	64,07
0,15	Nº 100	141,1	31,11	95,17
Fundo		21,9	4,83	100,00
Total		453,6	100,00	
		Diam. Máx (mm)		1,18
		Módulo de Finura		1,79

Fonte: elaboração própria

Os resultados da Tabela 13 mostram que a substituição de 10% de agregado miúdo reciclado de PET na amostra alterou o módulo de finura do material. A composição ensaiada (areia natural + 10% de agregado miúdo reciclado de PET) é considerada fina, pois o módulo de finura obtido ficou estabelecido entre 1,71 a 2,85 (BAUER, 2008, p. 80).

A Figura 17 mostra a curva granulométrica da mistura e os limites normativos de acordo com a NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Figura 17 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural com substituição de 10% de agregado miúdo reciclado de PET.



Fonte: elaboração própria

De acordo com a Figura 17 a curva granulométrica do agregado miúdo natural com substituição de 10% de agregado miúdo reciclado de PET encontra-se próxima a zona utilizável inferior a partir da peneira 9,5 mm. Também foi observado que a inserção de agregado miúdo reciclado de PET promoveu uma pequena melhora na granulometria do material, uma vez que a composição granulométrica da amostra quase alcançou o limite normativo da zona utilizável para as peneiras 1,18 mm e 0,6 mm.

A Tabela 14 apresenta a composição granulométrica de uma amostra de areia natural com substituição de 15% de agregado miúdo reciclado de PET em volume.

TABELA 14 – Composição granulométrica das amostras de agregado miúdo natural com substituição de 15% de agregado miúdo reciclado de PET.

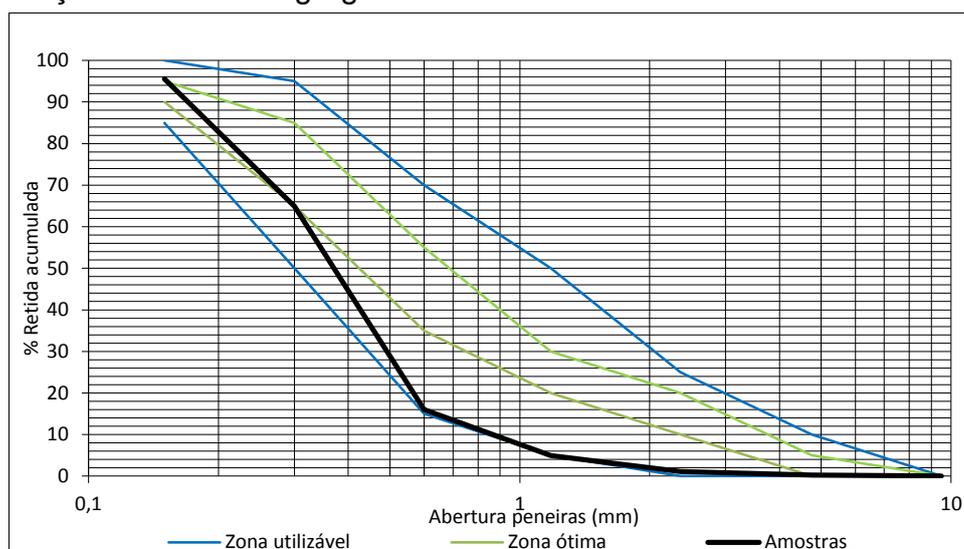
Peneiras		Amostra 1 (g)	% Retida	% Retida Acumulada
(mm)	Número			
4,75	Nº 4	1,2	0,27	0,27
2,36	Nº 8	3,7	0,84	1,12
1,18	Nº 16	16,8	3,83	4,95
0,6	Nº 30	48,6	11,08	16,02
0,3	Nº 50	214,6	48,91	64,93
0,15	Nº 100	134,3	30,61	95,53
Fundo		19,6	4,47	100,00
Total		438,8	100,00	
Diam. Máx (mm)				1,18
Módulo de Finura				1,83

Fonte: elaboração própria

Semelhantemente ao observado para a composição com 10% de PET, a substituição nos teores de 15% também alterou o módulo de finura do material. A composição ensaiada (areia natural + 15% de agregado miúdo reciclado de PET) é considerada fina, pois o módulo de finura obtido ficou estabelecido entre 1,71 a 2,85 (BAUER, 2008, p. 80).

A Figura 18 mostra a curva granulométrica da mistura ensaiada, junto com os limites normativos de acordo com a NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Figura 18 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural com substituição de 15% de agregado miúdo reciclado de PET.



Fonte: elaboração própria

De acordo com a Figura 18, observa-se uma aproximação da curva granulométrica do agregado miúdo natural com substituição de 15% de agregado miúdo reciclado de PET com a zona utilizável inferior.

Através da comparação dos dois teores de substituição estudados, nota-se que o teor de substituição de 15% de areia natural por agregado miúdo reciclado de PET, permitiu maior aproximação da composição granulométrica dos limites normativos da zona utilizável.

3.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos Agregados Miúdo Natural e Agregados Reciclado de PET

As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), campus-Alegrete/RS.

As imagens de MEV são mostradas nas Figuras 19 a 20 e as suas análises permitiram avaliar com precisão a forma dos agregados miúdos estudados.

Figura 19 – MEV dos agregados miúdos com ampliação de 50 vezes.



Foto 1 – Aspecto do agregado reciclado de PET.

Fonte: elaboração Própria.

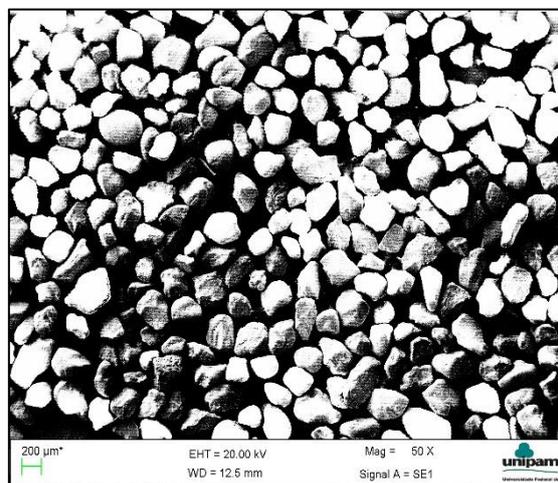


Foto 2 – Aspecto da areia natural.

Figura 20 - MEV dos agregados miúdos com ampliação de 300 vezes.

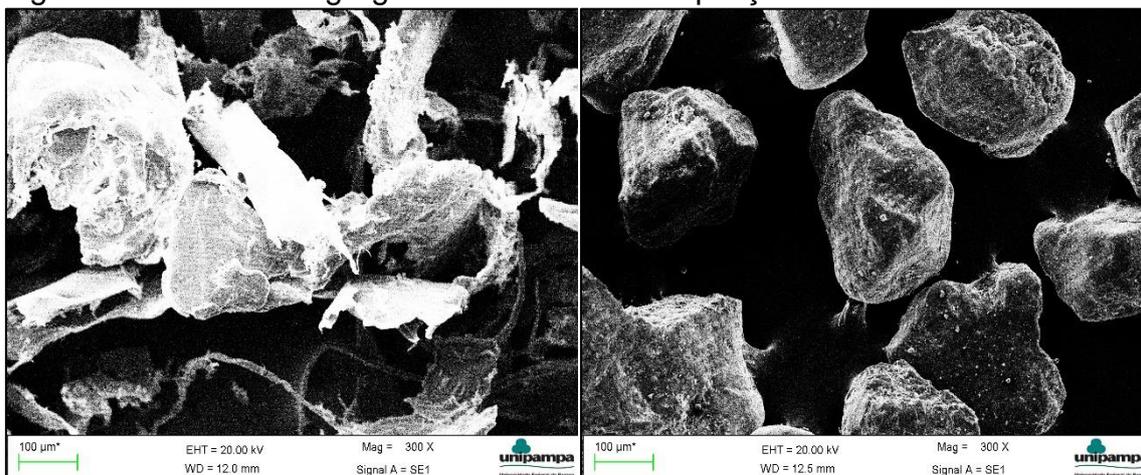


Foto 3 – Aspecto do agregado reciclado de PET. Foto 4 – Aspecto da areia natural.

Fonte: elaboração Própria.

De acordo com as análises de MEV mostradas, observa-se que o agregado miúdo natural apresenta um formato mais esférico, como o esperado, enquanto que o agregado reciclado de PET apresenta um formato mais lamelar, se assemelhando a fibras.

3.4.4 Agregado Graúdo

A realização do ensaio de granulometria seguiu as orientações da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). A Tabela 15 apresenta a composição granulométrica para as duas amostras ensaiadas.

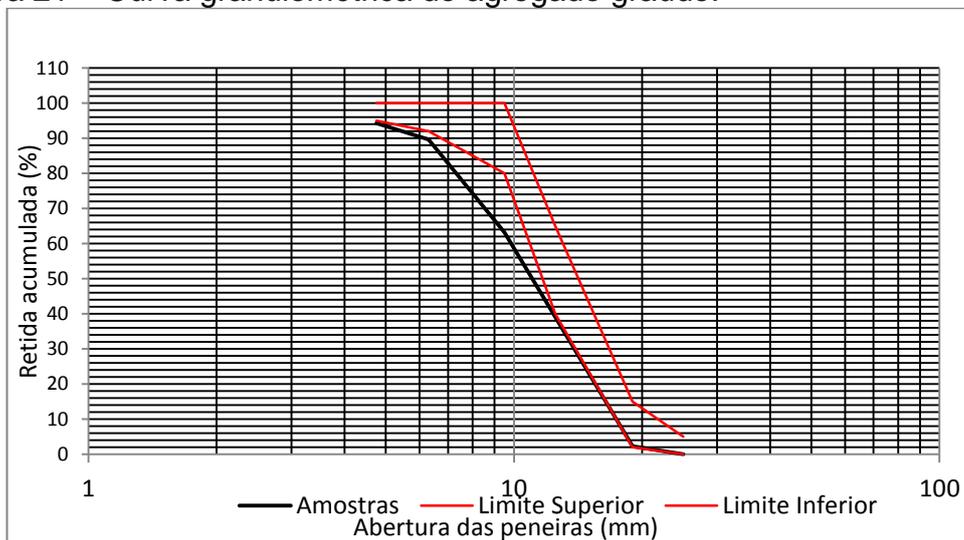
TABELA 15 – Composição granulométrica das amostras de agregado graúdo.

Peneiras (mm)	Amostra Pol/Nº	Amostra 1 (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Amostra 2 (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Retida Média	% Retida Acumulada Média
25,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19,10	3/4"	349,5	3,40	3,40	112,6	1,10	1,10	2,25	2,25
12,70		4080,00	39,66	43,06	3500,00	34,04	35,13	36,85	39,10
9,52	3/8"	2440,00	23,72	66,77	2520,00	24,51	59,64	24,11	63,21
6,35		2480,00	24,11	90,88	2960,00	28,79	88,43	26,45	89,65
4,75	Nº 4	460,00	4,47	95,35	500,00	4,86	93,29	4,67	94,32
2,36	Nº8	126,6	1,23	96,58	121,10	1,18	94,47	1,20	95,53
1,18	Nº16	21,4	0,21	96,79	29,80	0,29	94,76	0,25	95,78
Fundo		330,3	3,21	100,00	538,70	5,24	100,00	4,22	100,00
Total		10287,80	100,00		10282,20	100,00		100,00	
								Diam. Máx. (mm)	19,00
								Módulo de Finura	6,38

Fonte: elaboração própria

A Figura 21 apresenta a curva granulométrica do agregado graúdo, junto com os limites granulométricos, determinados pela NBR NM 7211 (ABNT, 2009).

Figura 21 – Curva granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: elaboração própria

De acordo com a Figura 21 a curva granulométrica do agregado graúdo encontra-se abaixo do limite normativo inferior. Em uma análise mais detalhada, foi observado que nas peneiras das malhas de 12,5 mm, 6,3 mm e 4,75 mm a granulometria desse material encontra-se abaixo do limite granulométrico inferior. Acredita-se que essa variação de resultado possa estar relacionada ao seu processo de produção.

Para obtenção da massa específica unitária e massa específica foram realizados os ensaios normalizados pela NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 53 (ABNT, 2003), respectivamente. A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos após execução desses ensaios.

Tabela 16 - Resultados obtidos de massa específica unitária e massa específica de duas amostras de agregado graúdo.

Ensaio	Amostra		Resultado Médio
	1	2	
Massa Específica Unitária (g/cm ³)	1,45	1,45	1,45
Massa Específica (g/cm ³)	2,83	2,83	2,83

Fonte: elaboração própria

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O item 4.1 apresenta o resultado da massa específica dos concretos no estado fresco. Os itens 4.2 e 4.3 apresentam os resultados dos ensaios mecânicos dos concretos estudados.

4.1 Massa específica do concreto

A Tabela 17 apresenta os resultados médios da massa específica dos concretos (Referência, 10% de PET e 15% de PET) no estado fresco.

Tabela 17 - Resultados da massa específica unitária média dos concretos estudados.

Traços	Massa Específica Média (Kg/m ³)
Referência	2420,38
10% PET	2414,01
15% PET	2382,17

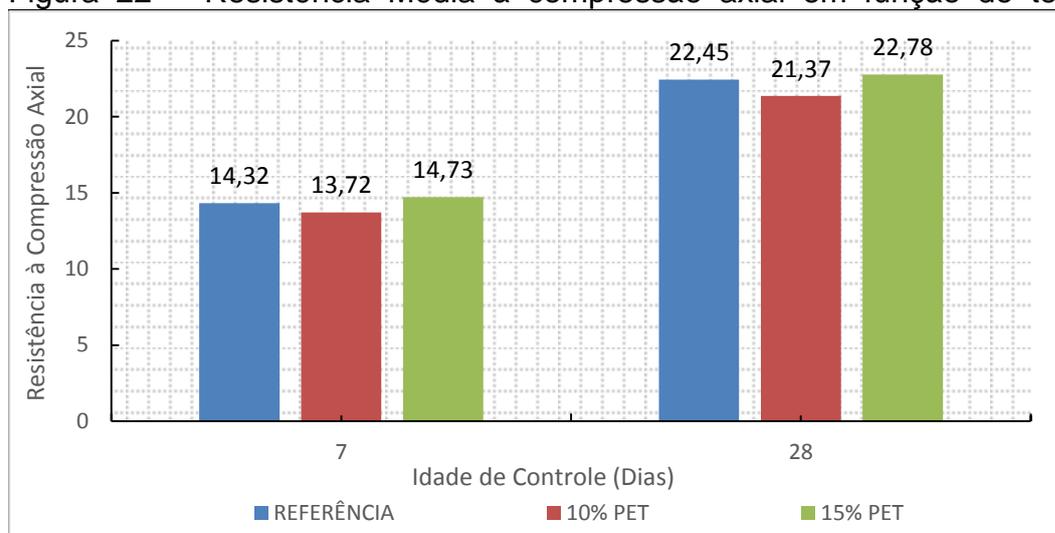
Fonte: elaboração própria

Os resultados obtidos mostram que com a substituição do teor de PET houve diminuição da massa específica do concreto em relação à referência (redução de 0,26% no teor de 10% e de 1,57% no teor de 15%). Ou seja, quanto maior o teor substituído menor a massa específica do concreto.

4.2 Resistência à Compressão Axial

A Figura 22 apresenta os resultados de resistência à compressão axial em função do tempo para as misturas de referência e para as misturas com agregado reciclado de PET.

Figura 22 – Resistência Média à compressão axial em função do tempo.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 22 mostra que, para todos os concretos investigados, houve um aumento da resistência à compressão axial com o aumento da idade de controle (7→28 dias), como o esperado. As misturas com substituição parcial do agregado miúdo reciclado de PET (teor de 10%) apresentaram uma pequena redução na resistência à compressão axial em relação aos concretos de referência para as duas idades de controle (redução de 4% aos 7 dias e de 4,8% aos 28 dias, respectivamente). Diferentemente do observado, os concretos com teores de PET de 15%, apresentaram resultados de resistência à compressão axial superiores à amostra de referência em ambas as idades de controle. Para a idade de 7 dias, o crescimento da resistência à compressão axial do concreto com agregado reciclado de PET em relação a sua referência foi de 2,9 % e aos 28 dias, o crescimento foi de 1,47%, respectivamente. Para uma melhor análise dos resultados e para a certificação da real influência do agregado reciclado de PET na resistência à compressão axial dos concretos, os resultados dessa pesquisa passaram por uma análise de variância (ANOVA) através do programa Estatística Release 7.0. A análise de variância é um teste estatístico muito utilizado entre os analistas, e visa basicamente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente.

Os resultados da ANOVA são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Análise de variância (ANOVA) dos resultados de resistência à compressão axial.

ANOVA	SQ	Grau de Liberdade	MQ	Test F	Significância (p)	
Intercepto	3986,901	1	3986,901	1131,370	0,000000	-
Idade	189,210	1	189,210	53,693	0,000330	Sim
Teor de PET	3,058	2	1,529	0,434	0,666845	Não
Idade* Teor de PET	0,130	2	0,065	0,019	0,981722	Não
Erro	21,144	6	3,524			-

Fonte: elaboração própria

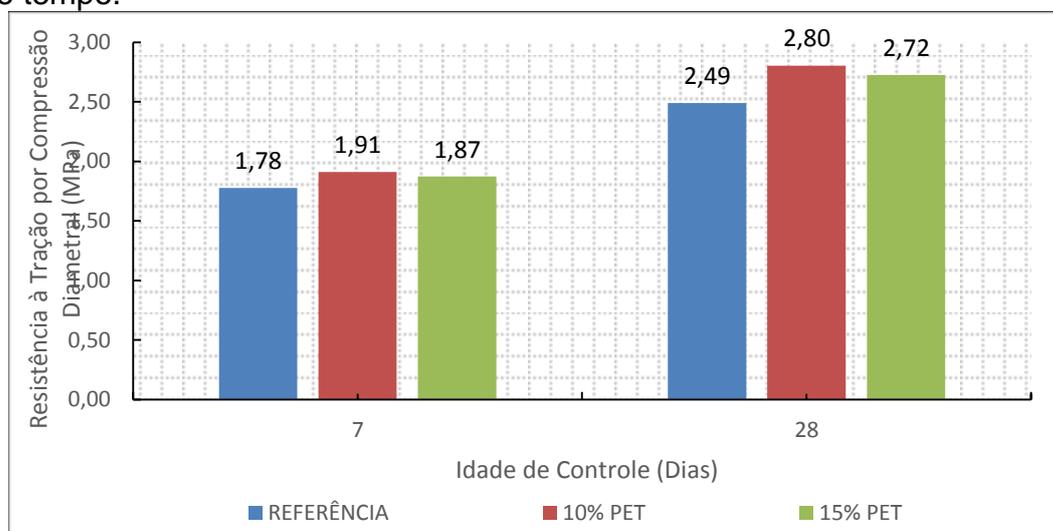
A Tabela 16 mostra que, entre as variáveis consideradas (Idade de Ruptura e Teor de PET), somente a idade de ruptura dos concretos se mostrou significativa ($p < 0,05$). O valor de “p” menor do que 0,05 indica que a relação entre as variáveis é estatisticamente significativa a um nível de confiança de 95%, ou seja, a variável significativa influenciou a variável de resposta.

Os resultados da ANOVA também mostram que para os materiais utilizados e para as condições de cura impostas aos concretos (cura úmida por 28 dias), os teores de PET estudados não influenciaram os resultados de resistência à compressão axial nas idades de controle consideradas ($p > 0,05$). A análise de variância (Tabela 16) ainda permite concluir que a interação dos fatores “Idade versus Teor de PET”, também não se mostrou significativa.

4.3 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A Figura 23 apresenta os resultados de resistência à tração por compressão diametral em função do tempo para as misturas de referência e para as misturas com agregado reciclado de PET.

Figura 23 – Resistência Média à tração por compressão diametral em função do tempo.



Fonte: Elaboração própria.

Analisando os resultados da Figura 23, observa-se, para todos os concretos, um aumento da resistência a tração por compressão diametral com o aumento da idade de controle (7→28 dias), como o esperado. Diferentemente do observado para os resultados de resistência à compressão axial, os concretos com teores de PET de 10% e 15% apresentaram um crescimento da resistência à tração por compressão diametral em relação à amostra de referência em ambas às idades de controle. Os resultados positivos obtidos podem estar associados ao formato do agregado reciclado de PET, que se assemelha a uma fibra, conforme apresentado nas imagens de MEV (item 3.4.2.4). Alguns estudos em concretos reforçados com fibras têm mostrado que as fibras melhoram alguns aspectos do concreto em relação à tenacidade das peças, aumentando a resistência à tração desses concretos quando comparados a um concreto convencional.

Apesar do ganho de resistência à tração dos concretos com agregado reciclado de PET, os resultados passaram por um tratamento estatístico (ANOVA). A análise de variância tem por objetivo verificar a real influência das variáveis independentes (“idade e teor de PET”) na variável de resposta (resistência à tração por compressão diametral). Os resultados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Análise de Variância (ANOVA) dos resultados de resistência à tração por compressão diametral.

ANOVA	SQ	Grau de Liberdade	MS	Teste F	Significância (p)	
Intercepto	61,83480	1	61,83480	1020,376	0,000000	
Idade	1,95213	1	1,95213	32,213	0,001288	Sim
Teor de PET	0,12705	2	0,06352	1,048	0,406964	Não
Idade* Teor de PET	0,01262	2	0,00631	0,104	0,902729	Não
Erro	0,36360	6	0,06060			

Fonte: Elaboração própria

Entre as variáveis consideradas na Tabela 17 (idade de ruptura e teor de PET), somente a idade de ruptura dos concretos se mostrou significativa ($p < 0,05$), os resultados da ANOVA indicam que a variável “idade” influenciou a variável de resposta (resistência à tração por compressão diametral). Os resultados também mostram que os teores de PET estudados não influenciaram os resultados de resistência à tração por compressão axial nas idades de controle consideradas ($p > 0,05$). Indicando que não é possível delinear uma tendência de comportamento. A interação dos fatores “Idade versus Teor de PET”, também não se mostrou significativa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É sabido que a utilização do agregado reciclado, em especial os de PET, tem despertado o interesse de alguns pesquisadores nas últimas décadas (Modro, 2009; Pietrobelli, 2010; Santos, 2015; entre outros). Por ser um tema relativamente novo no meio acadêmico, existe muito a ser desvendado acerca dos benefícios do uso do agregado de PET para a produção de concretos convencionais.

Nesse trabalho de pesquisa, os resultados de caracterização do agregado reciclado de PET, mostraram que granulometricamente esses materiais atendem os limites normativos para agregado miúdo. Com relação à massa específica e massa unitária do agregado reciclado de PET mostrou que os resultados obtidos foram inferiores quanto ao agregado natural. Considerando essa diferença de densidade entre os materiais, ao inserir o agregado reciclado de PET no concreto ocasiona uma diminuição de peso.

Com relação à trabalhabilidade dos concretos com teores de substituição de agregado reciclado de PET, observou-se que os mesmos se apresentaram trabalháveis e coesos. Notou-se uma perda de abatimento no traço com teor de 15% de PET, fato que não comprometeu a moldagem dos concretos.

A análise de variância dos resultados dos ensaios mecânicos mostraram que a substituição de agregado reciclado de PET nos teores estudados (10% e 15%) não promoveu nenhuma melhora nem piora significativa na resistência à compressão axial e na resistência à tração. Ou seja, matematicamente não houve alterações nas propriedades mecânicas quando se fez a substituição do agregado miúdo natural por esse material. O que pode ser um indicativo positivo para o uso de agregado reciclado de PET em concretos convencionais. Enfatiza-se, no entanto, que os resultados obtidos não podem ser generalizados, pois os mesmos se restringem exclusivamente aos materiais e às condições empregados nesta pesquisa.

Acredita-se, também, que seja prematuro afirmar que a substituição do agregado miúdo por agregado reciclado de PET seja benéfica para a produção de concretos convencionais, antes que outras propriedades mecânicas e de durabilidade também sejam estudadas.

Os resultados obtidos, permitem concluir, que existe potencialidade de utilização de agregado de PET em substituição parcial ao agregado miúdo, principalmente se analisarmos sob o ponto de vista ecológico. Conforme já mencionado, o lixo das garrafas PET gera um grande problema ambiental. Assim, qualquer destinação desse resíduo, retorna um grande benefício para a natureza. Apesar dos resultados positivos obtidos nessa pesquisa, destaca-se que novas pesquisas devam ser realizadas, para a validação dos resultados desse trabalho.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar essa pesquisa com outros teores de substituição do agregado reciclado de PET.
- Avaliação da durabilidade dos concretos com substituição do agregado reciclado de PET.
- Realizar essa pesquisa utilizando mais idades de controle.

REFERÊNCIAS

AÏTCIN, Pierre-Claude. **Concreto de alto desempenho**. Trad. Geraldo G. Serra. Ed. Pini, São Paulo, 2000, p. 651.

ALEGRIA, Manuela. **Brasil descarta 53% de garrafas PET na natureza**. 2007. Disponível em: <<http://www.revistameioambiente.com.br/2007/11/15/brasil-descarta-53-de-garrafas-pet-na-natureza>>. Acesso em: 12 de set. de 2015.

ANDRADE, H. Polímeros. In: Isaia, G. C. (Org). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007, p.1269-1285.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos do Brasil 2014**. 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 01 de nov. de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. **9º CENSO da Reciclagem de PET**. 2012.

_____ – ABIPET. **Panorama: Indústria do PET no Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=36>>. Acesso em: 17 de nov. de 2015.

_____ – ABIPET. **Reciclagem – Revalorização**. 2010. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=69>>. Acesso em: 15 de set. de 2015.

_____ – ABIPET. **Resina PET- História**. 2010. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=46>>. Acesso em: 9 de set. de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

_____ - ABNT. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento** Rio de Janeiro, 2015.

_____ - ABNT. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____ - ABNT. **NBR 7211: Agregados para Concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

_____ - ABNT. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____ - ABNT. **NBR 7222**: Determinação de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____ - ABNT. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____ - ABNT. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____ - ABNT. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____ - ABNT. **NBR NM 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____ - ABNT. **NBR NM 53**: Agregado Graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO EMPRESARIAL DEDIISAIACADA À PROMOÇÃO DA RECICLAGEM E GESTÃO INTEGRADA DO LIXO – CEMPRE. **Agora é Lei: Novos desafios para poder público, empresas, catadores e população.** 2015. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso em: 01 de nov. de 2015.

AYRES, Luis. **Garrafas Pet da produção ao descarte.** 2013. Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/57-plastico/231-reciclagem-garrafas-pet.html>>. Acesso em: 11 de set. de 2015.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. v. 1, p. 80.

BETTAGIN, Arnaldo: **Uma breve história do cimento Portland.**, 2009. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>>. Acesso em: 20 de set. de 2015.

BRASIL. **Lei nº 12305**: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 02 de agosto de 2010.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** Ed. LTC, 2008, p. 400 e 401.

CANELLAS, Susan Sales. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia), 2005, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CAVALCANTI, Clóvis. **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável**. In: CAVALCANTI, Clóvis (Org.). 5 ed. V.1. São Paulo: Cortez, 2003.p.153.

CNP Reciclagem. **Um planeta melhor para você.**, 2015. Disponível em: <http://www.cnpreciclagem.com.br/index_arquivos/Page540.htm>. Acesso em: 02 de nov. de 2015.

CORÓ, Ângela. **Investigação das Propriedades Mecânicas de Concretos Reforçados com Fibra PET**. 2002. 64f. Monografia apresentada Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul para o grau de bacharel em Engenharia Civil.

COSTA, Lucio Augusto Villela da; IGNÁCIO, Rozane Pereira. Relações de Consumo x Meio Ambiente: Em busca do Desenvolvimento Sustentável. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XIV, n. 95, dez 2011. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos%20_leitura&artigo_id=10794&revista_caderno=5>. Acesso em: 15 de nov. de 2015.

CRISPIM, Sérgio.; BORGHI, Aparecido. Mudanças Estruturais na Indústria Brasileira de Refrigerantes como Reflexo do Processo de Substituição das Embalagens de Vidro pelo PET na Década de 90. In: Encontro da ANAPAD, 2009, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ANAPAD, 2009. Disponível em: < <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/ESO-A2528.pdf>>. Acesso em: 01 de nov. 2015.

DAFICO, A.Dario A. **Estudo de dosagem de alto desempenho utilizando pozolanas provenientes da casca de arroz**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERREIRA, D.S. Felipe et al. **Análise dos processos de recuperação das embalagens PET: Uma Contribuição da Logística Reversa**. Revista Gestão Tecnológica on-line. Edição 1.Rio de Janeiro: Spacios, 2016, março 2016. Disponível em <<http://www.revistaespacios.com/a16v37n18/16371803.html>>. Acesso em: 31 de jul. de 2016.

GLOBO.: **Rio Tietê ainda apresenta sujeira e poluição em Salto.**, 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sorocaba-jundiai/noticia/2014/12/rio-tiete-ainda-apresenta-sujeira-e-poluicao-em-salto.html>> Acesso em: 03 de set. de 2015.

GONÇALVES, D. C. Rodrigo. **Agregados reciclados de resíduos de concreto - Um novo material para dosagens estruturais**. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

GORNI, Augusto A. **Introdução aos Plásticos**. 2003. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/intropol.html>>. Acesso em: 8 de set. de 2015.

HELENE, P.; TUTIKIAN, B. F. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. In: ISAIA G.C. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. v.1. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 415-451.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: PINI, 1992. p.349

LAGARES, Luciano. **Como ajudar a reduzir alagamentos e enchentes**. 2007. Disponível em: http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/atitude/com-teudo_260146.shtml>. Acesso em: 25 de nov. de 2015.

MACHADO, Gleysson. **Poluição nos rios e mares**. 2013. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/poluicao-nos-rios-e-mares/>>. Acesso em: 15 de set. de 2015.

MANO, B, Eloisa. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2004. p. 107-108.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. Ed. Pini, São Paulo, 1994, p. 188, p. 573.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. Ed. Pini, São Paulo, 2008, p. 54.

MODRO, L. Neilson. **Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos sólido de PET.**, 2009. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11045/11045.pdf>> Acesso em: 19 de nov. de 2015.

MONTENEGRO, R.S.P.; PAN, S.S.K.; M.; RIBEIRO, M.C.M. **Resina PET para recipientes**. [S.l.:s.n]. 2000, p.1-15.

MOTA, O. A. Rogério et al. **Concreto Estrutural com agregado Reciclado**. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 2010, São Paulo. **Anais Eletrônicos...** São Paulo: XIV INIC / X EPG, 2010. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/RE_0284_0267_01.pdf>. Acesso em: 01 de nov. 2015.

NETA, S.J. Antônia. **Meio ambiente e gestão de resíduos sólidos: estudo sobre o consumo sustentável a partir da lei 12.305/2010.**, 2011. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=11291> Acesso em: 10 de ag. de 2016.

NETO, Cláudio. **Agregados para Concreto**. In: ISAIA G.C. (Org.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações** 1 ed. v.1. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 323-339.

OLIVEIRA, Samir. **Sobrecarga do rio Jacuí reacende debate sobre extração de areia no Guaíba.**, 2013. Disponível em: <<http://www.sul21.com.br/jornal/sobrecarga-do-rio-jacui-reacende-debate-sobre-extracao-de-areia-no-guaiba/>>. Acesso em: 09 de nov. de 2015.

PACHECO, Elen. **Mercado para Produtos Reciclados à Base de PET/HDPE/ Ionômero.** 1999. Disponível <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14281999000400010&script=sci_arttext>. Acesso em: 15 de set. de 2015.

PAES, Janiere. **Estudo sobre Responsabilidade Ambiental.**, 2011. Disponível em: <http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=6273>. Acesso em: 2 de set. de 2015.

PEDROSO, Fábio Luiz. **Concreto: As origens e a evolução do material construtivo mais utilizado pelo homem.** **Revista Concreto**. São Paulo, XXXVII, 53, Jan. Fev. Mar., 2009.

PIETROBELLI, R. Eliton. **Estudo de viabilidade do Pet reciclado em concreto sob aspecto da resistência a compressão.** 2010. 71 f. Monografia apresentada Universidade Comunitária Regional de Chapecó para o grau de bacharel em Engenharia Civil.

RECICLÁVEIS. **Linha de moagem e lavagem de PET.** 2015. Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/negocios/negocios.htm>> Acesso em: 07 de set. de 2015.

RIBEIRO, C.A. Rodolfo et al. **Comportamento do concreto reforçado com fibras plásticas produzidas com garrafas PET.** In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2010, Ceará. **Anais Eletrônicos...** Ceará: COBENGE, 2010. Disponível em:<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwix5s_t2KzJAhUBTyYKHWRxCcwQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.abenge.org.br%2FCobengeAnteriores%2F2010%2Fartigos%2F437.doc&usq=AFQjCNFSmehx_3nlewwFy5fRIZmRRtPWmA> . Acesso em: 04 de nov. 2015

RIBEIRO, Rosemeri: **Efeito da qualidade da água no concreto.** 2006. Disponível em:<<http://notes.abcp.org.br:8080/Producao/clipp/clipp.nsf/d25eb76a1d94d3d503256aef0041dbbe/f27823418d093626832570f30046b93a?OpenDocument>> . Acesso em: 11 de ago. 2016.

SANTOS, Sílvia et al. **Viabilidade da produção de concreto com areia de pet e substituição parcial de cimento por cinza da casca do arroz.** In: Congresso Técnico da Engenharia e da Agronomia, 2015, Ceará. **Anais Eletrônicos...**

Ceará: CONTECC, 2015. Disponível em: <http://www.confea.org.br/media/Civil_viabilidade_da_producao_de_concreto_com_areia_de_pet_e.pdf>. Acesso em: 20 de nov. de 2015.

SANTOS, W. L. P. dos; MÓL, G. de S. **Química cidadã: química orgânica, eletroquímica, radioatividade, energia nuclear e a ética da vida.** - 1. Ed. V.3. São Paulo: Nova Geração, 2010, p. 137.

SILVA, Luiz Carlos:. **Dicas de Construção – Prejudicial.**, 2004. Disponível em: <<http://www.sitengenharia.com.br/diversosprejudicial.htm>> Acesso em: 06 de out. de 2015.

SILVA, N. Adriana et al. **Sustentabilidade empresarial: Um estudo de caso sobre as estratégias ambientais e o processo de capacitação de pessoas na empresa Petrobras.**, 2008. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/producao-academica/sustentabilidade-empresarial-um-estudo-de-caso-sobre-as-estrategias-ambientais-e-o-processo-de-capacitacao-de-pessoas-na-empresa-petrobras/5411/>>. Acesso em: 01 de nov. de 2015.

APÊNDICES

A- Resultados Resistência à Compressão Axial

Aos 7 dias					
Traço Referência		Traço 10% PET		Traço 15% PET	
N° CPs	σ_c (MPa)	N° CPs	σ_c (MPa)	N° CPs	σ_c (MPa)
1	15,19	1	13,05	1	14,64
2	13,46	2	14,39	2	14,81
Média (MPa)	14,32	Média (MPa)	13,72	Média (MPa)	14,73
Aos 28 dias					
Traço Referência		Traço 10% PET		Traço 15% PET	
N° CPs	σ_c (MPa)	N° CPs	σ_c (MPa)	N° CPs	σ_c (MPa)
1	24,64	1	19,29-	1	23,27
2	20,26-	2	23,45	2	22,28
Média (MPa)	22,45	Média (MPa)	21,37	Média (MPa)	22,78

B- Resultados Resistência à Tração por Compressão Diametral

Aos 7 dias					
Traço Referência		Traço 10% PET		Traço 15% PET	
N° CPs	σ_t (MPa)	N° CPs	σ_t (MPa)	N° CPs	σ_t (MPa)
1	1,66	1	2,02	1	1,89
2	1,89	2	1,89	2	1,85
Média (MPa)	1,78	Média (MPa)	1,96	Média (MPa)	1,87
Aos 28 dias					
Traço Referência		Traço 10% PET		Traço 15% PET	
N° CPs	σ_t (MPa)	N° CPs	σ_t (MPa)	N° CPs	σ_t (MPa)
1	2,44	1	2,42	1	2,61
2	2,54	2	3,19	2	2,84
Média (MPa)	2,21	Média (MPa)	2,80	Média (MPa)	2,72