

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANNA PAULA COELHO ASSUNÇÃO

**ANÁLISE DO USO DE BORRACHA DE PNEU COMO
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NO
CONCRETO**

ANÁPOLIS / GO

2020

ANNA PAULA COELHO ASSUNÇÃO

**ANÁLISE DO USO DE BORRACHA DE PNEU COMO
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NO
CONCRETO**

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

ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

ASSUNÇÃO, ANNA PAULA COELHO

Análise do uso da borracha de pneu como substituição parcial do agregado miúdo no concreto.

67P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC – UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Pneu Inservível

2. Concreto

3. Borracha de pneu

4. Sustentabilidade

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSUNÇÃO, Anna Paula Coelho. Análise do uso da borracha de pneu como substituição parcial do agregado no concreto. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 67p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

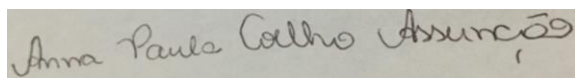
NOME DA AUTORA: Anna Paula Coelho Assunção

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise do uso da borracha de pneu como substituição parcial do agregado no concreto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

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



Anna Paula Coelho Assunção

E-mail: annapaula_assuncao@hotmail.com

ANNA PAULA COELHO ASSUNÇÃO

**ANÁLISE DO USO DE BORRACHA DE PNEU COMO
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREDAGADO MIÚDO NO
CONCRETO**

**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)**

**ELKE DIAS DE SOUSA, MESTRE (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**JULIANA , titulação (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 22 de MAIO de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir mais essa realização, por sempre me guiar, fortalecer e me mostrar que sou capaz de vencer e chegar até aqui.

Sou grata aos meus pais, a minha irmã e ao Marlon por ter sonhado e vivido toda essa trajetória comigo, por todo apoio, amor e incentivo, sei que essa realização também é de vocês.

Aos meus amigos que ajudaram para o meu sucesso.

A UniEVANGÉLICA, funcionários e principalmente ao centro tecnológico e aos técnicos do laboratório, por toda ajuda e disponibilidade para a realização da pesquisa.

A minha orientadora, Kíria, pelo o apoio, orientação e dedicação.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para minha formação.

Obrigada.

RESUMO

Com o grande acúmulo de resíduos no meio ambiente, hoje em dia, um assunto bastante falado e destacado no mundo é a sustentabilidade. E a construção civil é considerada um setor de grande responsabilidade por geração de maior parte deste acúmulo, e para diminuir estes impactos ambientais a construção civil precisa adotar algumas utilizações menos agressivas para o meio ambiente, por exemplo o uso dos resíduos. Pensando nisso, foi elaborado este trabalho para verificar as possibilidades do uso de borracha de pneu como substituição parcial do agregado miúdo no concreto, com a intenção de amenizar a utilização da areia e o aproveitamento do pneu inservível. Para isso foi elaborado corpos-de-prova com traços diferentes, sendo 1 traço referência e 4 traços com substituição parcial da areia pelo resíduo de borracha de pneu, sendo verificados a granulometria (média e fina) e a porcentagem de substituição (1% e 3%). Feito os corpos-de-prova, foi analisado a trabalhabilidade, resistência a compressão axial e absorção, índice de vazios e massa específica. Com as decorrências verificou-se que na trabalhabilidade e na resistência a compressão axial a granulometria e porcentagem do resíduo de pneu nos ensaios interferiu nos resultados. Na trabalhabilidade a borracha média 1% teve menor abatimento e na resistência a compressão axial a borracha média independente da porcentagem apresentaram resultados maiores que a resistência requerida. Já a absorção, índice de vazios e massa específica não sofreu interferência significativa. Foi concluído através dos ensaios, que o concreto com adição de resíduo de pneu, é viável e pode ser utilizado em construções de pequeno porte. Sendo assim, obteve bons resultados na trabalhabilidade, resistência a compressão axial e absorção, índice de vazios e massa específica.

PALAVRAS-CHAVE:

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

ABSTRACT

With a large volume of waste in the environment, nowadays, a topic widely spoken and highlighted in the world is sustainability. Civil construction is considered a sector with great responsibility for generating part of this volume, and to reduce these environmental impacts in civil construction, some that are less aggressive to the environment, for example, the use of waste, should be used. Thinking about it, this work was elaborated to verify the possibilities of using tire rubber as a partial replacement of kidney in concrete, with the intention of easing the use of sand and the use of waste tire. For this, specimens with different strokes were developed, 1 reference streak and 4 strokes with partial replacement of the sand by the tire rubber residue, being checked the granulometry (medium and fine) and the percentage of substitution (1% and 3%) After the specimens were made, workability, resistance to axial compression and absorption, leakage index and specified mass were analyzed. With the results verified, if the workability and resistance to axial wear, granulometry and percentage of tire residue in the tests interfere in the results. In workability, the average rubber 1% had the lowest reduction and resistance to axial compression to medium rubber regardless of the percentage of the results greater than the required strength. It already has absorption, leakage rate and specified mass, without suffering significant interference. It was concluded using tests, which or concrete with the addition of tire residue, is viable and can be used in small constructions. Therefore, it is possible to obtain good results in workability, resistance to axial compression and absorption, leakage index and specified mass.

KEYWORDS:

Rubber. Concrete. Useless tire. Tire residue. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estruturas de um pneu.....	20
Figura 2 – Pneus utilizados como obra de drenagem.....	23
Figura 3 – Pneus em obra de contenção de encaixe.....	23
Figura 4 – Barreira de pneu.....	24
Figura 5 – Artesanatos feitos com pneus.....	24
Figura 6 – Pavimentação asfáltica com pneu.....	25
Figura 7 – Resíduos de cerâmica vermelha.....	31
Figura 8 – Resíduo de mármore.....	32
Figura 9 – Transformação da garrafa PET.....	33
Figura 10 – Vidro moído.....	34
Figura 11 – Resultados de Resistência à Compressão Axial dos corpos de prova.....	36
Figura 12 – Raspagem mecânica do pneu.....	37
Figura 13 – Curva de Abrams.....	42
Figura 14 – Corpos-de-prova moldados.....	48
Figura 15 – Realização dos golpes.....	49
Figura 16 – Medição do abatimento do concreto.....	49
Figura 17 – Ruptura do corpo-de-prova.....	50
Figura 18 – Traço referência.....	53
Figura 19 – Borracha 3% média.....	54
Figura 20 – Borracha 1% média.....	54
Figura 21 – Borracha 3% fina.....	54
Figura 22 – Borracha 1% fina.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nomenclatura do cimento portland	26
Tabela 2 – Teores dos componentes do cimento Portland CP II-F-32.....	38
Tabela 3 – Exigências químicas CP II-F-32.....	39
Tabela 4 – Exigências físicas e mecânicas do cimento	39
Tabela 5 – Caracterização do agregado graúdo.....	40
Tabela 6 – Caracterização do agregado miúdo.....	40
Tabela 7 – Cracterização do resíduo de pneu	40
Tabela 8 – Consumo de água aproximado.....	43
Tabela 9 – Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de concreto.....	44
Tabela 10 – Traço unitário, em massa, do concreto de referência	46
Tabela 11 – Traço unitário, em massa, dos concretos a serem produzidos.....	47
Tabela 12 – Abatimento do concreto para traços calculos	53
Tabela 13 – Resultados da resistência em MPa.....	56
Tabela 14 – Resultados de absorção de água	57
Tabela 15 – Resultados de índice de vazios	58
Tabela 16 – Resultados da massa especifica seca	58
Tabela 17 – Resultados da massa especifica saturada.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da resistência a compressão axial de todos os traços	56
---	----

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
RCD	Resíduos de Construção e Demolição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivo específico.....	14
1.3 METODOLOGIA.....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REFERENCIAL TEORICO	16
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	16
2.1.1 Responsabilidade ambiental na construção civil	17
2.2 HISTÓRIA DA BORRACHA DE PNEU.....	18
2.2.1 Pneumáticos	19
2.2.2 Pneus Inservíveis	21
2.2.3 A reutilização de pneus inservíveis	22
2.3 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	25
2.3.1 Propriedades do concreto	27
2.3.1.1 Propriedades do concreto no estado fresco.....	28
2.3.1.2 Propriedades do concreto no estado endurecido.....	29
2.4 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS E RCD	30
2.4.1 Resíduos de cerâmica vermelha	31
2.4.2 Resíduos de mármore.....	32
2.4.3 Adição de fibras de garrafa PET.....	32
2.4.4 Resíduos de vidro.....	33
2.4.5 Resíduos de borracha de pneus inservíveis como agregado	34
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	37
3.1 OBTENÇÃO DO RESÍDUO DE BORRACHA	37
3.2 METODO DE DOSAGEM.....	37
3.2.1 Características dos materiais utilizados	38
3.2.1.1 Cimento Portland.....	38
3.2.1.2 Agregado graúdo	39
3.2.1.3 Agregado miúdo	40
3.2.1.4 Resíduo de pneu	40

3.2.1.5 Água de adensamento.....	41
3.3 DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS.....	41
3.3.1 Relação água cimento.....	41
3.3.2 Determinar consumo dos materiais	42
3.3.2.1 Cálculo do consumo de água (Ca).....	42
3.3.2.2 Cálculo do consumo de cimento (C _c).....	43
3.3.2.3 Cálculo do consumo do agregado graúdo (C _b).....	43
3.3.2.4 Cálculo do consumo do agregado miúdo (C _m).....	44
3.3.3 Apresentação do traço.....	45
3.3.4 Desenvolvimento dos traços e moldagem dos corpos de prova	46
3.4 ENSAIOS REALIZADOS	48
3.4.1 Trabalhabilidade	48
3.4.2 Resistência a compressão axial.....	50
3.4.3 Absorção, índice de vazios e massa específica.....	51
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	53
4.1 RESULTADOS E ANÁLISE DA TRABALHABILIDADE	53
4.2 RESULTADOS E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	55
4.3 RESULTADOS E ANÁLISE DE ABSORÇÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA.....	57
5 CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e tecnológico nos séculos XX e XXI, aumentou também o avanço expressivo do número de resíduos para o ambiente. Essa quantidade de resíduos vem se tornando preocupante no geral, por estar causando problemas sociais, econômicos e ambientais. Diante disso, a reciclagem vem sendo quase uma obrigação perante as indústrias. Nota-se, que várias novidades afins de diminuir por longo ou baixo prazo os problemas ambientais vieram de forma surpreendente para cuidar do meio ambiente. Neste contexto está incluso a construção civil, e um bom avanço e melhoria é a incorporação de resíduos ao concreto o que é de grande importância ao meio ambiente (ALVES, 2012).

A construção civil é um setor responsável por grande parte da geração de poluentes causadores de problemas ambientais, unindo com o aumento do acúmulo de pneus inservíveis, o presente trabalho pretende realizar um estudo sobre o comportamento dos concretos com a utilização do pneu como um agregado.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua resolução de nº 416/2009, diz em seu 3º artigo que para cada novo pneu comercializado, as empresas fabricantes ou importadoras devem dar destinação adequada a um pneu inservível, buscando assim, manter um equilíbrio entre o que é produzido e o que é descartado. Já em seu 12º artigo (CONAMA), frisa que transformar o pneu inservível em lascas não é considerado como sendo uma boa destinação final para o mesmo (BRASIL, 2009).

Sendo assim, a incorporação de resíduos em misturas de concreto surge como uma possibilidade para se atenuar impactos ambientais. De fato, uma grande quantidade de pesquisas tem indicado o uso potencial dos materiais cimentícios com adição de resíduo de borracha de pneu em aplicações sem função estrutural. Entretanto, pouco se tem estudado sobre materiais à base de cimento com adição de resíduos em elementos estruturais, em função do efeito negativo na redução da capacidade de carga compressiva em amostras com resíduo (HOLMES;DUNNE ;O'DONNELL, 2014).

O concreto sendo um material com alta rigidez, e a borracha de pneu um material altamente elástico, é de grande importância que se estude o comportamento dos dois materiais quando estes estiverem trabalhando juntos. Vale mencionar que na maioria das pesquisas, o concreto com adição de borracha tem resistência inferior ao concreto convencional, mas que pode conseguir manter uma resistência constante com a adição de elastômero, mesmo sendo necessário aumentar o consumo de cimento, ou seja, diminuindo o fator água/cimento (MARQUES & LOPES, 2005).

1.1 JUSTIFICATIVA

Ainda é preciso esperar para saber quanto tempo a natureza demora para decompor um pneu, estima-se de 200 a 600 anos, mas ainda é incerto um tempo concretizado. Segundo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2013), no Brasil são produzidos cerca de 60 milhões de pneus por ano e a possibilidade do descarte inadequado de pelo menos metade dos pneus é alta, o que gera um grave problema ambiental e saúde pública.

Assim, modos de descartes correto para o pneu vem sendo pesquisados e implantados nas indústrias fabricantes, importadoras e utilizadoras de pneumáticos. Em 2002 entrou em validade a resolução 258 pelo CONAMA. A sustentabilidade é

A construção civil principalmente no Brasil ainda é responsável por parte dos descartes de pneus incorretos. Sendo assim com a preocupação ambiental, surgiram algumas alternativas para o cumprimento da resolução 258 do CONAMA (1999/2002), dentre elas está a utilização de pneus inservíveis, como agregado, para a produção de concreto na indústria da construção civil, uma possibilidade para ingressar a sustentabilidade na construção civil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar os benefícios e possibilidades da utilização de resíduos de borracha de pneu como agregado na produção de concreto em construção residencial de pequeno porte, afim de unir a sustentabilidade com a construção civil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar o estudo de dosagem do concreto para a produção do mesmo e moldagem dos corpos de prova;
- Analisar as propriedades mecânicas e físicas dos corpos de prova do concreto produzido com e sem os resíduos de borracha de pneu;
- Comparar os resultados dos ensaios de resistência a compressão axial, trabalhabilidade e absorção, índice de vazios e massa específica nas amostras com e sem adição de resíduos de borracha de pneu.

1.3 METODOLOGIA

O trabalho foi feito através de uma revisão bibliográfica de artigos científicos, monografias, livros, sites de internet e pesquisas sobre o pneu de borracha como resíduo no concreto em geral. Foi realizado um ensaio experimental de acordo com as normas técnicas vigentes no Brasil, com substituições do agregado miúdo pelo resíduo de borracha. Assim, foram moldados 60 corpos de prova, por desenvolvimento de traços para a produção dos concretos através do método de dosagem ABCP (Associação Brasileira Cimento Portland), para verificação das características físicas e mecânicas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1 é apresentada uma introdução sobre o uso da borracha de pneu como agregado no concreto, os objetivos e metodologia do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, a qual se trata da sustentabilidade, história da borracha e do pneu, concreto com cimento Portland e concreto com adição de resíduos. Itens discorrido e explicado através da norma, tabelas e imagens ilustrativas.

No capítulo 3 é desenvolvido o programa experimental, que aborda sobre a obtenção do resíduo de borracha de pneu, materiais utilizados, dosagem, cálculos, traços para os ensaios da pesquisa e o método para analisar a trabalhabilidade, resistência a compressão axial e índice de vazios e massa específica.

O quarto capítulo apresenta as análises e resultados de trabalhabilidade, resistência a compressão axial e absorção, índice de vazios e massa específica dos ensaios realizados.

No último capítulo a conclusão da análise do uso da borracha de pneu como substituição parcial do agregado miúdo no concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SUSTENTABILIDADE

Sustentabilidade tem um conceito relacionado ao desenvolvimento sustentável, ou seja, é constituído por ideias, estratégias e atitudes ecologicamente corretas, econômicas e cultural (Significados, 2019). O assunto é muito falado, por abordar a maneira como se deve agir em relação ao meio ambiente e a natureza. O seu desenvolvimento tem objetivo de preservar o planeta. Leva então dois conceitos em especial a palavra sustentabilidade:

1. É uma característica, condição de um processo, ou de um sistema que permite a sua permanência;
2. É a capacidade de o ser humano interagir com o mundo, preservando o meio ambiente para não comprometer os recursos naturais das gerações futuras.

Para melhor entender o conceito de sustentabilidade Almeida (2002) atribuí um sentido amplo à palavra “sobrevivência”. Nos últimos anos, práticas de responsabilidade social corporativa tornaram-se parte da estratégia de um número crescente de empresas, cientes da necessária relação entre retorno econômico, ações sociais e conservação da natureza, portanto, o claro vínculo que une a própria prosperidade com o estado da saúde ambiental é o bem-estar coletivo da sociedade. É cada vez mais importante que as empresas tenham consciência de que são parte integrante do mundo e não consumidoras do mundo. O reconhecimento de que os recursos naturais são finitos e de que nós dependemos destes para a sobrevivência humana, para a conservação da diversidade biológica e para o próprio crescimento econômico é fundamental para o desenvolvimento sustentável, o qual sugere a utilização dos recursos naturais com qualidade e não em quantidade.

A sustentabilidade é formada por um tripé, logicamente seguido de três conceitos básicos (SACHS, 1993, *apud* KRUEL, 2010), onde cada um desses aspectos deverá estar estritamente ligado e de forma bem definida. São eles social, ambiental e econômico, especificados a baixo:

Social: Deve buscar o bem-estar de toda sociedade através de uma melhor qualidade de vida. Ter como rumo os princípios da ética: respeito, responsabilidade e solidariedade. A partir do momento que um reconhece suas ações, que terá impactos na sociedade.

Ambiental: Se preocupar com o consumo responsável dos recursos naturais, tentar reduzir ao máximo os impactos naturais negativos.

Econômico: É preciso buscar o crescimento econômico de forma sadia, pensando em curto, médio e longo prazo.

Sobre os exemplos de sustentabilidade vale dizer que existe 3 ações em destaque, sendo elas:

Ação individual: economia de água; evitar uso de plástico; dar preferência a produtos biodegradáveis; reciclagem junto com a separação do lixo para a coleta seletiva, etc.

Ação comunitária: quando uma comunidade investe, implanta e colabora na sustentabilidade para a melhoria do local onde vivem. Esgotos, painéis solares, horta comunitária, são modelos de um desenvolvimento sustentável entre comunidade.

Ação global: limitação do crescimento populacional, preservação da biodiversidade e dos ecossistemas, diminuição do consumo de energia, controle de urbanização, etc.

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 inseridos (MENDES, 2009).

2.1.2 Responsabilidade ambiental na construção civil

Hoje em dia a preocupação com o meio ambiente está presente nas empresas. Segundo AEA (Associação Engenheiros e Arquitetos. 2011) pode se igualar sustentabilidade com sobrevivência, pois é preciso cuidar do meio ambiente para ter sobrevivência em nossa economia e qualidade de vida. E um dos locais mais preocupantes quando se diz em sustentabilidade é a construção civil. Pesquisa feita pelo Círculo da Saúde e o Comitê do Meio Ambiente mostra que 50% a 60% de toda massa de resíduos sólidos vem da construção civil.

Contudo, atualmente, com as providências do Ministério do Meio Ambiente – CONAMA, surgiram um pequeno impacto. Porém dentro da construção civil ainda necessita uma responsabilidade maior para o socioambiental. As construtoras devem procurar meio para diminuir as casualidades ambientais e proporcionar o progresso da sociedade.

Para que na construção civil haja responsabilidade ambiente, surgiu então o marketing Ambiental ou Verde, que é um processo que consiste em atividade e buscam satisfazer suas necessidades, não prejudicando ou reduzindo impactos ao meio ambiente e permitindo que as construtoras tenham uma nova imagem no mercado (PEREIRA, 2012).

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, 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. E a grande preocupação é na finalização da obra, que nem sempre os trabalhadores da obra têm a consciência que o lixo gerado, poderá ser reciclado e reutilizado (CARELLI, 2015).

Um dos motivos que o coloca em foco, nas polêmicas relacionadas à sustentabilidade na construção civil, é que o concreto utiliza em sua composição tradicional o cimento, que é responsável pela emissão de 90% do gás carbônico (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2012).

Para um bom início da sustentabilidade na construção civil, o engenheiro precisa projetar todas as fases, quantidade e uso de cada material da construção. Uma obra deve ter preocupação e responsabilidade sobre a gestão de resíduos, ao ser gerado, os trabalhadores precisam já ter em mente a forma que vai ser separado e enviado (RABELO, 2017). Recomenda-se ajudas como: ter ponto de coleta em cada obra; bloco de concretos quebrados sejam devolvidos a empresa que forneceu e reutilizados; evitar estacionamento e/ou construção no subsolo, pois provoca escavação.

2.2 HISTÓRIA DA BORRACHA E OS PNEUS

A borracha é um polímero e uma matéria orgânica, extraído da árvore seringueira, árvore da origem amazônica. Para a extração são feitos pequenos cortes superficiais no caule da árvore, depois de sua coagulação e secagem, este material é aquecido e processado transformando-se em borracha. Na Alemanha, com a tecnologia, a borracha passou a ser fabricada artificialmente a partir do petróleo, mas mesmo a borracha sintética sendo muito parecida com a natural, ela não é tão resistente ao calor, assim um dos principais problemas é o endurecer no frio e o derreter no calor (CEMPRE, 2013).

Este problema em 1834 Charles Goodyear, filho de um inventor de ferramentas, foi escolhido para resolver. Em 1839 Goodyear encontrou a fórmula: cozinhar a borracha em alta temperatura, conhecida como vulcanização. Então em 1898 foi fundada em Ohio a Goodyear, nome dado por Frank A. Sciberling, em homenagem ao inventor do processo de vulcanização da borracha e em 1939 foi inaugurada a primeira fábrica de pneus Goodyear no Brasil (SANTOS, 2005).

Segundo Andrietta (2002), a borracha é o essencial material do pneu, marcando cerca de 40% do seu peso. Pode ser dividida entre dois tipos: natural (principal extração vem da seringueira) e sintética (derivado do petróleo ou gás natural).

O pneu é fundamental ao funcionamento dos automóveis, desde sua origem, no século XIX, passou por várias etapas até chegar à tecnologia atual. Na época a borracha não passava de uma goma para impermeabilizar tecidos e também corria o risco de dissolver quando quente. Em 1845, os irmãos Michelin foram os primeiros a patentear o pneu para veículos. As etapas iniciais de desenvolvimento dos pneus ainda passaram pelo inglês Robert Thompson em 1847 e a partir de 1888, com a utilização do pneu em larga escala, as fábricas passaram a investir em sua segurança (ANIP, 2013).

No Brasil, a maior parte da borracha produzida industrialmente é utilizada na fabricação de pneus. A inicialização da produção de pneus no Brasil foi em 1934, quando foi implantado o Plano Geral de Viação Nacional. Porém, a concretização desse plano ocorreu em 1936 no Rio de Janeiro, com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha (Pneus Brasil), que no seu primeiro ano foi fabricado mais de 29 mil pneus. Outras grandes fabricantes começaram a produzir seus pneus no Brasil. No final dos anos 80, o país já tinha produzidos mais 29 milhões de pneus (ANIP, 2013). Atualmente o Brasil está em sétimo lugar na categoria de pneus para automóveis e o quinto em pneus para ônibus/caminhão o país conta com mais de 15 fábricas de pneus, quatro delas internacionais.

2.2.1 Pneumáticos

O pneu consiste em um tubo de borracha cheio de ar que, ajustado ao aro de uma roda, permite o deslocamento do veículo. O pneumático de um veículo automotor tem função para sustentar carga, garantir a transmissão da potência automotriz, dirigibilidade e respostas eficientes nas freadas e acelerações e contribuir, junto com as suspensões, para o conforto dos ocupantes (RESENDE, 2004).

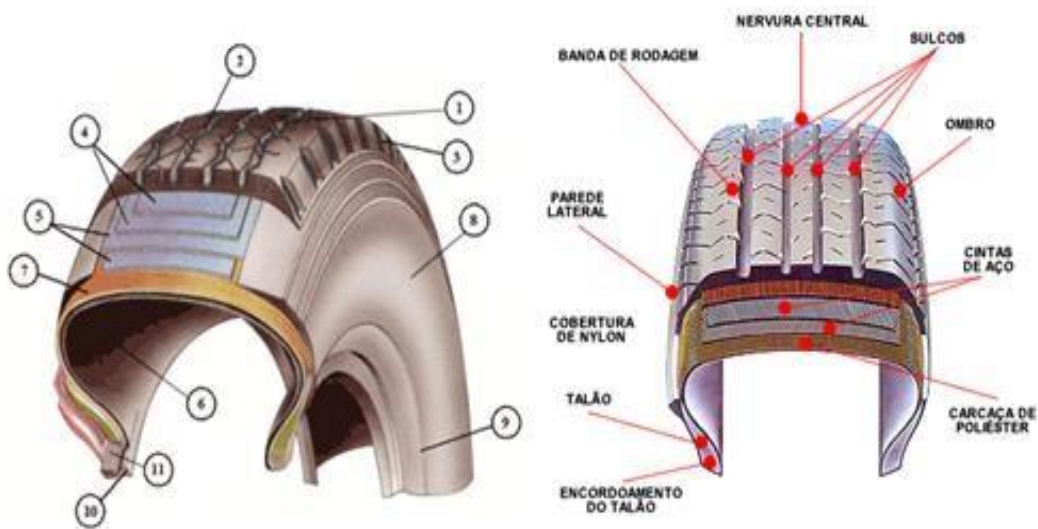
O Fiesp (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) (s.d., *apud* PALMEIRA, 2017) afirma que o pneu de passeio prevalece uma média das seguintes matérias-primas:

- 27% borracha sintética;
- 14% borracha natural;
- 28% negro fumo;
- 17% petróleo;
- 17% material metálico;
- 10% aço;
- 4% têxtil.

Diferente do que é imaginado o pneu conhecido tecnicamente como pneumático, não é fabricado apenas com borracha, tem o formato circular, normalmente na cor preta, que pode ser inflado com gases ou água, formado por um tubo de borracha cheio de ar que, ajustado ao aro de uma roda, concede a locomoção do veículo absorvendo os impactos com o solo. Tem sua cor geralmente preta devido à adição de negro fumo (considerado atualmente difícil de reciclar) à composição de borracha. Borracha natural, derivados de petróleo, aço e produtos químicos, é uma combinação de matérias primas que dão origem ao pneu.

Na Figura 1 temos a exemplificação de cada parte, da estrutura do pneu de um veículo de passeio.

Figura 1 - Estruturas de um pneu



Fonte: ANDRADE. 2007.

1. Banda de rodagem – é a parte do pneu que entra em contato com o solo;
2. Sulcos – são as cavidades que recortam a superfície da banda de rodagem;
3. Ombros – são partes do pneu entre a banda de rodagem e os flancos.
4. Lona (s) ou cinta (s) de proteção;
5. Parte exterior da estrutura resistente do pneu – tem a finalidade de proteger as lonas/cintas de trabalho;
6. Revestimento interno – é toda a superfície interna do pneu, constituída de componentes de borracha que tem a função de proteção;
7. Interior da estrutura – é a parte resistente do pneu cujos coronéis estendem-se de um talão a outro;

8. Flancos ou laterais – são as partes do pneu compreendidas entre os limites da banda de rodagem e os talões, também conhecido como flanco costado;
9. Cordão ou filete de centragem – é a linha em relevo próxima da área dos talões que tem a finalidade de indicar visualmente a correta centralização do pneu no aro;
10. Talões - são partes do pneu que entram em contato com o aro, garantindo a sua fixação ao mesmo; o talão da direita é de um pneu sem câmara;
11. Aro do talão – é o elemento metálico interno (carcaça), estrutura resistente formada por um conjunto de lonas e eventuais cintas de proteção ou de trabalho (BRIDGESTONE, 2013).

2.2.2 Pneus Inservíveis

O CONAMA (2005), define os pneus inservíveis como aqueles que não se presta para processo de reforma para continuar rodando e não tem mais vida útil. Mas como se trata de um resíduo prejudicial, não deve simplesmente ser jogado fora, é preciso ter o destino final adequado.

Andrade (2007), discute sobre um problema que é descarte final dos resíduos sólidos, tal dificuldade que não deve ser solucionado apenas pelo poder público, mas também pela sociedade. Todos os dias milhares de resíduos sólidos são descartados incorretamente, violando as leis ambientais por danos causados na natureza. E entre vários tipos de resíduos, os pneus inservíveis é um que vem preocupando os ambientalistas, governo e sociedade.

De fato, o aumento do acúmulo de pneus inservíveis está referente com a ausência de incentivo e conhecimento da reciclagem, o que leva às crises dos aterros sanitários e problemas de saúde pública.

Pesquisas feitas pela Associação de Fabricantes de Pneumáticos (JATMA, 2016), em 2016 foram produzidos mais de 1,5 bilhões de pneus novos em todo o mundo. No Brasil no mesmo ano foram produzidos mais de 70 milhões de pneus. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas realizou uma pesquisa com resultado de que 53,2% dos pneus consumidos no Brasil são considerados inservíveis (ANIP, 2007). E apenas 68% são destinados de forma correta e regularizada (IBAMA, 2016).

Com a necessidade de reduzir o passivo ambiental atuado pelo estoque de pneus descartados ultimamente, tornou-se improrrogável que crie soluções para diminuir os impactos ambientais e meios para a reutilização dos pneus inservíveis (GUTIERREZ, 2008).

Os principais impactos causados pela disposição irregular dos pneus inservíveis é a saúde pública e os incêndios, explicados e mostrados a seguir:

- Saúde pública: por seu formato os pneus quando é deixado ao ar livre, acumula água da chuva por exemplo, torna procriação dos insetos causadores das doenças como: dengue, malária, leptospirose e febre amarela.
- Incêndio: os pneus sujeitos à queima acidental ou provocada, ocorre prejuízos na qualidade do ar, devido a fumaça conter alto teor de substâncias tóxicas, além da contaminação da água por lixiviação de metais na queima ao ar livre.

2.2.3 A Reutilização de pneus inservíveis

De acordo com Lagarinhos (2008), no Brasil de todas as inovações empregadas para a reciclagem de pneus, as três com maior competência na reciclagem são: a atividade de reforma (recauchutagem), a elevação energética e a laminação para confecção de artefatos de borracha. Tais processos usaram 120,36 mil toneladas de pneus inservíveis, ou seja, 50,02% do total reciclado no ano de 2006 no Brasil.

Segundo (ADHIKARI et al. apud KAMIMURA, 2004), dentre os vários métodos de eliminação de resíduos de borracha a reciclagem é a abordagem mais positiva, porque não salva somente a matéria-prima fóssil, mas também mantém a qualidade ambiental. O primeiro passo para o aproveitamento foi dado com a transformação de sobras em pó e reutilização na produção de novas peças, mantendo as propriedades, sem abalar a qualidade dos produtos.

O CONAMA em 1999 publicou a resolução, que despertou a responsabilidade do produtor e do importador pela última destinação ambientalmente conveniente de pneus, nascendo então uma grande necessidade e interesse em projetos para este resíduo. Sendo assim, a borracha vinda de pneu inservível passou ser melhor aproveitada e com o passar do tempo podendo ser reutilizada de várias formas, algumas delas citada e explicada a baixo.

- Obras de drenagem: os pneus são unidos em módulos de aproximadamente 15 pneus e formam um tubo que substitui os bueiros. Segundo Kamimura (2004), esta prática apresentou desempenho aceitável e tem sido adotada nos EUA, visto na Figura 2.

Figura 2 – Pneus utilizados como obra de drenagem



Fonte: Kamimura (2004).

- Muros de contenção ou arrimo: segundo Ramos (2005), pneus picados ou inteiros podem ser usados em aterros para substituir parte do agregado com baixo custo e manter o solo com boa drenagem, visto na Figura 3.

Figura 3 - Pneu em obra de contenção de encosta



Fonte: Ramos (2005).

- Limites de território e proteção esportiva: os pneus são usados em pistas esportivas formando muros de limitação do território e como proteção para a prática de esportes automotivos de alta velocidade, e em pistas de corridas de cavalos (RAMOS, 2005), visto na Figura 4.

Figura 4 - Barreira de pneus



Fonte: NOBRES DO GRID, 2009.

- Artesanatos: pneus inteiros podem ser utilizados na confecção de móveis e obras de arte, os pneus podem ser utilizados como objetos para a ornamentação de praças, ruas, parques e residências, visto na Figura 5.

Figura 5 – Artesanatos feitos com pneus



Fonte: ABPAT, 2014.

- Gerador de energia: Em 1975 o pneu iniciou a ser empregado como fonte geradora de energia, essa prática foi desenvolvida na Dickerhoff – Alemanha. A realidade 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 (KAMIMURA, 2004).

- Pavimentação asfáltica: 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, como visto na Figura 6.

Figura 6 - Pavimentação asfáltica com pneu



Fonte: BETUSEAL, 2015.

2.3 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

De acordo com os termos na NBR (Norma Brasileira) 12655 (ABNT, 2015):

concreto de cimento Portland é o material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

O cimento Portland, um pó fino acinzentado, é o mais importante material estrutural e de construção civil da época atual, mesmo sendo uma descoberta recente dos materiais de construção civil. Sua revelação ocorreu no fim do século XIX, onde transformou o material mais consumido depois da água no Brasil e em outros países também (MARQUES, 2010). Com 53 toneladas de cimento produzidos no Brasil em 2018 (SNIC, 2018), é possível estimar-se que são consumidos a cada ano mais ou menos 362 milhões de toneladas de produtos a origem de cimento. A designação do cimento Portland é consecutiva do paralelo do cimento fabricado industrialmente com a pedra e Portland, calcário extraído em Dorset, na Inglaterra (RIBEIRO, PINTO, STARLING, 2011).

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2016),

o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com a necessidades de cada obra.

O concreto de cimento Portland deve conter cimento, água e agregados. Quando misturado o cimento com água, dependendo da quantidade de água colocado, forma uma pasta fluída. Essa pasta cobre as partículas de agregado com várias dimensões, nos primeiros momentos mostra-se estado conveniente para ser moldado em diversas formas. Já com o tempo a mistura endurece devido a reação irreversível do misto água e cimento, adquirindo resistência e tornando-se um material ideal para execução estrutural. Segundo Isaia (2011), as alterações que a água causa na microestrutura do concreto são consideráveis, sendo assim a água é um dos fundamentais elementos para a produção do concreto.

O cimento Portland é um material consequente de pulverização do clínquer, misturado com uma fração de sulfato de cálcio natural, podendo ser acrescentado ao longo da preparação do cimento, aditivos que alteram as propriedades do concreto (Bauer, 2000).

No Brasil existe 8 tipos de cimento Portland, diferentes entre si, principalmente em função de sua composição. Vale citar que todos os cimentos são registrados por norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Nomenclatura dos cimentos Portland (continua)

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
Cimento Portland comum (NBR 16697/2018)	Cimento Portland comum	CP I	25	CP I-25
			32	CP I-32
			40	CP I-40
	Cimento Portland comum com adição	CP I-S	25	CP I-S-25
			32	CP I-S-32
			40	CP I-S-40
Cimento Portland composto (NBR 16697/2018)	Cimento Portland composto com escória	CP II-E	25	CP II-E-25
			32	CP II-E-32
			40	CP II-E-40
	Cimento Portland composto com pozolona	CP II-Z	25	CP II-Z-25
			32	CP II-Z-32
			40	CP II-Z-40
	Cimento Portland composto com filer	CP II-F	25	CP II-F-25
			32	CP II-F-32
			40	CP II-F-40
Cimento Portland de alto-forno (NBR 16697/2018)		CP III	25	CP III-25
			32	CP III-32
			40	CP III-40
Cimento Portland pozolânico (NBR 16697)		CP IV	25	CP IV-25
			32	CP IV-32

Tabela 1 - Nomenclatura dos cimentos Portland (conclusão).

Cimento Portland de alta resistência inicial (NBR 5733)		CP V-ARI	-	CP V-ARI
Cimento Portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP I-32RS, CP II-F-32RS, CPIII-40RS etc.
Cimento Portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I-32BC, CP II-F-32BC, CPIII-40BC etc.
Cimento Portland branco (NBR 16697)	Cimento Portland branco estrutural	CPB	25 32 40	CPB-25 CPB-32 CPB-40
	Cimento Portland branco não estrutural	CPB	-	CPB
Cimento para poços petrolíferos (NBR 9831)		CPP	G	CPP – classe G

Fonte: ABNT, 2018.

2.3.1 Propriedades do concreto

As propriedades mecânicas do concreto são definidas a partir de ensaios que geralmente são realizados para controle de qualidade. Resistência à compressão, resistência a tração e módulo de elasticidade são as principais propriedades mecânicas do concreto, que dependem principalmente da sua densidade e resistência do agregado, determinadas mais por suas características físicas e químicas (ALMEIDA, 2010).

Fatores que influenciam nas propriedades do concreto:

- Tipo e quantidade de cimento;
- Qualidade da água e relação água-cimento;
- Tipos de agregados, granulometria e relação agregado-cimento;
- Presença de aditivos e adições;
- Procedimento e duração do processo de mistura;
- Condições de duração do transporte e do lançamento;
- Condições de adensamento e de cura;
- Forma e dimensões dos corpos de prova;
- Tipo e duração do carregamento
- Idade do concreto, umidade e temperatura.

As propriedades do concreto dependem dos materiais e suas proporções que influenciam tanto o concreto em seu estado fresco como no seu estado endurecido.

2.3.1.1 Propriedades do concreto no estado fresco

Suas principais propriedades são consistência, trabalhabilidade e homogeneidade. O concreto fresco deve ter uma trabalhabilidade apropriada as condições de utilização, determinada pelo transporte, lançamento e adensamento (RIBEIRO, DARC, STARLING, 2011).

De acordo com os termos na NBR 12655 (ABNT, 2015): “concreto fresco: concreto que está completamente misturado e que ainda se encontra em estado plástico, capaz de ser adensado por um método escolhido”.

Segundo Carvalho e Figueiredo (2014) a consistência, corresponde a maior ou menor amplitude que o concreto fresco tem de deformar, está relacionado ao método de transporte, lançamento e adensamento do concreto e oscila com a medida de água colocada, granulometria dos agregados e frequência de produtos químicos essenciais.

Já sobre a trabalhabilidade, assim como a consistência do concreto, provém da granulometria dos materiais sólidos, da incorporação de aditivos e, do fator água/cimento, é visto de boa “trabalhabilidade” um concreto, quando o *slump* alto é acessível de ser lançado e adensado.

Ao falar de *slump* é definido pela norma que são ensaios realizados de modo para verificar a consistência do concreto, sendo o *Slump Test* que tem definição abatimento do tronco de cone. Consiste em completar o molde, antes de umedecido, com concreto em 3 camadas, cada uma com cerca de um terço da altura do molde compactado. Cada camada deve ser compactada com 25 golpes da haste de “socamento”. A superfície do concreto deve ser rasada e o molde deve ser retirado cautelosamente por um tempo de 10 segundos. Logo após a retirada do molde deve ser medido o abatimento do concreto, medindo a distância da altura do molde com a altura do corpo de prova. A medida do abatimento tem como alvo estabelecer a consistência do concreto (ABNT, 1998).

E por última propriedade e não menos importante, tem a homogeneidade. A organização dos agregados graúdos dentro da massa de concreto é um fator significativo de intercessão na qualidade do concreto. Quanto mais uniforme os agregados se mostrarem espalhados na massa, sem apresentar desagregação, o concreto terá uma qualidade melhor.

Um concreto dosado para alcançar a trabalhabilidade certa, deve ter os seguintes atributos:

- 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.

As qualidades solicitadas para o concreto como resistência e impermeabilidade são alcançadas com uma boa cura, na qual o concreto está mais sensível ao calor e ao vento, os quais provocarão a evaporação da água da mistura evitando a total hidratação do cimento, acarretando assim, a retração (Bauer 2000). Petrucci (2005) complementa afirmando que a cura é o conjunto de medidas necessárias para evitar a evaporação prematura da água.

2.3.1.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

O concreto endurecido deve ter suas propriedades definidas pela resistência aos esforços mecânicos a que será domado e pelas demandas relativas à durabilidade (RIBEIRO, DARC, STARLING, 2011).

De acordo com os termos na NBR 12655 (ABNT, 2015): “concreto endurecido: concreto que se encontra no estado sólido e que desenvolveu resistência mecânica”.

O endurecimento do concreto inicia após sua realização, e o estágio entre o início do endurecimento até ele alcançar uma condição que possa ser desenformada, mesmo sem ter atingido sua resistência total, dito de “pega”. O início de pega é quando não é possível lança-lo nas formas e adensá-los.

Concreto endurecido tem como suas principais características as mecânicas, destacando-se as resistências a compressão e à tração. Pelo ensaio os corpos-de-prova estão sujeitos à compressão centrada, independentemente do tipo de ensaio, algumas causas induzem a resistência do concreto endurecido, o principal é o traço que são a relação entre as quantidades de cimento, agregados e água (Carvalho e Figueiredo, 2014).

Ao projetar estruturas de concreto armado, o engenheiro projetista determina uma resistência característica à compressão, que é calculado como valor de referência e usada como base de cálculo, assim está associada a um nível de confiança de 95%.

A NBR 5738 (ABNT, 2015) define os procedimentos para a moldagem e cura dos corpos-de-prova, que podem ser realizados por imersão em água ou em câmara úmida, com condição de temperatura e umidade relativa do ar controlada. Os corpos-de-prova devem ser cilíndricos, sendo mais comumente utilizados no Brasil, os de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura e os de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura. Quando não for indicada a idade, as resistências referem-se à idade de 28 dias.

2.4 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS E RCD

Devido os problemas gerados pelo uso intenso do concreto armado, foi criado o concreto sustentável, um concreto com adição de resíduos, como forma de diminuir os impactos realizados pelo uso das matérias primas durante a confecção do cimento. Na construção civil, a fabricação de concreto é como uma grande fábrica de reciclagem com potencial para absorver vários tipos de resíduos. A adição de outros resíduos no concreto, na forma de agregado fino ou grosseiro já foi estudada por vários pesquisadores. Alguns desses resíduos são acrescentados com a finalidade de melhorar as características mecânicas dos concretos (Babu e Prakash, 1995).

Moura (2002) também estudou o aproveitamento de resíduos em substituição parcial à areia, e foi concluído que não há riscos ambientais, e ainda a resistência à compressão é aperfeiçoada em relação a argamassa.

Assim os atributos e durabilidade de concretos com adição de reciclados são boas, e é uma escolha possível, de preferência nos projetos que mostram redução nos custos benefícios para o meio ambiente (Salem e Burdette, 1998).

Sobre o RCD (Resíduo de construção e demolição), a partir da Resolução 307/2002 do CONAMA e da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o poder público municipal passou a ser responsável por estabelecer ações para o gerenciamento correto dos (RCD's) de obras e empresas de construção civil para destinação final correta do resíduo gerado, assim torna um grande desafio na construção civil transformar resíduo em uma fonte alternativa de matéria prima (Revista de Gestão Social e Ambiental, 2016). O RCD é um grande problema para as cidades, sendo de 50% dos resíduos sólidos urbanos, e nos canteiros de obras, onde normalmente não existe a gestão desse material, o descarte é feito de maneira incorreta (PRS, 2015).

Nos tópicos abaixo serão apresentadas algumas, dentre as várias formas de adição de resíduos no concreto.

2.4.1 Resíduos de cerâmica vermelha

Dentre os vários elementos do RCD, a cerâmica vermelha, procedente de restos de tijolos e telhas cerâmicas utilizados nas construções, como mostrado na Figura 7, equivale a uma considerável parcela destes resíduos (CABRAL *et al*, 2009). As cerâmicas vermelhas são utilizadas na fabricação de vários componentes de construção, como tijolo maciços, blocos cerâmicos telhas, tubos cerâmicos, dentre outros.

Figura 7 - Resíduos de Cerâmica Vermelha



Fonte: IPT, 2016.

A indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, por ter alto volume de produção que gera o consumo de grandes quantidades de rejeitos (Wender e Baldo, 1998).

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 2016), realizou um estudo que deu um destino certo para o material cerâmico. A produção da cerâmica vermelha tem perda plausível de material, na qual o descarte como entulho era inevitável e mesmo depois do consumo o quadro era o mesmo. Assim o IPT, teve como finalidade a queda do uso de recursos naturais na fabricação de cimentos Portland, por ser um processo como já citado anteriormente que gera grande quantidade de poluentes. No artigo publicado por Santos, Castro e Gonçalves (2018), foi realizado teste com a pozolana do resíduo de cerâmica vermelha, incluindo-a na produção do concreto. Teve como resultado que tanto na incorporação para a elaboração do cimento quanto na aplicação como adição de materiais ao concreto, melhora as propriedades físicas e durabilidade do concreto, diminui custos e preserva os recursos naturais.

2.4.2 Resíduos do mármore

Sobre o resíduo mármore, visto na Figura 8, o mesmo triturado pode ser também uma substituição ao agregado miúdo para a formação de argamassas. Teixeira (2012) utilizou resíduos de mármore proveniente de processos de corte e boleamento das placas deste tipo de rocha.

Figura 8 - Resíduo de mármore



Fonte: RABAHI, 2016.

Barbosa (2011), também determina a chance do emprego de rejeito como agregado miúdo na fabricação do concreto, tornando-se em um produto com capacidades iguais ou melhores as atingidas tradicionalmente. A tendência de novas tecnologias que pretendem reaproveitar os resíduos do mármore e diminuir o uso de areia natural, os resíduos nativos do mármore, torna-se um agregado miúdo britado. Barbosa (2011), estudou tal substituição, e os resultados atingidos no ensaio de resistência a compressão axial, mostraram que o concreto ganhou 0,5MPa a mais que o concreto comum.

2.4.3 Adição de fibras de garrafa PET

Hoje em dia a fibra PET é uma resina bastante conhecida. Segundo Forlin e Faria (2002), estudos realizados com o PET têm apontado várias possibilidades de reutilização deste material, pois é um poliéster 100% reciclável e um dos plásticos mais reciclados em todo o mundo.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) a adição de fibras tem o alvo de impedir a fissuração ou propagação de fissuras no concreto, induzindo ao aumento a tenacidade e

resistência ao impacto. Vale ressaltar que o emprego do PET para fabricação de concreto ecológico deve ser feito em condições controladas, através de protocolos ou modelos matemáticos para a dosagem das fibras no concreto e previsão de resultados (JÚNIOR, FINEZA, PEREIRA, 2017).

O PET tem a vantagem de ser um material reciclável e de baixo custo, é esclarecido que o abatimento do concreto com fibras é maior, ou seja, há uma trabalhabilidade maior devido a sua geometria plana (MENESES, 2011). Já a resistência à compressão é pouco alterada em teores baixo, tem uma variação de 0,1 e 3% em relação a massa do cimento, segundo Gu e Ozbakkaloglu (2016) o aumento ou diminuição da resistência do concreto está pertinente ao módulo de elasticidade da fibra. Na Figura 9 é mostrado transformação da garrafa PET para fibra e em seguida para o pó.

Figura 9 - Transformação da garrafa PET

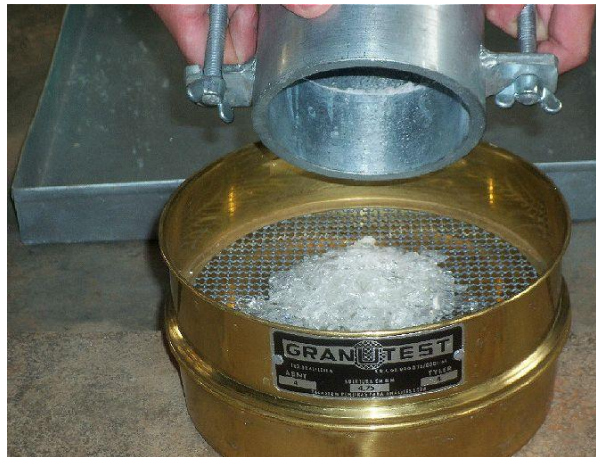


Fonte: SANTOS, 2015.

2.4.4 Resíduos de vidro

A sucata de vidro tem muito a colaborar por se tratar de um material reciclável, além de baixo custo. Tem sua formação grande quantia por óxido de sílica e de cálcio, melhorando as propriedades mecânicas do concreto. Com o uso do vidro moído (Figura 10), acrescentado ao concreto como agregado fino, os impactos ambientais tendem a serem reduzidos.

Figura 10 - Vidro moído



Fonte: SANTOS, 2015.

A diminuição da resistência à compressão do concreto, com o aumento da massa de vidro adicionada, pode ser referente à separação da força de ligação entre a pasta e o agregado (Polley, 1998).

Uma pesquisa feita na publicação de um artigo para a UNESP, realizada por Gomes (2011), usando o vidro reciclado adicionado no concreto, teve os seguintes resultados: o vidro aplicado para formar as misturas ensaiadas, foi do tipo Float incolor, pego em vidraçarias. O elemento foi moído no moinho de bolas por 15 minutos, onde foi utilizada apenas a parcela passante na peneira 0,50 mm. Nos ensaios feitos aos 07 e aos 28 dias, verifica-se que valor médio das amostras com 0% de adição, e das amostras com 6% de adição de pó de vidro, tem valores aproximados, apresentando um comportamento muito similar nestes teores de adição de vidro. Feito também o valor médio das amostras com 3% e 9% de adição do pó de vidro são valores semelhantes, mas, cerca de 5% menores que os valores das adições de 0% e 6%. Estes traços são resultados tanto para os ensaios da resistência a compressão, quanto para o ensaio do módulo de elasticidade.

2.4.5 Resíduos de borracha de pneus inservíveis como agregado

Dentre os materiais alternativos, a borracha reciclada de pneu inservível apresenta propriedades técnicas que podem ser interessantes para seu uso em aplicação como agregado ao concreto. Pensando em diminuir os impactos ambientais provocados pela construção civil, surge o paradigma da construção sustentável, onde é estudado a adição de resíduos de borracha de pneu em concretos de cimento Portland (RABELO, 2017).

Segundo Bignozzi e Sandrolini (2000), os estudos da utilização de resíduos de borracha de pneu em concretos de cimento Portland existem à cerca de uma década, para além de contribuição em trabalhos ao meio ambiente, proporcionar enriquecimento de diferentes propriedades aos materiais de cimento Portland, sejam pastas, argamassas ou concretos.

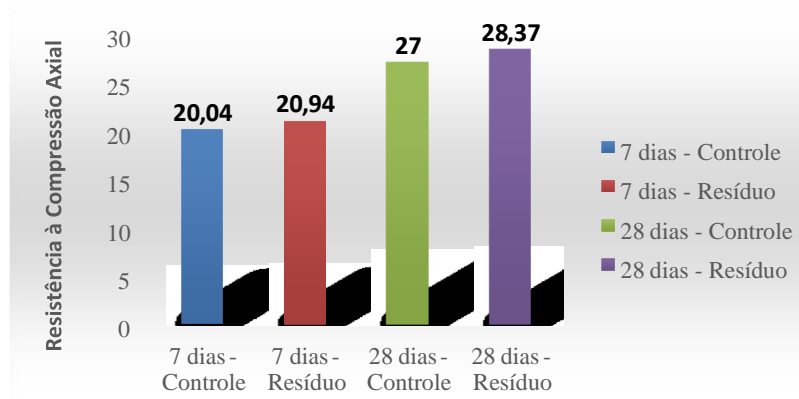
Rabelo (2017) realizou uma pesquisa com o objetivo de provar que o aproveitamento de resíduos de pneus inservíveis é tecnicamente possível. Para isso o autor realizou ensaios de trabalhabilidade, resistência a compressão axial, absorção, índice de vazios e massa específica. Foram elaborados 7 traços (1 de referência e 6 com substituição do agregado natural), que foram definidos em composição granulométrica do resíduo e teve a porcentagem de substituição de 4 a 8. Concluiu então que a substituição gera uma redução na resistência a compressão axial do concreto e os traços com substituição de 4% apresentaram melhores resultados.

A adição da borracha de pneu diminui a resistência à compressão, entretanto sua tenacidade é superior ao concreto comum. Assim Martins (2005) fez uma pesquisa e experimentos para analisar a performance do concreto com adição de resíduos de borracha pneus e apontou algumas vantagens como: 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.

Os estudos realizados por Segre (1999) também comprovaram a utilização resíduos de borrachas de pneus em materiais de engenharia e afirma que a mistura de borracha de pneu moída e pasta de cimento resulta num composto resistente à abrasão e à flexão.

Com o objetivo de simplificar a comparação de diferentes estudos de concretos com adição de resíduos de borracha de pneu inservível, é preciso referenciar a quantidade de resíduo colocada em relação ao metro cúbico de concreto.

Fazzan, Pereira, Akasaki (2016), realizam um estudo para ter resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com e sem resíduo de borracha de pneu aos 7 e 28 dias de cura, tiveram os resultados em MPa mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Resultados de Resistência à Compressão Axial dos corpos de prova

Fonte: FAZZAN, PEREIRA, AKASAKI, 2016

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 OBTENÇÃO DO RESÍDUO DE BORRACHA

O material foi obtido na empresa Renov Pneus, localizada no município de Anápolis, Goiás. A empresa está há 22 anos no mercado de reforma de pneus e atua na área de pneus de carga, agrícola e fora de estrada, a empresa iniciou com a intenção de construir um local que ofereça oportunidades de crescimento de forma inovadora e sustentável.

O pneu passa por um processo de raspagem mecânica da banda de rolagem por intermédio de cilindros metálicos (Figura 12), que é chamado de recauchutagem. Todo o processo é efetuado acompanhando a NBR 10007/2004.

Figura 12 - Raspagem mecânica do pneu



Fonte: Bonin, 2015.

Após a concepção dos resíduos de pneu, o mesmo teve reparo visual, para retirar quaisquer materiais indesejáveis. Boaventura (2011) recomenda que para o uso do resíduo de pneu continue sustentável, não é preciso passar por nenhum tipo de tratamento antes da junção no concreto.

3.2 MÉTODO DE DOSAGEM

Mehta e Monteiro (2008) dá um significado a dosagem do concreto, encontrar a combinação certa dos componentes, diz também que é um processo de combinação correta de cimento, agregados, água, adição e aditivos. Um dos propósitos da dosagem do concreto é

atingir um produto que atenda condições pré-determinados, como: trabalhabilidade, resistência e durabilidade.

Estudo de dosagem são procedimentos fundamentais para ter o melhor traço, ou proporção entre materiais. A proporção pode ser em massa ou volume, mas é aconselhável e regrada em massa seca (Tutikian e Helene, 2010). Aborda também que no Brasil, ainda não existe uma norma de como deve ser um estudo corretamente dito sobre dosagem, assim vários pesquisadores sugerem seus próprios métodos.

O método escolhido foi o ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para determinação da dosagem do concreto, por ser um método simples e ágil, além de mais usado. Este método é uma adaptação para agregados brasileiros do ACI (American Concrete Institute).

3.2.1 Características dos materiais utilizados

3.2.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP II-F-32, sendo seguido as especificações da NBR 16697/2018 – Cimento Portland Composto, aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland. O cimento Portland composto é denominado por siglas que equivalem as adições e as suas classes de resistência como no Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Teores dos componentes do cimento Portland CP II-F-32

Siglas	Classe de resistência	Clínquer + sulfatos de cálcio (%)	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático (%)
CP II-F	32	94-90	-	-	6-10

Fonte: NBR 16697, adaptado (ABNT, 2018).

O cimento Portland composto deve considerar as exigências químicas indicadas no Tabela 3:

Tabela 3 – Exigências químicas CP II-F-32

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 16697, adaptado (ABNT, 2018).

O cimento Portland CP II-F-32 considera às exigências físicas e mecânicas indicadas no Tabela 4.

Tabela 4 - Exigências físicas e mecânicas do cimento CP II-F-32

Características e propriedades		Unidade	Limites de classe
			32
Finura	Resíduo na peneira 75 μ m	$\leq 12,0$	$\leq 12,0$
	Área específica	m ² /kg	≥ 260
Tempo de início de pega		h	≥ 1
Expansibilidade a quente		mm	≥ 5
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	$\geq 10,0$
	7 dias de idade	MPa	$\geq 20,0$
	28 dias de idade	MPa	$\geq 32,0$

Fonte: NBR 16697, adaptado (ABNT, 2018).

3.2.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo usado para a confecção do concreto foi a Brita 0, com dimensão máxima de 12,5mm. Foi caracterizado este agregado conforme as normas técnicas vigentes. No Tabela 5 ilustra a caracterização da Brita escolhida.

Tabela 5 - Caracterização do agregado graúdo

Dimensão máxima característica (NBR 7211, 2009)	12,5 mm
Massa específica (NBR NM 53/ABNT, 2002)	2663 kg/m ³
Massa unitária (NBR NM 45/ABNT, 2006)	1655 kg/m ³ ;

Fonte: Própria autora, 2020.

3.2.1.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo usado para a confecção do concreto foi a areia lavada, do tipo média. Foi caracterizado este agregado conforme as normas técnicas vigentes. No Tabela 6 ilustra a caracterização da areia escolhida.

Tabela 6 - Caracterização do agregado miúdo

Módulo de Finura (NBR NM 248, 2003)	2,8
Massa específica (NBR NM 52/ABNT, 2002)	2472 kg/m ³

Fonte: Própria autora, 2020.

3.2.1.4 Resíduo de pneu

Como citado no item 3.1, o resíduo passou por um processo de raspagem ou recauchutagem. No Tabela 7, ilustra a caracterização do resíduo de borracha.

Tabela 7 - Caracterização do resíduo de pneu

Dimensão máxima característica (NBR NM 248/ABNT, 2003)	4,75 mm	
Módulo de Finura (NBR NM 248/ABNT, 2003)	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: Própria autora, 2020.

3.2.1.5 Água de adensamento

A água utilizada foi a potável da rede de tratamento público da cidade Anápolis, Goiás, respeitando o que sugere a norma.

3.3 DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS

3.3.1 Relação água cimento

De acordo com NBR 12655/2015 a resistência de dosagem deve atender às condições de variação durante a construção. Esta variabilidade medida pelo desvio-padrão, sd , é levada em conta no cálculo da resistência de dosagem, segundo a equação 1:

$$F_{c28} = f_{ckj} + 1,65 \times sd \quad (1)$$

Onde:

- F_{ckj} é a resistência característica do concreto à compressão, aos 28 dias, expressa em megapascals (MPa);
- sd é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa).

Para o cálculo os dados necessários são:

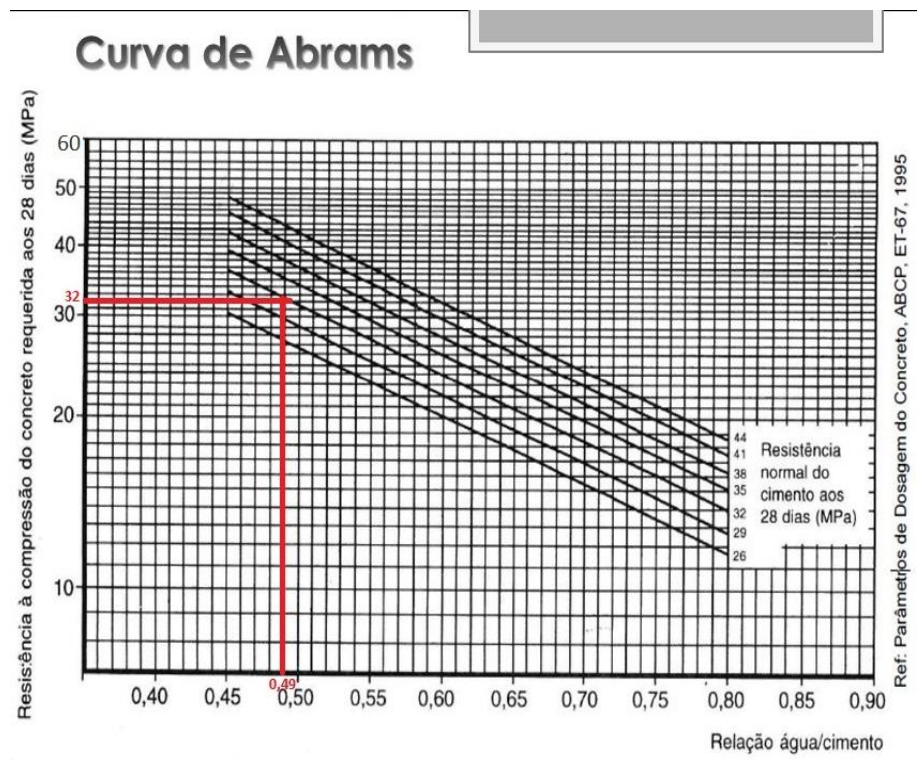
- Resistência normal do cimento aos 28 dias = 32 MPa;
- Resistência requerida do concreto aos 28 dias = 25 MPa;
- Desvio padrão = 4 MPa (condição “A” segundo a NBR 12655/2015).

Portanto:

$$F_{c28} = 25 + 1,65 \times 4 = 31,6 \text{ MPa}$$

Com esses valores olhar no gráfico das curvas Abrams do cimento (Figura 13), e tirar a relação a/c.

Figura 13 - Curva de Abrams



Fonte: Própria autora, 2020.

Sendo assim, o fator $a/c = 0,49$.

3.3.2 Determinar consumo dos materiais

3.3.2.1 Cálculo do consumo de água (Ca)

Para determinar o consumo de água é preciso ter a brita e o abatimento escolhido, que será:

- Brita 0;
- Abatimento = 80mm;
- Diâmetro máximo = 12,5mm.

Após definir o número da brita, o abatimento e o diâmetro máximo, é preciso consultar a Tabela 8 para determinar o consumo de água. Como a norma não traz o valor aproximado do diâmetro 12,5mm, é preciso fazer o cálculo por meio de interpolação e assim é chegado ao resultado.

Tabela 8 - Consumo de água aproximado

Consumo de água aproximado (L/m ³)					
Abatimento (mm)	Dmáx 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.

Sendo assim, o consumo de água = 222,5 L.

3.3.2.2 Cálculo do consumo de cimento (C_c)

Para determinar o consumo do cimento (C_c), depende exatamente do consumo de água (C_a), realizado o cálculo através da equação 2.

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

Onde:

- C_a = consumo de água;
- a/c = relação água/cimento.

Portanto:

$$C_c = \frac{222,5}{0,49} = 454,08 \text{ Kg/m}^3$$

Sendo assim, o consumo de cimento = 454,08 Kg/m³.

3.3.2.3 Cálculo do consumo do agregado graúdo (C_b)

Através da Tabela 9 determina-se o consumo do agregado graúdo. Para isso é preciso saber o módulo de finura da areia (MF), apontado na Tabela 6, assim associar a dimensão máxima do ensaio de granulometria do agregado graúdo. O valor dado no Tabela 9 é em metro cúbico para cada m³ de concreto, ou seja, volume.

Tabela 9 - 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.

Portanto, o $V_b = 0,545 \text{ m}^3$.

Conseguido o valor do agregado graúdo seco (V_b), realiza o cálculo através da Equação 3, e assim é definido o consumo do agregado graúdo (C_b) por metro cúbico de concreto.

$$C_b = V_b \times M_u \quad (3)$$

Onde:

- V_b = volume do agregado graúdo seco por m^3 de concreto;
- M_u = massa unitária compactada do agregado graúdo (Quadro 5).

$$C_b = 0,545 \times 1655 = 902 \text{ Kg/m}^3$$

Sendo assim, o consumo de agregado graúdo = 902 Kg/m^3 .

3.3.2.4 Cálculo do consumo do agregado miúdo (C_m)

Para determinar o consumo do agregado miúdo, primeiro, é necessário calcular o volume do agregado miúdo por metro cúbico de concreto, através da Equação 4.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

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:

$$V_m = 1 - \left(\frac{454,08}{3100} + \frac{902}{2663} + \frac{222,5}{1000} \right) = 0,292 \text{ m}^3$$

Conseguido o valor do volume do agregado miúdo, realiza-se o cálculo através da Equação 5, e assim é definido o consumo do agregado miúdo por metro cúbico de concreto.

$$C_m = \gamma_m \times V_m \quad (5)$$

Onde:

- γ_m = massa específica da areia;
- V_m = volume de areia.

$$C_m = 2472 \times 0,292 = 721,82 \text{ kg/m}^3$$

Sendo assim, o consumo de agregado miúdo = 721,82 Kg/m³.

3.3.3 Apresentação do traço

A representação do traço, com relação ao unitário do cimento, é apresentada segundo a Equação 6:

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (6)$$

Onde:

- C_c = consumo do cimento
- C_m = consumo do agregado miúdo
- C_b = consumo do agregado graúdo
- C_a = consumo da água

Portanto:

$$\frac{454,08}{454,08} : \frac{721,82}{454,08} : \frac{902}{454,08} : \frac{222,5}{454,08} = 1 : 1,58 : 1,98 : 0,49$$

Sendo assim, o traço unitário, em massa, do concreto de referência está ilustrado no Tabela 10.

Tabela 10 - Traço unitário, em massa, do concreto de referência

Traço unitário (Kg)			
Cimento	Areia	Brita	Água
1	1,58	1,98	0,49

Fonte: Propria autora, 2020.

3.3.4 Desenvolvimento dos traços e moldagem dos corpos de prova

Para o desenvolvimento dos corpos de prova foi elaborado um traço referência sem substituição de resíduo de borracha de pneu, feito com os mesmos materiais do concreto convencional e outros quatro traços diferentes com variação de percentual de agregado miúdo e de borracha adicionada. Foi dividido as granulometrias em borracha média e fina, e para diferenciar, peneirou a borracha na peneira 2,36mm, na qual a média foi definida pelo resíduo de pneu que ficou retido na peneira 2,36mm e passante pela 4,75mm, a fina foi determinado pelo resíduo de pneu passante pela peneira de 2,36mm e retida na 1,18mm. Os traços de concreto foram definidos para serem produzidos, ilustrados abaixo:

- Traço de referência: traço sem resíduo de borracha, concreto referência;
- Borracha média 3%: traço com substituição de 3% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica retida na peneira #2,36mm;

- Borracha média 1%: traço com substituição de 1% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica retida na peneira #2,36mm;
- Borracha fina 3%: traço com substituição de 3% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica passantes na peneira #2,36mm;
- Borracha fina 1%: traço com substituição de 1% do agregado miúdo natural pelo resíduo de pneu em sua composição granulométrica passantes na peneira #2,36mm;

No Tabela 11 é apresentado os traços unitários, em massa, dos concreto a serem produzidos.

Tabela 11 - Traço unitário, em massa, dos concretos a serem produzidos

Tipo	Cimento	Areia	Borracha	Brita	Água
Referência	10,26	16,21	0	20,31	5,02
Borracha média 3%	10,26	15,72	0,141	20,31	5,02
Borracha média 1%	10,26	16,04	0,047	20,31	5,02
Borracha fina 3%	10,26	15,72	0,139	20,31	5,02
Borracha fina 1%	10,26	16,04	0,046	20,31	5,02

Fonte: Própria autora, 2020.

Foram moldados 60 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 (ABNT, 2015). A Figura 14 ilustra os corpos de prova moldados.

Figura 14 - Corpos de prova moldados



Fonte: Própria autora, 2020.

3.4 ENSAIOS REALIZADOS

3.4.1 Trabalhabilidade

A consistência dos concretos foi analisada pelo abatimento do tronco de cone, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), seguindo tais processos abaixo:

1. Umedecer o molde e a placa de base e colocar o molde sobre a placa de base. Durante o preenchimento do molde com o concreto de ensaio, o executor deve se posicionar com os pés sobre suas aletas (Figura 15), de forma a mantê-lo seguro.
2. Completar o molde com o concreto recolhido de acordo com a NBR NM 33/1998, em três camadas, cada uma com cerca de um terço da altura do molde. Através da haste de adensamento compactar 3 camadas com 25 golpes cada (Figura 15). Distribuindo os golpes uniformemente dentro da seção de cada faixa de concreto, realizando metade dos golpes com a haste levemente inclinada.

Figura 15 - Realização dos golpes



Fonte: Própria autora, 2020.

3. Depois da 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 processo deve permanecer entre 5 a 10 segundos.
4. Por último, medir em seguida o abatimento do concreto, indicando a diferença entre a altura do molde e a altura do concreto (Figura 16).

Figura 16 - Medição do abatimento do concreto



Fonte: Própria autora, 2020.

3.4.2 Resistência a compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado seguindo as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018), que sugere o método pelo qual devem ser ensaiados a compressão dos corpos de prova cilíndricos de concreto. Seguindo os seguintes processos abaixo e na Figura 17 é ilustrado o processo:

1. Antes da execução do ensaio é preciso definir o diâmetro e a altura do corpo-de-prova submetido ao ensaio;
2. Depois, as superfícies dos corpos-de-prova e dos pratos precisam ser limpas e secas antes do posicionamento do corpo-de-prova para o ensaio;
3. O corpo-de-prova deve ser posicionado no sentido da moldagem e centralizado no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência.
4. O termino do ensaio se dá quando ocorrer uma queda de força que indique a ruptura do corpo-de-prova.

Figura 17 - Ruptura do corpo-de-prova



Fonte: Própria autora, 2020.

Uma observação importante é que durante o ensaio o carregamento deve ser preservado constante e sem impactos, com velocidade contínua ao longo de todo o ensaio. O término do ensaio se dá quando ocorrer uma queda de força que indique a ruptura do corpo-de-prova, para um melhor resultado de ruptura.

Após os procedimentos, realiza-se a determinação da resistência à compressão axial simples, definida da NBR 5739 (ABNT, 2018), dividindo-se o valor da força aplicada pela área do corpo de prova rompido, conforme a Equação 7 a seguir:

$$f_c = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (7)$$

Onde:

- f_c : resistência à compressão, em Megapascal;
- F: força máxima alcançada, em Newtons;
- d: diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

3.4.3 Absorção, índice de vazios e massa específica

Para este ensaio é preciso utilizar 3 corpos de prova para cada composição estudada, é seguido os procedimentos descritos na NBR 9778 (ABNT, 2005) para determinar a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica dos corpos-de-prova. Os processos para realização do ensaio de acordo com a norma são:

1. Determinar a massa do corpo-de-prova ao ar;
2. Colocar a amostra na estufa e mantê-la a temperatura de (105 ± 5) °C, durante 72 horas e fazer o registro da massa do corpo-de-prova;
3. Fazer a saturação da amostra e determinação de sua massa na condição saturada e imersa em água, tem que imergir a amostra em água à temperatura de (23 ± 2) °C e mantê-la durante 72 h nessa condição;
4. Após o termino da etapa de saturação em água à temperatura de (23 ± 2) °C, colocar a amostra em um recipiente cheio de água, que deve ser progressivamente levada à ebulição, a qual deve começar depois de 15 min e antes de 30 min, a ebulição deve ser mantida por um período de 5 h, mantendo aproximadamente constante o volume da água;
5. A seguir, deixar a água esfriar naturalmente até a temperatura de (23 ± 2) °C e determinar, registrar a massa com auxílio de balança hidrostática;
6. Retirar a amostra da água e enxugá-la com pano úmido. Determinar e registrar sua massa;
7. Por último realizar os cálculos.
 - Absorção de água (Equação 8):

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

Onde:

- M_{sat} = massa do corpo de prova saturado;
 - M_s = massa do corpo de prova seco em estufa.
- Índice de vazios (Equação 9):

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

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 (Equação 10):

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

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 (Equação 11):

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

Onde:

- M_{sat} = massa do corpo de prova saturado;
- M_i = massa do corpo de prova saturado, imerso em água.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

4.1 RESULTADOS E ANÁLISE DA TRABALHABILIDADE

No item 3.4.1, foi explicado como o ensaio de trabalhabilidade foi realizada e verificada. No Tabela 12 apresenta em conjunto os abatimentos do tronco de cone para os traços calculados.

Tabela 12 – Abatimento do concreto para os traços calculados

Amostra	Abatimento (mm)
Traço Referência	80
Borracha média 3%	100
Borracha média 1%	85
Borracha fina 3%	125
Borracha fina 1%	120

Fonte: Própria autora, 2020.

A seguir os registros fotográficos (Figura 18 a 22) do ensaio a trabalhabilidade:

Figura 18 - Traço referência



Fonte: Própria autora, 2020.

Figura 19 - Borracha 3% média

Fonte: Própria autora, 2020.

Figura 20 - Borracha 1% média

Fonte: Própria autora, 2020.

Figura 21 - Borracha 3% fina

Fonte: Própria autora, 2020.

Figura 22 - Borracha 1% fina



Fonte: Própria autora, 2020.

Através dos resultados mostrados na Tabela 12, é possível concluir as seguintes análises:

- A trabalhabilidade maior, foi da granulometria fina de substituição do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu;
- Os traços com a borracha média foram os que tiveram menores abatimentos entre os traços com adição de resíduo de pneu, sendo o melhor da borracha média 1%, quando comparado ao traço referência;
- Os traços com a borracha fina foram os que tiveram maiores abatimentos, sendo o da borracha fina 3% o mais distante quando comparado ao traço referência;
- O traço referência foi o que teve menor abatimento.

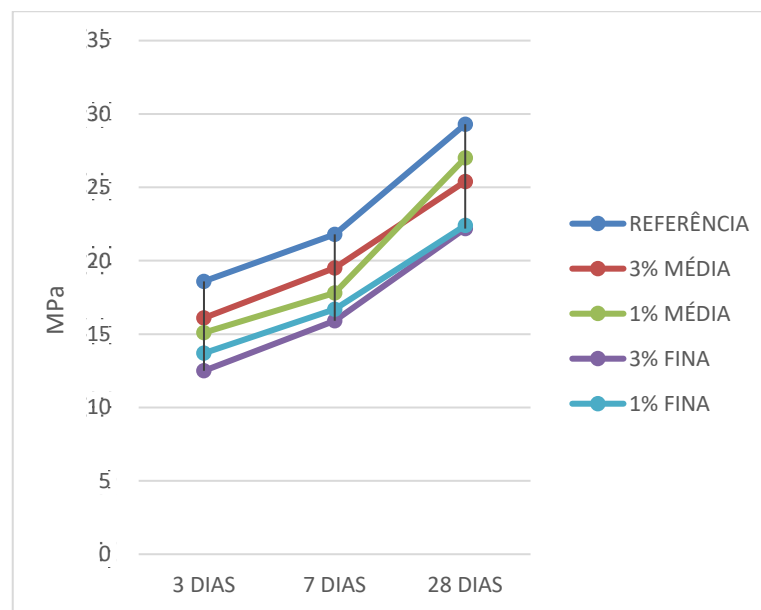
4.2 RESULTADOS E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Foram realizados os ensaios de resistência a compressão axial através da norma explicada no item 3.4.2. Para melhor entendimento, na tabela 13 e no gráfico 1 serão ilustrados a média dos resultados dos corpos de prova submetidos a resistência a compressão axial, aos 3, 7 e 28 dias de idade.

Tabela 13 – Resultados da resistência em MPa

TRAÇO	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
Traço Referência	18,6	21,8	29,3
Borracha média 3%	16,1	19,5	25,4
Borracha média 1%	15,1	17,8	27,0
Borracha fina 3%	12,5	15,9	22,2
Borracha fina 1%	13,7	16,7	22,4

Fonte: Própria autora, 2020.

Gráfico 1 – Evolução da resistência a compressão axial de todos os traços

Fonte: Própria autora, 2020.

Através dos resultados mostrados anteriores, é possível concluir as seguintes análises:

- Os traços que obtiveram a resistência desejada de 25MPa, foram o traço de referência, traço de borracha 3% média e 1% média;
- O traço com substituição do agregado com melhor resistência a compressão axial foi o de borracha 1% média, comparado a resistência do traço referência;
- O traço com substituição do agregado com pior resistência a compressão axial foi o de borracha 3% fina;
- A granulometria do agregado adicionado teve influência na resistência a compressão axial, quanto menor a granulometria menor foi a resistência e vice-versa.

4.3 RESULTADOS E ANÁLISE DE ABSORÇÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Na tabela 14 é ilustrado os resultados de absorção de água. Os cálculos foram realizados através da média dos três corpos-de-prova e da equação 8.

Tabela 14 – Resultados de Absorção de água

AMOSTRA	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
Traço Referência	5,30
Borracha média 3%	5,90
Borracha média 1%	4,40
Borracha fina 3%	5,60
Borracha fina 1%	4,81

Fonte: Propria autora, 2020.

Através dos resultados mostrados na Tabela 14, é possível concluir as seguintes análises:

- Os traços com adição de 1% de borracha com ambas granulometrias, tiveram menor absorção de água;
- Os traços com adição de 3% de borracha com ambas granulometrias, tiveram maior absorção de água;
- Considerando Neville (1997), os resultados foram bons e com uma boa qualidade, pois todos teve uma absorção inferior a 10%.

Segundo Neville (1997), os resultados do ensaio de absorção de um concreto com uma boa qualidade devem possuir uma absorção inferior a 10%.

Na Tabela 15 é ilustrado o índice de vazios, realizado os cálculos a partir da equação 9.

Tabela 15 – Resultados de Índice de vazios

AMOSTRA	ÍNDICE DE VAZIOS (%)
Traço referência	12,99
Borracha média 3%	14,81
Borracha média 1%	10,91
Borracha fina 3%	13,66
Borracha média 1%	11,68

Fonte: Própria autora, 2020.

Através dos resultados mostrados na Tabela 15, considerando que o índice de vazios é ligado a absorção, quanto maior o índice de vazios maior a absorção, é possível concluir:

- As amostras que teve maior índice de vazios, ou seja, maior absorção foram as que teve acréscimo de 3% de borracha, independente da granulometria;
- As amostras que teve menos índice de vazios, ou seja, menor absorção foram as que teve acréscimo de 1% de borracha, independente da granulometria;
- Todas as amostras não são porosas, pois todas tem menos de 15% do seu volume total.

Nas Tabelas 16 e 17 é ilustrado a massa especifica seca e saturada, realizado os cálculos a partir da equação 10.

Tabela 16 – Resultados da Massa especifica seca

AMOSTRA	MASSA ESPECIFICA SECA (g/cm ³)
Traço referência	2,17
Borracha média 3%	2,19
Borracha média 1%	2,23
Borracha fina 3%	2,14
Borracha fina 1%	2,18

Fonte: Própria autora, 2020.

Tabela 17 – Resultados da Massa específica saturada

AMOSTRA	MASSA ESPECIFICA SATURADA (g/cm ³)
Traço referência	2,29
Borracha média 3%	2,32
Borracha média 1%	2,33
Borracha fina 3%	2,27
Borracha fina 1%	2,28

Fonte: Própria autora, 2020.

Analisando as tabelas acima, as massas específicas das amostras possuíram resultados muito próximos, concluindo então que a borracha de pneu independente da porcentagem ou granulometria acrescentada no concreto, não modificou significativamente a massa específica quando relacionada ao traço referência.

A NBR 6118 (ABNT, 2003) afirma que para que os concretos tenha massa específica normal, é preciso possuir massas compreendida entre 2,0 g/cm³ e 2,8 g/cm³, assim concluímos que os concretos avaliados estão dentro dos limites, indicando um concreto normal, não sendo em ênfase considerado um concreto leve ou pesado.

5 CONCLUSÃO

O intuito deste trabalho foi fazer uma análise do uso de borracha de pneu como substituição parcial do agregado miúdo no concreto. Foi observado o comportamento e resultados do concreto com adição do resíduo de pneu com porcentagens de 1% e 3% e granulometrias média e fina em relação à trabalhabilidade, resistência a compressão axial e absorção, índice de vazios e massa específica.

Sobre a trabalhabilidade, pode-se concluir através desses ensaios e traços que, a granulometria do resíduo de pneu influenciou de modo direto na trabalhabilidade, e que quanto mais teor de finos no resíduo de borracha de pneu, maior é o abatimento e vice-versa. Sendo assim, o melhor traço com a melhor trabalhabilidade, se comparado com a trabalhabilidade do traço referência, foi o da borracha média 1% e o mais distante foi a borracha fina 3%. As diferenças entre os resultados dos traços com adição de borracha com o traço referência variaram de 5mm a 45mm.

Sobre a resistência a compressão axial, a substituição do resíduo de pneu interferiu de forma que teve redução na resistência. Os concretos com granulometria média independente da porcentagem, mostraram resultados maiores que a resistência requerida ao concreto. As diferenças entre os resultados dos traços com adição de borracha com o traço referência variou de 2,3 a 7,1 MPa.

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

Para confirmar que o uso do resíduo de pneu como substituição parcial na construção civil seja viável é preciso de mais pesquisas com inúmeras variações de porcentagens e granulometrias da adição, pois nesta pesquisa a resistência dos traços com adição foram menores do que a do traço referência, porém não foi um resultado com tanta diferença, por isso para o melhor é necessário ser comparado com outras variações.

Concluimos então sobre o concreto com substituição parcial de areia pelo resíduo de pneu, que todos os resultados com resíduo de pneu foram melhores do que o do traço referência na trabalhabilidade e a resistência a compressão axial a perda foi pouca quando comparado ao traço referência, sendo assim o concreto com adição de resíduos de pneu pode ser utilizado, em estruturas que necessitam de resistência de 20MPa e concluindo, penso que seja uma ótima opção reaproveitar os pneus inservíveis na construção civil.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: Nova Fronteira, 2002.

ALMEIDA; Estrutura de concreto. 2010.

<<http://www.fec.unicamp.br/almeida/ec702/EESC/Concreto>>. Acesso: 11/2019.

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-eregresso-ambiental-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 09/2019.

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.

ANDRIETTA, A. J. **Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução**. 2002. Disponível em: <http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipneus.htm>. Acesso: 10/2019.

ANIP. **Anip em números**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/?cont=conteudo>>. Acesso em 10/2019.

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

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

_____. **NBR 16697** - Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 5738** - Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739** - Ensaio de compressão de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7211** Agregados para concreto - Especificação, 2009.

_____. **NBR 9778** - Argamassa e concreto endurecidos -. Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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

_____. **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.

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

AUTÓDROMO INTERNACIONAL DE CURITIBA-PR (2009) – Disponível em: <http://www.nobresdogrid.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=271:curitiba-pinhais-pr&catid=74:o-raio-x-dos-autodromos-brasileiros&Itemid=123> – Acesso: 10/2019.

BABU, K. G, PRAKASH, P.V. 1995. **Cement and Concrete Research**, p 25.

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

BAUER, L. A. **Materiais de Construção: Novos Materiais para Construção Civil**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BETUSIAL, 2015. **Vantagens do asfalto de borracha**. Disponível em: <<http://www.betuseal.com.br/vantagens-asfalto-borracha/>>. Acesso: 11/2019.

BIGNOZZI, M. C.; SACCANI, A.; SANDROLINI, F. New Polymer Mortars Containing Polymeric Wastes: part 1: microestrutura and mechanical properties. **Composites: Part A**, v. 31, p. 97-106, 2000.

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.

BONIN. Etapas do Processo de Recauchutagem. Santa Catarina, 2015. Disponível em: Acesso em: 20/09/2017.

CABRAL, A. E. B. et al. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha**. 2009. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S036669132009000400016&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso: 11/2019.

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

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2003**. São Carlos, 2014.

CEMPRE. **Resíduos sólidos**. 2013. São Paulo/ SP, s/d. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigopublicacao/artigos>>. Acesso em: 10/2019.

CONAMA. **Pneus**. 2005

<<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=55>>
Acesso: 10/2019.

CONAMA. **Resolução N°416**. Brasil, 2009.

ESTRUTURA DO PNEU. Disponível em: bridgestone.com.br. Acesso em: 10/2019.

FAZZAN, João Victor; PEREIRA, Adriana Maria; AKASAKI, Jorge Luís. **Estudo da viabilidade de utilização do Resíduo de Borracha de Pneu em Concretos Estruturais**. 2016.

FORLIN, F. J; FARIA, J. A. F. **Consideração sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. Polímeros: Ciência e Tecnologia**. 2002.

GOMES, Luiz Fernando. **Hipertexto no cotidiano escolar**. São Paulo: Cortez, 2011. 120

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W.A. (2002), “**Reciclagem do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na construção civil**”, SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE.

GU, L.; OZBAKKALOGLU, T. **Use of recycled plastics in concrete: A critical review**. Waste Management, 2016.

GUTIERREZ, P. A.; CANOVAS, M. F. **The modulus of high performance concrete**. Materials and Structures, v.28, p.559-568, 2008.

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

História do pneu. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/historia-e-fabricacao>>. Acesso em 10/2019.

HOLMES, Nail; DUNNE, Kevin; O'DONNELL, John. Longitudinal shear resistance of composite slabs containing crumb rubber in concrete toppings. **Construction and Building Materials**, v. 55, p. 365-378, 2014.

IBAMA. **Pneumáticos inservíveis**. 2016. Disponível em:

<http://ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1018&Itemid=893#sobrepneumaticosinserviveis>. Acesso em: 10/2019.

ISAIA, Geraldo C. A Evolução do Concreto Estrutural. In: **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Ed. G. C. ISAIA. 1.ed. v.1. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2011.

JATMA. Japão, 2016. Disponível em:

<http://www.jatma.or.jp/media/pdf/tyre_industry_2017.pdf>. Acesso: 10/2019.

KAMIMURA, E ADHIKARI. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2004.

KRUEL, A. Ignacy Sachs – **uma voz sempre atual na sociedade**. Santa Catarina, 2010. Disponível em: <www.anpad.org.br/admin/pdf/eneo339.pdf> Acesso: 09/2019.

LAGARINHOS, 2008. **Reciclagem de pneus inservíveis**. <<http://tcc.bu.ufsc.br/Economia293475>>. Acesso: 10/2019.

LOPES, M. D.; MARQUES, A. C.; **Estudo de Dosagens para Obter Concretos com Resíduos de Borracha de Pneu**. em: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47, 2005, Recife.

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.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

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

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.

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

OLIVEIRA JÚNIOR, André Luís de; FINEZA, Adonai Gomes; PEREIRA, Erlon Lopes. **A APLICAÇÃO DE FIBRAS DE GARRAFA PET COMO AGREGADO ESTRUTURAL DO CONCRETO**. 2017.

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: 10/2019.

PEREIRA, E. L.; JUNIOR, A. L. O.; FINEZA, A. G. **Optimization of mechanical properties in concrete reinforced with fibers from solid urban wastes (PET bottles) for the production of ecological concrete**. Construction and Building Materials, v. 149, p. 837-848, set. 2017.

PEREIRA, E.F.; TEIXEIRA, C.S. & SANTOS, A. **Qualidade de vida: abordagens, conceitos e avaliação**. 2012.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de cimento Portland**. Editora: Globo. 1ª Edição, Porto Alegre, 2005.

Properties and frost-resistance of recycled aggregate concrete. ACI Materials Journal, v. 95, n. 5, p.558-563, 1998.

RABAHI, R. **Reaproveitamento de rejeitos de mármore e granito é inovação ecológica.** Goiânia, 2016. Disponível em: Acesso em: 15/05/2017.

RABELO, Cláudio Rodrigues. **ANÁLISE DE CONCRETO COM RESÍDUO DE PNEU INSERVÍVEL.** 2017.

RAMOS, L. S. N. (2005) **A logística reversa de pneus inservíveis: O problema da localização dos pontos de coleta.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis-SC

RECICLAR E REUTILIZAR UM PNEU – Disponível em:
<<http://www.andif.com.br/ver.php?codigo=398>> – Acesso: 10/2019.

RESENDE, Eduardo Lima. **ANAL DE DISTRIBUIÇÃO REVERSO NA RECICLAGEM DE PNEUS: ESTUDO DE CASO.** 2004 - PUC, Rio de Janeiro.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil.** 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2011.

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

SALEM, R. M.; BURDETTE, E. G. **Role of chemical and mineral admixtures on physical .**

SANTOS, A. **Garrafas PET substituem areia em bloco de concreto.** Mato Grosso do Sul, 2015a. Disponível em: 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.

SANTOS, R. F. C.; CASTRO, A. L.; GONÇALVES, K. M. **Produção de concreto autoadensável incorporado com resíduo da indústria de cerâmica vermelha.** revista Matéria, v.23, n.3, 2018.

SANTOS, Willian (2015), **A História da Borracha.** Disponível em: Acesso em: 10/2019.

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.

SINPEC. **História do pneu.** São Paulo, SP. Disponível em:
<<http://www.fiesp.com.br/sinpec/sobre-o-sinpec/historia-do-pneu/>>. Acesso em: 10/2019.

SNIC – **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2014-2018.**
<<http://www.snic.org.br>>. Acesso: 11/2019.

SUSTENTABILIDADE. Disponível em: significados.com.br. Acesso em: 09/2019.
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.** Paraná, 2011.

WENDER, A.A.; Baldo, B.B. **O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico.** 1998.

WING, R. R.; VENDITTI, E.; JAKICIC, J. M.; POLLEY, B. A. & LANG, W., 1998.
Lifestyle intervention in overweight individual with a family history of diabetes. *Diabetes Care*, 21:350-359.