

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CLÁUDIO RODRIGUES RABELO

**ANÁLISE DE CONCRETO COM RESÍDUO DE PNEU
INSERVÍVEL**

ANÁPOLIS / GO

2017

CLÁUDIO RODRIGUES RABELO

**ANÁLISE DE CONCRETO COM RESÍDUO DE PNEU
INSERVÍVEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES

ANÁPOLIS / GO: 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

RABELO, CLÁUDIO RODRIGUES

Análise de concreto com resíduo de pneu inservível.

100P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto	2. Resíduo de pneu
3. Borracha	4. Sustentabilidade
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RABELO, Cláudio Rodrigues. Análise de concreto com resíduo de pneu inservível. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 100p. 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

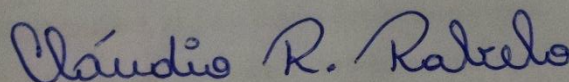
NOME DO AUTOR: Cláudio Rodrigues Rabelo

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise de concreto com resíduo de pneu inservível.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Cláudio Rodrigues Rabelo

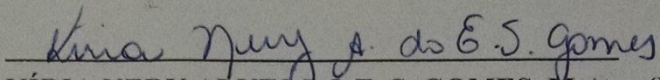
E-mail: claudiorabelo@hotmail.com.br

CLÁUDIO RODRIGUES RABELO

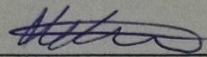
**ANÁLISE DE CONCRETO COM RESÍDUO DE PNEU
INSERVÍVEL.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

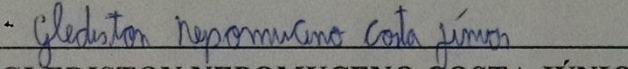
APROVADO POR:



KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)



ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



GLEDISTON NEPOMUCENO COSTA JÚNIOR, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 28 de Novembro de 2017.

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais
que prepararam o meu caminho desde que eu
nasci, para que esse dia enfim chegasse.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força e inteligência para concluir essa etapa na minha vida.

A Virgem Maria por Tua intercessão junto a Deus e ao Teu Santíssimo Filho Nosso Senhor Jesus Cristo.

Aos meus pais, Izair Alves Rabelo e Rita Rodrigues Rabelo, pelo apoio financeiro e emocional, sempre estando ao meu lado e me incentivando a cada dificuldade.

Aos meus amigos, familiares e a todos que contribuíram para meu sucesso e para meu crescimento pessoal.

A UniEvangélica, seu corpo docente, direção e administração que possibilitou o meu desenvolvimento acadêmico.

A minha orientadora, Kíria, pela paciência, orientação, apoio e confiança.

A CIPLAN por ter fornecido o cimento para a elaboração do trabalho.

Ao Centro tecnológico da UniEvangélica e aos técnicos do laboratório de construção civil que me auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa.

A Renov Pneus, por ter fornecido o resíduo de borracha de pneu.

Se a gente colocar, a nossa fé em ação
E confiarmos, e orarmos a Deus
Deus ouve e responde, e dá tudo certo

Vai dar tudo certo, vai dar tudo certo
Se a gente colocar, a nossa fé em ação
Vai dar tudo certo...

Waldeci Aguiar

RESUMO

Atualmente, a questão ambiental tem ganhado destaque no contexto mundial, levando a países e empresas a discutir a importância da sustentabilidade e dos cuidados com a natureza. E como a indústria da construção é apontada pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais, é necessário adotar algumas práticas menos agressivas ao meio ambiente, é onde entra a utilização de resíduos, sejam eles oriundos da construção civil ou de outras indústrias. Diante deste contexto, surgiu a possibilidade da utilização do resíduo de pneu inservível como agregado na produção de concreto, reduzindo então a utilização de matéria prima (areia) e colaborando para o descarte do pneu inservível. Desta forma, foi elaborado 7 traços, distintos, 1 traço de referência e 6 com substituição do agregado natural, em volume, pelo resíduo de pneu, para verificar a influência desse material no concreto. Os traços foram definidos em composição granulométrica do resíduo (total, média e fina) e porcentagem de substituição (4% e 8%). Foi estudado a trabalhabilidade, resistência a compressão axial, absorção, índice de vazios e massa específica, onde foi possível verificar que a substituição gera uma redução na resistência a compressão axial do concreto, entretanto os traços com substituição de 4% apresentaram resultados satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE:

Concreto. Resíduo de pneu. Borracha. Sustentabilidade. Pneu inservível.

ABSTRACT

Currently, the environmental issue has gained prominence in the global context, leading countries and companies to discuss the importance of sustainability and care with nature. As indicated by the International Construction Council (CIB), the construction industry is by far the sector that consumes the biggest amount of natural resources and energy, constantly generating massive amount of environmental problems. It is very important to adopt some practices that are less aggressive to the environment, is where the use of waste comes in, whether they come from construction or other industries. In this context, the possibility of using the tire residue in the production of concrete aggregate, reducing the use of raw material (sand) and contributing to the disposal of the tire residue. In this way, seven different concrete traces were made, one as a reference trace and six with replacement of the natural aggregate in volume by the tire residue to make a verification on the influence of the material on the concrete. The traces were defined in grain size, composition (total, medium and fine) and substitution percentage (4% and 8%). The workability, axial compression strength, absorption, void index and specific mass were studied, where it was possible to verify that the substitution generates a reduction in the axial compressive strength of the concrete, however the traces with substitution of 4% presented satisfactory results.

KEYWORDS:

Concrete. Tire residue. Rubber. Sustainability. Insecure tire.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do pneu	29
Figura 2 - Produção de pneus (milhões de unidades)	31
Figura 3 - Pneus inservíveis descartados irregularmente	32
Figura 4 – Incêndio em áreas com acúmulo de pneus inservíveis.....	33
Figura 5 – Pneus descartados em rio	33
Figura 6 – Asfalto-borracha.....	35
Figura 7 – Artesanatos com reciclagem de pneus inservíveis	36
Figura 8 – Murro de arrimo de pneus	37
Figura 9 – Resíduos de cerâmica vermelha	43
Figura 10 – Rejeito de mármore	43
Figura 11 – Resíduo de concreto	44
Figura 12 – Resíduo de garrafa PET	45
Figura 13 – Ensaio de granulometria do vidro moído	46
Figura 14 – Raspagem mecânica do pneu	48
Figura 15 – Materiais indesejáveis provenientes do processo de raspagem	49
Figura 16 - Resíduo de pneu retido na peneira #4,75 mm.....	49
Figura 17 – Resíduo retido na peneira #2,36 mm.....	56
Figura 18 – Resíduo retido na peneira #1,18 mm.....	57
Figura 19 – Resíduo retido na peneira #0,600 mm.....	57
Figura 20 – Resíduo retido na peneira #0,300 mm.....	57
Figura 21 – Resíduo retido na peneira #0,150 mm.....	58
Figura 22 – Resíduo retido no prato	58
Figura 23 - Curva de Abrams do cimento	59
Figura 24 – Corpos de prova moldados.....	66
Figura 25 - Corpo de prova rompido aos 28 dias – Traço de referência	75
Figura 26 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha total 8%	75
Figura 27 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha total 4%	76
Figura 28 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha média 8%	76
Figura 29 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha média 4%	77
Figura 30 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha fina 8%	77
Figura 31– Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha fina 4%	78
Figura 32 – Ensaio de Abatimento - Traço de referência.....	91

Figura 33 – Ensaio de Abatimento - Borracha total 8%	91
Figura 34 – Ensaio de Abatimento - Borracha total 4%	92
Figura 35 – Ensaio de Abatimento - Borracha média 8%	92
Figura 36 – Ensaio de Abatimento - Borracha média 4%	93
Figura 37 – Ensaio de Abatimento - Borracha fina 8%	93
Figura 38 – Ensaio de Abatimento - Borracha fina 4%	94
Figura 39 – Falha de adensamento – Amostra 2	96
Figura 40 - Falha de adensamento – Amostra 3	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Teores dos componentes do cimento Portland CP II-F-40	50
Quadro 2 –Exigências químicas CP II-F-40.....	51
Quadro 3 - Exigências físicas e mecânicas do cimento CP II-F-40	51
Quadro 4 - Resultado da caracterização do agregado graúdo	52
Quadro 5 - Resultado da caracterização do agregado miúdo	53
Quadro 6 - Resultado da caracterização do resíduo de pneu.....	55
Quadro 7 - Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de concreto	61
Quadro 8 - Traço unitário, em massa, do concreto de referência.....	64
Quadro 9 - Traço unitário, em massa, dos concretos a serem produzidos	65
Quadro 10 – Abatimento do concreto.....	70
Quadro 11 – Absorção de água.....	79
Quadro 12 – Índice de vazios	79
Quadro 13 – Massa específica seca	80
Quadro 14 – Massa específica saturada.....	80
Quadro 15 - Ensaio de resistência à compressão - Traço de referência	95
Quadro 16 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha total 8%	95
Quadro 17 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha total 4%	95
Quadro 18 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha média 8%.....	95
Quadro 19 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha média 4%.....	96
Quadro 20 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha fina 8%	96
Quadro 21 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha fina 4%	97
Quadro 22 – Registro das massas intermediárias - Estufa.....	98
Quadro 23 – Registro das massas intermediárias - Saturação	99
Quadro 24 – Massa dos corpos de prova saturados, imersos em água.....	100

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Dimensões máximas e mínimas do agregado graúdo	60
Tabela 2 - Consumo de água aproximado	60
Tabela 3 - Tolerância para idade de ensaio	67

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado graúdo.....	53
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo.....	54
Gráfico 3 - Curva granulométrica do resíduo de pneu	56
Gráfico 4 – Tensão de resistência (MPa) – Traço de referência	71
Gráfico 5 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha total 8%	71
Gráfico 6 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha total 4%	72
Gráfico 7 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha média 8%	72
Gráfico 8 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha média 4%	72
Gráfico 9 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha fina 8%	73
Gráfico 10 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha fina 4%	73
Gráfico 11 – Evolução da resistência a compressão axial de todos os traços	74

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute (Instituto Americano de Concreto)
ANIP	Associação Nacional das Indústrias Pneumáticas
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CES	Câmara de Educação Superior
CIB	Conselho Internacional da Construção
CNE	Conselho Nacional de Educação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Cimento Portland
CTF	Cadastro Técnico Federal
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
JATMA	Associação dos Fabricantes de Pneumáticos de Automóveis do Japão
Lim	Limite
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	Polietileno Tereftalato
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SINPEC	Sindicato Nacional da Indústria de Pneumáticos

LISTA DE UNIDADE DE MEDIDA E SÍMBOLO

#	Abertura da malha
%	Porcentagem
±	Mais ou menos
µm	Micrometro
a/c	Relação água/cimento
Ca	Consumo de água
Cb	Consumo de agregado graúdo
Cb	Consumo de brita
Cc	Consumo de cimento
Cm	Consumo de agregado miúdo
cm ³	Centímetro cúbico
D _{máx}	Diâmetro máximo
F _{c28}	Resistência característica do concreto aos 28 dias
F _{ck}	Resistência característica do concreto
g	Gramma
GPa	Giga Pascal
kg	Quilograma
kWh	Quilowatt-hora
l	Litro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
Mu	massa unitária compactada do agregado graúdo
°C	Grau Celsius
sd	Desvio padrão
Vb	Volume do agregado graúdo seco por m ³ de concreto
Vm	Volume de areia
γ _a	Massa especifica da água
γ _b	Massa especifica da brita
γ _c	Massa especifica do cimento
γ _m	Massa especifica da areia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 JUSTIFICATIVA.....	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 METODOLOGIA	19
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 SUSTENTABILIDADE.....	22
2.1 RESPONSABILIDADE AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL	24
3 A BORRACHA E O SURGIMENTO DOS PNEUS	27
3.1 COMPOSIÇÃO DOS PNEUMÁTICOS	28
3.2 PNEUS INSERVÍVEIS	30
3.2.1 Geração.....	30
3.2.2 Impactos provenientes pela disposição irregular	32
3.3 APROVEITAMENTO DA BORRACHA DE PNEU	34
3.3.1 Borracha de pneu utilizada na pavimentação asfáltica	34
3.3.2 O pneu como gerador de energia	35
3.3.3 Artesanatos feitos com pneu inservíveis.....	36
3.3.4 Pirólise – produção de óleo e gás.....	36
3.3.5 Construção de barragens e muros de arrimo	37
4 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	38
4.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	39
4.1.1 Propriedades no estado fresco.....	39
4.1.2 Propriedades no estado endurecido.....	40
4.1.2.1 Resistência a compressão axial	40
4.1.2.2 Absorção, índice de vazios e massa específica	41
4.2 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS.....	42
4.2.1 Concreto com resíduos de construção civil - RCD	42
4.2.2 Concreto com adição de garrafa PET	44
4.2.3 Concreto com adição de resíduos de vidro.....	45
4.3 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS	46
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	48

5.1	AQUISIÇÃO DO MATERIAL PESQUISADO	48
5.2	ESTUDO DE DOSAGEM.....	49
5.2.1	Características dos materiais utilizados	50
5.2.1.1	Cimento Portland	50
5.2.1.2	Agregado graúdo.....	52
5.2.1.3	Agregado miúdo.....	53
5.2.1.4	Resíduo de pneu	55
5.2.1.5	Água de amassamento.....	58
5.3	DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS	58
5.3.1	Determinar relação água/cimento (a/c)	58
5.3.2	Determinar o consumo de materiais	60
5.3.2.1	Determinação do consumo de água (Ca):	60
5.3.2.2	Determinação do consumo de cimento (Cc):.....	60
5.3.2.3	Determinação do consumo de agregado graúdo (Cb).....	61
5.3.2.4	Determinação do consumo de agregado miúdo (Cm).....	62
5.3.3	Apresentação do traço.....	63
5.3.4	Desenvolvimento dos traços e moldagem dos corpos de prova	64
5.4	CARACTERÍSTICAS ANALISADAS.....	66
5.4.1	Trabalhabilidade	66
5.4.2	Resistência a compressão axial.....	67
5.4.3	Absorção, índice de vazios e massa específica	68
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	70
6.1	TRABALHABILIDADE	70
6.2	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	71
6.3	ABSORÇÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA.....	78
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
7.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	83
	REFERÊNCIAS	84
	APÊNDICE A – Registro fotográfico do ensaio de abatimento	91
	APÊNDICE B – Ensaio de resistência à compressão - Laudos	95
	APÊNDICE C – Registro das massas intermediárias - Estufa.....	98
	APÊNDICE D – Registro das massas intermediárias - Saturação	99
	APÊNDICE E – Registro das massas dos corpos de prova saturados, imersos em água	100

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a questão ambiental tem ganhado destaque no contexto mundial, levando a países e empresas a discutir a importância da sustentabilidade e dos cuidados com a natureza. Diante da necessidade do ser humano organizar as suas atividades produtivas empregando condutas de forma a minimizar o impacto no meio ambiente, seja a curto, médio ou longo prazo, é importante o planejamento, controle e gestão referente às questões ambientais que visa contribuir para o desenvolvimento econômico.

Para melhor entender o que é sustentabilidade tem-se alguns conceitos: segundo World Commission on Environment and Development (1987), definir a sustentabilidade é “satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações para satisfazer suas necessidades”. Para Barbieri (2007, p.37), a sustentabilidade “se traduz na preocupação constante com o gerenciamento e a preservação dos recursos para as gerações futuras, e um pacto inter gerencial que se expressa nas preocupações quanto ao atendimento as necessidades básicas de todos os humanos”.

Devido ao grande aumento da população nos últimos 250 anos, elevou a demanda em escala geométrica por recursos naturais devido ao crescimento do nível de exigência da sociedade, em especial das mais avançadas. Isso resultou em consumo de recursos acima do que a natureza é capaz de oferecer e, aumentou a geração de resíduos e a poluição ambiental (ALVES J., 2012).

A indústria da construção é apontada pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Há também inúmeros impactos além dos relacionados ao consumo de matéria e energia, como os associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente.

No entanto, a corrente preocupação ambiental por parte dos governos, setor privado e população, tem levado à constante procura por práticas menos agressivas ao meio ambiente. Segundo pesquisa da revista Business Week, realizada em 2006, constata-se que as próximas gerações aumentarão a demanda por itens ligados a sustentabilidade, sendo que dos

entrevistados, 89% afirmaram que escolhem marcas associadas a esse conceito (FEBRABAN, 2010).

Dentre algumas práticas, adotadas pela construção civil, menos agressivas ao meio ambiente está a utilização de resíduos, sejam eles oriundos da construção civil ou de outras indústrias, para produção de componentes a serem utilizados na própria construção civil. Alguns exemplos brasileiros de reciclagem de resíduos são: resíduos de construção e demolição (RCD), garrafas PET, vidro, polpa de bambu, fibra de coco, pneu e dentre outros.

1.1 JUSTIFICATIVA

Ninguém sabe exatamente quanto tempo um pneu demora a se decompor. Estima-se que entre 300 e 600 anos. Mas como a invenção do pneu data de meados do século XIX, ainda será preciso esperar muitos anos para saber quanto tempo a natureza realmente vai demorar a absorver esse material (GIANNECCHINI, 2005).

Segundo o CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), só no Brasil são produzidos cerca de 60 milhões de pneus por ano e quase metade dessa produção é descartada nesse período. E o resultado do descarte inadequado do pneu é um grave problema ambiental e de saúde pública, pois atua como criadouros para mosquitos transmissores de doenças e com a queima dos pneus é liberado um óleo que pode contaminar solo e água.

Diante deste contexto, alternativas para o descarte de pneus inservíveis estão sendo estudadas - sobretudo depois de 2002, quando entrou em vigor a resolução 258, editada em agosto de 1999, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A medida determina que as indústrias fabricantes e os importadores de pneumáticos descartem corretamente os pneus inutilizáveis.

No Brasil, em particular, a falta de uma consciência ecológica na indústria da construção civil resultou em prejuízos ambientais irreparáveis como: assoreamento de rios e poluição dos lençóis freáticos, agravados pelo maciço processo de migração na segunda metade do século passado, do campo para as cidades, ocasionando uma enorme demanda por novas habitações (FRAGA, 2006).

E com a preocupação ambiental em conservar as jazidas minerais e os custos elevados de alguns materiais utilizados na produção de concretos, vem fazendo com que se busquem alternativas de utilizar novos materiais na cadeia produtiva da construção civil.

Sendo assim surgiram algumas alternativas para o cumprimento da resolução 258 do CONAMA (1999), dentre elas está a utilizando de pneus inservíveis, como agregado, para a produção de concreto na indústria da construção civil. Reduzindo então a utilização de matéria prima (areia) e colaborando para o descarte do pneu inservível.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar a possibilidade da utilização de resíduos de borracha de pneu na produção de concreto, através da substituição de agregados, avaliando o seu comportamento e aptidão aos fins da engenharia civil.

1.2.2 Objetivos específicos

Realizar ensaios ao concreto com e sem adição de resíduos de borracha de pneu, e comparar os resultados, sendo eles:

- Resistência a compressão axial;
- Trabalhabilidade;
- Absorção;
- Índice de vazios;
- Massa específica.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho utilizou as seguintes metodologias:

- Revisão bibliográfica do tema proposto, através de livros, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, dentre outras referências técnicas.
- Aquisição do material pesquisado em uma empresa de recauchutagem, reciclagem e beneficiamento de resíduos de pneus;
- Especificação dos materiais empregados na pesquisa de acordo com as normas técnicas vigentes no Brasil;

- Desenvolvimento dos traços para a produção dos concretos através do método de dosagem ABCP;
- Realização dos ensaios de trabalhabilidade, conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 67/98;
- Elaboração e moldagem dos corpos de prova de acordo com os requisitos estabelecidos pela NBR 5738/03;
- Realização dos ensaios de resistência a compressão axial dos corpos de prova, conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 5739/94;
- Realização dos ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova, conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 9778/87;
- Apresentação e análise dos resultados obtidos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura desse trabalho é composta por sete capítulos, sendo que os mesmos são apresentados de forma sucinta a seguir.

O primeiro capítulo constitui a introdução ao tema estudado, a contextualização do assunto realçando a importância da reciclagem dos resíduos de pneus inservíveis. Também estão apresentados a justificativa, os objetivos e a estrutura da monografia.

O capítulo 2 apresenta a definição de sustentabilidade e a importância da responsabilidade ambiental na construção civil.

No capítulo 3 é abordado a história da borracha e o surgimento dos pneus, passando pela composição e a geração dos pneus inservíveis, apresentando os impactos pela disposição irregular e as possíveis reutilização do pneu inservível.

No capítulo 4 é discutido o concreto de cimento Portland, apresentando suas propriedades e os tipos de concreto com adição de resíduos.

O programa experimental desenvolvido para a execução da pesquisa é apresentado no capítulo 5. Aquisição do material pesquisado, caracterização dos materiais utilizados, desenvolvimentos dos traços e as características analisadas.

No capítulo 6 é apresentado os resultados através de gráficos, figuras e quadros com os valores obtidos para cada um dos concretos produzidos, juntamente com a discussão dos resultados e as análises.

E o por último o capítulo 7, apresenta as considerações finais, discorrendo sobre as possibilidades do uso deste concreto e do ganho ambiental e as sugestões para futuros trabalhos.

2 SUSTENTABILIDADE

Em 1972 durante a conferência das nações unidas sobre o meio ambiente deu início a formulação do conceito de sustentabilidade. A convenção que ocorreu em Estocolmo/Suíça reuniu representantes mundiais, empresários, governantes e membros da comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento da ONU (Organização das Nações Unidas), que na ocasião debateram ações que chamassem atenção internacional para o aumento dos problemas ambientais. Além de cobrar atitudes de instituições públicas e privadas, visando o respeito ao meio ambiente e o desenvolvimento sustentável da sociedade (REVISTA DO CEDS, 2015).

Muito se fala em desenvolvimento sustentável, entretanto é necessário reputar que não há uma teoria única e determinada pelos estudiosos e sim um agrupamento de discussões e reflexões quanto ao tema. Cavalcanti (1994a, p. 20, apud MORETTO et al, 2007) considera que “[...] não há uma economia da sustentabilidade nem uma única forma de chegar aos predicados de uma vida sustentável. Inexiste tampouco uma teoria única do desenvolvimento ecologicamente equilibrado”.

Muito antes de desenvolvimento sustentável ser discutido pelos estudiosos, o tema era analisado de uma maneira utópica e limitado aos conhecimentos adquiridos pelos ecologistas. E a partir da busca pelo entendimento mais amplo deste conceito, surgem muitas divergências entre os estudiosos, pois o pensamento acerca do assunto é muito complexo, Buarque (2006, p. 62, apud MORETTO et al, 2007) elabora uma ideia, supondo que o desenvolvimento sustentável se “[...] estrutura numa base teórica, resultante da convergência das modernas teorias científicas que estudam os sistemas complexos”. Similarmente Morin (2004, apud MORETTO et al, 2007) manifesta sua cautela ao falar de desenvolvimento sustentável, considerando que “[...] a sua essência está imbricada em um tecido de problemas inseparáveis, exigindo uma reforma epistemológica da própria noção de desenvolvimento”.

Leonardo Boff, um grande estudioso e engajado em questões ecológica, escreveu vários livros e em um de seus livros “Sustentabilidade: O que é e o que não é”, deixou seu pensamento dizendo:

Sustentabilidade é toda ação destinada a manter as condições energéticas, informacionais, físico-químicas que sustentam todos os seres, especialmente a Terra viva, a comunidade de vida e a vida humana, visando a sua continuidade e ainda a atender as necessidades da geração presente e das futuras de tal forma que o capital natural seja mantido e enriquecido em sua capacidade de regeneração, reprodução, e coevolução (BOFF, 2012).

Para melhor entender o conceito de sustentabilidade Almeida (2002) atribuí um sentido amplo à palavra “sobrevivência”. Trazendo algumas reflexões associadas a sobrevivência, ou seja substituindo a palavra sustentabilidade por sobrevivência, pois assim as pessoas a levariam mais a sério. Inicialmente, existia um conflito com os elementos naturais; e após um grande evolução para a chamada “vida moderna”, foi estabelecido um novo enfrentamento decorrente do consumo não consciente.

Brundtland (1987), fez um dos principais discursos sobre a sustentabilidade, que deram origem ao conceito de desenvolvimento sustentável, como podemos ver em um trecho abaixo:

Na sua essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, o direcionamento dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e reforçam o atual e futuro potencial para satisfazer as aspirações e necessidades humanas.

E a partir desta definição para o termo “desenvolvimento sustentável” outros autores acabaram modelando essa definição. Sachs (1993, apud KRUEL, 2010) defende a existência de cinco dimensões, ou ainda, pilares da sustentabilidade, os quais devem ser considerados simultaneamente:

- Sustentabilidade social, tem como principal objetivo, inserir conjunto de ações tendo em vista a melhoria das condições de vida da população. Onde estas ações devem minimizar as desigualdades sociais, ampliar os direitos e garantir acesso as necessidades materiais e imateriais das pessoas, tendo em vista o pleno acesso à cidadania (SACHS, 1993, apud KRUEL, 2010);
- Sustentabilidade econômica, refere-se a um desenvolvimento econômico de um país ou empresa que preserva o meio ambiente, através de um conjunto de práticas econômicas, financeiras e administrativas, garantindo assim a manutenção dos recursos naturais para as futuras gerações (SACHS, 1993, apud KRUEL, 2010);
- Sustentabilidade espacial, distribuição territorial mais equilibrada entre o rural e o urbano, com ênfase em: promover a descentralização de imigração nas regiões metropolitanas; remanejamento territorial das atividades econômicas, descentralizando as indústrias; promoção do desenvolvimento de pequenos produtores agrícolas; estabelecer uma rede de reservas naturais e de biosfera, com o intuito de proteger a biodiversidade (SACHS, 1993, apud KRUEL, 2010);

- Sustentabilidade cultural, para a busca das raízes endógenas dos modelos de modernização e sistemas rurais integrados de produção; privilegiando processos de mudança no seio da continuidade cultural e traduzindo o conceito normativo de eco desenvolvimento em uma pluralidade de soluções particulares, que respeitem as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada local (SACHS, 1993, p.27, apud KRUEL, 2010);
- Sustentabilidade ecológica, tem como objetivo a utilização de matéria prima de hoje pensando no dia de amanhã, permitindo que o desenvolvimento e a evolução transcorra sem práticas que agridam, e causem danos irreversíveis, ao planeta e a qualidade de vida (SACHS, 1993, apud KRUEL, 2010).

Assim sendo, a sustentabilidade se divide em muitas dimensões, mas que possui um vínculo de interdependência entre as diversas dimensões, construindo um sistema complexo, no qual estamos inserido (MENDES; 2009).

2.1 RESPONSABILIDADE AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A sucessiva instabilidade social e incidentes ambientais tem estabelecido em instituições a carência de se evoluírem em referência a este e declarem uma apresentação empenhada com o comprometimento com sociedade e o meio ambiente. Nos dias de hoje, as empresas tem uma grande influência na criação de uma comunidade mais compreensiva e justa em relação as suas aplicações que podem ser preferíveis em planejamentos sustentáveis.

A preocupação com o meio ambiente já permeia o dia a dia de várias empresas. Atualmente sustentabilidade e sobrevivência se tornaram sinônimos. É preciso cuidar do ecossistema para garantir a sobrevivência econômica de nossos negócios e a nossa própria qualidade de vida. Os discursos em prol do meio ambiente são exaltados e constantemente repetidos (Veículo Oficial de Divulgação da Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Ponta Grossa, 2011).

A construção civil no Brasil, mostra um retardamento no quesito compromisso sustentável, como no baixo emprego na formação e especialização dos técnicos e no uso desapropriado de materiais. Entretanto, atualmente, com as providências do Ministério do Meio Ambiente: as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, despertaram um pequeno impacto. Mas este ramo ainda necessita uma atribuição maior para o

socioambiental. As construtoras devem procurar um meio para diminuir as casualidades ambientais e proporcionar o progresso da sociedade.

Todos percebem que uma construção gera grandes resíduos, Carelli et al (2015) define que os resíduos da construção civil (RCC) são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica e etc. Na finalização da obra, nem sempre se enxerga que o lixo gerado, poderá ser reciclado e reutilizado.

As obras residenciais ou comerciais que utilizam processos construtivos convencionais, ou seja, estrutura de concreto armado associada a vedações em alvenaria com blocos de concreto ou cerâmicos, geram entre 0,10 e 0,15 m³ de Resíduos da Construção Civil - RCC /m² de área construída. Sendo 50% desse volume se referem à alvenaria, concreto, argamassas e cerâmicos; 30% à madeira; 10% ao gesso; 7% ao papel, plástico e metais; e 3% são constituídos de resíduos perigosos e outros resíduos não recicláveis, inclusive rejeitos (CARELLI et al, 2015).

Segundo Pinto (1999, apud ABRECON, 2015), o Brasil apresenta uma produção média anual de RCD de 500 kg/hab. Considerando que, pelo IBGE, o país possui em 2014 202.033.670 de habitantes e que a massa unitária do RCD é de 1200 kg/m³, estima-se que a geração anual de RCD seja de 84.180.696 m³. Sendo que apenas 5.178.000 m³ são reciclados por usinas instaladas no país (ABRECON, 2015).

O engenheiro é o técnico que liga os meios práticos, teóricos, matemáticos e econômico para resolução de questões práticas, além de produzir e transformar procedimentos, materiais, etc., de modo mais correto para atender o que é imposto pela sociedade e o ambiente.

No meio ambiente, os fatores de sustentabilidade e preservação são de suma importância para a sociedade, deste modo o Engenheiro tem um papel fundamental no desenvolvimento de ambos, pois o mesmo deve considerar os quesitos sociais que interferem na evolução da tecnologia e ciência e deve encarregar-se das suas consequências ambientais, sociais e até mesmo ética. Assim a formação do engenheiro não deve ser apenas técnica, trancado somente no seu universo, ignorando o meio ambiente, deve ser algo mais complexo

agindo de forma mais crítica e dinâmica na resolução de adversidade considerando todos fatores relacionados na execução da sua atividade.

Conforme a resolução CNE/CES 11, de 11/03/2002 da Câmara de Educação Superior, o engenheiro deve:

- Empregar noções teóricas, matemáticas, ferramentais e modernizando em engenharia
- Arquitetar e dirigir ensaios e esclarecer seus resultados para resolução;
- Arquitetar, idealizar, observar metodologia, materiais e recursos e regimes;
- Detectar, elaborar e resolver contratemplos da engenharia;
- Criar e usar instrumentos e procedimentos novos no serviço;
- Integrar e empregar a ética e o comprometimento técnico;
- Determinar os incidentes da execução da engenharia no contexto socioambiental;
- Determinar a acessibilidade financeira de planejamento de engenharia;
- Declarar a perspectiva de sempre procurar um avanço profissional.

É significativo que a comunidade requeira das empresas determinações que preservam a natureza, e da mesma forma é fundamental que os próprios técnicos no setor de engenharia civil sejam eficientes, buscando produzir planejamentos, soluções e projetos sustentáveis. Deve se levar em conta a atribuição que a universidade emprega para que o engenheiro tenha uma boa formação, desta forma as faculdades devem oportunizar aos estudantes não somente com disciplinas representativas para socioambiental mas também é necessário assimilar a outras disciplinas para não ficarem desagregadas do contexto. Desta maneira a universidade é considerada o pilar para a construção ecológica e o estímulo das atuações ecológicas adequadas do engenheiro.

Pereira et al (2013) aponta que a responsabilidade ambiental na construção civil promove as construtoras uma nova imagem no mercado. Visto que o marketing Ambiental ou Verde, de certa forma, é um processo que consiste em atividade em que buscam satisfazer suas necessidades e desejos, não prejudicando ou reduzindo impactos ao meio ambiente. Pode-se compreender que essa estratégia é capaz de levar os consumidores no sentido de adquirir um produto sustentável. Segundo pesquisa da revista Business Week, realizada em 2006, constata-se que as próximas gerações aumentarão a demanda por itens ligados a sustentabilidade, sendo que dos entrevistados, 89% afirmaram que escolhem marcas associadas a esse conceito (FEBRABAN, 2010).

3 A BORRACHA E O SURGIMENTO DOS PNEUS

A borracha natural é uma matéria orgânica que provem da coagulação do látex extraído principalmente da *Hevea brasiliensis*, árvore de origem amazônica, conhecida popularmente como seringueira. Devido as suas propriedades de permeabilidade e de elasticidade, a borracha tornou-se de grande utilidade em diversas aplicações. Índios americanos já faziam a utilização da borracha, antes da colonização europeia, eles a usavam, por exemplo, para produzir potes, calçados e bolas. No início do século 17, os espanhóis já conheciam seu processo de fabricação. Mas foi a partir do século 18, que os europeus iniciaram estudos científicos a respeito da borracha. (BACELAR, 2015).

Em 1839 já no século 19, Bacelar (2015) conta que Goodyear foi quem descobriu o processo de vulcanização, processo que consistia em cozida a borracha em altas temperaturas com enxofre. De acordo com a Associação Nacional das Indústrias Pneumáticas (ANIP, 2013), a vulcanização concebeu como um marco para o processo de industrialização mundial, pois além de preservar a elasticidade da borracha a tornava mais resistente. A descoberta desse revestimento foi um grande marco, pois foi a partir daí que em 1845, o escocês Robert Thomson inventou o pneu de borracha.

A descoberta deste revestimento trouxe muitos benefícios a sociedade, pois com o surgimento e utilização dos pneus, foi possível resolver muitos problemas, como transtornos e desconfortos que as antigas rodas feitas de aros metálicos e de madeira provocavam, e após revestirem as rodas com a nova tecnologia aumentou a segurança nas freadas e diminuiu as trepidações nos veículos (ANIP, 2013).

A inicialização da produção de pneus no Brasil ocorreu a partir da implantação do Plano Geral de Viação Nacional. Este plano foi concretizado em 1936, quando foi instalada a Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha, no Rio de Janeiro, que em seu primeiro ano de funcionamento fabricou mais de 29 mil pneus (ANIP, 2013).

Devido aos bons resultados na produção e venda de pneumáticos, grandes fabricantes do mundo se instalaram em solo brasileiro e passaram a produzir seus pneus, elevando a produção nacional para 441 mil unidades. No final dos anos 80, o Brasil já tinha produzido mais de 29 milhões de pneus. Desde então, o Brasil conta com a instalação de mais de 15 fábricas de pneus, das quais quatro internacionais: Bridgestone Firestone, Goodyear, Pirelli e

Michelin. Hoje, da produção mundial, o Brasil é o sétimo na categoria de pneus para automóveis e o quinto em pneus para caminhão/ônibus e camionetas (SINPEC, s.d.).

3.1 COMPOSIÇÃO DOS PNEUMÁTICOS

O pneu é integrado por diferentes componentes, onde cada componente é formulado para melhorar o desempenho específico, isto é, pode-se obter em um único pneumático mais de uma dezena de compostos de borracha. Pois com a finalidade de propiciar uma maior durabilidade ao pneu é necessário projetá-lo, pensando em condições extremas de uso (PINHEIRO, 2001).

Segundo Fiesp (s.d., apud PALMEIRA, 2017) o pneu de passeio tem uma composição média das seguintes matérias-primas:

- 14% de borracha natural;
- 27% de borracha sintética;
- 10% de aço;
- 28% de negro de fumo;
- 17% de produtos químicos, como óxido de zinco, ácido esteárico, enxofre (agente vulcanizador), antidegradantes, aceleradores e retardadores;
- 4% de têxtil.

O pneu é visto por grande parte da população como apenas um objeto redondo de borracha, que auxilia na locomoção de um veículo. Entretanto, o pneu é composto de diversas partes essenciais, tal como as estruturas, que contribuem para atingir o propósito de sua utilização, não sendo apenas um item de borracha, mas constituído por muitos filamentos metálicos e sintéticos, cada um garantindo uma propriedade diferente.

Na Figura 1 temos a exemplificação de cada parte da estrutura do pneu de acordo com indústria de pneus Michelin (2012).

Figura 1 - Estrutura do pneu



Fonte: Michelin, 2012

1. Revestimento de borracha interior

Este revestimento é responsável pela estanqueidade do ar, formando uma camada situada no interior do pneu, e desempenha a função de câmara-de-ar.

2. A carcaça

Parte fundamental da estrutura do pneu, é composta por fibras (têxteis ou de aço) flexíveis embutidos na borracha, que envolve o aro do talão do pneu formando arcos rectos. Empregando a seguir as camadas de lonas e de borracha que moldam o pneu.

Tem como funções: resistir a carga e a velocidade, auxiliar na estabilidade, rendimento, eficiência e conforto.

3. Zona baixa

Sua principal função é de conduzir a potência do veículo em aceleração e travagem da roda do carro para a área de contato com o solo.

4. Aro de talão

Composto por um filamento de aço inextensível de formato e dimensão, variando de acordo com o tipo e tamanho do pneu. Envolvido pela lona carcaça, fica responsável por prender e se acomodar a roda.

O seu emprego se aplica em: fixar o pneu à roda, exercer a estanqueidade do pneu, e transportar a energia do motor do veículo nos esforços de aceleração e travagem.

5. Flanco

O flanco corresponde à altura do pneu. É a região contida entre a banda de rolamento e os talões do pneu. Tem como objetivo: resistir a carga, suportar flexões mecânicas, manter o pneu ileso a atritos e agressividades, além de auxiliar no conforto e estabilidade do veículo.

6. Lonas de topo

As lonas de topo são compostas por fibras metálicas revestidas de borracha. Fica posicionada acima da carcaça gerando uma cinta que assegura uma melhor resistência mecânica do pneu, tanto a velocidade quanto a força centrífuga.

Para garantir a rigidez do topo é necessário que as fibras metálicas sejam aplicadas umas sobre as outras de forma que elas se cruzem obliquamente, formando triângulos indeformáveis. São bastantes rígidas na direção da circunferência anulando os efeitos da centrifugação e ao mesmo tempo flexíveis no sentido vertical para eliminar os efeitos provocados pelos obstáculos.

7. Lona zero grau

As lonas zero graus tem as mesmas características da lona de topo, com uma diferença entre os posicionamento das fibras, pois é posicionada no mesmo sentido da rodagem dos pneus.

8. Banda de rolamento

A banda de rolamento encontra-se em contato com o solo e é composta de uma camada de borracha com ranhuras ou desenhos para melhorar a aderência ao solo.

3.2 PNEUS INSERVÍVEIS

3.2.1 Geração

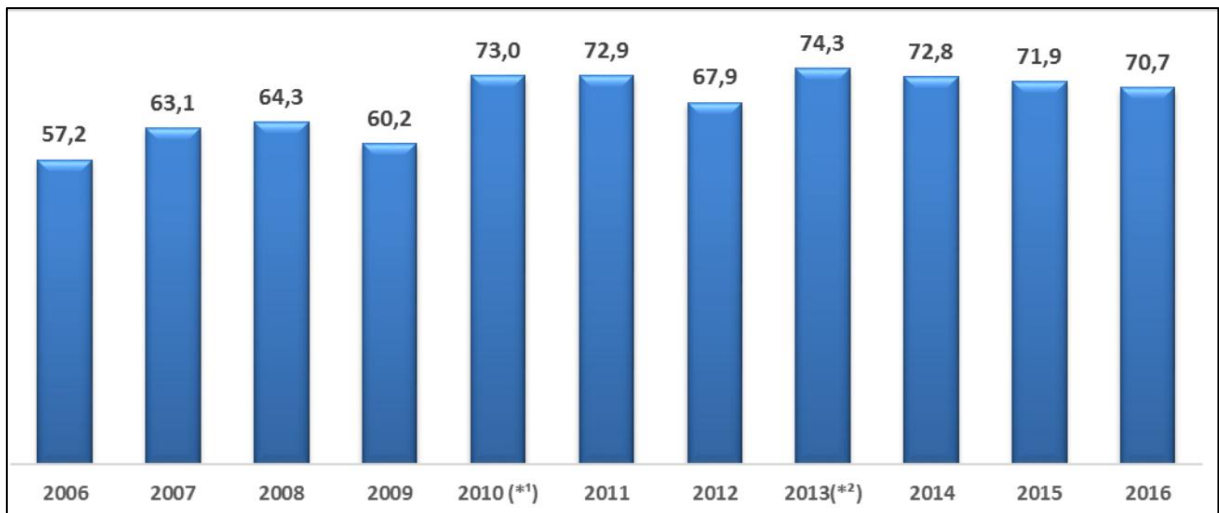
Um dilema que vem preocupando e ganhando destaque nas discursões em todo o mundo é o descarte final dos resíduos sólidos, uma vez que esse descarte não acontece de forma correta, pode provocar grandes danos a natureza e ao bem estar das pessoas, assim essa tarefa não deve ser solucionada exclusivamente pelo poder público, e sim pelo empenho e

ação conjunta com a sociedade, para tentar solucionar este problema social. (ANDRADE, 2007).

Ainda, Andrade (2017), expõe que em todos os dias milhares de resíduos sólidos chegam nos lixões, inúmeras vezes são lançados e descartados em locais impróprios, ou simplesmente são eliminados de forma inadequada, violando as leis de disposição ambientalmente adequada. Entre vários tipos de resíduos sólidos descartados pela população, um que vem preocupando e ganhando espaço na discussão entre ambientalistas, governo e sociedade são os pneus descartados que não têm mais vida útil – pneus inservíveis.

Devido ao grande aumento na produção de veículos automotores, a produção de pneus com o intuito de atender essa nova demanda, aumentou proporcionalmente a sua produção, para atender estes novos veículos e também para a reposição dos antigos. Segundo informações divulgadas pela Associação dos Fabricantes de Pneumáticos de Automóveis do Japão (JATMA, 2016), foi produzido mais de 1,5 bilhões de novos pneus em todo o mundo somente no ano de 2015. Essa mesma associação estima que o descarte anual de pneus usados atinja a marca de quase 1,0 bilhão de unidades. Só no Brasil em 2016 segundo a ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos) foram produzidos mais de 70 milhões de pneus (Figura 2), sendo 63,4% para reposição, 18,5 para exportação e 18,1% para as montadoras.

Figura 2 - Produção de pneus (milhões de unidades)



Fonte: ANIP, 2016.

Notas: (*1) Nova associada: Continental.

(*2) Nova associada: Sumitomo.

O Conselho Nacional do meio ambiente (CONAMA) define como pneu inservível “aquele que não mais se presta a processo que permita condição de rodagem adicional”. De acordo com pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 53,2% dos pneus consumidos anualmente no Brasil são considerados pneus inservíveis por não apresentarem mais condições de uso (ANIP, 2007). Do total de pneus inservíveis gerados no Brasil, apenas 68% são destinados de forma ambientalmente correta e regulamentada (CTF/IBAMA, 2016).

3.2.2 Impactos provenientes pela disposição irregular

O pneu inservível é um problema mundial, caso não seja devidamente coletado e destinado pode comprometer o meio ambiente e provocar grandes danos a sociedade, abaixo podemos observar alguns exemplos de impactos gerados pela disposição irregular dos pneus inservíveis (VELOSO, 2015):

- Saúde pública: os pneus inservíveis na ocasião em que são descartados em pilhas ou em locais não adequados, como pode ser observado na Figura 3, tornam-se propícios a criadouro de insetos, inúmeros agentes transmissores de doenças, entre eles o *Aedes aegypti*, mosquito transmissor da dengue;

Figura 3 - Pneus inservíveis descartados irregularmente



Fonte: A Tribuna, 2016.

- Incêndio: a borracha presente no pneu é altamente inflamável, a queima de pneus produz uma fumaça negra, exemplificada na Figura 4, altamente poluidora pela variedade de compostos químicos que são emitidos na

combustão, além do risco de contaminação da água, pois ao serem queimados os pneus liberam um material oleoso, derivado do petróleo.

Figura 4 – Incêndio em áreas com acúmulo de pneus inservíveis



Fonte: Pedro Armestre, 2016.

- Enchente: a Figura 5 mostra pneus inservíveis descartados no leito do rio, no qual acaba atrapalhando o fluxo natural das água, assoreando e provocando enchentes.

Figura 5 – Pneus descartados em rio



Fonte: Luciane Kawa, 2015.

3.3 APROVEITAMENTO DA BORRACHA DE PNEU

Segundo Giacobbe e Figueiredo (2008), o resíduo de pneu apresenta um lento processo de decomposição e baixa compressibilidade; carecendo de grandes áreas para armazenagem dos mesmos. Pesquisas estimam que a depender da forma de como seja condicionados na natureza, um pneu pode levar até 600 anos para se decompor totalmente na natureza (ALVES e CRUZ, 2007). Os autores explicam que esse longo período é motivado graças o avançadíssimo processo químico de fabricação do mesmo.

Sendo assim em 1999, foi publicada a resolução 258 do CONAMA que introduziu o princípio da responsabilidade do produtor e do importador pela destinação final ambientalmente adequada de pneus, surgindo então uma maior necessidade e interesse em propostas para este resíduo.

Portanto, a borracha provinda de pneu inservível passou a ser objeto de estudo de inúmeras pesquisas, dentro das mais diferentes área de interesse, onde cada setor visa aproveitar parte desse enorme potencial em inúmeras aplicações. Neste capítulo vamos ver onde e como tem-se aproveitado o resíduo proveniente de pneus inservíveis.

3.3.1 Borracha de pneu utilizada na pavimentação asfáltica

Mendes e Nunes (2009) relatam que, o estudo e o uso desse material no asfalto, começou nos Estados Unidos a mais de 40 anos e já revestiu cerca de 70% da malha viária do Arizona, comprovando assim que o asfalto borracha é uma alternativa na reciclagem dos pneus inservíveis. Já na França o uso deste asfalto ecológico começou a ser usado em 1982 tanto em autoestrada como também em pistas de aeroportos.

O asfalto borracha, pode ser aplicado sobre o pavimento antigo como uma nova camada, ou sobre uma base preparada com brita graduada especificada de acordo com o projeto de pavimentação. Este material é preparado e aplicado a quente, integrado com um material betuminoso, agregado e pó de borracha extraído de pneus inservíveis. Salini (2000) destaca que essa camada de asfalto-borracha deve “melhorar as características elásticas do pavimento, contribuir para uma maior adesão entre o cimento asfáltico e o agregado, aumentar a resistência ao envelhecimento do asfalto”.

No Brasil, os estudos se iniciaram em 1995, e as aplicações de asfalto com o pó de borracha, ilustrado na Figura 6, em rodovias começaram a ser executadas em escala comercial após o ano de 2000 (MENDES e NUNES, 2009). Morilha e Greca (2003), concluem que “O asfalto ecológico tem um custo maior quando comparado com o asfalto convencional, mas este custo a mais é plenamente justificável perante o seu benefício”.

Figura 6 – Asfalto-borracha



Fonte: Betuseal, 2015.

3.3.2 O pneu como gerador de energia

Em 1975 o pneu começou a ser utilizado como fonte geradora de energia, essa prática foi desenvolvida na Dickerhoff Cement, em Frankfurt – Alemanha. A prática consiste na queima dos pneus inservíveis em fornos para fabricação de cimentos ou mesmo em usinas termoelétricas, gerando energia, a queima de um quilograma de pneu inservível emite cerca de 8,5 kWh de energia, este valor corresponde 30% a mais de energia produzida de 1 quilo de madeira ou carvão (KAMIMURA, 2004).

Segundo Cimino (2004) o aproveitamento dos pneus inservíveis nos fornos das usinas termoelétricas, cimenteiras, fábricas de papel e celulose, apresenta algumas vantagens:

- ✓ descarta completamente o pneu inservível;
- ✓ consegue descartar uma grande quantidade de pneus inservíveis;
- ✓ reduz o consumo de combustível fóssil e matéria prima;
- ✓ dispensa qualquer tipo de preparação para a queima;
- ✓ a emissão de poluentes é menor que a do carvão e dispõe de amparo legal.

3.3.3 Artesanatos feitos com pneu inservíveis

Devido à preocupação com o descarte irregular de pneus, alguns artistas tiveram a ideia de solucionar este problema criando artesanatos como: brinquedos, balanços, obstáculos, cadeiras, esculturas, jardins e muitas outras soluções criativas exemplificadas na Figura 7 (ANDRADE, 2007).

Figura 7 – Artesanatos com reciclagem de pneus inservíveis



Fonte: Artesanato Brasil, 2016.

3.3.4 Pirólise – produção de óleo e gás

A pirólise é um processo de degradação térmica, onde o material é elevado a temperaturas acima de 1000°C, no caso dos pneus inservíveis o pneu é submetido a temperaturas elevadas com a taxa de oxigênio extremamente alta ou muito baixa, em que as moléculas que constituem esse composto é degradado em moléculas menores com pressão inferior à da atmosfera e dessa forma, sendo construídas de moléculas menores, pode ser utilizada como combustível. Durante o processo, independentemente da borracha ser exposta a uma temperatura muito alta, ela não entra combustão. “Sob temperaturas e pressão apropriadas a fração de óleo existente em algumas associações orgânicas são liberadas na forma líquida enquanto outras frações são liberadas na forma de gases voláteis” (SALINI, 2000).

Para a obtenção do óleo é necessário a condensação e decantação, para separar os materiais, após estes processos o óleo é utilizado nas indústrias químicas e também pode ser usando em petroquímicas, de modo que substitua o petróleo. “O gás que é um combustível por excelência, é consumido dentro da própria indústria. Uma vez gerado, aquece a caldeira

onde ocorre a pirólise, gerando mais gás para reaquecê-la” (SANDRONI e PACHECO, 2005).

Aqui no Brasil, a PETROSIX da Petrobrás é uma das referências de usina que utiliza a pirólise, e foi na indústria de São Mateus do Sul no estado do Paraná, com início em 1998, que passou-se a estudar e elaborar uma tecnologia de pirólise utilizando uma combinação de xisto betuminoso e pneus inservíveis para gerar óleo e gases combustíveis. “A empresa mistura 5% de pneus picotados a 95% de xisto betuminoso em seu processo de pirólise, que resulta em derivados do petróleo. A cada 100 quilos de pneus a produtora consegue extrair 50 quilos de óleo” (LOJUDICE, 2002).

3.3.5 Construção de barragens e muros de arrimo

O uso de pneus inservíveis em muros de contenção não exige mão de obra especializada nem grandes maquinários. Tem como função conter barragens e muros de arrimos, a estrutura é composto por faixas de pneus horizontais com espaçamento na vertical interligada através de cabos metálicos, onde essas camadas de pneus são preenchidas com solo (SALINI, 2000).

Podemos observar na Figura 8 um exemplo de muro de arrimo feito com pneus inservíveis.

Figura 8 – Muro de arrimo de pneus



Fonte: Doce obra, 2016.

4 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Os desafios impostos pela necessidade de crescimento do país, com oferta de vida digna para todos seus cidadãos, com geração de empregos de qualidade, necessitam de um amplo crescimento de obras de infraestrutura, além da manutenção de todas as edificações existentes. Sem dúvida, o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. (MARQUES FILHO, 2010)

Para Metha e Monteiro (1994), a ampla utilização do concreto nos dias de hoje se deve a uma sucessão de vantagens, entre elas, pode-se mencionar a alta resistência a compressão que o material atinge em pouca idade, além disso, é um material que resiste bem ao desgaste mecânico e a ação de agentes atmosféricos, o que o torna ideal para utilização em praticamente qualquer tipo de ambiente agressivo. Ainda sobre vantagens, pode-se dizer que o concreto permite grande variabilidade de formas e de concepções além de ter vida longa.

No Brasil, assim como em outros países do mundo, o concreto tem um papel de destaque sendo o principal e mais consumido material de construção. Com 71 milhões de toneladas de cimento produzidas no Brasil em 2014 (SNIC, 2014), é possível estimar-se que são consumidos a cada ano mais 362 milhões de toneladas de produtos à base de cimento.

Segundo Petrucci (1978),

o concreto hidráulico é um material de construção constituído por mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. Quando recém misturado, deve oferecer condições tais de plasticidade que facilitem as operações de manuseio indispensável ao lançamento nas formas, adquirindo, com o tempo, pelas reações que então se processarem entre aglomerante e água, coesão e resistência.

Os materiais básico que constituem o concreto são:

- cimento;
- agregado graúdo;
- agregado miúdo;
- água.

Além da possibilidade de contar com aditivos, fibras, pigmentos, adições minerais, e agregados especiais, dos quais a utilização se torna cada vez mais comum nos concretos atuais.

4.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO

O conhecimento das características e propriedades do concreto é de fundamental importância para compreender o seu comportamento. O concreto possui duas fases distintas, sendo que a primeira fase, denominada de concreto fresco, compreende um período de tempo muito curto, em geral da ordem de 1h a 5h. Essa fase refere-se ao intervalo de tempo necessário para que o concreto possa ser misturado, transportado, lançado e adensado. A segunda fase, denominada de concreto endurecido, inicia-se com a hidratação do cimento e conseqüente endurecimento do concreto, estendendo-se por toda a vida da estrutura (HELENE e ANDRADE, 2010). Dentre as propriedades mais frequentemente analisadas podem ser destacadas:

4.1.1 Propriedades no estado fresco

A trabalhabilidade do concreto fresco é de suma importância nas propriedades finais do concreto endurecido, como resistência e durabilidade, determinando a capacidade com o qual um concreto pode ser trabalhado sem segregação prejudicial. É fundamental alcançar a maior massa específica possível, através de uma trabalhabilidade suficiente para se obter um adensamento “teoricamente” total (METHA e MONTEIRO, 1994).

É possível dizer que para obter uma boa trabalhabilidade deve-se levar em consideração vários fatores que a interagem: a parcela de água, o perfil e a granulometria dos agregados, a relação água/cimento, a adição de aditivos e o módulo de finura do cimento. O fator determinante na trabalhabilidade é o teor de água presente na mistura, dado que a simples incorporação da água na mistura, é ampliada a lubrificação entre as partículas. Contudo, para se alcançar excelentes condições de mínimo de vazios ou um maior adensamento sem segregação, a influência do tipo de agregado e da granulometria deve ser considerada (TREVIZANI, 2013).

A Associação Brasileira de Cimento Portland expressa que um concreto dosado para atingir uma trabalhabilidade ideal, tem como resultado três características:

- Propensão a um melhor adensamento do concreto, reduzindo o número de vazios;

- Melhor aptidão na moldagem, relativa ao preenchimento da fôrma e cobrindo os espaços entre as barras de aço;
- Resistência à segregação e preservação da homogeneidade da mistura, durante manejo e adensamento.

Nenhum ensaio tem qualificação para proporcionar uma avaliação completa da trabalhabilidade do concreto Neville (1997). Entretanto foram desenvolvidos alguns ensaio para relacionar a trabalhabilidade com grandezas físicas obtidas, dentre eles o mais conhecido, que mede a consistência do concreto, NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, intitulado como Slump Test. O abatimento do concreto é uma das medidas de referência das características do concreto, motivo pelo qual seu valor costuma ser especificado no traço do concreto.

4.1.2 Propriedades no estado endurecido

4.1.2.1 Resistência a compressão axial

A resistência à compressão axial é a característica mais importante de um concreto. Ela dá uma percepção da qualidade do concreto, pois está diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada (MEHTA e MONTEIRO, 1994). É determinada em corpos de prova padronizados para possibilitar que resultados de diferentes concretos possam ser comparados.

Freitas (2013) listou os principais fatores que influenciam na resistência aos esforços mecânicos do concreto são:

- relação água/c;
- idade;
- tipo e granulometria dos agregados;
- tipo e consumo de cimento;
- cura do concreto;
- uso de aditivos, entre outros.

A NBR 5738 (ABNT 2003), define que os corpos de prova cilíndricos devem possuir uma relação altura/diâmetro igual ou maior do que 2 (em geral, adota-se uma relação igual a 2). Quanto a resistência à compressão do concreto é determinada através de ensaios padronizados de curta duração (carregamento rápido). Em geral, os ensaios são realizados na idade padrão de 28 dias, convencionando-se que esta é a idade em que a estrutura deverá entrar em carga.

Em razão dos efeitos de natureza aleatória, como a falta de homogeneidade da mistura, níveis de compactação diferentes para corpos de prova diferentes, dentre outros, verifica-se experimentalmente uma razoável dispersão dos valores da resistência obtidos em um grupo de corpos de prova. Assim, considerando que a resistência do concreto, f_c , é uma variável. A resistência característica é um valor tal que existe uma probabilidade de 5% de se obter resistências inferiores à mesma (ARAÚJO, 2001).

4.1.2.2 Absorção, índice de vazios e massa específica

O concreto é um material que, por suas características de constituição, apresenta índice de vazios em seu interior (MAGALHÃES, s/d). Dentre os fatores que contribuem no aumento da porosidade podem ser ressaltado:

- A ocorrência de ser adicionar mais água do que o necessário para a hidratação do cimento para fornecer uma maior trabalhabilidade ao concreto. Esta água em excesso evapora, deixando vazios;
- Uma quantidade considerável de ar é incorporada ao concreto durante a mistura e adensamento, aumentando o índice de vazios.

A absorção tem ligação direta ao índice de vazios, em virtude destes poros formados no interior do concreto é estabelecido ligações entre si, atribuindo ao concreto uma maior absorção de água. Mesmo que haja um bom adensamento o índice de vazios nunca vai ser zero, ou seja, não existe um concreto totalmente impermeável, no entanto a redução da porcentagem de absorção do mesmo deve ser buscada. A absorção é a propriedade que identifica a capacidade do concreto absorver água através dos matérias constituintes e do número de vazios (NEVILLE, 1997).

Segundo Neville (1997), os resultados do ensaio de absorção de um concreto não é capaz de ser um parâmetro de qualidade do concreto, porém ele destaca que os concretos com uma boa qualidade devem possuir uma absorção inferior a 10%. O American Concrete Institute (2010) define que uma amostra de concreto é considerada porosa, quando o índice de vazio deve ter entre 15% e 35% de seu volume total, ou seja, para que um concreto comum tenha uma absorção admissível, deve-se obter resultados inferiores a 15% de absorção.

A massa específica do concreto endurecido depende de muitos fatores, principalmente da natureza dos agregados, da sua granulométrica e do método de compactação empregado. Será tanto maior quanto maior for o peso específico dos agregados usados e tanto maior quanto mais quantidade de agregado graúdo contiver (ALMEIDA L., 2002). A NBR 6118 (ABNT, 2003) dispõem que os concretos de massa específica normal, possuem massas compreendida entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 .

4.2 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS

O concreto com adição de resíduos, denominado “concreto ecológico” surgiu da necessidade de reutilizar materiais descartados da área da construção civil e de outras indústrias, buscando alternativas mais baratas e ecologicamente corretas para o uso do concreto. Na fabricação dos concretos ecológicos é possível utilizar diversos materiais que seriam descartados, entre esses resíduos vamos apresentar e discutir alguns.

4.2.1 Concreto com resíduos de construção civil - RCD

Os resíduos de construção e demolição (RCD) representa uma parcela considerável dos resíduos sólidos gerados pela população brasileira, correspondendo em torno de 50% dos resíduos sólidos urbanos. A reciclagem do RCD para a produção de agregados reciclados tem se tornado uma prática cada vez mais comum, particularmente em cidades onde há uma inacessibilidade ou escassez de agregados naturais, proporcionando altos custos para adquiri-los (CABRAL et al, 2009).

Dentre os diversos constituintes do RCD, Cabral et al (2009), estudou a cerâmica vermelha, procedente de restos de tijolos e telhas cerâmicas descartados durante a execução da obra, como pode ser visto na Figura 9, esse material foi escolhido devido a sua

considerável parcela destes resíduos da construção civil. Os resultados obtidos por meio dos ensaios de resistência à compressão, apontaram que a substituição do agregado miúdo natural pelo miúdo reciclado há um aumento da resistência e para a substituição do agregado graúdo natural pelo graúdo reciclado, uma redução.

Figura 9 – Resíduos de cerâmica vermelha



Fonte: Revista Meio Ambiente, 2016.

Barbosa et al (2011), estudou a substituição do agregado pelo rejeito de mármore, os resultados obtidos no ensaio de resistência a compressão axial mostraram que o concreto ganhou 0,5MPa a mais que o concreto comum, o autor atribui esse aumento a baixa porosidade do rejeito de mármore.

A Figura 10 mostra o rejeito de mármore antes do trituramento para ser utilizado como agregado no concreto.

Figura 10 – Rejeito de mármore



Fonte: Ricardo Rabahi, 2016.

Gonçalves (2001), apresenta uma possibilidade na utilização de resíduos de concreto, apresentado na Figura 11, como substituto do agregado natural. Durante o seu estudo experimental, foi possível constatar que os agregados de concreto reciclado apresentavam uma massa específica menor e teor de absorção de água maior que o agregado natural. Gonçalves (2001) explica que “quando somente houve a substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado, a resistência foi até um pouco maior que a do concreto padrão”, e já na substituição do agregado miúdo reciclado, a sua resistência caiu drasticamente. E ainda ele conclui que a utilização do material é satisfatória, porém se deve ter um controle nas dosagens e realizar ensaios com os materiais para uma maior confiabilidade.

Figura 11 – Resíduo de concreto



Fonte: Jonas Silva, 2011.

4.2.2 Concreto com adição de garrafa PET

Segundo estudos realizados por Meneses (2011), o concreto com fibras de garrafa PET apresentaram um ganho de resistência em comparação com o concreto padrão, esse ganho de resistência foi provocado pela geometria (plana) da fibra de PET. A autora também explica que o abatimento do concreto com fibras é maior, ou seja há uma trabalhabilidade maior devido a sua geometria.

Correa e Santana (2014), estudaram a substituição do agregado miúdo natural por pó de PET moído, e para a caracterização deste concreto foram realizados ensaios de compressão, densidade, e absorção de água. No ensaio de compressão foi verificado que a

resistência do concreto com pó de PET sofre uma perda na resistência a compressão de 30% em relação ao concreto padrão. O autor explica que isso se deve a porosidade interna. No ensaio de densidade, o concreto com o PET teve uma densidade inferior ao concreto padrão, como esperado. E por último o autor explica que o índice de absorção de água do concreto com PET é maior devido as hidrofílicas do PET.

Na Figura 12 é possível observar a transformação da garrafa PET para fibra e em seguida para o pó.

Figura 12 – Resíduo de garrafa PET



Fonte: Altair Santos, 2015a.

4.2.3 Concreto com adição de resíduos de vidro

Righi et al (2012) estudou o concreto com vidro moído, realizando ensaios de resistência à compressão simples à temperatura ambiente e também elevando a altas temperaturas para analisar seu comportamento. Os corpos-de-prova cilíndricos utilizados foram de 10 x 20 cm, e com 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e até 100% da substituição parcial de quantidade de agregado miúdo natural por vidro moído. Após os experimentos foi possível verificar que a substituição do agregado por vidro provocou perda de resistência com valores até 15% e na adição de 100% de uso do agregado de vidro moído a resistência foi superior ao concreto padrão. Os autores atribuem esse resultado a elevação do teor de finos na mistura.

Lopez e Azevedo (2003) obtiveram resultados significativos, em seus estudos eles mostraram uma propensão no aumento da resistência por ruptura axial, ligada diretamente com a elevação da granulometria do vidro moído, até atingir a granulometria entre 0,15 – 0,30 mm, a seguir a tensão de resistência vai diminuindo até manter-se num patamar, porém, superior a resistência do corpo de prova padrão. E ainda concluem que “este aumento da tensão média poderia ser causado pelo preenchimento de vazios pelo vidro fino. Os espaços

entre os agregados utilizados, principalmente entre a areia, estariam sendo ocupados pelo vidro, fazendo com que o material fique mais resistente”.

A Figura 13 demonstra a realização do ensaio de granulometria do vidro moído.

Figura 13 – Ensaio de granulometria do vidro moído



Fonte: Altair Santos, 2015b.

4.3 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS

Reconhecidamente, a indústria da construção civil tem a função essencial para a produção dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. O Conselho Internacional da Construção (CIB) indica a construção civil como o âmbito de atividades industriais que mais consome recursos naturais e consome energia de modo intensivo, produzindo significativos impactos ambientais.

Na tentativa de diminuir os impactos ambientais ocasionados pela construção civil, surge o paradigma da construção sustentável. É onde entra os estudos da utilização de resíduos de borracha de pneu em concretos de cimento Portland. Assim, são vários trabalhos que visam além das contribuições ao meio ambiente, proporcionar enriquecimento de diferentes propriedades aos materiais de cimento Portland, sejam pastas, argamassas ou concretos.

Boaventura (2011) realizou a pesquisa com o intuito de demonstrar que a utilização de resíduos de pneus inservíveis é tecnicamente viável. E para isso o autor realizou diversos ensaios laboratoriais, como trabalhabilidade, coesão e resistência a ruptura axial. Foi optado fazer os testes com 5%, 10% e 15% de substituição do agregado por resíduos de pneus. No ensaio de abatimento, foi analisado que quanto maior o teor de agregado substituído, maior é

a sua trabalhabilidade. Foi apresentado uma boa coesão a todos os concretos estudados. Com a análise dos resultados obtidos com a ruptura, foi possível identificar que quanto maior a substituição do agregado a menor é a resistência a compressão. “Com base nas considerações efetuadas, pode-se depreender que o teor ótimo de substituição situa-se no intervalo entre 5 e 10%”

O CAD manifesta um comportamento de ruptura frágil, característica esta que não é desejável, Martins (2005) verificou que os estudos de concreto com adição de resíduos de borracha de pneu apresentavam uma redução na resistência a compressão, entretanto a sua tenacidade era superior ao concreto comum. Com essa sustentação, Martins iniciou sua pesquisa e experimentos para analisar a performance do concreto de alto desempenho com adição de resíduo de borracha de pneu.

Martins (2005) observou que realmente a adição da borracha de pneu reduz os valores de resistência a compressão, porém ele lista algumas vantagens no uso do concreto com resíduos de pneu:

- Módulo de elasticidade acima dos 50GPa, aos 91 dias;
- Maior tenacidade em relação ao CAD;
- Sua resistência ao impacto foi superior de 11% a até 26% a do CAD;
- E ainda demonstrou maior resistência à abrasão do que um concreto de alta resistência, com resistência à compressão equivalente.

O estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha foi estudado por Freitas (2007) com o propósito de aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas. Através do ensaio de abrasão pelo método submerso, ela pode analisar que os concretos preenchidos com a borracha do resíduo de pneu apresentaram pouco desgaste pela abrasão em relação com o concreto de referência que apresentou um desgaste muito elevado.

Os estudos realizados por Segre (1999) comprovaram a viabilidade na utilização resíduos de borrachas de pneus em materiais de engenharia. Ainda baseado nas afirmações da autora, a mistura de borracha de pneu moída e pasta de cimento resulta num composto resistente à abrasão e à flexão, propriedades consideradas formidáveis do ponto de vista mecânico desses materiais.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1 AQUISIÇÃO DO MATERIAL PESQUISADO

Para a realização do procedimento de recauchutagem, o pneu passa por um processo chamado *Buffering*, que consiste na raspagem mecânica da banda de rolagem (explicado no item 3.1) por intermédio de cilindros metálicos (Figura 14). Este processo acarreta em uma “chuva” de borracha que se espalha pelo piso da indústria reformadora. O material aplicado nessa pesquisa foi adquirido em uma empresa reformadora de pneus na cidade de Anápolis, no estado de Goiás. A coleta foi realizada pela própria empresa seguindo prescrições contidas na NBR 10007/2004 – Amostragem de resíduos sólidos.

Figura 14 – Raspagem mecânica do pneu



Fonte: Bonin, 2015.

Para a utilização do resíduo de pneu, foi efetuado duas etapas de beneficiamento. Na primeira etapa o resíduo de pneu passou por uma inspeção visual com o objetivo de retirar manualmente todos e quaisquer materiais indesejáveis, como pode ser visto na Figura 15, provenientes do processo de raspagem ou do piso onde foi previamente armazenado. Posteriormente, foi realizado a peneiração com auxílio do peneirador mecânico, para extrair e remover o resíduo de pneu retido na peneira #4,75 mm (Figura 16), pois são considerados grãos. Realizadas as etapas de beneficiamento, o material foi separado, de acordo com as granulometrias propostas no item 5.3.4, e armazenado em local seco.

Figura 15 – Materiais indesejáveis provenientes do processo de raspagem



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 16 - Resíduo de pneu retido na peneira #4,75 mm



Fonte: Próprio autor, 2017.

Para que a utilização do resíduo de pneu permaneça sustentável e não acrescente custo na produção do concreto na indústria da construção civil, foi determinado que o resíduo de pneu não passe por nenhum tipo de tratamento antes da incorporação no concreto. Esta opção foi tomada com base nas recomendações de Boaventura (2011).

5.2 ESTUDO DE DOSAGEM

O estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland é compreendido como os procedimentos essenciais ao melhor proporcionalmente dos materiais que constituem o concreto, denominado traço. Esse proporcionamento adequado pode ser expresso em massa

ou em volume, sendo preferível e mais adequado expressar a proporção dos materiais em massa seca (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Tutikian e Helene (2011) recordam que no Brasil existe uma extensa bibliografia que aborda métodos de dosagens, entretanto não existe uma norma ou texto padrão definindo o estudo de dosagem. E com a ausência de uma concordância nacional consolidada em apenas uma norma brasileira com relação aos parâmetros e procedimentos de dosagem tem motivado aos pesquisadores a determinar seus próprios métodos de dosagem.

O método escolhido como base foi o método experimental ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para concretos fluidos, este método foi fundamentado no método ACI (American Concrete Institute), ou seja, é uma adaptação prática do método americano para agregados brasileiros. A escolha deste método foi feita pois se apresenta bastante simples e eficiente, além de ser um dos métodos mais utilizados pelas concreteiras da região.

5.2.1 Características dos materiais utilizados

5.2.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado na elaboração dos traços foi o CP II-F-40 obtido na usina da região, o cimento foi armazenado em local seco e bem protegido preservando a qualidade, seguindo as especificações da NBR 11578/1991 - Cimento Portland composto.

O cimento Portland composto é designado por siglas que correspondem às adições e às suas classes de resistência, o CP II-F-40 contém adição de filer calcário e tem classe de resistência 40Mpa como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Teores dos componentes do cimento Portland CP II-F-40

Sigla	Classe de resistência	Clínquer + sulfatos de cálcio (%)	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático (%)
CP II-F	40	94-90	-	-	6-10

Fonte: NBR 11578, adaptado (ABNT, 1991).

O cimento Portland CP II-F-40 atende às exigências químicas indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 –Exigências químicas CP II-F-40

Determinações químicas	Limites (% da massa)
	CP II-F
Resíduo insolúvel (RI)	$\leq 2,5$
Perda ao fogo (PF)	$\leq 6,5$
Óxido de magnésio (MgO)	$\leq 6,5$
Trióxido de enxofre (SO ₃)	$\leq 4,0$
Anidrido carbônico (CO ₂)	$\leq 5,0$

Fonte: NBR 11578, adaptado (ABNT, 1991).

O cimento Portland CP II-F-40 atende às exigências físicas e mecânicas indicadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Exigências físicas e mecânicas do cimento CP II-F-40

Características e propriedades		Unidade	Limites de classe
			40
Finura	Resíduo na peneira 75 μ m	%	$\leq 10,0$
	Área específica	m ² /kg	≥ 280
Tempo de início de pega		h	≥ 1
Expansibilidade a quente		mm	≤ 5
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	$\geq 15,0$
	7 dias de idade	Mpa	$\geq 25,0$
	28 dias de idade	Mpa	$\geq 40,0$

Fonte: NBR 11578, adaptado (ABNT, 1991).

Para o método de dosagem ACBP é necessário conhecer três características do cimento para determinar o traço, são elas:

- Tipo de cimento: CP II-F-40;
- Massa específica: 3500 kg/m³;
- Resistência aos 28 dias: 40Mpa.

5.2.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na produção dos concretos foi a Brita 0 e possui dimensão máxima característica igual a 12,5 mm. Esse agregado foi caracterizado de acordo com as normas técnicas vigentes. Os resultados de caracterização da brita empregada no estudo e a metodologia de cada ensaio está ilustrada no Quadro 4.

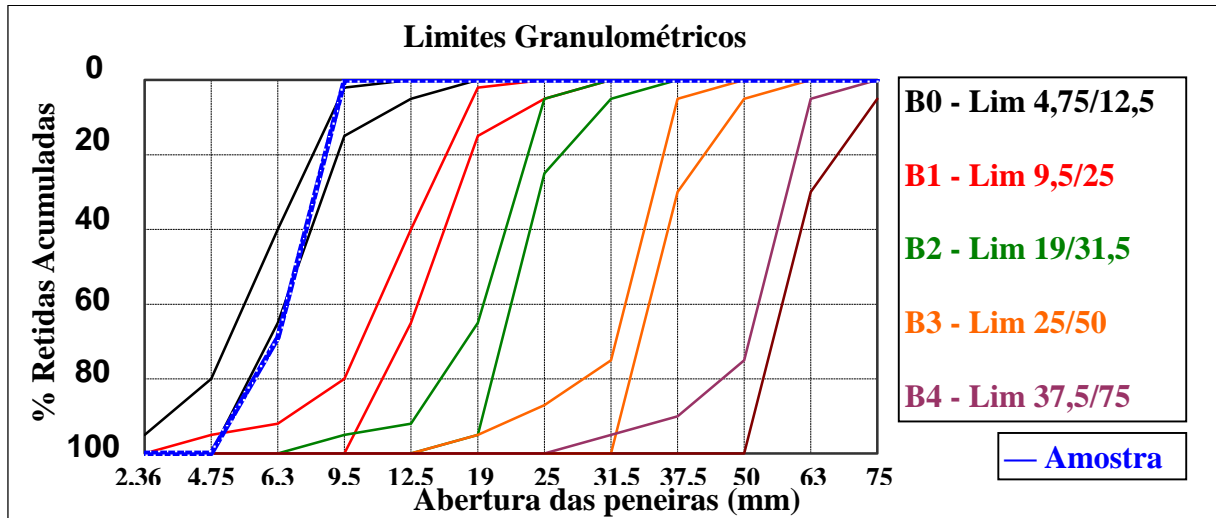
Quadro 4 - Resultado da caracterização do agregado graúdo

Ensaio	Resultados		
Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248/2003)	Massa retida (g)	% retidas	
		Simples	Acumuladas
Peneiras (mm)			
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
4,75	6890	68,9	68,9
2,36	3105	31,1	100,0
Prato	0	0	100,0
TOTAIS	9995	100	-
Dimensão máxima característica	12,5 mm		
Módulo de Finura	5,69		
Massa específica (NBR NM 53/ABNT, 2002)	2770 kg/m ³		
Massa unitária (NBR 7251/ABNT, 1982)	1535 kg/m ³ ;		
Material pulverulento (NBR NM 46/ABNT, 2003)	0%		

Fonte: Próprio autor, 2017.

A curva granulométrica do agregado graúdo utilizado para o desenvolvimento dessa pesquisa, juntamente com os limites inferiores e superiores para agregados graúdos prescritos pela ABNT NBR 7211/NM 248 encontra-se representada no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Próprio autor, 2017.

Para o método de dosagem ACBP é necessário conhecer quatro características do agregado graúdo para determinar o traço, são elas:

- Análise granulométrica: dentro dos limites prescritos pela norma;
- Dimensão máximo: 12,5 mm;
- Massa específica: 2770 kg/m³;
- Massa unitária compactada: 1535 kg/m³;

5.2.1.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na produção dos concretos foi à areia lavada do tipo média. Esse agregado foi caracterizado de acordo com as normas técnicas vigentes. Os resultados de caracterização da areia empregada no estudo e a metodologia de cada ensaio está ilustrada no Quadro 5.

Quadro 5 - Resultado da caracterização do agregado miúdo

(Continuação)

Ensaio	Resultados		
	Massa retida (g)	% retidas	
Peneiras (mm)		Simplex	Acumuladas
9,5	0,0	0,0	0,0

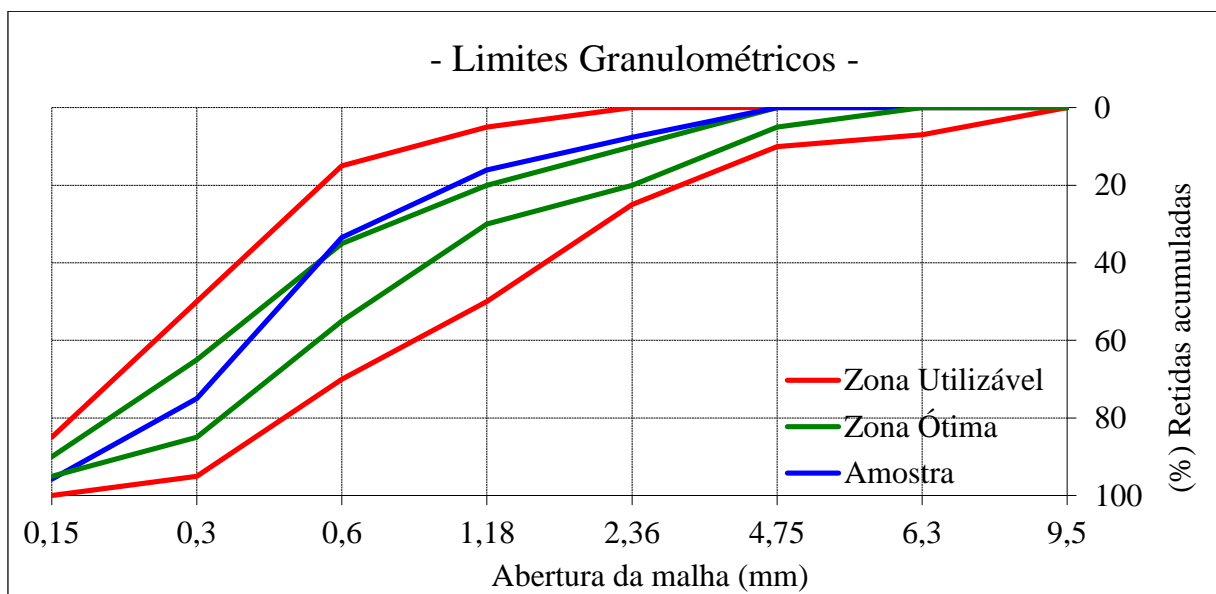
Quadro 5 - Resultado da caracterização do agregado miúdo

(Conclusão)

6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	38,1	7,6	7,6
1,18	42,1	8,4	16,0
0,600	87,2	17,4	33,5
0,300	207,3	41,5	74,9
0,150	104,1	20,8	95,8
Prato	21	4,2	100,0
TOTAL	499,8	100,0	-
Dimensão máxima característica	4,75 mm		
Módulo de Finura	2,28		
Massa específica (NBR NM 52/ABNT, 2002)	2460 kg/m ³		
Massa unitária (NBR 7251/ABNT, 1982)	1465 kg/m ³		

Fonte: Próprio autor, 2017.

A curva granulométrica do agregado miúdo utilizado para o desenvolvimento dessa pesquisa, juntamente com os limites inferiores e superiores para agregados miúdos prescritos pela ABNT NBR 7211/NM 248 encontra-se representada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo

Fonte: Próprio autor, 2017.

Para o método de dosagem ACBP é necessário conhecer quatro características do agregado graúdo para determinar o traço, são elas:

- Análise granulométrica: dentro dos limites prescritos pela norma;
- Módulo de finura: 2,28;
- Massa específica: 2460 kg/m³;
- Massa unitária compactada: 1465 kg/m³.

5.2.1.4 Resíduo de pneu

Quanto à caracterização granulométrica, devido grande parte deste resíduo de borracha de pneu apresentar formato alongado (tipo fibra), fica difícil determinar a sua granulometria como ocorre para os agregados usuais uma vez que suas partículas não são na totalidade de tipo granular, contudo foram submetidos à análise granulométrica tradicional, a qual foi caracterizado. Os resultados de caracterização do resíduo de borracha do pneu empregada no estudo e a metodologia de cada ensaio estão ilustrados no Quadro 6.

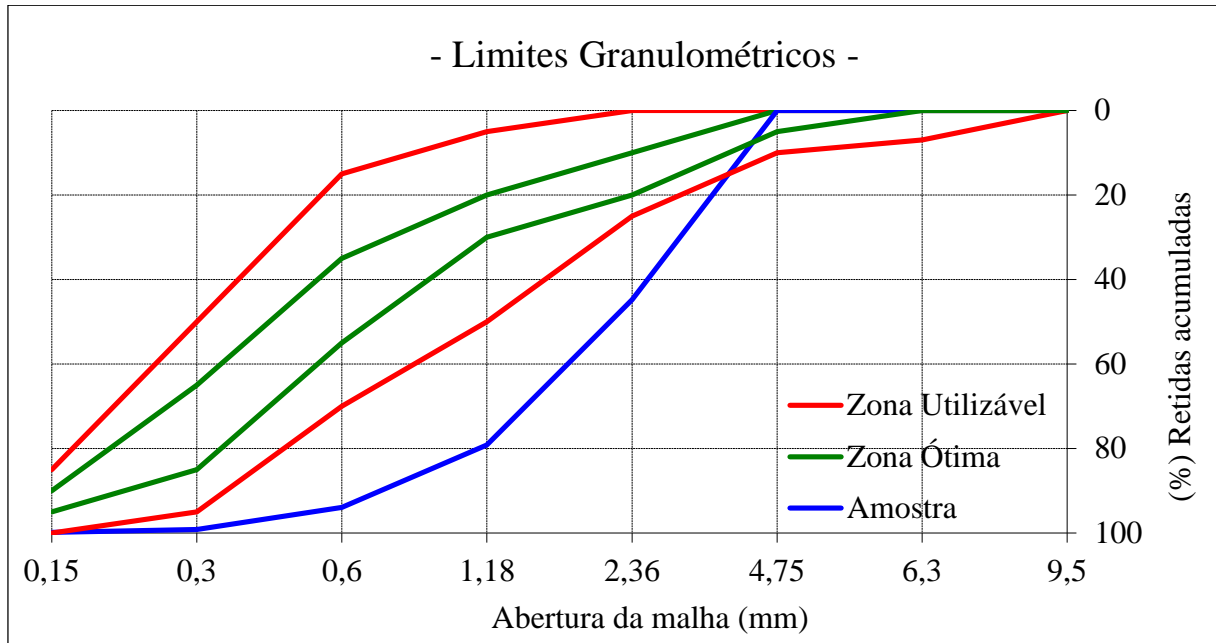
Quadro 6 - Resultado da caracterização do resíduo de pneu

Ensaio	Resultados		
Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248/2003)	Massa retida (g)	% retidas	
Peneiras (mm)		Simplex	Acumuladas
9,5	0,0	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	224,1	44,8	44,8
1,18	171,7	34,3	79,2
0,600	74	14,8	94,0
0,300	26,2	5,2	99,2
0,150	3,2	0,6	99,8
Prato	0,6	0,1	100,0
TOTAL	499,8	100,0	-
Dimensão máxima característica	4,75 mm		
Comprimento máximo	2,5 cm		
Módulo de Finura	4,17		
Massa específica (NBR NM 52/ABNT, 2002)	Borracha total	450 kg/m ³	
	Borracha média	400 kg/m ³	
	Borracha fina	455 kg/m ³	

Fonte: Próprio autor, 2017.

A curva granulométrica do resíduo de pneu utilizado para o desenvolvimento dessa pesquisa, juntamente com os limites inferiores e superiores para agregados miúdos prescritos pela ABNT NBR 7211/NM 248 encontra-se representada no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Curva granulométrica do resíduo de pneu



Fonte: Próprio autor, 2017.

Outra forma de complementar a análise granulometria é o registro fotográfico, através dele é possível realizar a análise visual. As Figuras 17 a 22 apresentam o resíduo retido nas peneiras.

Figura 17 – Resíduo retido na peneira #2,36 mm



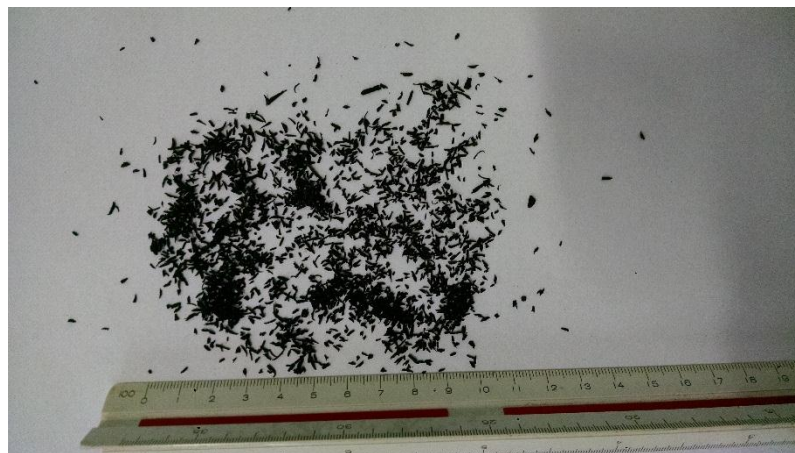
Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 18 – Resíduo retido na peneira #1,18 mm



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 19 – Resíduo retido na peneira #0,600 mm



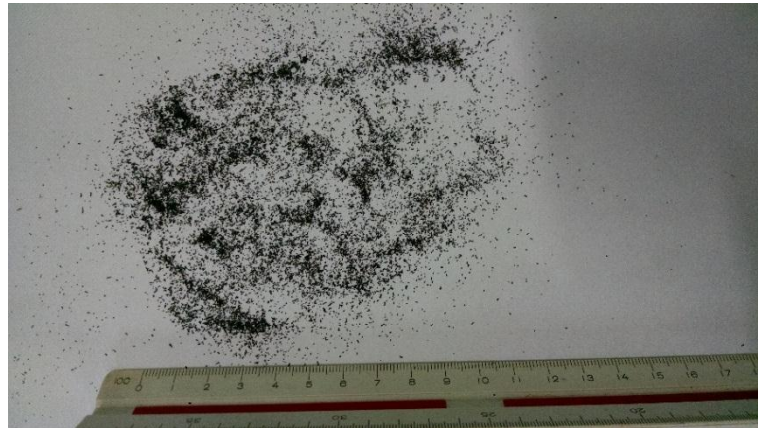
Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 20 – Resíduo retido na peneira #0,300 mm



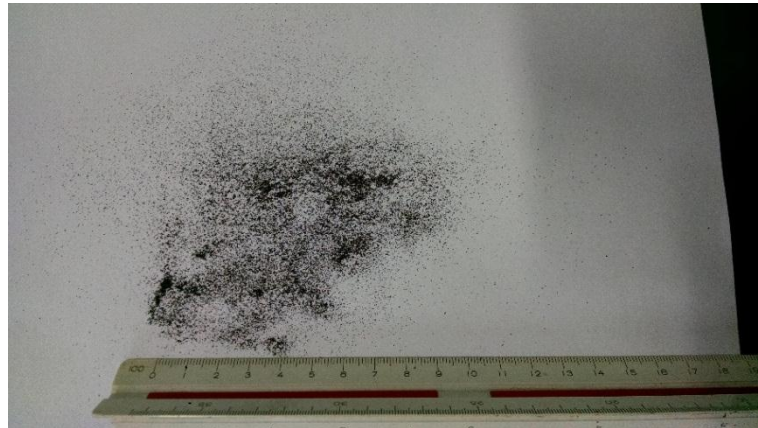
Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 21 – Resíduo retido na peneira #0,150 mm



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 22 – Resíduo retido no prato



Fonte: Próprio autor, 2017.

5.2.1.5 Água de amassamento

Utilizou-se água potável proveniente da rede de tratamento público da cidade de Anápolis, GO.

5.3 DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS

5.3.1 Determinar relação água/cimento (a/c)

Determinar a resistência da dosagem do concreto em função do desvio padrão aos 28 dias (Equação 1). Dados necessários:

- Resistência normal do cimento aos 28 dias = 40 MPa;
- Resistência requerida do concreto aos 28 dias = 25 MPa;
- Desvio padrão = 4 MPa (condição “A” segundo a NBR 12655/2015).

$$F_{c28} = F_{ck} + 1,65 * sd \quad (1)$$

Onde:

F_{ck} = resistência requerida do concreto aos 28 dias;

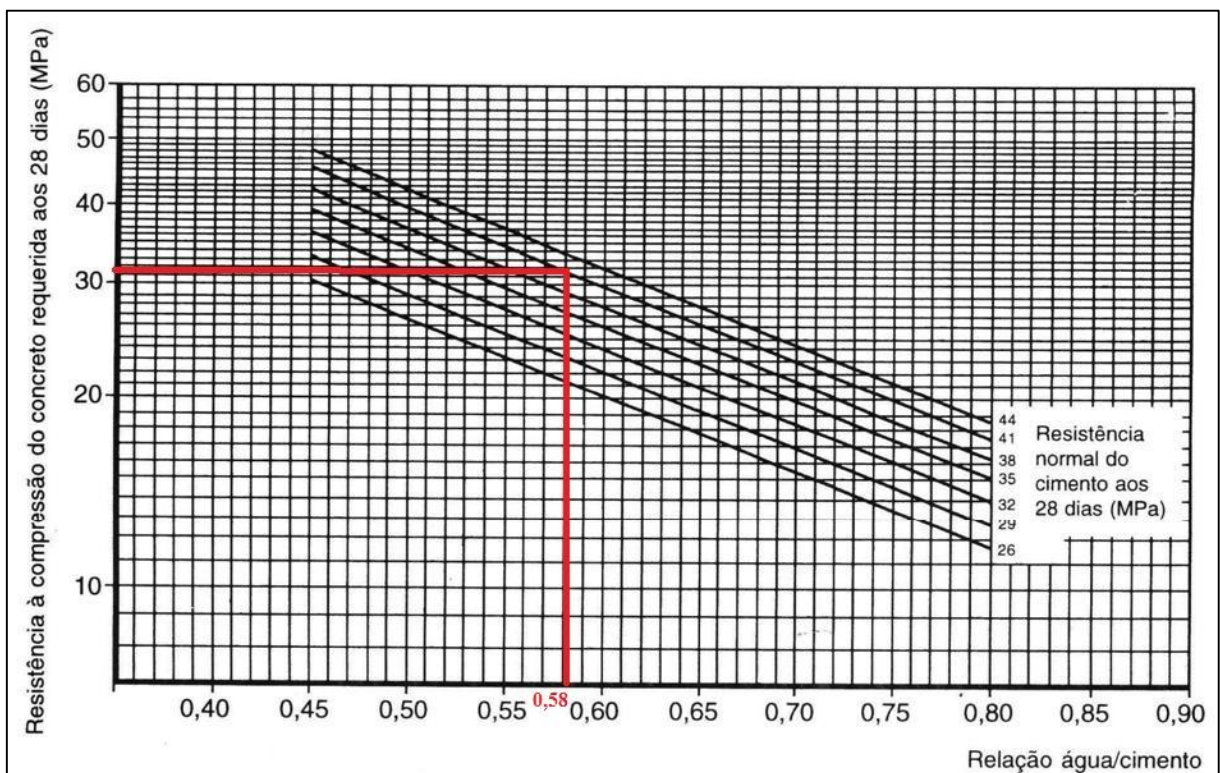
sd = desvio padrão.

$$F_{c28} = 25 + 1,65 * 4$$

$$F_{c28} = 31,6 \text{ MPa}$$

Com esses valores entrar no gráfico das curvas Abrams do cimento (Figura 23), e extrair a relação a/c.

Figura 23 - Curva de Abrams do cimento



Fonte: Rodrigues, 1998.

Portanto o fator $a/c = 0,58$.

5.3.2 Determinar o consumo de materiais

5.3.2.1 Determinação do consumo de água (Ca):

Para determinar o consumo de água é necessário a escolha da brita e do abatimento desejado. Foi escolhido a Brita 0 e abatimento de 80 mm para o desenvolvimento do traço.

Por meio da Tabela 1 foi definido a dimensão máxima da Brita 0 que é de 9,5 mm.

Tabela 1 - Dimensões máximas e mínimas do agregado graúdo

Malha de peneira (mm)		
Número	Mínima	Máxima
Brita 0	2,4	9,5
Brita 1	4,8	19,0
Brita 2	9,5	25,0
Brita 3	19,0	50,0

Fonte: Rodrigues, 1998.

Definido a brita e o abatimento, consultar a Tabela 2 e extrair o consumo de água.

Tabela 2 - Consumo de água aproximado

Consumo de água aproximado (l/m ³)					
Abatimento (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Rodrigues, 1998.

Logo o consumo de água é de 230 litros.

5.3.2.2 Determinação do consumo de cimento (Cc):

O consumo de cimento depende diretamente do consumo de água, e é dado pela Equação 2.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

Onde:

C_a = consumo de água;

a/c = relação água/cimento.

$$C_c = \frac{230}{0,58} \rightarrow C_c = 396,55 \text{ kg/m}^3$$

Desse modo o consumo de cimento é de 396,55 kg/m³.

5.3.2.3 Determinação do consumo de agregado graúdo (C_b)

A determinação do consumo de agregado graúdo (C_b) é realizado por intermédio do Quadro 7, no qual denota os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função módulo de finura do agregado miúdo e do diâmetro máximo específico do agregado graúdo.

Quadro 7 - Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de concreto

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1998.

O módulo de finura obtido no ensaio de caracterização do agregado miúdo foi de 2,28, uma vez que o Quadro 7 não dispõe deste valor, sendo necessário realizar a interpolação (Equação 3) para obter volume do agregado graúdo seco (V_b).

$$\begin{array}{rcl} 2,2 & - & 0,605 \\ 2,28 & - & V_b \\ 2,4 & - & 0,585 \end{array} \quad (3)$$

Realizado o cálculo da interpolação foi obtido o $V_b = 0,597$.

Obtido o valor do volume do agregado graúdo seco, deve-se aplicar a Equação 4 para definir o consumo de agregado graúdo (C_b) por metro cúbico de concreto.

$$C_b = V_b * \mu_u \quad (4)$$

Onde:

V_b = volume do agregado graúdo seco por m^3 de concreto;

μ_u = massa unitária compactada do agregado graúdo.

$$C_b = 0,597 * 1535 \rightarrow C_b = 916 \text{ kg/m}^3$$

Logo o consumo de agregado graúdo é de 916 kg/m^3 .

5.3.2.4 Determinação do consumo de agregado miúdo (C_m)

A determinação do volume do agregado miúdo (V_m) por metro cúbico de concreto, é realizado através da Equação 5, cuja é a soma do consumo, em volume, do cimento, água e agregado graúdo. O cálculo é imediato, uma vez que por princípio, o volume de concreto é formado pela soma dos volumes absolutos dos materiais que o constituem.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (5)$$

Onde:

C_c = consumo de cimento;

C_b = consumo de brita;

C_a = consumo de água;

γ_c = massa específica do cimento;

γ_b = massa específica da brita;

γ_a = massa específica da água.

Portanto:

$$V_m = 1 - \left(\frac{396,55}{3500} + \frac{916}{2770} + \frac{230}{1000} \right) \rightarrow V_m = 0,326$$

Obtido o valor do volume do agregado miúdo, deve-se aplicar a Equação 6 para definir o consumo de agregado miúdo (C_m) por metro cúbico de concreto.

$$C_m = \gamma_m * V_m \tag{6}$$

Onde:

γ_m = massa específica da areia;

V_m = volume de areia.

$$C_m = 2460 * 0,326 \rightarrow C_m = 802 \text{ kg/m}^3$$

Logo o consumo de agregado graúdo é de 802 kg/m^3 .

5.3.3 Apresentação do traço

A representação do traço, com relação ao unitário do cimento, é apresentada segundo a Equação 7:

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \tag{7}$$

Onde:

Cc = consumo de cimento;

Cm = consumo de agregado miúdo;

Cb = consumo de agregado graúdo;

Ca = consumo de água.

$$\frac{396,55}{396,55} : \frac{802}{396,55} : \frac{916}{396,55} : \frac{230}{396,55} \rightarrow 1 : 2,022 : 2,310 : 0,58$$

O traço unitário, em massa, do concreto de referência está apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 - Traço unitário, em massa, do concreto de referência

Traço unitário (kg)			
Cimento	Areia	Brita	Água
1	2,022	2,310	0,58

Fonte: Próprio autor, 2017.

5.3.4 Desenvolvimento dos traços e moldagem dos corpos de prova

Para avaliar o comportamento da substituição do agregado miúdo natural pelo agregado resultante do resíduo de pneu foi elaborado um traço de referência sem substituição do material e outros seis traços distintos com a substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu. Com o intuito de enriquecer a pesquisa, foi verificada a influência da substituição do agregado miúdo pelo resíduo de pneu tanto na porcentagem de substituição como na granulometria do resíduo de pneu. Desta forma, foi definido os traços de concreto a serem produzidos, apresentados a seguir:

- Traço de referência: traço sem resíduo de borracha (concreto referência);
- Borracha total 8%: traço com substituição de 8% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica total;
- Borracha total 4%: traço com substituição de 4% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica total;

- Borracha média 8%: traço com substituição de 8% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica retida na peneira #2,36mm;
- Borracha média 4%: traço com substituição de 4% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica retida na peneira #2,36mm;
- Borracha fina 8%: traço com substituição de 8% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica passantes na peneira #2,36mm;
- Borracha fina 4%: traço com substituição de 4% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica passantes na peneira #2,36mm;

Ressaltando-se que para a substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu foi realizado a compensação de volumes de materiais, em razão do resíduo de pneu possuir uma massa específica muito inferior à do agregado natural. Ou seja, a substituição foi dada em volume e não em massa. Em seguida foi feita a conversão do volume do resíduo de pneu (borracha) para massa. No Quadro 9 é apresentado os traços unitários, em massa, dos concreto a serem produzidos.

Quadro 9 - Traço unitário, em massa, dos concretos a serem produzidos

Traço unitário (kg)					
Traço	Cimento	Areia	Borracha	Brita	Água
Traço de referência	1	2,022	0	2,310	0,58
Borracha total 8%	1	1,972	0,050	2,310	0,58
Borracha total 4%	1	1,997	0,025	2,310	0,58
Borracha média 8%	1	1,977	0,044	2,310	0,58
Borracha média 4%	1	1,999	0,022	2,310	0,58
Borracha fina 8%	1	1,971	0,050	2,310	0,58
Borracha fina 4%	1	1,996	0,025	2,310	0,58

Fonte: Próprio autor, 2017.

Foram moldados 84 corpos de prova, com dimensões 10x20 cm, sendo 12 para cada traço (9 para o ensaio de resistência a compressão axial e 3 para o ensaio de absorção de água

por imersão). Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 5738/03. A Figura 24 demonstra os corpos de prova moldados.

Figura 24 – Corpos de prova moldados



Fonte: Próprio autor, 2017.

5.4 CARACTERÍSTICAS ANALISADAS

5.4.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade foi avaliada considerando os resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone, de acordo com as especificações da norma NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. O ensaio consiste no seguinte processo:

- Molhar o tronco de cone e a placa de base e posicionar o molde em cima da placa de base. O executor do ensaio deve-se posicionar com os pés sobre as abas do tronco de cone, garantindo a estabilidade durante o preenchimento do molde.
- Preencher o molde com o concreto coletado conforme a NM 33/98, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde. Por meio da haste de socamento compactar todas as camadas com 25 golpes cada. Distribuindo os golpes uniformemente dentro da seção de cada faixa de

concreto, efetuando metade dos golpes com a haste levemente inclinada com aspecto de espiral até o centro, penetrando apenas na camada atual de compactação.

- Após a compactação da última camada, retira o excesso de concreto e nivelar a superfície com uma régua metálica, em seguida deve-se retirar o molde do tronco de cone, levantando-o constantemente na direção vertical, sem realizar deslocamento lateral. Este procedimento deve durar entre 5 a 10 segundos.
- Em seguida, medir imediatamente o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do concreto.

5.4.2 Resistência a compressão axial

Para a realização do ensaio de resistência a compressão axial foi empregue a NBR 5739/2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. A norma define que antes da execução do ensaio é necessário determinar o diâmetro e a altura do corpo-de-prova submetido ao ensaio, além de estabelecer que o rompimento dos corpos-de-prova devem seguir as tolerâncias de tempo apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Tolerância para idade de ensaio

Idade do ensaio	Tolerância permitida (h)
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

Fonte: ABNT NBR 5739, 2007.

Em seguida, as superfícies dos corpos-de-prova e dos pratos precisam ser limpas e secas antes do posicionamento do corpo-de-prova para o ensaio. O corpo-de-prova deve ser posicionado no sentido da moldagem e centralizado no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência.

Com o objetivo de uma melhor análise de ruptura, durante o ensaio o carregamento deve ser mantido constante e sem impactos, com velocidade contínua ao longo de todo o

ensaio, o termino do ensaio se dá quando ocorrer uma queda de força que indique a ruptura do corpo-de-prova.

5.4.3 Absorção, índice de vazios e massa específica

Os corpos-de-prova foram analisados, segundo a NBR 9778/1987 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica, para a determinação da absorção de água, do índice de vazios e massa específica dos corpos-de-prova.

Para aplicação desta norma o ensaio tem que ser constituído por três corpos-de-prova, moldados de acordo com a NBR 5738, além dos corpos-de-prova estarem livres de óleos adquiridos na moldagem.

A norma define as seguintes etapas para a realização do ensaio:

- Definir a massa do corpo-de-prova ao ar;
- Realizar secagem na estufa á temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ e registrar a massa do corpo-de-prova após 24h, 48h e 72h;
- Após a secagem, efetuar a imersão das amostras em água a temperatura $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, durante 72h, imergindo o corpo-de-prova em partes (1/3 nas primeiras 4h e 2/3 nas 4h subsequentes, sendo imerso por completo nas 64h restantes). Registrando a massa ás 24h, 48h e 72h de imersão;
- Posteriormente a imersão por 72h, realizar o registro da massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água;
- Em seguida realizar os cálculos.
 - absorção de água:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} * 100 \quad (8)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado;

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa.

- índice de vazios:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_{\text{sat}} - M_i} * 100 \quad (9)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado;

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa;

M_i = massa do corpo de prova saturado, imerso em água.

- massa específica seca:

$$\frac{M_s}{M_{\text{sat}} - M_i} \quad (10)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado;

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa;

M_i = massa do corpo de prova saturado, imerso em água.

- massa específica saturada:

$$\frac{M_{\text{sat}}}{M_{\text{sat}} - M_i} \quad (11)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado;

M_i = massa do corpo de prova saturado, imerso em água.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

6.1 TRABALHABILIDADE

Como foi mencionado no item 5.4.1 a trabalhabilidade foi verificada por intermédio da NBR NM 67/98, do qual os registros fotográficos estão no APÊNDICE A, e os resultados do abatimento do concreto de todos os traços desenvolvidos, estão apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Abatimento do concreto

Amostra	Abatimento (mm)
Traço de Referência	35
Borracha total 8%	40
Borracha total 4%	25
Borracha média 8%	20
Borracha média 4%	15
Borracha fina 8%	55
Borracha fina 4%	50

Fonte: Próprio autor, 2017.

Analisando os resultados apresentados no Quadro 10 é possível fazer as seguintes considerações:

- Com o aumento da porcentagem de substituição do agregado miúdo pelo resíduo de pneu, maior a trabalhabilidade;
- Os traços com “Borracha fina” foram os que alcançaram maiores abatimentos;
- Os traços com “Borracha média” foram os que alcançaram menores abatimentos;
- Os traços com “Borracha total” alcançaram abatimentos medianos, em comparação com os traços de “Borracha média” e “Borracha fina”;
- O traço de referência obteve abatimento superior aos traços de “Borracha média” e ao traço de “Borracha total 4%”.
- Analisando as considerações desenvolvidas acima, pode-se deduzir que a granulometria do resíduo de pneu influencia diretamente na trabalhabilidade,

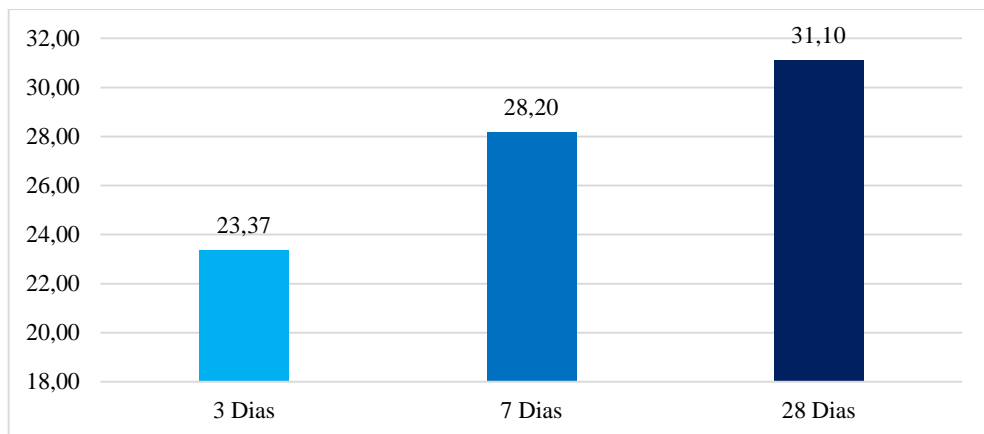
ou seja, quanto mais teor de finos presente no resíduo de pneu, maior é o abatimento.

- E quanto maior as fibras do resíduo, maior a dificuldade de se obter uma melhor trabalhabilidade.

6.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

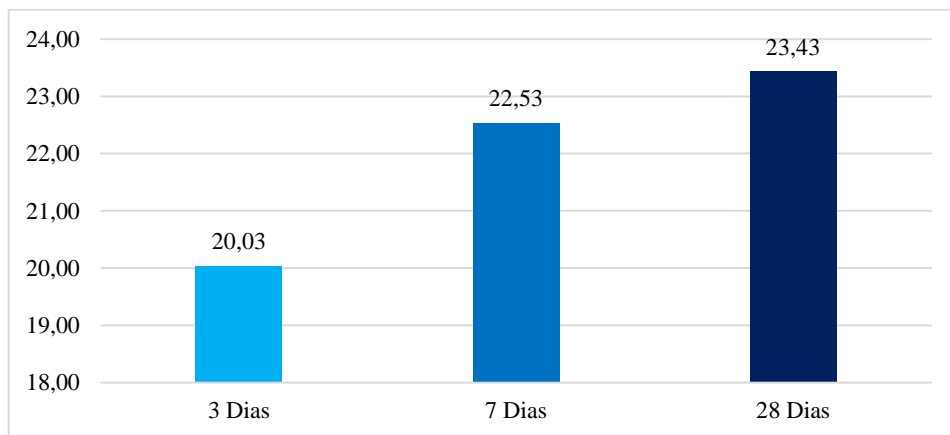
Os Gráficos 4 a 10 apresentam os resultados da média, de três corpos-de-prova, obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial (APÊNDICE B), aos 3, 7 e 28 dias de idade, executados nos corpos de prova produzidos a partir dos traços apresentados no item 5.3.4.

Gráfico 4 – Tensão de resistência (MPa) – Traço de referência

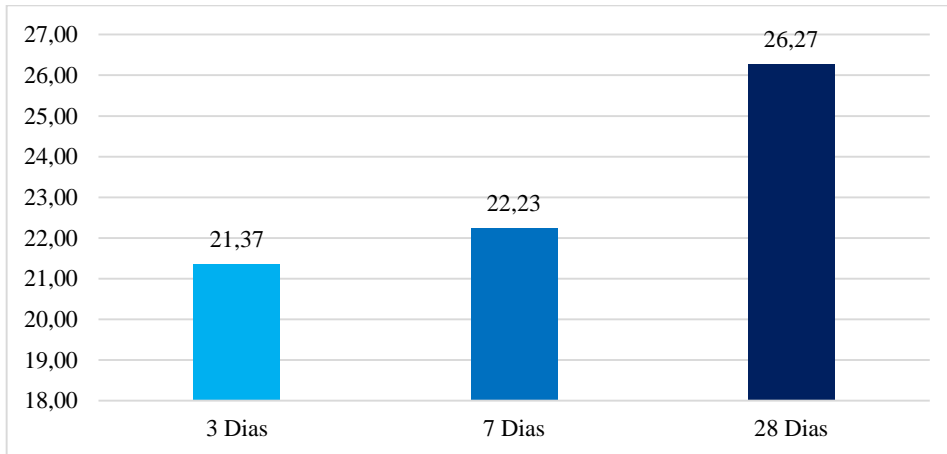


Fonte: Próprio autor, 2017.

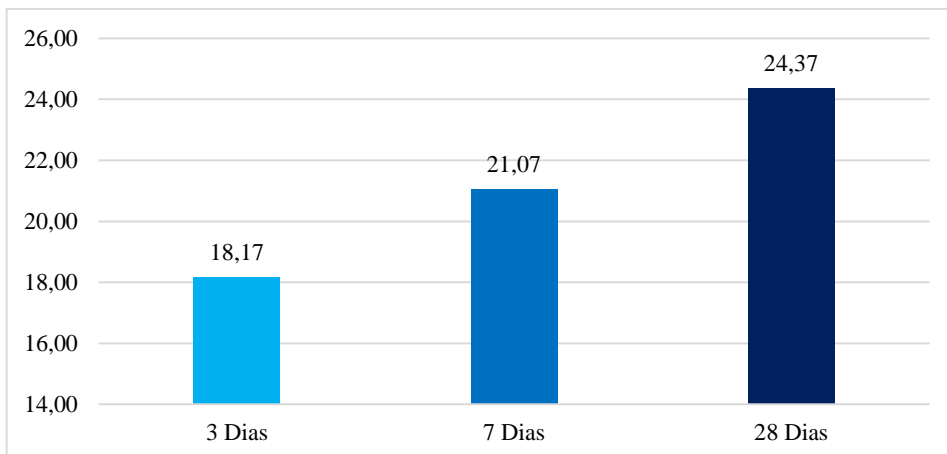
Gráfico 5 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha total 8%



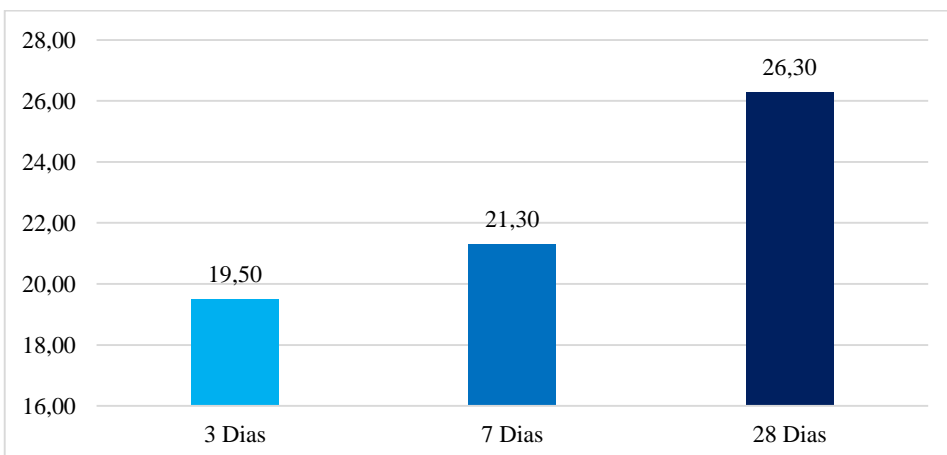
Fonte: Próprio autor, 2017.

Gráfico 6 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha total 4%

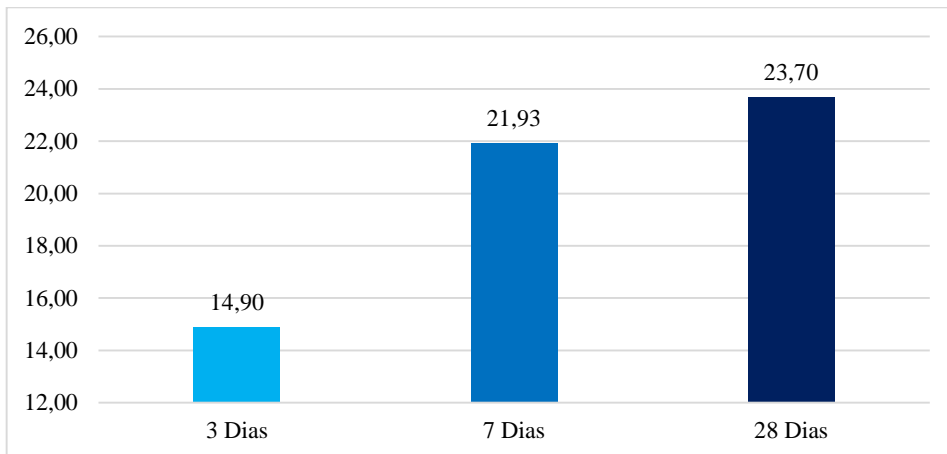
Fonte: Próprio autor, 2017.

Gráfico 7 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha média 8%

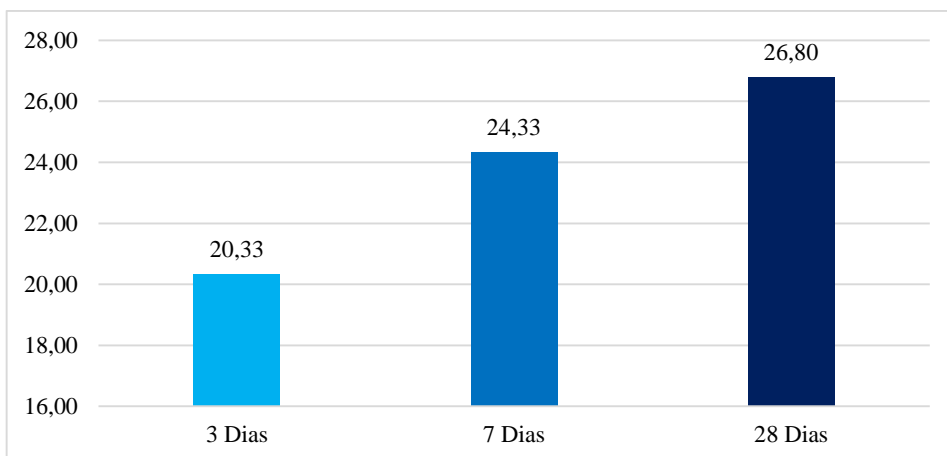
Fonte: Próprio autor, 2017.

Gráfico 8 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha média 4%

Fonte: Próprio autor, 2017.

Gráfico 9 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha fina 8%

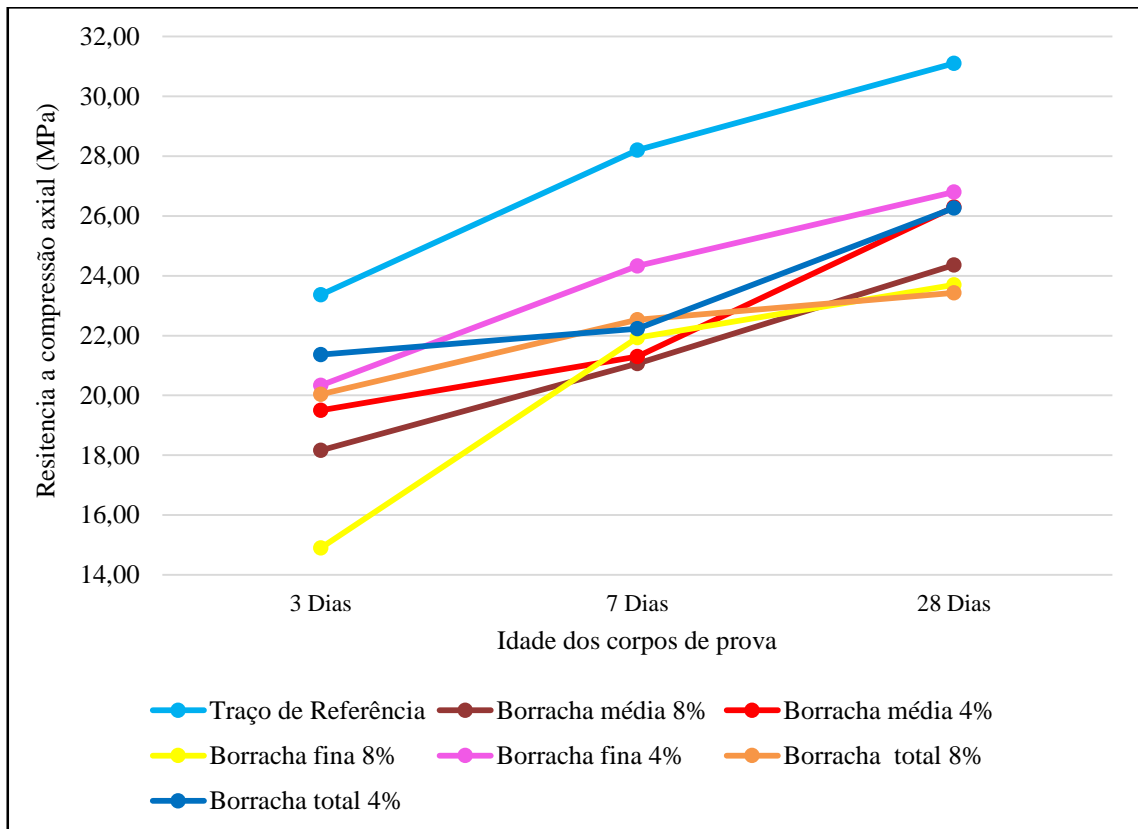
Fonte: Próprio autor, 2017.

Gráfico 10 – Tensão de resistência (MPa) – Borracha fina 4%

Fonte: Próprio autor, 2017.

Com o intuito de proporcionar uma melhor condição de comparação visual entre a evolução da resistência à compressão axial de todos os traços, foi desenvolvido o Gráfico 11 que apresenta em conjunto as evoluções.

Gráfico 11 – Evolução da resistência a compressão axial de todos os traços



Fonte: Próprio autor, 2017.

Analisando os resultados apresentados nos Gráficos 4 a 11 é possível fazer as seguintes considerações:

- Os traços que alcançaram a resistência requerida no item 5.2.1, de 25MPa, foi o traço de referência e os traços de borracha 4% independente da granulometria;
- Quanto maior a porcentagem de substituição do agregado natural pelo resíduo de pneu, menor a resistência do concreto;
- A diferença de resistência entre os traços de borracha com a mesma porcentagem de resíduo de pneu é tão pequena que é possível afirmar que a granulometria do resíduo de pneu não influenciou na resistência a compressão axial;
- O traço de referência teve uma resistência a compressão axial muito superior aos traços de concreto com resíduo de pneu, alcançando mais de 4MPa acima do melhor desempenho do concreto com borracha.

Prosseguindo a apresentação dos resultados da compressão axial, as Figuras 25 a 31 são expostas para análise do comportamento característico de ruptura.

Figura 25 - Corpo de prova rompido aos 28 dias – Traço de referência



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 26 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha total 8%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 27 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha total 4%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 28 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha média 8%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 29 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha média 4%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 30 – Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha fina 8%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 31– Corpo de prova rompido aos 28 dias – Borracha fina 4%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Analisando de uma forma geral as rupturas apresentadas nas Figuras 25 a 31, é possível constatar que os corpos de prova do concreto de referência ao atingir a ruptura se “esfarelam” mais facilmente, já os concretos com a presença da borracha preservam em parte o contorno inicial do corpo de prova.

Em específico pode-se verificar que os corpos de prova do concreto com "Borracha média" foram os que mais mantiveram sua integridade. Essa característica se deve ao fato de as fibras do resíduo de pneu atribuir ao concreto a capacidade de romper sem que haja uma grande fragmentação do concreto, comprovando o que Martins (2005) relatou dizendo que “este comportamento indica uma maior capacidade de absorção de energia por parte do concreto com borracha”.

6.3 ABSORÇÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

No Quadro 11 é possível verificar os resultados da absorção de água por imersão dos concretos, onde cada valor apontado é a média de três corpos de prova. Os resultados intermediários então dispostos nos APÊNDICES C, D e E.

Quadro 11 – Absorção de água

Amostra	Absorção (%)
Traço de referência	4,881
Borracha total 8%	4,891
Borracha total 4%	4,481
Borracha média 8%	5,337
Borracha média 4%	4,901
Borracha fina 8%	5,010
Borracha fina 4%	4,948

Fonte: Próprio autor, 2017.

Observa-se que todos os concreto com adição do resíduo de pneu, menos o “Borracha total 4%”, obtiveram um maior índice de absorção em comparação com o concreto de referência, entretanto essa diferença é de menos de 0,5%, logo pode-se considerar que a borracha não influenciou de uma forma significativamente na absorção.

Segundo Neville (1997), os resultados do ensaio de absorção de um concreto não é capaz de ser um parâmetro de qualidade do concreto, porem ele destaca que os concretos com uma boa qualidade devem possuir uma absorção inferior a 10%. Sendo assim todos os resultados dos concretos apresentados ficaram abaixo do limite máximo, caracterizando uma boa absorção.

Como pode ser visto no Quadro 12 o índice de vazios é diretamente ligado a absorção, quanto maior o índice de vazios maior a absorção.

Quadro 12 – Índice de vazios

Amostra	Índice de vazios (%)
Traço de referência	10,682
Borracha total 8%	10,758
Borracha total 4%	9,942
Borracha média 8%	11,490
Borracha média 4%	10,609
Borracha fina 8%	10,969
Borracha fina 4%	10,767

Fonte: Próprio autor, 2017.

Para que uma amostra seja considerada porosa, o índice de vazio deve ter entre 15% e 35 % de seu volume total (ACI 522, 2010). Como os índices de vazio das amostras analisadas encontram-se abaixo dos limites, pode-se considerar os índices de vazios aceitáveis.

Os Quadros 13 e 14 apresentam as massas específicas seca e saturada, respectivamente.

Quadro 13 – Massa específica seca

Amostra	Massa específica seca (g/cm ³)
Traço de referência	2,188
Borracha total 8%	2,199
Borracha total 4%	2,219
Borracha média 8%	2,153
Borracha média 4%	2,165
Borracha fina 8%	2,190
Borracha fina 4%	2,176

Fonte: Próprio autor, 2017.

Quadro 14 – Massa específica saturada

Amostra	Massa específica saturada (g/cm ³)
Traço de referência	2,295
Borracha total 8%	2,307
Borracha total 4%	2,318
Borracha média 8%	2,268
Borracha média 4%	2,271
Borracha fina 8%	2,299
Borracha fina 4%	2,283

Fonte: Próprio autor, 2017.

Assim como a absorção e o índice de vazios, as massas específicas dos concretos analisados possuem valores muito próximos, ou seja, o resíduo de pneu não alterou significativamente a massa específica em relação ao concreto de referência. A massa

específica do resíduo de pneu é muito inferior à do agregado natural, o que poderia influenciar na massa específica do concreto, tornando-a mais leve, porém a porcentagem de substituição é muito baixa para que haja uma diferença relevante entre a massa do concreto com resíduo de pneu e o de referência.

A NBR 6118 (ABNT, 2003) dispõem que os concretos de massa específica normal, possuem massas compreendida entre $2,0 \text{ g/cm}^3$ e $2,8 \text{ g/cm}^3$. Portanto os concretos avaliados estão dentro dos limites, indicando um concreto normal, não caracterizando um concreto leve ou pesado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito do trabalho consistiu no estudo da análise do resíduo de pneu inservível no concreto, visando uma tensão de ruptura acima da resistência requerida, além de comparar os desempenhos dos concretos com resíduo de pneu com o concreto de referência quanto à trabalhabilidade, absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova. Com base nos desempenhos alcançados visou-se contribuir ao desenvolvimento sustentável do concreto.

As considerações desenvolvidas, a seguir, foram fundamentadas nos resultados obtidos na execução do programa experimental. No entanto, essas considerações não desenvolvem as infinitas possibilidades de combinações de características, quantidades, e métodos de aplicação dos materiais. Desse modo gera a necessidade de desenvolver outras pesquisas com o intuito de enriquecer os conhecimentos sobre este tema.

A substituição, em volume, do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu inservível gera uma redução na resistência a compressão axial do concreto. Entretanto os concretos com substituição de 4%, independente da granulometria, apresentaram resultados acima da resistência requerida ao concreto. Por outro lado os concretos com resíduo de pneu apresentaram uma melhor característica quanto a ruptura, mantendo uma estabilidade do corpo de prova, sem que haja uma grande fragmentação do concreto.

Quanto a consistência do concreto foi possível verificar que o resíduo de pneu pode interferir positivamente ou negativamente na trabalhabilidade do concreto. O ensaio do tronco de cone indicou que se o resíduo de pneu for composto por fibras de borracha menores, a trabalhabilidade é aumentada, em contrapartida as fibras maiores diminuem a trabalhabilidade.

Com relação a absorção, índice de vazios e massa específica dos corpos de prova, é possível dizer que o resíduo de pneu não alterou significativamente em relação ao concreto de referência.

Dentre os concretos com resíduo de pneu, foi escolhido o “Borracha total 4%” como o melhor desempenho, pois atingiu a resistência requerida e uma trabalhabilidade mediana, além da utilização da granulometria total do resíduo de pneu.

Quanto a aplicação do concreto com resíduo de pneu na construção civil, é possível dizer que é inviável a utilização em elementos estruturais, pois a resistência a compressão é muito inferior à do concreto convencional. Em compensação a utilização deste concreto em

calçadas, muretas de contenção e bancos de praças, podem ser propício devido a vantagem de manter a integridade, ou seja, capacidade de romper sem que haja uma grande fragmentação do concreto.

Segundo a prefeitura de Anápolis está sendo construído 4,5 km de calçada para o principal eixo de ligação sul e norte da cidade, se fosse utilizasse o traço de “Borracha total 4%”, seria aproveitado cerca de 2.300 kg de resíduo de pneu.

7.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar o módulo de elasticidade dos concretos produzidos com resíduos de pneus;
- Realizar o estudo de outras propriedades mecânicas, a exemplo de resistência à tração na flexão, dentre outras;
- Estudar o comportamento termo acústico de concretos com resíduos de pneus;
- Realizar o estudo através de outras técnicas de dosagem;
- Elaborar um estudo de dosagem utilizando as características do resíduo de pneu na dosagem.

REFERÊNCIAS

- A TRIBUNA. **Liminar obriga recolhimento de pneus abandonados na cidade.** Mato Grosso, 2016. Disponível em: <<http://www.tribunamt.com.br/2016/03/liminar-obriga-recolhimento-de-pneus-abandonados-na-cidade/>>. Acesso em: 13/05/2017.
- ABRECON. **Relatório** – Reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. São Paulo, 2015.
- ACI COMMITTEE 522. **522R-10** Report on Pervious. 2010.
- ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade.** 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: Nova Fronteira, 2002.
- ALMEIDA, L. C. **Concreto** – Notas de aula. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de engenharia Civil, Departamento de Estruturas. São Paulo, 2002.
- ALVES, G.S.; CRUZ, A.L. **Asfalto-borracha** – Uma Inovação na Tecnologia Aliada ao Meio Ambiente. Trabalho de Conclusão de Curso, Coordenação de Construção Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiânia/GO, 2007.
- ALVES, J. **Progresso humano e regresso ambiental.** Portal EcoDebate. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2012/06/20/progresso-humano-e-regresso-ambiental-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 18/03/2017.
- ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis:** Alternativas possíveis de reutilização. Monografia vinculada ao Curso de graduação em Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina Centro Sócio-Econômico, Florianópolis/SC, 2007.
- ANIP. **Anip em números.** São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/?cont=conteudo>>. Acesso em 28/05/2017.
- _____. **Anip em números.** São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/?cont=conteudo>>. Acesso em 28/05/2017.
- _____. **História do pneu.** São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/index.php?cont=anip>>. Acesso em 28/05/2017.
- ARAÚJO, J. M. **Estruturas de concreto** – A resistência a compressão e critérios de ruptura para o concreto. Número 1. Rio Grande: Dunas, 2001.
- ARMESTRE, P. **Of tires and fires.** Espanha, 2016. Disponível em: <<https://correspondent.afp.com/tires-and-fires>>. Acesso em: 13/05/2017.
- ARTESANATO BRASIL. **40 ideias de artesanatos com reciclagem de pneus usados.** 2016. Disponível em: <<http://artesanatobrasil.net/reciclagem-de-pneus-usados/>>. Acesso em: 15/05/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007** – Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 11578** - Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12655** - Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5738** - Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739** - Ensaio de compressão de corpos de prova. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 6118** - Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7211** - Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7251** - Determinação da massa unitária dos agregados - Determinação da massa unitária no estado solto. Rio de Janeiro, 1982.

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

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

_____. **NBR NM 33** - Concreto - Amostragem de Concreto Fresco. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 46** - Determinação do teor de material pulverulento. Rio de Janeiro, 2003

_____. **NBR NM 52** - Agregado miúdo - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 53** - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 67** - Ensaio de Abatimento do Concreto. Rio de Janeiro, 1998.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BARBOSA, M. T. G. et al. **Concreto ecológico**. Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído. Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2011.

BARCELAR, J. **Ciclos da Borracha**. História do Brasil, [S.L.], 2015. Disponível em <<http://www.historia-brasil.com/republica/ciclo-borracha.htm>>. Acesso em: 27/05/2017.

BETUSIAL. **Vantagens do asfalto de borracha**. Blog Betusial, 2015. Disponível em: <<http://www.betuseal.com.br/vantagens-asfalto-borracha/>>. Acesso em: 01/12/2017.

BOAVENTURA, M. C. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos Produzidos com Resíduos de Pneus**. Monografia, Universidade Estadual de Feira de Santana do Curso de Engenharia Civil, Feira de Santana/BA, 82p, 2011.

BOFF, L. **Sustentabilidade: O que é e o que não é**. 1. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BONIN. **Etapas do Processo de Recauchutagem**. Santa Catarina, 2015. Disponível em: <<http://www.boninpneus.com.br/recauchutagem.php>>. Acesso em: 20/09/2017.

Brundtland, 1987 - **Relatório Brundtland** - Nosso Futuro Comum – 1987

CABRAL, A. E. B. et al. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha**. [S.l.], 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132009000400016&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 20/04/2016.

CÂMARA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR. **Resolução CNE/CES 11**. Brasília, 2002.

CARELLI, E. et al. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil – Avanços institucionais e melhorias técnicas**. Parte I. SidusCon, SP. São Paulo, 2015.

CEMPRE. **Resíduos sólidos**. São Paulo/ SP, s/d. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso em: 20/03/2017.

CIMINO, M. A. **Gerenciamento de pneumáticos inservíveis: análise crítica de procedimentos operacionais e tecnologias para minimização adotadas no território nacional**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos/SP, 2004.

CONAMA. **Resolução N°258**. Brasília, 1999.

CORREA, P. M. SANTANA, R. M. **Reciclagem de pet, visando a substituição do agregado miúdo no concreto leve**. IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre/RS, 2014.

CTF/IBAMA. **Pneumáticos inservíveis**. 2016. Disponível em: <http://ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1018&Itemid=893#sobrepneumaticosinserviveis>. Acesso em: 14/04/2017.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto**. Inovação Uniemp, Campinas, v. 3, n. 3, jun. 2007. Disponível em <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiN97H6-6LXAhUD6Y8KHc4wAB0QFggvMAE&url=http%3A%2F%2Finovacao.scielo.br%2Fpdf%2Finov%2Fv3n3%2Fa08v3n3.pdf&usg=AOvVaw1tAAhXVtN114RUhNozhbAG>>. Acesso em: 28/10/2017.

DOCE OBRA. **Muro de Arrimo: o que é, materiais, como fazer e preços!**. Materiais e acabamento, 2016. Disponível em: <<https://casaconstrucao.org/materiais/muro-de-arrimo/>>. Acesso em: 01/12/2017.

FEBRABAN. **17º Café com Sustentabilidade**. 2010. Disponível em: <<http://www.febraban.org.br/>>. Acesso em: 20/03/2017.

FRAGA. **Medidas de minimização com base em projeto e planejamento de obras**. In: Panorama da geração de resíduos da construção civil em belo horizonte, Belo Horizonte, 2006.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia - PIPE, área de concentração Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR, 2007.

FREITAS, J. de A. Jr. **Propriedades do concreto endurecido**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Construção Civil. Paraná, 2013.

GIACOBBE, S.; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto de cimento Portland com borracha de pneus**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo/SP, 2008.

GIANNECCHINI, L. **Mistura de pneu com concreto é utilizada na construção de barreiras rodoviárias**. Setor – o terceiro setor em rede. Junho de 2005. Disponível em: <<http://www.setor3.com.br/senac2/calandra.nsf/0/3FBB6E04105BCC4832701300706F7F?OpenDocument&pub=T&proj=Setor3&sec=REPORTER+S3>>. Acesso em 17/03/2017.

GONÇALVES. R. D. **Agregados reciclado de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo/SP, 148p, 2001.

HELLENE, P. ANDRADE, T. **Concretos de Cimento Portland**. Capítulo 29. 2 ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2010. 2v.

JATMA. **Tyre Industry of Japan**. Japão, 2016. Disponível em: <http://www.jatma.or.jp/media/pdf/tyre_industry_2017.pdf>. Acesso em: 18/05/2017.

KAMIMURA, E. **Potencial dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis/SC, 2004.

KAWA, L. **A cadeia de destinação dos pneus inservíveis**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://professoralucianekawa.blogspot.com.br/2015/04/a-cadeia-de-destinacao-dos-pneus.html>>. Acesso em: 13/05/2017.

KRUEL, A. **Ignacy Sachs – uma voz sempre atual na sociedade**. Santa Catarina, 2010. Disponível em: <www.anpad.org.br/admin/pdf/eneo339.pdf> Acesso: 27/05/2017

LOJUDICE, M. **Companhias Investem Para Reciclar Pneus**. Valor Econômico, 2002. Disponível em: <http://www.sebrae-sc.com.br/novos_destques/Oportunidade>. Acesso em: 29/05/2017.

LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P. de. **Avaliação da utilização de vidro cominuído como material agregado ao concreto**. UNISC – Santa Cruz do Sul; ULBRA. Canoas, 2003.

MAGALHÃES, F. C. **Concreto de cimento Portland** – Especificações e ensaios. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios. Rio Grande do Sul, s/d.

MARQUES FILHO, J. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Prefácio. 2 ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2010. 2v.

MARTINS, I. R. de F. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu**. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da UNESP, 2005.

MENDES, C. B. NUNES, F. R. **Asfalto borracha** - Minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente. Monografia, Faculdade Brasileira – UNIVIX Curso de Engenharia de Produção Civil, 73p. Vitória/ES, 2009.

MENDES, J. M. G. **Dimensões da sustentabilidade**. Revista das Faculdades Santa Cruz, v. 7, n. 2. Paraná, 2009.

MENESES, I. A. **Avaliação de concreto com adição de fibras de PET submetido a altas temperaturas**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 91p, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**. São Paulo, Pini, 1994.

MICHELIN. **Saiba como é um pneu MICHELIN por dentro**. 2012. Disponível em: <<http://www.michelin.com.br/tudo-sobre-carros/Conheca-seu-pneu/michelin-por-dentro>>. Acesso em: 20/05/2017.

MORETTO, C. F. **O desenvolvimento sustentável na perspectiva local: a percepção do sentido da sustentabilidade pelos residentes do município de passo fundo**. Pibic-UPF. Rio Grande do sul, 2007.

MORILHA, A. J. GRECA, M. R. **Asfalto Borracha – ECOFLEX**. São Paulo. Ago. 2003. Disponível em <http://www.iep.org.br/lit/apostila_asfalto_borracha.doc>. Acesso em: 27/05/2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 1 ed. São Paulo, SP: Pini, 1997.

PALMEIRA, M. **Qual a matéria-prima do pneu?**. GF pneus, 2017. Disponível em: <<https://www.gfpneus.com.br/blog/qual-a-materia-prima-do-pneu/>>. Acesso: 29/05/2017

PEREIRA, F. R. et al. **Marketing ambiental: uma ferramenta empresarial estratégica**. São Paulo, 2013. Disponível em: < <http://revistaconexao.aems.edu.br/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=1208>>. Acesso em: 16/07/2017.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de cimento Portland**. Editora: Globo. 1ª Edição, Porto Alegre, 1978.

PINHEIRO, E. G. **Modelos numéricos aplicados a vulcanização de pneus**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista, São Paulo/SP, 2001.

PREFEITURA DE ANÁPOLIS. **Prefeitura inicia construção de calçadas na Avenida Brasil Norte**. Anápolis, 2017. Disponível em: <<http://www.anapolis.go.gov.br/portal/multimidia/noticias/ver/prefeitura-inicia-construasapo-de-calasadas-na-avenida-brasil-norte>>. Acesso em: 02/11/2017.

RABAHI, R. **Reaproveitamento de rejeitos de mármore e granito é inovação ecológica**. Goiânia, 2016. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/reaproveitamento-de-rejeitos-m%C3%A1rmore-e-granito-%C3%A9-inova%C3%A7%C3%A3o-rabahi>>. Acesso em: 15/05/2017.

REVISTA DO CEDS. **Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável**. UNDB, N. 3 – Volume 1 – setembro/dezembro 2015 – Semestral. Disponível em: <<http://www.undb.edu.br/ceds/revistadoceds>> Acesso: 30/05/2017

REVISTA MEIO AMBIENTE. **Estudo visa uso do resíduo de cerâmica vermelha em concreto**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://rmai.com.br/estudo-visa-uso-do-residuo-de-ceramica-vermelha-em-concreto/>>. Acesso em: 17/05/2017.

RIGHI, et al. **Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos à elevadas temperaturas**. XXXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. Rio de Janeiro/RJ, 2012.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SALINI, R. B. **Utilização de borracha reciclada de pneus em misturas asfálticas**. Dissertação de Mestrado, 120 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2000.

SANDRONI, M. PACHECO, E. B. A. V. **O Destino Dos Pneus Inservíveis**. 2005. Disponível em: <<http://www.niead.ufrj.br/artigoelen.htm>>. Acesso em: 29/05/2017.

SANTOS, A. **Garrafas PET substituem areia em bloco de concreto**. Mato Grosso do Sul, 2015a. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/garrafas-pet-em-bloco-de-concreto/>>. Acesso em: 17/05/2017.

SANTOS, A. **Uso de vidro moído como agregado limita o concreto**. Mato Grosso do Sul, 2015b. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/vidro-moido-como-agregado/>>. Acesso em: 17/05/2017.

SEGRE, N. **Reutilização de Borracha de Pneus Usados como Adição em Pasta de Cimento**. Tese de doutorado. Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 1999.

SILVA, J. **Resíduos urbanos e da construção precisam ter gestão em cidades até 2014**. Mato Grosso, 2011. Disponível em: <http://www.newscuiaba.com.br/Noticia/8,2238,0,0,0,0/Residuos_urbanos_e_da_construcao_precisam_ter_gestao_em_cidades_ate_2014.html>. Acesso em: 17/05/2017.

SINPEC. **História do pneu**. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/sinpec/sobre-o-sinpec/historia-do-pneu/>>. Acesso em: 28/05/2017.

SNIC. **Números**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.snic.org.br/numeros_dinamico.asp>. Acesso em: 24/05/2017.

TREVIZANI, R. B. **Trabalhabilidade em concreto fresco**. Info construir. São Paulo, 2013. Disponível em: < <http://infoconstruir.blogspot.com.br/2013/09/trbalhabilidade-em-concreto-fresco.html>>. Acesso em: 18/09/2017.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. Capítulo 12. 2 ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2010. 2v.

VEÍCULO OFICIAL DE DIVULGAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE PONTA GROSSA. **Mãos à obra**. nº 76. Paraná, 2011.

VELOSO, Z. **Ciclo de vida dos pneus**. Ministério do meio ambiente, 2015. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/promtec/zilda-maria-faria-veloso-ciclo-de-vida-dos-pneus>>. Acesso em 28/05/2017.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

APÊNDICE A – Registro fotográfico do ensaio de abatimento

Figura 32 – Ensaio de Abatimento - Traço de referência



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 33 – Ensaio de Abatimento - Borracha total 8%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 34 – Ensaio de Abatimento - Borracha total 4%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 35 – Ensaio de Abatimento - Borracha média 8%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 36 – Ensaio de Abatimento - Borracha média 4%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 37 – Ensaio de Abatimento - Borracha fina 8%



Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 38 – Ensaio de Abatimento - Borracha fina 4%



Fonte: Próprio autor, 2017.

APÊNDICE B – Ensaio de resistência à compressão - Laudos

Quadro 15 - Ensaio de resistência à compressão - Traço de referência

Traço de referência	Tensão de Ruptura (MPa)		
	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Amostra			
1	25,60	29,20	32,00
2	21,00	26,50	30,60
3	23,50	28,90	30,70
Média	23,37	28,20	31,10

Fonte: Próprio autor, 2017.

Quadro 16 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha total 8%

Borracha total 8%	Tensão de Ruptura (MPa)		
	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Amostra			
1	20,00	22,90	21,90
2	20,50	22,60	23,80
3	19,60	22,10	24,60
Média	20,03	22,53	23,43

Fonte: Próprio autor, 2017.

Quadro 17 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha total 4%

Borracha total 4%	Tensão de Ruptura (MPa)		
	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Amostra			
1	20,70	22,10	26,20
2	22,40	21,30	26,20
3	21,00	23,30	26,40
Média	21,37	22,23	26,27

Fonte: Próprio autor, 2017.

Quadro 18 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha média 8%

Borracha média 8%	Tensão de Ruptura (MPa)		
	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Amostra			
1	17,30	19,50	24,40
2	18,00	22,70	25,10
3	19,20	21,00	23,60
Média	18,17	21,07	24,37

Fonte: Próprio autor, 2017.

Quadro 19 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha média 4%

Borracha média 4%	Tensão de Ruptura (MPa)		
	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Amostra			
1	19,50	21,60	26,90
2	19,30	22,40	26,20
3	19,70	19,90	25,80
Média	19,50	21,30	26,30

Fonte: Próprio autor, 2017.

Quadro 20 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha fina 8%

Borracha fina 8%	Tensão de Ruptura (MPa)		
	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Amostra			
1	18,80	22,60	24,40
2	12,80	21,50	23,00
3	13,10	21,70	23,70
Média	14,90	21,93	23,70

Fonte: Próprio autor, 2017.

Observação: As amostras 2 e 3, rompidas aos 3 dias, apresentaram falhas de adensamento (Figuras 39 e 40), por isso a resistência baixa.

Figura 39 – Falha de adensamento – Amostra 2

Fonte: Próprio autor, 2017.

Figura 40 - Falha de adensamento – Amostra 3

Fonte: Próprio autor, 2017.

Quadro 21 - Ensaio de resistência à compressão - Borracha fina 4%

Borracha fina 4%	Tensão de Ruptura (MPa)		
	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Amostra			
1	21,00	23,80	28,10
2	19,80	25,20	25,00
3	20,20	24,00	27,30
Média	20,33	24,33	26,80

Fonte: Próprio autor, 2017.

APÊNDICE C – Registro das massas intermediárias - Estufa

Quadro 22 – Registro das massas intermediárias - Estufa

	Massa da amostra (g) em relação a permanência na estufa			
	0 horas	24 horas	48 horas	72 horas
Amostra	Traço de referência			
1	3636,9	3544,8	3495,6	3472,3
2	3619,1	3530,1	3477,5	3453,7
3	3646,5	3558,9	3503,2	3478,8
Média	3634,2	3544,6	3492,1	3468,3
Amostra	Borracha total 8%			
1	3633,6	3538	3499,7	3472,8
2	3603,7	3500,2	3463,3	3434,5
3	3640,9	3533,1	3495,8	3467
Média	3626,1	3523,8	3486,3	3458,1
Amostra	Borracha total 4%			
1	3625,3	3543,5	3506	3481,6
2	3629,5	3542,9	3503,8	3478,4
3	3631,2	3540	3499,8	3474,8
Média	3628,7	3542,1	3503,2	3478,3
Amostra	Borracha média 8%			
1	3570,6	3474,5	3425,5	3404,4
2	3553,4	3460,2	3401,1	3376,6
3	3565,6	3466,3	3396,4	3370,4
Média	3563,2	3467,0	3407,7	3383,8
Amostra	Borracha média 4%			
1	3632,1	3519,9	3475,5	3454,8
2	3618,8	3517,3	3470,7	3448,4
3	3648,3	3554,6	3501,1	3477,3
Média	3633,1	3530,6	3482,4	3460,2
Amostra	Borracha fina 8%			
1	3620,2	3527,3	3479,8	3453,9
2	3588,9	3498	3450,4	3425,4
3	3616,7	3519,3	3467,9	3440,8
Média	3608,6	3514,9	3466,0	3440,0
Amostra	Borracha fina 4%			
1	3552,2	3470,7	3424,8	3401,2
2	3529,7	3443,4	3391,9	3369,3
3	3591,2	3502,7	3449,1	3426,6
Média	3557,7	3472,3	3421,9	3399,0

Fonte: Próprio autor, 2017.

APÊNDICE D – Registro das massas intermediárias - Saturação

Quadro 23 – Registro das massas intermediárias - Saturação

	Massa da amostra (g) em relação ao tempo de saturação		
	24 horas	48 horas	72 horas
Amostra	Traço de referência		
1	3628,0	3634,8	3637,5
2	3615,8	3622,1	3624,4
3	3640,7	3648,6	3650,8
Média	3628,2	3635,2	3637,6
Amostra	Borracha total 8%		
1	3619,9	3626,6	3630
2	3594,1	3602,6	3607,2
3	3633,7	3640,8	3644,5
Média	3615,9	3623,3	3627,2
Amostra	Borracha total 4%		
1	3615,5	3625,8	3630,7
2	3619,5	3627,2	3631,9
3	3625,3	3634,9	3639,8
Média	3620,1	3629,3	3634,1
Amostra	Borracha média 8%		
1	3566,5	3570,9	3573
2	3548,8	3554	3556,2
3	3556,7	3561,4	3564
Média	3557,3	3562,1	3564,4
Amostra	Borracha média 4%		
1	3616,2	3623,1	3625,5
2	3606,3	3612,6	3614,6
3	3636,1	3646,2	3649,1
Média	3619,5	3627,3	3629,7
Amostra	Borracha fina 8%		
1	3608,8	3617,4	3622,3
2	3579,7	3588,3	3593,3
3	3609,0	3618	3621,5
Média	3599,2	3607,9	3612,4
Amostra	Borracha fina 4%		
1	3542,0	3551,7	3557,5
2	3526,2	3538,8	3544,8
3	3588,5	3595,3	3599,4
Média	3552,2	3561,9	3567,2

Fonte: Próprio autor, 2017.

APÊNDICE E – Registro das massas dos corpos de prova saturados, imersos em água

Quadro 24 – Massa dos corpos de prova saturados, imersos em água

Massa (g) do corpo de prova saturado, imerso em água	
Amostra	Traço de referência
1	2052
2	2040
3	2066
Média	2052,7
Amostra	Borracha total 8%
1	2052
2	2043
3	2070
Média	2055,0
Amostra	Borracha total 4%
1	2066
2	2064
3	2069
Média	2066,3
Amostra	Borracha media 8%
1	2003
2	1986
3	1989
Média	1992,7
Amostra	Borracha media 4%
1	2026
2	2028
3	2040
Média	2031,3
Amostra	Borracha fina 8%
1	2043
2	2034
3	2047
Média	2041,3
Amostra	Borracha fina 4%
1	1995
2	1986
3	2034
Média	2005,0

Fonte: Próprio autor, 2017.