FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

PEDRO FERNANDES SÃO THIAGO

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS DE PNEUS INSERVÍVEIS EM CONCRETO PARA APLICAÇÃO EM PISOS INTERTRAVADOS

VOLTA REDONDA
2017

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS DE PNEUS INSERVÍVEIS EM CONCRETO PARA APLICAÇÃO EM PISOS INTERTRAVADOS.

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Luiz de Araujo Bicalho, na área de concentração Processamento e Caracterização de Materiais Reciclados, Compósitos, Nanomateriais e Biomateriais; linha de pesquisa em Materiais Compósitos.

Aluno:
Pedro Fernandes São Thiago

Orientador:
Prof. Dr. Luiz de Araujo Bicalho

VOLTA REDONDA
2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

S239e São Thiago, Pedro Fernandes.
Estudo da utilização de agregados de pneus inservíveis em concreto para aplicação em pisos intertravados. / Pedro Fernandes São Thiago. - Volta Redonda: UniFOA, 2017.

99 p. : Il

Orientador(a): Luiz de Araujo Bicalho

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Pedro Fernandes São Thiago

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS DE PNEUS INSERVÍVEIS E CONCRETO PARA APLICAÇÃO EM PISOS INTERTRAVADOS

Orientador:

Prof. Dr. Luiz de Araujo Bicalho

Banca Examinadora

Prof. Dr. Luiz de Araujo Bicalho

Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral

Prof. Dr. José Adilson de Castro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus Criador, causa primária de todas as coisas, pela oportunidade concedida, direção, força e coragem enviada, por abrir mais uma porta que homem nenhum fecha, por escrever na minha vida esta conquista;

Ao Prof. Dr. Luiz de Araujo Bicalho, pelas orientações, ensinamentos, incentivo, dedicaçã paciência, para a concretização desse Projeto;

Ao Prof. Dr. Claudinei dos Santos, pela ajuda na idealização deste Projeto, e à banca avaliadora, Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral, Prof. Dr. José Adilson de Castro;

Aos Profs., Dr. Daniella Regina Mulinari, Dr.Gilberto Carvalho Coelho, Dr. Horácio Guimarães Delgado Junior, e a todos demais Professores, pelos conhecimentos e sugestões para este trabalho;

Ao Prof. Dr. José Vitor, por facilitar a obtenção da borracha granulada utilizada na confecção dos corpos de prova;

Ao Prof. Dr. Sergio Elias Viera Cury, por sua amizade e comentários valiosos acerca desta dissertação de mestrado;

Aos Técnicos dos Laboratórios de Engenharia e Ciência dos Materiais do UniFOA, Arthur Almeida

Bitencourt e Dirceu Hartung de Camargo Coutinho, que tiveram fundamental atuação neste trabalho e que muito me ajudaram na execução dos ensaios;

À Ana Maria e Bruna, pela paciência e atenção prestada, todos os demais da Secretaria do MeMat e Bibliotecários do UniFOA;

A todos os Colegas de Mestrado, que contribuíram com as experiências de seus próprios trabalhos;

Ao meu Pai, Eng.º Arnaldo Claro São Thiago Neto, por vibrar e me incentivar para fazer este Mestrado, minha Mãe, Maria Amélia Fernandes São Thiago, por seu amor de mãe;

Em especial, a minha Esposa, Débora Cristina Caravana Silva e aos Filhos, Henrique, Thaís e Gabriela, pelo companheirismo, por não me deixar desanimar, por edificar o nosso lar,... de todo meu coração, muito obrigado! Amo Vocês!

A todos que de alguma forma contribuíram com este Projeto, meu muito obrigado!

RESUMO

A disposição final dos pneus inservíveis no Brasil é considerada uma questão pública, pois é discutida entre os ambientalistas, uma vez que são o meio ambiente e a sociedade os mais prejudicados. Nesse sentido, práticas educativas vêm sendo estudadas por grupos de pesquisadores há vários anos e apontam para novas propostas centradas nas vivências e nas criatividades com vistas às mudanças de comportamentos tanto da sociedade quanto das empresas. O acúmulo de resíduos sólidos como pneus inservíveis crescem em grandes proporções, tornando-se necessário minimizar os prejuízos que causam. Desta forma é fundamental a implantação de projetos envolvendo reciclagem de resíduos sólidos, buscando uma solução em relação à problemática ambiental. É ainda de grande relevância, por ser uma oportunidade de se gerar empregos, evitar proliferação de doenças, além de contribuir com o Meio Ambiente com a Sociedade e com a Saúde pública. O presente estudo refere-se ao reaproveitamento de resíduos de borracha provenientes de pneus para produção de blocos de concreto ou, simplesmente "*pavers*", com desempenho satisfatório para atender a construção civil, de acordo com as normas de engenharia vigentes. Terminada a separação por peneiramento, foi adicionado todo o material passante na peneira de abertura de malha de 2,00mm e retido na de 600 micrômetros em sacos plásticos para posterior utilização. A fração dos resíduos colhidos no processo de peneiramento, representando mais de 50% do volume total dos resíduos de pneus, foi utilizado na confecção dos corpos-de-prova. Por meio de ensaios de resistência à compressão, de resistência à abrasão e de absorção de água, executados nos Laboratórios de Engenharia e Ciência dos Materiais, do UniFOA, foi investigado a viabilidade técnica da fabricação dos pavers com diversos percentuais de adição dos resíduos de borracha de pneus substitutivos por areia natural, de 5%, 10%, 15% e 20% (em volume).

Palavras-chave: Pneus inservíveis; Reciclagem; Fabricação de *pavers*; Pisos intertravados.

ABSTRACT

The final disposal of waste tires in Brazil is considered a public issue, as it is discussed among environmentalists, since it is the environment and society that are most harmed. In this sense, educational practices have been studied by groups of researchers for several years and point to new proposals centered on experiences and creativity with a view to changing behavior both in society and in companies. The accumulation of solid waste as waste tires grows in large proportions, making it necessary to minimize the damage they cause. In this way, it is fundamental to implement projects involving solid waste recycling, seeking a solution in relation to environmental issues. It is also of great relevance, as it is an opportunity to generate jobs, prevent disease proliferation, and contribute to the Environment with Society and Public Health. The present study refers to the reuse of rubber waste from tires for the production of concrete blocks or simply "*pavers*", with a satisfactory performance to meet the civil construction, according to the current engineering standards. After the separation by sieving, all the material was added in the sieve of mesh opening of 2.00 mm and retained in the of 600 micrometers in plastic bags for later use. The fraction of the waste collected in the screening process, representing more than 50% of the total volume of the waste tires, was used in the preparation of the specimens. Through the tests of resistance to compression, abrasion resistance and water absorption, performed in the UniFOA Materials Engineering and Science Laboratories, the technical viability of the pavers' manufacture was investigated with several percentages of the addition of rubber waste Of substitute tires for natural sand, 5%, 10%, 15% and 20% (by volume).

Key words: Scrap tires, Recycling; Manufacturing *pavers*; Interlocking Floors.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
2.1 RESÍDUOS 19
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS 20
2.3 AS INDÚSTRIAS E OS RESÍDUOS SÓLIDOS 29
2.4 HISTÓRICO DO PNEU 31
2.5 EVOLUÇÃO DO PNEUMÁTICO 33
2.6 PRODUÇÃO DE PNEUS NO BRASIL 34
2.7 VIDA ÚTIL DOS PNEUS 35
2.8 REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DOS PNEUS 36
2.9 PAVERS FABRICADOS COM RESÍDUOS DE BORRACHA 40
2.10 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS EM MATERIAIS COMPÓSITOS 41
2.11 MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE 45
2.11.1 Resumo da destinação dos pneus inservíveis 47
2.11.2 Caso de adoção dos Princípios da Sustentabilidade 48
2.12 OS PISOS INTERTRAVADOS NAS ZONAS URBANAS POPULOSAS 52
3 MATERIAIS E MÉTODOS 53
3.1 ORGANOGRAMA DO PROJETO 53
3.2 FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES DO PROJETO 54
3.2.1 Compósitos Polímeros-Cerâmicos 56
3.2.2 Cimento Portland - Fase Matriz Cerâmica 56
3.2.3 Partículas de Borracha de Pneus - Fase Dispersa 58
3.2.4 Partículas Minerais- Fases Dispersas 60
3.2.5 Resumo dos Materiais Utilizados 64
4 MÉTODOS 65
4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA 65
4.2 ESTUDOS E PROCEDIMENTOS 67
4.3 ÁREA DE DESENVOLVIMENTO 72
5 ENSAIOS COM OS CORPOS DE PROVA 78
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES 79

6.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 79
6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA 84
6.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) 85
7 CONCLUSÃO 90
8 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS 91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Centro de Convenções de João Pessoa é a maior obra de piso intertravado da Paraíba, Brasil..... 26
Figura 2 – Centro de Convenções de João Pessoa, obras concluídas 27
Figura 3 – Infiltração da água entre os *paver* do piso intertravado..... 28
Figura 4 – Cemitério de pneus..... 29
Figura 5 – Destinação dos pneus inservíveis..... 30
Figura 6 – (A) Obras com utilização de intertravados.....49
Figura 6 – (B) Obras com utilização de intetravados.....49
Figura 6 – (C) Pavimentação impermeável..... 50
Figura 7 – (A) Bairro de Westmoreland EUA pavimento permeável.....51
Figura7 – (B) Bairro de Westmoreland EUA pavimento permeável exemplo de execução..... 51
Figura 8 – Organograma do Projeto..... 54
Figura 9 – Fluxograma de atividades do Projeto..... 55
Figura 10 – Fases de um material compósito.....56
Figura 11 – Cimento Portland CPIIIP-40RS..... 58
Figura 12 – Raspagem de pneu para recalchutagem de pneus..... ...59
Figura 13 – Centro de picotagem da Cimpor-Jundiai (SP)..... 60
Figura 14 – Classificação por tamanho do agregado graúdo..... 61
Figura 15 – Partícula de minerais, Brita 1- agregado graúdo..... 62
Figura 16 – Partícula de minerais, Areia - agregado miúdo..... 63
Figura 17 – Partículas de borracha de pneus.....65
Figura 18 – Seleção granulométrica de resíduos de pneu por processo de peneiramento – Peneiras Soloteste - ABNT.....66
Figura 19 – Peneiramento da areia média Ø2mm - Peneiras Soloteste - ABNT. 67
Figura 20 – Concrete Slump test. 71
Figura 21 – Teste Slump para aferição da fluidez 75
Figura 22 – Fluxograma do Processo 77
Figura 23 – Micoroscópio Eletrônico Hitachi – MEV-TM 3000. 86

Figura 24 – Imagem das partículas de borracha de pneu com ampliação de 20 X, granulado de borracha encoberta parcialmente pela matriz de cimento Portland. 87
Figura 25 – Imagem das partículas de borracha de pneu com ampliação de 1000X 88
Figura 26 – Imagem das partículas de borracha de pneu com ampliação de 2000X..... 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos resíduos sólidos.....20
Tabela 2 – Composição dos Pneus.....24
Tabela 3 – Classificação da banda de rodagem de um pneu.....25
Tabela 4 – Vida útil dos pneus.....36
Tabela 5 – Destino final para penus usados: UEA, Europa e Japão.....38
Tabela 6 – Reciclagem de pneus inteiros de acordo com sua utilização em projetos.....39
Tabela 7 – Metodologia de utilização de pneus usados.....47
Tabela 8 – Constituintes do Cimento Portland.....58
Tabela 9 – Lista de Materiais para Confecção de Compósitos Cimentícios.....64
Tabela 10 – Componentes químicos do Cimento Portland.....68
Tabela 11 – Componentes normais do Concreto.....69
Tabela 12 – Premissas na configuração do traço 74
Tabela 13 – Proporções teóricas pretendidas por traço com as adições.....74
Tabela 14 – Resistência à compressão da referência.....80
Tabela 15 – Resistência à compressão com 5% de adição e resíduos de borracha de pneus.....81
Tabela 16 – Resistência à compressão com 10% de adição e resíduos de borracha de pneus.....82
Tabela 17 – Resistência à compressão com 15% de adição e resíduos de borracha de pneus.....83
Tabela 18 – Resistência à compressão com 20% de adição e resíduos de borracha de pneus.....84
Tabela 19 – Ensaio de absorção de água nos no CP’s.....85

LISTA DE SIGLAS

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANIP: Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem

CP's: Corpo-de-prova

CP: Cimento Portland

CCP: Compósito Cimentício Polimérico

CPC: Compósito polimérico-cerâmico

g: grama

Kg: quilograma

MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura

MMA: Ministério do Meio Ambiente

MPa: Mega Pascal

N: Newton

RS: Resíduos Sólidos

SAAE: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Volta Redonda

1 INTRODUÇÃO

A sociedade moderna confronta-se com questões socioambientais que não mais permitem prorrogação em seu prazo de solução. O resíduo produzido pela humanidade ainda é um grande desafio a ser solucionado. Entre os problemas a serem resolvidos, indiscutivelmente a destinação final do lixo, especificamente neste caso, resíduos sólidos como pneus inservíveis, ainda é um desafio (RODRIGUES, 2010).

A dificuldade para disposição de pneus no fim de sua vida útil torna-se uma problemática cada vez mais relevante para a sociedade. Nos últimos anos, tem-se evidenciado um aumento significativo na quantidade de pneus produzidos no Brasil. O descarte inadequado de pneus inservíveis acarreta grandes impactos para a natureza, além de prejudicar a saúde humana. Os pneus descartados inadequadamente acumulam água das chuvas, formando ambientes bastante propícios à proliferação de doenças como a dengue e a febre amarela. Com seu acúmulo há possibilidade de incêndios, o que liberaria gases tóxicos na atmosfera (MORAIS, 2009).

Os pneus abandonados ou dispostos de forma inadequada no meio ambiente comumente podem causar impactos. Quando queimados a céu aberto, liberam gases na atmosfera, contribuindo para a poluição do ar. Para cada pneu queimado, são liberados vários litros de óleo no solo, que percolam até atingirem o lençol freático, ocorrendo contaminação hídrica no subsolo. Sua disposição em aterros sanitários, os pneus, por apresentarem baixa compressibilidade, reduzem a vida útil do aterro devido sua capacidade em volume para armazenamento desses resíduos (MOTTA, 2008).

Para enfrentar os danos causados pelo impacto ambiental gerado por esses resíduos sólidos decorrentes de uma inadequada disposição final, vem sendo adotadas mundialmente, algumas formas de minimização, que incluem o reuso e a reciclagem desses materiais, ação que têm como meta a diminuição da extração de

recursos naturais, além de maximizar a vida útil dos aterros sanitários (GUNTHER, 2000).

Existem várias alternativas para a destinação de pneus inservíveis as quais são recomendadas inclusive pela legislação. Dentre as alternativas cita-se a utilização em pavimentação asfáltica e combustível em indústrias cimenteiras, além de que a legislação enfatiza que a disposição final dos pneus inservíveis não deve ser considerada uma tarefa a ser resolvida apenas pelo poder público, deve haver uma conscientização com o engajamento de toda população.

Nesse contexto se insere a questão dos pneus velhos ou inservíveis, dispostos inadequadamente, que requer atenção especial, uma vez que além de constituir um passivo ambiental, ocasionam sérios riscos ao meio ambiente e a saúde pública (CONAMA, 1999).

Uma das estratégias mais indicadas para solucionar os problemas causados ao meio ambiente por esses resíduos sólidos (RS), pneus inservíveis, é a Reciclagem, que consiste em desenvolver novos produtos com os pneus inservíveis, resultando em uma destinação adequada a eles (CUNHA, 2003).

Pode-se afirmar que o aproveitamento de partículas de pneus inservíveis em materiais cimentícios tem levado a revisões bibliográficas intensas em um grande número de trabalhos científicos, tanto nacionais, como internacionais. Esses estudos demonstram que é possível buscar alternativas de disposição desses resíduos e modificação das propriedades do concreto para atendimento a requisitos específicos ligados às propriedades estruturais importantes em determinadas aplicações (ZHU, 2001).

Nesse sentido, por meio de ensaios de resistência mecânica à compressão, e de absorção de água avaliou-se quatro composições de agregados de farelo de pneus no traço do concreto. Os ensaios foram executados nos Laboratórios de Engenharia Civil do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, para

investigar a viabilidade técnica da agregação de resíduos de borracha de pneus inservíveis de diversas fontes na fabricação de *pavers* para pisos intertravados.

Acredita-se que os resultados poderão indicar que percentuais de resíduos são mais adequados, que tipos de aplicações e condições, o produto poderá ser empregado, permitir haver mais uma opção de aproveitamento deste tipo de resíduos sólidos (RS).

Conciliar, assim, a construção civil aos princípios da sustentabilidade, ao permitir promover a reciclagem, corroborar para solucionar o problema de vida útil dos aterros sanitários e reduzir o volume dos despejos, reduzir impactos na saúde pública e meio ambiente, além de promover uma engenharia ecologicamente mais correta.

Além disso, tentar inserir no contexto das atividades econômicas uma filosofia de reaproveitar; reciclar ou reusar o material que se tem em mãos, antes de descartá-lo totalmente no meio ambiente.

Sendo assim, os pisos intertravados, que são compostos por peças pré-moldadas de concreto, estão atualmente presentes e são largamente difundidos em muitos projetos de engenharia efetuados no Brasil, tanto na construção como na reconstrução e reabilitação desse tipo de instalação urbana, e constituem uma brilhante e eficaz solução para uso em ruas, calçadas, calçadões e praças, além de terminais de carga em portos, aeroclubes e estradas vicinais.

Esse estudo se justifica devido à necessidade de se reaproveitar pneus inservíveis dando uma segunda finalidade para eles na construção civil, já que se podem definir os resíduos de pneus como sólidos de difícil degradação na natureza.

Sua decomposição é muito lenta, têm efeitos nocivos e adversos se queimados em incineradores de resíduos domésticos, além de apresentarem potenciais riscos de incêndios, de saúde e desvalorizarem a paisagem visualmente.

Pelo aspecto tecnológico frente a uma análise ambiental inadiável para assegurar a todos direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à

coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para a presente e futuras gerações, de acordo com a legislação brasileira, em seu Art.225 da Constituição Federal de 1988.

As ações do ser humano na natureza provocam o desequilíbrio, o que preocupa a sociedade contemporânea, que no momento clama por atividades ambientalmente corretas, políticas e preventivas.

Vale ressaltar que empresas que poluem e degradam o meio ambiente, tem sido pressionada a aderirem ao conceito de desenvolvimento sustentável, ou seja, prosperar sem afetar futuras gerações. Vive-se uma época em que o essencial para o planeta é encontrar meios de se obter o progresso associado ao respeito ao meio ambiente.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica de utilização dos *pavers* com incorporação de resíduos de pneus para uso em pisos intertravados. Utilizando partículas de borrachas provenientes de pneus reciclados, avaliou-se, de forma experimental, a incorporação desses resíduos ao produzir os pavers por meio de ensaios de resistência mecânica à compressão e absorção de água.

E como objetivos específicos, buscou-se:

- identificar e analisar as alternativas possíveis de reutilização dos pneus inservíveis, implementar tecnologias e projetos, capazes de contribuir com o desenvolvimento sustentável;
- desenvolver novas possibilidades para se evitar o depósito desses resíduos no meio Ambiente,
- minimizar os danos causados pela destinação incorreta;
- verificar os principais fatores que podem afetar as variáveis respostas na fabricação de *pavers* quanto à resistência, absorção de água, dentre outras;
- utilizar uma metodologia planejada de experimentos.

Nesse sentido, acredita-se que reciclar pneus inservíveis reutilizando-o na fabricação de intertravados, é muito relevante, pois contribui com a preservação do meio ambiente, uma vez que pode diminuir a extração de recursos naturais como a areia natural, além de evitar que seja armazenado de forma inadequada, consoante aos princípios de sustentabilidade e responsabilidade social. Além disso, tentar inserir no contexto das atividades econômicas uma filosofia de reaproveitar; reciclar ou reusar o material que se tem em mãos, antes de descartá-lo totalmente no meio ambiente.

Deste modo, pretende-se avaliar de forma experimental a incorporação de borracha triturada provenientes dos resíduos de pneus inservíveis, na fabricação de pavers, por meio de ensaios de resistência mecânica à compressão, absorção de água utilizando-se das metodologias do Curso de Engenharia Civil, de acordo com os procedimentos das Normas da ABNT e da Ciência dos Materiais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS

Os resíduos se apresentam no estado sólido, semissólido ou líquido, sendo que, em alguns casos, podem ser reciclados recebendo uma destinação ou um tratamento adequado, tais resíduos são restos de atividades, humanas ou industriais, considerados inservíveis (PEREIRA, 2007).

Segundo SASSE (2002) nos países industrializados as pessoas buscam comodidade e acaba produzindo todos os dias, uma quantidade de lixo enorme, contribuindo para a destruição do Meio Ambiente, prejudicando seres vivos, devido à infiltração que ocorre em aterros sanitários, prejudicando águas subterrâneas, rios, lagos, dentre outros.

O desenvolvimento para o bem-estar e o conforto humano, que se criou a partir da Revolução Industrial, levou a um aumento considerável de material descartado, ocasionando um aumento da quantidade de resíduos gerados e não utilizados pelo homem, muitos deles trazendo riscos ao meio ambiente e a saúde humana (TEIXEIRA, 2005).

PEREIRA (2007) defende a ideia de que se deve diminuir a geração de resíduos, diante de uma alarmante estatística que assegura que 75% das cidades brasileiras depositam seus resíduos sólidos em lixões, dessa forma observa-se a necessidade de colocar em prática a técnica dos “3R’s”, que é Reduzir, Reusar e Reciclar.

A Lei número 12305, de 02 de agosto de 2010, trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil, essa lei foi criada com a finalidade de encaminhar diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, não há dúvidas em relação à relevância dessa lei (BRASIL, 2010).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos (RS) representam uma parcela dentre todos os resíduos gerados, que quando mal gerenciados, provocam problemas ambientais, sanitário, e social. Para que seja realizado o gerenciamento dos RS, torna-se necessário saber as fontes geradoras e os tipos, buscando os elementos de sua composição como também o percentual de geração dos mesmos (KGATHI, 2002).

Os resíduos sólidos e semi-sólidos, os quais resultam de atividades industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, recebem classificação conforme disposto na norma ABNT NBR 10004, 2004, Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos resíduos sólidos

Classificação	Tipo	Definição
Origem	Resíduo Hospitalar ou Serviços de Saúde	Qualquer resíduo proveniente de hospital ou serviço de saúde. São constituídos de seringas, agulhas, curativos e outros.
	Resíduo Domiciliar	Qualquer resíduo gerado de residências e sua composição é bastante variável. São constituídos de restos de alimentos, restos sanitários, e alguns considerados perigosos (pilhas, fogão, medicamentos vencidos) que possuem uma destinação diferente dos demais.
	Resíduo Agrícola	Qualquer resíduo proveniente de atividades agropecuárias. São compostos de embalagens de defensivos agrícolas, restos orgânicos, produtos veterinários entre outros.
	Resíduo Comercial	Qualquer resíduo produzido pelo comércio em geral. São constituídos de materiais recicláveis, como, embalagens, papel, plásticos entre outros.
	Resíduo Industrial	Qualquer resíduo originado de processos industriais. Apresentam composição diversificada e uma grande quantidade desses rejeitos é considerada perigosa. São compostos por escórias, cinzas, lodos entre outros.
	Entulho	Qualquer resíduo proveniente da construção civil e reformas. Grande parte destes resíduos pode ser reaproveitado como: restos de demolição, de obras e solos de escavações diversas.

O r i g e m	Resíduo Público ou de Varrição	Qualquer resíduo recolhido de locais públicos. Possui uma composição variada, pois, depende do local e da situação onde é recolhido, podendo conter folhas, restos de alimentos, animais mortos entre outros.
	Resíduos Sólidos Urbanos	Todo e qualquer resíduo gerado na cidade e coletado pelo serviço municipal.
	Resíduos de Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários	Tratado como resíduo séptico, pois pode conter agentes causadores de doenças trazidas de outros países. Resíduo que não apresenta esse risco de contaminação é tratado como lixo domiciliar.
	Resíduos Inorgânicos	Qualquer resíduo proveniente de indústrias mineradoras, sendo constituídos de solo removido, metais pesados entre outros.
T i p o	Resíduo Reciclável	Papel, plástico, vidro entre outros.
	Resíduo não Reciclável ou Rejeito	Qualquer resíduo que não é reciclável ou recicláveis contaminados.
C o m p o s i ç ã o Q u í m i c a	Resíduo Orgânico	Resíduo Não tóxico: restos de alimentos, madeira, folhas.
		Resíduo Tóxico: - Poluentes Orgânicos Persistentes (POP): Hidrocarbonetos, clorados, pesticidas. - Poluentes Orgânicos não Persistentes: óleos usados, pesticidas biodegradáveis e a maioria dos detergentes.
	Resíduos Inorgânicos	Vidros, plásticos, borrachas entre outros.
P e c u l i a r i d a d e s	Classe 1	Resíduos perigosos: são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características e inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade e patogenecidade.
	Classe 2	Classe 2A: Resíduos não perigosos/não-inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, conhecidos como basicamente o lixo doméstico. Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
		Classe 2B: Resíduos não

P e c u l i a r i d a d e s		perigosos/inertes: são aqueles resíduos que, segundo a NBR 10007 – ABNT, submetidos a um contato dinâmico ou estático com a água desionizada ou destilada, à temperatura ambiente, conforme a NBR 10006 - ABNT, não tiveram nenhum dos seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se, cor, turbidez, dureza e sabor.
	Classe 3	São os resíduos considerados inertes e não combustíveis.

Fonte: norma ABNT NBR 10.004, 2004.

Dentre as classificações constantes da NBR 10.004/1987, os pneus inservíveis podem ser enquadráveis como Resíduos Classe II – Não Inertes, considerando que apresentam problemas ambientais em função de sua débil biodegradabilidade e sua alta combustibilidade, tornando-se um material de difícil controle após ser submetido ao fogo.

Segundo NBR 10.004/2004 os pneus estão classificados como Classe II B inertes código A008.

Os pneus, um dos resíduos sólidos produzidos pelas indústrias, se destacam na discussão dos impactos sanitários e ambientais. Conforme dados da Associação Nacional da Indústria de Pneumático (ANIP, 2010), foram produzidos 67,3 milhões de unidades de pneus no Brasil em 2010, com um crescimento de 15% em relação à produção de 2009, porém quando se tornam inservíveis, não são aproveitados devidamente.

Parte desses pneus é coletada e direcionada para aterros sanitários, contribuindo para a redução da capacidade útil dos aterros. Esse resíduo favorece à proliferação de vetores de doenças, como o mosquito *Aedes Aegypti* transmissor da dengue, se descartados em outros locais impróprios. Também existe o risco de incêndio, com produção de fumaça tóxica constituída de SO_2 (dióxido de enxofre), que é altamente poluidora, e que pode também contaminar rios e lagos por liberar óleo em sua incineração (IPT, 2000).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2008), além de ocupar muito espaço físico, os pneus inservíveis são de difícil compactação, coleta e eliminação, e o acúmulo desses resíduos gera problemas ambientais ao serem dispostos de forma inadequada. No Brasil, a eliminação desses resíduos provoca impacto, uma vez que na maioria das vezes fazem opção pela incineração provocando emissões tóxicas.

MOTTA (2008) afirma que não é viável a queima do pneu, uma vez que cada pneu queimado libera resíduo oleoso, que pode contaminar o solo e o lençol freático, gerando gases como óxidos de carbono, dioxinas, dentre outras substâncias tóxicas, cancerígenas e que são severamente danosas à saúde humana.

Foi instituída no Brasil a Resolução nº 258/99 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), a qual responsabiliza o produtor e importador quanto à coleta, o transporte e a disposição final dos pneus inservíveis. Sendo assim, desde o distribuidor, até consumidores finais são corresponsáveis pela coleta dos pneus servíveis e inservíveis (BRASIL, 1999).

Segundo essa resolução, os pneus inservíveis dispostos de forma inadequada constituem passivo ambiental, causando risco ao meio ambiente e à saúde pública, por apresentarem grandes problemas ambientais a nível mundial. Esses pneus acabam funcionando como incubadoras de larvas de mosquitos, causadores de doenças como dengue, febre amarela e malária. Trata-se de resíduos perceptíveis, que por serem volumosos precisam ser armazenados de forma adequada, o contrário, podem causar riscos de incêndio gerando substâncias altamente tóxicas, e, quando são aterrados inteiros tendem a voltar a sua forma original e retornam a superfície, causando grande movimentação no solo.

Tal resolução define:

• **Pneu ou pneumático:** todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos;

• **Pneu ou pneumático novo:** aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum-TEC;

• **Pneu ou pneumático reformado:** todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importação, no código 4012.10 da Tarifa Externa Comum-TEC;

• **Pneu ou pneumático inservível:** aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

Segundo o artigo 1° da Resolução CONAMA nº 258, de agosto de 1999, determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos são responsáveis pela coleta e pela destinação final adequada aos pneus inservíveis, adquirindo a consciência da necessidade de reciclagem desse tipo de resíduo. Menciona ainda no parágrafo 3° a determinação de que a partir de 1° de Janeiro de 2005, os fabricantes têm prazos para realizar a coleta como também a destinação final de forma ambientalmente, adequada conforme normatização em vigor conforme (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição dos Pneus

ÍTENS	PNEU DE VEÍCULOS (%)	PNEU DE CARGA (%)
Borracha natural	14	27
Borracha Sintética	27	24
Negro de Fumo (Carbono)	28	28
Aço	14 – 15	14 – 15
Tecido, aceleradores, antiozônio, óleos etc	16 – 17	16 – 17
Peso Total	Peso médio do pneu novo 8,5kg. No Brasil, o pneu pesa 5 kg. (*****)	No Brasil, o pneu inservível pesa 40 kg. (*****)

Fonte: (*****) Conforme a instrução normativa nº 8 do IBAMA, de 15 de maio de 2002.

Além disso, a estrutura do pneu possui um reforço de arame de aço, segundo dados (tabela 3).

Tabela 3: Composição da banda de rodagem de um pneu

COMPONENTES	PORCENTAGEM (%)
CARBONO	83
HIDROGÊNIO	7
OXIGÊNIO	2,5
ENXOFRE	0,3
CINZAS	6

Fonte: Fonte – Scielo.br (2016)

Revela Lund (1993), no processo de produção de pneus, os resíduos da borracha podem ser empregados, novamente, após serem transformados em duas espécies distintas de compostos, a saber:

- **Recuperado:** é obtido pela simples moagem dos resíduos a pó fino. A borracha contida nos resíduos, por estar vulcanizada, não sofre modificação, não sendo separada também dos outros compostos. Não existe, portanto, uma recuperação da borracha no sentido exato do termo;
- **Regenerado:** é obtido por meio de vários processos, nos quais os resíduos e os artefatos usados passam por modificações que os tornam mais plásticos e aptos a receber nova vulcanização, embora não tenha as mesmas propriedades da borracha crua, o que significa que não há uma verdadeira regeneração dessa matéria.

Está previsto na Constituição Federal de 1988 que o Governo tem o dever de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações,

garantindo o direito à saúde mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doenças. Sendo assim, foram adotadas medidas por meio de legislação específica quanto a:

- disposição inadequada de pneus usados a céu aberto ou a queima;
- responsabilizar produtores e importadores de pneus, para a coleta desses pneus a partir do momento que se torne inservível;
- buscar alternativas adequadas para redução de resíduos de pneus para diminuir a agressão ao Meio Ambiente;
- as empresas devem estar legalmente habilitadas para atuar na redução de desses pneus inservíveis; dentre outras (MMA, 2008).

A Resolução nº258, de agosto de 1999 do CONAMA que prevê a destinação correta de resíduos sólidos, como os pneus, já foi ampliada pela Resolução CONAMA nº 301, de 21 de março de 2002, que passou a exigir destinação final adequada de pneus inservíveis proporcionalmente às quantidades fabricadas e/ou importadas (MMA, 2008).

As Figuras 1 e 2 abaixo mostram exemplo de projeto de engenharia de piso intertravado executado com blocos de concreto, também chamado de "*pavers*" (nome que doravante será adotado neste trabalho).

Figura 1: Centro de Convenções de João Pessoa é a maior obra de piso intertravado da Paraíba, Brasil.

Fonte: Acervo de fotos da ABCP

Figura 2: Centro de Convenções de João Pessoa, obras concluídas.

Fonte: Acervo de fotos da ABCP

As calçadas, praças e parques, de grande parte das cidades brasileiras, têm utilizado cada vez mais os pisos intertravados de concreto como pavimento, devido às suas inúmeras vantagens. Esse tipo de piso oferece completa normalização da ABNT, desde as normas de fabricação até as de execução do assentamento em calçadas, parques, praças e ruas, entre outros (ABCP, 2009).

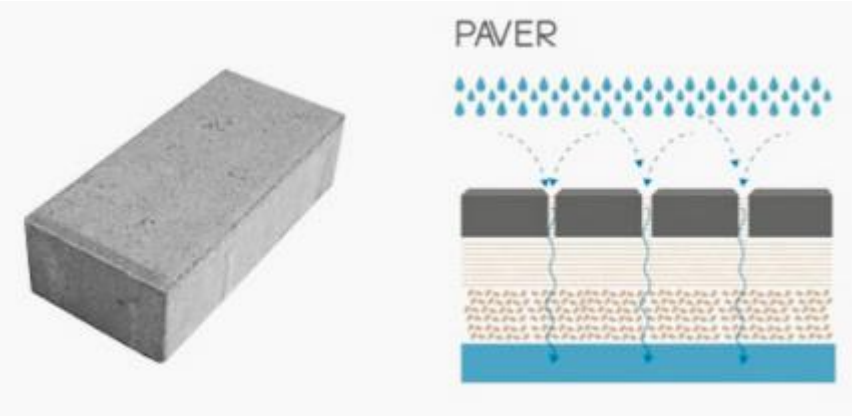
Os *pavers*, as dimensões e a qualidade são uniformes, uma vez que sua fabricação obedece a controles rigorosos. Além disso, as formas, cores e texturas das peças e os padrões de assentamento são extraordinariamente variados, permitindo explorar harmonicamente essa característica dos pontos de vista arquitetônico e paisagístico. É uma de suas características refletirem melhor a luz do que outros tipos de superfície e proporcionar ao usuário e ao meio ambiente excepcional conforto térmico. Mesmo que chova, os pisos intertravados de concreto não são escorregadios.

A propriedade de distribuição de esforços das peças intertravadas depende essencialmente de seu formato, arranjo e espessura. A resistência à compressão das peças tem, neste aspecto, pouca influência (ABCP, 2009).

O piso intertravado é o mais utilizado entre os pavimentos permeáveis, pois é uma peça de baixo custo. Ele é considerado permeável porque permite que a água

escoe pelo espaço que há entre as peças, pois a areia utilizada como base absorve a água, evitando o acúmulo a superfície. Detalhes na Figura 3.

Figura 3: Infiltração da água entre os *pavers* dos pisos intertravados.



Fonte: www.sahara.com.br

Um dos setores da economia que mais causa impacto ambiental é a construção civil com um elevado consumo de matéria-prima extraída da natureza. Conforme Sjostrom (1996) apud John (2000) são consumidos entre 14% a 50% do total de matéria-prima extraída do planeta.

Uma possibilidade de mitigar o problema da geração de resíduos seria a reutilização ou reciclagem, que permite uma economia tanto de recursos naturais quanto de energia, sobretudo na área da construção civil, como já dito, setor altamente consumidor de recursos naturais. Como exemplo, a literatura relata que houve um percentual de redução no consumo de energia de 28% na indústria cimenteira quando foi substituído parte do clinquer por cinzas volantes e escórias (YAMAMOTO, *et al.* 1997 *apud* JOHN, 2000).

A redução de resíduos é uma meta a ser alcançada, pois tudo que se produz através de diversos processos produtivos, há impossibilidade de conseguir eliminá-los totalmente.

Analogamente ao aprimoramento do piso intertravado, a atual discussão do problema ambiental causado pelos resíduos é uma demonstração da necessidade da metodologia de pesquisa e desenvolvimento que insira os aspectos ambientais. Por isso, o cerne dessa pesquisa é demonstrar que a disposição final de resíduos

sólidos como pneus inservíveis é uma questão preocupante para a sociedade, pois se trata de um tipo de lixo que destrói o meio ambiente de várias maneiras ao serem dispostos de maneira inadequada.

2.3 AS INDÚSTRIAS E OS RESÍDUOS SÓLIDOS

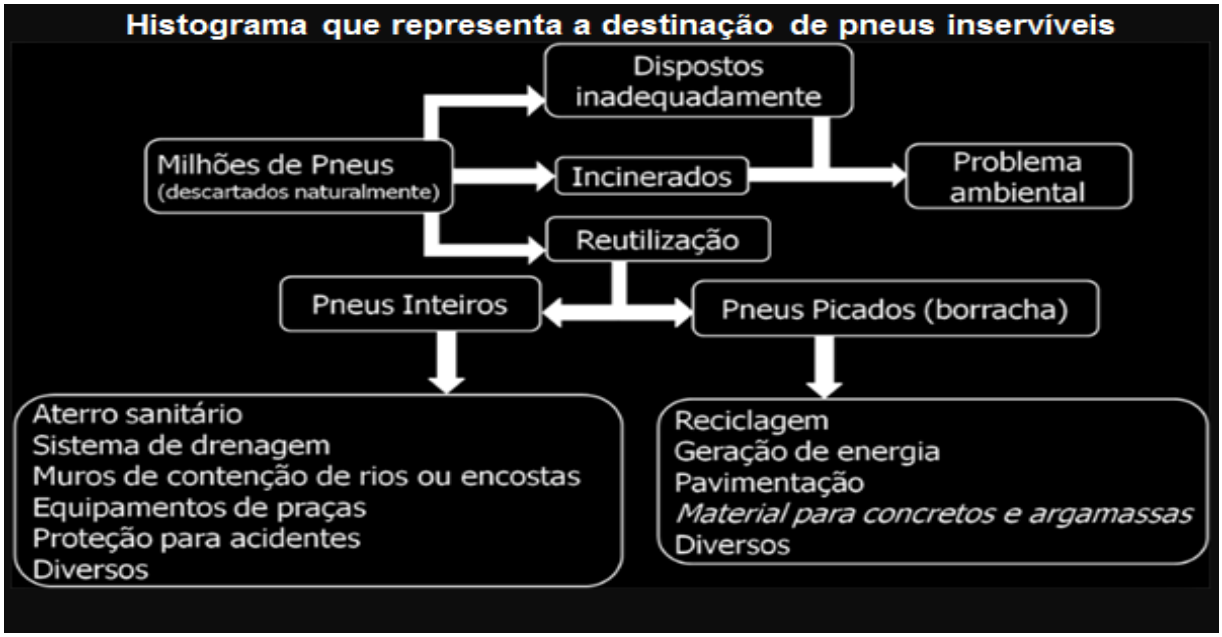
Com o desenvolvimento das indústrias gerou-se resíduos em quantidade expressiva, figura 4 e, sua destinação final é uma das maiores preocupações mundiais devido à prática de sua disposição a céu aberto, sem nenhum controle. Tal prática pode causar contaminação do solo, do ar, e da água, como também o crescimento de vetores transmissores de doenças (ESIN; COSGUN, 2007).

Figura 4: Cemitério de pneus.

Fonte: http://ufrrj99.blogspot.com.br/2011/08/cemiterio-de-pneus.html.

Os Resíduos Sólidos (RS) representam uma parcela dentre todos os resíduos gerados, que quando mal gerenciados, provocam problemas ambientais, sanitários, e sociais. Para que seja realizado o gerenciamento dos RS, torna-se necessário saber as fontes geradoras e os tipos, buscando os elementos de sua composição como também o percentual de geração dos mesmos (KGATHI, 2002). A figura 5 apresenta a destinação dos pneus inservíveis.

Figura 5: Destinação dos pneus inservíveis.



Fonte:. Santos, 2012.

Um dos tipos de RS que fazem parte de discussões dos impactos ambientais são os pneus inservíveis, uma vez que alguns serviços de coleta depositam esses RS em aterros sanitários reduzindo sua capacidade útil, causando sua instabilidade produzindo “ocos” na massa de resíduos, colaborando com a proliferação de vetores, de doenças, risco de incêndio produzindo fumaça tóxica, dióxido de enxofre, que é poluidora (IPT, 2000).

Segundo Papautsky (2009) com o crescimento da indústria pneumática, tanto área de saúde quanto o Meio Ambiente, tem registrado sérios problemas, devido ao descarte dos pneus inservíveis serem realizado de forma inadequada, afirmando ainda que há uma mistura de aço, tecidos, fibras e aditivos químicos além da borracha, tornando mais complexa a composição química dos descartes.

ECHIMENCO (2001) afirma que no Brasil cerca de 100 milhões de pneus inservíveis eram descartados de forma irregular no meio ambiente, conforme avaliação realizada pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), o que demonstra que o descarte correto desses RS está longe de acontecer devido à falta de conscientização da população, de apoio, de informações por parte do governo e uma fiscalização maior nas grandes empresas. Certamente hoje ocorre quantidades maiores de descartes

Conforme a Resolução CONAMA n° 258 de 26 de agosto de 1999, desde 2002 as indústrias pneumáticas do país e importadores estão obrigados a recolher parte dos pneus, e o que se observa é que essa quantidade de produção tem crescido anualmente, chegando à proporção de cinco pneus inservíveis recolhidos para cada quatro pneus novos produzidos ou importados.

Uma das estratégias mais indicada para solucionar os problemas causados ao meio ambiente por esses RS, seria a Reciclagem que consiste em desenvolver novos produtos com os pneus inservíveis, resultando em uma destinação adequada a eles, gerando uma nova realidade econômica, o que implica à inclusão de um novo nicho comercial, gerando emprego e renda (CUNHA, 2003).

Nesse contexto, como a geração desses RS não tem como ser evitada, esses deverá ser reciclado por reutilização ou recuperação, sendo assim essa pesquisa se desenvolverá, tendo como foco principal a reciclagem dos pneus inservíveis.

Devido à falta de incentivo à reciclagem e a fragilidade da legislação, o aumento de resíduos sólidos como pneus inservíveis, se acumulam em aterros sanitários, causando prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública, aumentando o risco de doenças como a dengue e a febre amarela (CEMPRE, 2006).

2.4 HISTÓRICO DO PNEU

Segundo ALY (2006), o surgimento da roda de madeira, utilizada pelas civilizações antes de Cristo, eram revestidas de materiais resistentes, sendo substituídos quando danificados. Essa roda que foi de grande proveito aos nossos ancestrais, sendo assim, a história dos pneus iniciou-se com a roda.

A roda veicular teve seu registro em torno de 3.500 anos antes de Cristo, surgiu no Oriente Médio por meio de um desenho, era feita de pranchas arredondadas de madeiras, cujo formato era uma cruz (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Egípcios e gregos utilizavam rodas para trabalhar com cerâmicas, confeccionando potes de barro, cerca de 5.000 anos atrás, concomitantemente as rodas eram usadas em carroças transportando carga e pessoas. O surgimento da

roda raiada se deu por volta de 2.000 A.C, eram leves e inicialmente eram empregadas em carros de guerra. Por volta de 100 A.C, os fabricantes de carroças dinamarqueses desenvolveram rodas com rolamentos em torno de um eixo, facilitando a rotação (LAGARINHOS, 2011).

Observa-se que os egípcios contribuíram para o desenvolvimento da roda, porém a evolução tecnológica da roda ocorreu na Europa Ocidental entre os Celtas na época do Império Romano. Em Nimes, na França, foi encontrada a roda pré-histórica fabricada em peça única de metal, o que se conclui de que eles também descobriram as vantagens da roda (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Com o surgimento da máquina a vapor, no início do século XIX, a qual era usada para mover barcos, veículos nas estradas, a maioria das rodas utilizadas, tinha aros de aço e pneus de madeira. Era difícil conduzir os veículos por serem pesados, sendo assim, tinham pouca durabilidade. Por volta de 1845, o pneu de borracha começou a surgir, sete anos após a descoberta da vulcanização (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Segundo ALLEN (1949), Robert W. Thompson, engenheiro escocês, em uma de suas obras afirmou que uma roda revestida com borracha inflada contribuiria para reduzir derrapagem, como também, com a diminuição de ruídos. Em 1954, sua patente foi lançada descrevendo os princípios do pneumático.

Acredita-se que os princípios do pneumático não foram desenvolvidos naquela época, uma vez que os veículos movidos a vapor eram muito pesados e os materiais utilizados eram frágeis, razão pela qual se pode afirmar a origem das ferrovias, que com a utilização de trilhos de aço e as rodas de friso cônico, suportavam o peso dos vagões para se movimentarem (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

ALLEN (1949), afirma que, em 1856, a empresa Boston Belting Company produziu os primeiros pneus sólidos e que a empresa Goodrich, Tew & Co foi a primeira a utilizar pneu sólido em bicicleta, em 1870, no mercado britânico.

2.5 EVOLUÇÃO DO PNEUMÁTICO

John Boyd Dunlop, cirurgião veterinário, recriou o pneumático, adaptando à bicicleta de seu filho, ele fez o pneu de tubos de borracha que era inflado por meio de uma válvula de direção única e a roda cimentada, coberta por lona. Ao adaptar o pneu à bicicleta, ele associou sua ideia à de Thompson, contribuindo com o processo da evolução da invenção do primeiro pneumático de bicicleta, patenteado por Dunlop em 1888, (KOVAC, 1973).

O pneu experimental foi construído por Duryea, King and Haynes em 1894 e, Edward Michelin em 1895 foi o primeiro a utilizar o pneumático em veículo a motor, na França, em uma corrida de Paris a Bordeaux. Nesse mesmo ano, a empresa Dunlop Pneumatic Tyre Co. Ltd passou a produzir pneus de bicicleta, posteriormente, nos Estados Unidos foi fundado The Goodyear Tire e Rubber Company por Frank Seiberling, cujo nome Goodyear foi em homenagem ao inventor da vulcanização da borracha (ALLEN, 1949; MICHELIN, 2010).

KNEPPER (1981) coloca que o primeiro pneu automobilístico foi produzido pela Goodyear em 1899, o pneu era de única câmara, preso à roda por um aro e seu formato era de meia lua, por se tratar de um aro, era impossível trocar ou concerto, porém os automóveis se moviam com mais facilidade. O desenvolvimento dos pneus ocorreu com a fabricação de carros mais pesados e mais acelerados, cuja capacidade e potência transmitida permitiram que automóvel tivesse maior rendimento na estrada.

Segundo KOVAC (1973), houve uma grande concorrência no mercado de pneus no início do século XX, já se tinha no mercado, pneus para carruagem, automóveis e bicicletas. Nesse mesmo período o tecido *rayon*, apropriado para uso em pneus, mais tarde esse tecido foi substituído pelo nylon por ser mais flexível, elástico além de mais firme.

ALLEN (1949), afirma que a Goodyear iniciou a construir pneus utilizando nylon após a Segunda Guerra, esses pneus eram utilizados em caminhões, veículos militares, carros de corrida e aviões. Em seguida, surgiu a borracha sintética que foi fundamental para a indústria, especialmente na produção de pneus.

A Goodyear foi a primeira empresa a fabricar pneus sem câmara em vários tamanhos para as indústrias de caminhões, contribuindo com o transporte nas rodovias. Foi a primeira também a introduzir cordoneis de rayon e de nylon e de poliéster, usado em caminhões mais leves. No início da Segunda Guerra Mundial, foi desenvolvido na França o pneu radial, recentemente, em matéria de pneus automobilísticos e de caminhões tem sido utilizado o cordonel de aço para as lonas da carcaça, como também lonas das cintas (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

O início da produção de pneus no Brasil foi em 1934, porém se concretizou com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de borracha, “Pneus Brasil”, em 1936, no Rio de Janeiro, essa empresa em seu primeiro ano de trabalho, fabricou em torno de 29 mil unidades. Outros fabricantes surgiram no mundo entre 1938 e 1941, contribuindo com o aumento da produção nacional passando a fabricar 441 mil unidades ao ano (ANIP, 2006).

2.6 PRODUÇÃO DE PNEUS NO BRASIL

A indústria de pneus, desde os primórdios da industrialização, busca sempre um melhor desempenho e praticidade permitindo o avanço tecnológico tanto no transporte de pessoas quanto no transporte de mercadorias, assegurando segurança e conforto. Numa visão mundial, nas últimas décadas, a indústria do setor pneumático se destacou e recebeu investimentos relevantes levando a expansão e atualização tecnologicamente (ALY, 2006).

Grandes empresas fabricam pneus no Brasil como: Goodyear, Pirelli, Bridgestone, Firestone, Michelin e Continental, esses pneus são colocados no mercado e destinados aos segmentos de reposição, montadoras e exportação, sendo 26% são feitos para o mercado das montadoras, 42% para o mercado de reposição e 32% são exportados para outros países como: Estados Unidos, França, Argentina e México (ANIP, *apud* GOLDENSTEIN, 2007).

A indústria nacional de pneus vem crescendo segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) desde 1998. Foram produzidos ao ano em torno de 38 milhões de pneus, sendo que este número em 2001 alcançou

aproximadamente 49 milhões de unidades, 62% desses 49 milhões, destinaram-se às categorias pneus para carro de passeio, 11,5% para ônibus e caminhões e 9,5% para comerciais leves, e os demais para veículos industriais e agrícolas, tratores, motonetas e motocicletas (KAMIKURA, 2002).

Os avanços tecnológicos permitem que as indústrias se desenvolvam e produzam bens de consumo em certa quantidade para atender ao crescimento da sociedade, contribuindo para que grandes e rápidas transformações ocorram no meio ambiente. Esses progressos estão relacionados com as questões econômicas, sociais e ambientais podendo causar impactos negativos ao Meio Ambiente (SCHOMMER, 2007).

2.7 VIDA ÚTIL DOS PNEUS

Vários fatores influenciam na redução da vida útil dos pneus segundo Goodyear do Brasil (2010).

a) O desgaste, trincas superficiais, é provocado pela pressão baixa gerando deflexão excessiva do pneu, com a deterioração se classificam como inservíveis;

b) A redução da capacidade de flexão do pneu, o qual deixa de amortecer os impactos e provocam rupturas na carcaça, levando ao desgaste do pneu, são causados pela alta pressão;

c) O desgaste excessivo dos pneus, o aumento do consumo de combustível, a antecipação da quebra de peças do sistema de suspensão, é evitado pela geometria veicular, a qual possui parâmetros geométricos que conduz o posicionamento de eixos e rodas de um veículo, evitando o deslizamento, e possibilitando melhor movimento das rodas;

d) O desgaste desigual dos pneus, dificuldades para dirigir, interferência na convergência e aumento da resistência ao rolamento, ocorre quando o camber, inclinação da roda de um veículo em relação ao plano horizontal, está fora do padrão;

e) O desgaste irregular dos pneus pode ser evitado fazendo o rodízio dos pneus, ao mudar a posição do pneu, ocorre o período de adaptação, tal rodízio pode ser feito a cada 10.000 km;

f) Outro fator relevante é o alinhamento das rodas que contribui com a compensação e elasticidade do mecanismo de direção, o alinhamento fora do especificado, contribui para que ocorra o desgaste prematuro dos pneus, dentre outras.

A tabela 4, a seguir, vem informar a vida útil de um pneu para diversos casos.

Tabela 4: Vida útil dos pneus

TIPO DE PNEUS	VIDA ÚTIL
Trator	10 a 12 anos
Transbordo Canavieiro	4 a 5 anos
Empilhadeiras	4.000 a 5.000 horas
Automóveis	até 80.000 km
Ônibus e caminhões	até 200.000 km
Motos	30.000 km
Aviões	200 pousos e decolagens
Agrícolas	8.000 a 10.000 horas

Fonte – Scielo.br (2016)

2.8 REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DOS PNEUS

A reutilização e reciclagem dos pneus servíveis e inservíveis são: recapagem, recauchutagem, pavimentação com asfalto de borracha, utilização na construção civil, nas obras de contenção de encostas, solas de sapato, pisos esportivos, dentre outros (RECICLANIP, 2011).

Os pneus inservíveis podem ser utilizados em obras de geotécnica protegendo encostas, postes, docas de embarcações dentre outras. Essa forma de utilização pode causar acúmulo de água em seu interior devido à chuva e a forma pela qual são expostos. A reutilização de pneus inservíveis não foi avaliada quanto aos impactos ambientais negativos (REISCHNER, 2009).

O mesmo autor afirma que a reciclagem de pneus inservíveis, pode ser realizada no sistema a temperatura ambiente, em que os pneus são triturados, granulados, remove-se o aço por meio de uma esteira magnética. Devido a demanda para granulado de borracha, muitas empresas possuem um processo contínuo quanto à trituração desses resíduos, que podem ser utilizada para várias aplicações.

Uma das aplicações do granulado de borracha é agregar esse resíduo ao fazer concreto, sendo uma solução relevante para a disposição indiscriminada desse passivo ambiental. O concreto utilizando-se de borracha possui características únicas, uma vez os compostos de cimento apresentam facilidade em absorver resíduos sólidos industriais. Observa-se que inúmeros órgãos governamentais e privados têm realizado pesquisas em busca de melhores formas na utilização desses resíduos, objetivando a redução de custos e mantendo a qualidade (YUNPING XI *et al.*,2004).

Na Europa, Alemanha, França e Grã Bretanha são os países que mais produzem pneus inservíveis. Por sua vez, o Japão é o país que mais reutiliza os pneus descartados, isso provavelmente se deve ao fato do seu espaço territorial. Porém, não há utilização em obras de engenharia civil. No caso do item exportação é importante frisar que se refere aos pneus inservíveis, ou seja, o envio do descarte para outros países; quanto à pirólise não há dados disponíveis nestes países (KAMIMURA, 2004).

A tabela 5 mostra informações a respeito dos processos tecnológicos mais utilizados em países da Europa, EUA e Japão. Através destes dados pode-se confirmar que os EUA é o país que mais produz pneus inservíveis no mundo, e que maior parte de seus inservíveis são utilizados em fornos para produção de energia.

Tabela 5: Destino Final para pneus usados: EUA, Europa e Japão

DESTINO DOS PNEUS USADOS	EUA (2001)	EUROPA (1999)	JAPÃO (1998)
Reformados	----------	36 milhões (12%)	8 milhões (8%)
Combustível/Recuperação Energia	115 milhões (41%)	60 milhões (20%)	52 milhões (51%)
Artefatos de Borracha	8 milhões (3%)	----------	----------
Borracha Moída	33 milhões (12%)	27 milhões (9%)	12 milhões (12%)
Engenharia Civil	40 milhões (14%)	27 milhões (9%)	----------
Exportados	15 milhões (5%)	33 milhões (11%)	17 milhões (17%)
Pirólise	----------	----------	----------
Total de Pneus para o mercado	**218 milhões (75%)**	**183 milhões (61%)**	**93 milhões (91%)**
Aterros e Estoques	63 milhões (25%)	117 milhões (39%)	**9 milhões (9%)**
Total Gerado	**281 milhões**	**300 milhões**	**102 milhões**

Fonte: RMA; SCRAPTIRENEWS *apud* KAMIMURA, 2004.

Outra alternativa de reciclagem seriam o reaproveitamento do pneu inservível em sua forma inteira, contribuindo para a questão da destinação final deste resíduo. Na Engenharia Civil, os pneus podem ser usados em sua forma inteira ou em partes, as aplicações mais usuais dos pneus inservíveis são em materiais de enchimento de peso leve; drenagem em campo séptico; aterro em estradas; suporte de base de estrada; sistema de drenagem de gases em aterros sanitários; material para compostagem; estabilizadores de encostas; controle de erosão; diques; barragens; isolante térmico e acústico; drenagem em aterro sanitário; aditivos para pavimentos asfálticos e pistas esportivas; cobertura de parques infantis; concretos leves, entre outros (KAMIMURA, 2004).

Por sua vez, a prática da reciclagem de pneus inservíveis em sua forma inteira está relacionada à sua utilização em projetos, como mostrado a seguir na Tabela 6.

Tabela 6: Reciclagem de pneus inteiros de acordo com sua utilização em projetos.

PROJETOS DE ENGENHARIA	FORMA DE UTILIZAÇÃO DE ACORDO COM O PROJETO – PNEUS INTEIROS
Obras de drenagem	Pneus unidos em módulos de aproximadamente 15 pneus formam um tubo em substituição aos bueiros; nos EUA "esta prática tem sido adotada e apresentou desempenho aceitável" (KAMIMURA, 2004);
Muros de arrimo/contenção	camadas horizontais de pneus espaçadas verticalmente e interligada com alças de metal, formando camadas de pneus que são preenchidas com solo. No Brasil a PUC-Rio em parceria com Universidade de Ottawa (Canadá) e a Fundação Geo-Rio, vem desenvolvendo projeto de pesquisa de estabilização de taludes com muros de contenção (KAMIMURA, 2004);
Limitação Território Esportivo	os pneus podem formar muros de limitação de territórios para prática de esportes automotivos de alta velocidade, também em pistas de corridas de cavalos (RAMOS, 2005);
Construção de barragens	os pneus inteiros podem ser utilizados na construção de barragens para contenção. Existe um projeto do Depto de Engenharia Civil da Universidade do Texas com esta finalidade (SALINI, 2000);
Recifes artificiais	pneus de carros e caminhões empilhados em um número de 15 a 25 unidades são comprimidos, "aglomerados com uma mistura de cimento e então lançados sobre o leito do mar para formar recifes artificiais", auxiliando na criação e reprodução de animais marinhos, pois se transformam em um ambiente propício para a fauna e a flora (SANTOS, *apud* RAMOS, 2005); (KAMIMURA, 2004);
Quebra-mares	a construção de quebra-mares com pneus descartados pode ser um recurso facilmente aplicável, "os pneus protegem os portos e marinas dos efeitos das marés, geram estabilidade para o solo marinho e para a praia, [...] além de possibilitarem a estabilização de dunas existentes" (SANDRONI, PACHECO, 2005);
Contenção de erosão do solo	pneus inteiros associados a plantas de raízes grandes, podem ser utilizados para ajudar na contenção da erosão do solo (CARVALHO apud MARTINS, 2004);
Enchimento de Aterros	pneus picados ou inteiros podem substituir parte do agregado com baixo custo e mantêm o solo com boa drenagem (RAMOS, 2005);
Armazenagem de água para gramados	os pneus são cortados ao meio, e dispostos em camadas sob gramados de campos de golfe, futebol, entre outros. Auxilia na redução de gastos com irrigação artificial e fertilização do gramado, pois este sistema armazena a água da chuva (KAMIMURA, 2002);
Reforço de aterros	Pneus radiais amarrados com fitas de poliéster é uma matéria-prima barata e eficiente para a construção de aterros sem comprometer a qualidade da obra (CARVALHO apud MARTINS, 2004);
Compostagem	O pneu não pode ser transformado em adubo, mas sua borracha cortada em pedaços de 5 cm pode servir para aeração de compostos orgânicos (CEMPRE, 2000);
Construção de casas com pneus inteiros *"Earthship"*	"técnica de construção natural, utilizando pneus e solos prensados na confecção de paredes que são assentados diretamente no solo (sem vegetação)", uma casa no Japão já foi construída através deste método; e no Brasil o Instituto de Permacultura já construiu uma parede através deste método (KAMIMURA, 2004);
Projeto João de Barro Bom-Plac	no Brasil, um projeto semelhante vem sendo desenvolvido na construção de casas populares em Santa Cruz do Sul (RS), onde o engenheiro Leandro Agostinho Kroth, da Secretaria Municipal de Habitação, lançou o Programa João de Barro

	Bom – Plac. Ele descobriu um jeito de reaproveitar os pneus, “a idéia é misturar a borracha dos pneus à argamassa feita com cimento, areia e água. A argamassa serve para moldar pilares armados com barras de aço e placas retangulares, fixadas nos pilares por meio de uma peça de madeira que recobre a face interna do pilar”; (www.cidadesdobrasi.com.br, www.pmscs.rs.gov.br); Parques infantis e playground: os pneus inteiros podem ser utilizados como amortecedores de impacto de brinquedos, ou mesmo como brinquedos balanços, obstáculos, etc (CARVALHO apud MARTINS, 2004); Galerias de águas pluviais: “os pneus descartados estão sendo utilizados para a construção de galerias pluviais em substituição às manilhas de cimento, esta experiência está sendo utilizada pela prefeitura da cidade Araçoiaba da Serra (SP), e prefeitura de Cascavel (PR), ambas utilizaram esta experiência e se beneficiaram com a redução do custo do material empregado na obra (www.arebop.org.br);
Vasos e móveis feitos com pneus	os pneus inteiros são utilizados como material na confecção de vasos e móveis. Na cidade de Canarana em Mato Grosso há o exemplo do artesão Rubem Machry que transforma pneus velhos em objetos e utensílios (LIA BOCK, 2007).

Fonte – Scielo.br (2015).

2.9 PAVERS FABRICADOS COM RESÍDUOS DE BORRACHA

Estudos realizados com o objetivo de solucionar os problemas causados ao meio ambiente pela forma inadequada de descarte dos pneus inservíveis, diversos estudos têm sido realizados analisando várias possibilidades de aplicações dos resíduos de borracha de pneu.

YESILATA (2011) realizou pesquisa adicionando em compósito cimentício, sucata de borracha de pneus, e desenvolveu material de construção com menor transmissão térmica. Segundo Turgut (2008), partículas de borracha de pneu foram combinadas em concreto para produzir tijolo composto, de peso leve, com baixo custo e resistência térmica.

SILVA (2007) afirmam que concreto, é o material mais consumido na fabricação de calçadas e por vezes não satisfaz as características exigidas no projeto. A adição de fibras de borracha tem se mostrado eficácia, melhorando certas características como durabilidade e elasticidade do concreto, portanto tem se observado que, gradativamente os pneus inservíveis estão sendo direcionados à coleta e reciclagem conforme surgimento de programas e empresas voltados à destinação correta desses produtos.

O ramo da construção civil busca regularmente alternativas de materiais ecologicamente corretos, que ao serem usados reduza custos, e que tenha durabilidade. Segundo Trigo (2008), uma significativa parte do volume de concreto produzido no Brasil, é usado em armações como vigas, lajes pilares e se pensa na probabilidade de agregar aos concretos materiais que sejam econômica e ecologicamente viáveis, como a borracha.

RODRIGUES (2010) corrobora com a ideia e coloca que os pneus inservíveis e demais derivados da borracha, continuam sendo dispostos inadequadamente no meio ambiente, apesar da evolução do aproveitamento de alguns resíduos sólidos nas últimas décadas.

Experiências bem sucedidas vêm acontecendo na fabricação de pavers utilizando-se da adição de resíduos de borracha. Tais blocos que a princípio são de uso estrutural, mas já foram realizados ensaios em laboratórios que garantem o uso desse tipo de resíduo desde que atendam às medidas estabelecidas na NBR 7484/1992 dentro dos limites mínimos de compressão (BERTOLLO, 2000).

2.10 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS EM MATERIAIS COMPÓSITOS

Um grande número de pesquisas tem sido realizado com o objetivo de identificar formas viáveis de reutilização dos pneus inservíveis. A adição de resíduos de borracha de pneu em materiais compósitos cimentícios vem sendo estudada há alguns anos a fim de verificar sua viabilidade.

KHALOO (2008) estudaram as propriedades de mecânicas de concretos com partículas de borracha. Estas partículas foram usadas para substituir 12,5%, 25%, 37,5%, e 50% do volume total de agregado mineral nos concretos. O concreto emborrachado no estado fresco apresentou densidade menor e trabalhabilidade aceitável, em comparação de concreto simples.

Os resultados indicaram grandes reduções na resistência e módulo de elasticidade e uma tendência a não ocorrência da fratura frágil do concreto com o

aumento da quantidade de borracha. Os maiores valores de resistência à compressão ocorram em concretos com teor de borracha de 25% (KHALOO, 2008).

Ao contrário do concreto simples, a ruptura à flexão do concreto emborrachado ocorreu suavemente e de maneira uniforme, e não provocou qualquer separação na amostra. Análises de ultrassom revelaram grandes reduções no módulo de ultrassom com o aumento do teor de borracha. Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas dos concretos emborrachados são dependentes principalmente do teor de borracha total (KHALOO, 2008).

PANZERA (2009) avaliaram o efeito das partículas de borracha nas propriedades mecânicas de compósitos cimentícios. Foram investigadas as influências dos fatores tamanho das partículas de borracha (20-30 e 50-80 USTyler), a fração de mássica de (5, 25 e 50%), e a relação água / cimento (0,35 e 0,50) na densidade aparente, porosidade e resistência à compressão.

A utilização de partículas menores de borracha (50/80 US-Tyler) resultou em menor densidade e porosidade aparente, e maior resistência à compressão dos compósitos. Já o aumento da quantidade de partículas reduziu a densidade e a resistência dos materiais. A porosidade aparente foi influenciada principalmente pelo tamanho das partículas de borracha. Através das propriedades apresentadas os autores concluíram que a utilização de borracha de pneus em compósitos cimentícios se torna uma forma de reciclagem viável destes materiais (PANZERA, 2009).

CORREIA (2010) investigaram a possibilidade de utilização de resíduos de borracha vulcanizada como agregados finos em argamassa. O estudo foi realizado através de um planejamento fatorial, onde as misturas de argamassa foram preparadas com traço 3:1. As substituições de agregado fino por borracha foram feitas em três proporções em volume 10, 20 e 30% e foram utilizadas três relações água/cimento (0,52; 0,55 e 0,60).

A utilização de resíduos de borracha vulcanizada como substituto para areia diminui a trabalhabilidade do concreto fresco e enfraquece a zona de transição

interfacial entre agregados e cimento. A substituição dos habituais agregados por borracha e o aumento da relação água-cimento reduziram a resistência à compressão dos materiais estudados (CORREIA, 2010).

No entanto, valores de resistência maiores que 15MPa foram obtidos quando usados (10-20 %vol.) de borracha e relações água-cimento de 0,52-0,58 foram usadas. Os autores concluíram que a utilização destes resíduos não só é uma viável solução para a escassez de agregados naturais, mas também pelas questões ambientais que os envolvem (CORREIA, 2010).

KHORRAMI (2010) realizaram testes em dois grupos de materiais a fim de investigar a possibilidade do uso de resíduos de borracha de pneu em concreto. Entre eles: substituição de agregado grosso por borracha triturada e substituição de cimento por pó de borracha. As substituições foram feitas em três percentuais em massa 5, 7,5 e 10. A resistência à compressão reduziu com o aumento da quantidade de borracha nos dois grupos, porém a resistência à compressão, no primeiro grupo foi maior do que o segundo grupo cerca de 7,5% (KHORRAMI, 2010).

As resistências à tração e à flexão também sofreram redução com a substituição da borracha nos dois grupos, no então a resistência à tração teve maior redução no primeiro grupo e a resistência à flexão no segundo grupo. A durabilidade do concreto mostrou maior dependência em relação ao tipo de borracha usada do que da porcentagem de borracha. Os autores concluíram ainda que, a substituição de até 7,5% agregado graúdo por borracha e a substituição de até 5% de cimento por pó de borracha não tem efeito significativo sobre as propriedades do concreto (KHORRAMI, 2010).

ROMUALDO (2011) buscando desenvolver uma tecnologia capaz de reaproveitar resíduos de borracha, inseriram lascas de borracha de pneu na composição de concreto para pavimentação de calçadas, em substituição ao agregado miúdo. Quatro traços de concreto foram investigados, sendo um convencional e três com adição de 5%, 10% e 15% de raspas de pneus, sob esforços de compressão e de tração na flexão. Os resultados apontaram que o traço

que melhor satisfaz o uso para pavimentação de calçadas foi o de 5% de adição de pneus. Estes materiais exibiram melhores comportamentos relacionados à flexão quando comparados ao concreto convencional.

NACIF (2012) preparam compósitos cimentícios com partículas de borracha sem adição de sílica, no intuito de investigarem o efeito da borracha nas propriedades destes materiais. Através de um planejamento fatorial completo avaliaram a influência dos fatores tamanho da partícula de borracha (0.84/0.58 mm e 0.28/0.18 mm), fração mássica (5, 15 e 30%) e relação água / cimento (0,35 e 0,50) sobre as propriedades físico-mecânicas dos compósitos.

A densidade e a resistência à compressão foram significativamente afetadas pelas interações dos fatores, tamanho da partícula de borracha, fração mássica e relação água/cimento. A porosidade aparente foi influenciada, pelo tamanho das partículas de borracha. Os compósitos com tamanho de partículas menores apresentaram menores valores de densidade, porosidade aparente e maior resistência a compressão. O aumento da relação água/cimento de 0,35 para 0,50, reduziu em 40% a resistência a flexão dos compósitos. Os pesquisadores concluíram que resistência à compressão superior a 20MPa pode ser alcançada pela adição de 15% de borracha de granulometria 0.84/0.58 mm e 0,35 relação água/cimento, sendo este compósito uma alternativa de reciclagem viável e econômica para aplicações na construção civil.

MARTUSCELLI (2012), investigaram o efeito das partículas de resíduos de borracha de pneu nas propriedades de compósitos polímero-cerâmicos. Um planejamento fatorial completo foi realizado para identificar o efeito dos fatores adição de partículas (10% e 20%) e granulometria (10-20 US-Tyler e 50-100 USTyler) nas propriedades estudadas. Os fatores granulometria 10-20 US-Tyler, e adição de partículas (20%) promoveram maior redução da resistência à flexão dos compósitos. A inserção de partículas de borracha de pneus nos compósitos também reduziu significativamente os valores de densidade.

XU (2012) substituíram os agregados finos do concreto por partículas finas de borracha de pneu. A substituições feitas foram de 0, 5, 10, 15, e 20% em volume

dos agregados finos. Aos 28 dias de cura foram investigadas as propriedades mecânicas do concreto, resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico. O estudo indicou que as propriedades mecânicas sofreram diminuição com a substituição de parte do agregado fino por borracha, no entanto é possível atender as demandas fundamentais de engenharia com as propriedades encontradas para as substituições de 5 a 15%.

LI (2013) estudaram as propriedades físicas e o comportamento mecânico de argamassas de cimento contendo partículas de resíduos de pneus de borracha (PRPB). As argamassas foram preparadas com substituição total de areia por partículas de pneu e com 150, 200, 250, 300, 350 e 400kg/m^3 de cimento. Os resultados indicaram que a seco, as densidades das argamassas foram todas inferiores a 1000 kg/m^3. As argamassas apresentaram propriedades hidráulicas.

A resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de cura variaram de 0,59 a 2,29MPa e os valores de condutividade térmica de 0,096 a 0,152 W/mK, ambas as propriedades aumentaram com o aumento do teor de cimento. Conclui-se que as argamassas contendo partículas de borracha de pneus podem ser usadas como material de isolamento térmico (LI, 2013).

2.11 MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE

De acordo com ANIP (2010), o início da produção brasileira de pneus ocorreu em 1934, quando foi implantado o Plano Geral de Viação Nacional. No entanto, a concretização desse plano aconteceu em 1936 com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha – mais conhecida como Pneus Brasil – no Rio de Janeiro, que em seu primeiro ano de vida fabricou mais de 29 mil pneus.

Entre 1938 e 1941, outras grandes fabricantes do mundo passaram a produzir seus pneus no país, elevando a produção nacional para 441 mil unidades. No final dos anos 80, o Brasil já tinha produzido nacionalmente mais de 29 milhões de pneus ANIP (2010).

Desde então, o Brasil conta com a instalação de mais de 15 fábricas de pneus, das quais quatro internacionais**:** Bridgestone Firestone, Goodyear, Pirelli e Michelin. Hoje, da produção mundial, o Brasil é o sétimo na categoria de pneus para automóveis e o quinto em pneus para caminhão/ônibus e camionetas (ANIP, 2011).

O ano de 2010 foi de recuperação para a indústria de pneumáticos. Depois de ter registrado uma queda de produção de 10% em 2009, o setor voltou a crescer e registrou uma alta de 15% no volume produzido (ANIP, 2010). O acréscimo no volume de vendas também é notório, uma vez que, em 2010 o total de pneus comercializados no Brasil (produção + importação) chegou a 73,1 milhões de pneus (ANIP, 2011).

A grande problemática por trás destes dados a ser enfrentada é a destinação de pneumáticos e a possibilidade de se ter um desenvolvimento econômico sustentável, sem degradar o meio ambiente. Apesar dos vários estudos realizados sobre a reciclagem, destinação e prejuízos que os pneus inservíveis causam à natureza e a humanidade, ainda não há ampla divulgação para a população. Portanto, a função dos órgãos responsáveis é monitorar no sentido de resguardar, esclarecer e advertir a população quanto aos efeitos danosos causados pela má destinação dos pneus inservíveis e, sobretudo, àqueles nocivos à saúde (ANIP, 2011).

O evento, intitulado “Sistema de gestão ambiental para reciclagem de pneus”, teve o objetivo de informar e conscientizar a população sobre a importância da reutilização de pneus e materiais recicláveis para o meio ambiente *(*PNEUS&CIA, 2010).

GIACOBBE (2008) divide a metodologia de utilização de pneus usados em três categorias: reutilização, reciclagem e vaporização energética. Na reutilização são aproveitados os pneus inteiros. Na reciclagem são transformados em um novo produto a partir de métodos físicos e/ou químicos (por exemplo: tapetes, barreiras de choque). Por sua vez, na vaporização energética, os pneus são utilizados na

geração de energia calorífera devido ao seu elevado poder calorífero (aproximadamente 8170 kcal/kg, superior ao do carvão).

2.11.1 Resumo da destinação dos pneus inservíveis

Os principais campos de destinação de pneus inservíveis são apresentados na Tabela 7:

Tabela 7: Metodologia de utilização de pneus usados.

Tipo de Reciclagem	Aplicação	Objetivo
Reutilização	Recauchutagem	A recauchutagem é um processo técnico que permite que um pneu usado, depois de selecionado e inspecionado, receba uma nova banda de rodagem. Gerando economia em custo por quilômetro, além de contribuir como agente ecológico para a conservação de energia, retardando o descarte (GOODYEAR 2010).
	Recifes artificiais	Oferecem substrato e habitat para diversos locais, bem como, proteção contra a ação destrutiva das redes de arrasto (ROCHA, 2008).
	Quebra-mares	Proteção de zonas costeiras, evitando os efeitos das marés sobre estruturas (GIACOBBE APUD SILVA, 2004).
	Estabilização de taludes	Estabilização de encostas através da construção de muros constituídos de pneus descartados (SIEIRA, 2009).
	Barreiras anti-choques	Amortecer impactos.
Reciclagem Física	Aterros	Substituir as britas em cobertura alternativa, camada de fundação e de finalização do aterro, camada coletora de coletora de gás produzido no aterro, camada operacional de segurança e camada de drenagem do lixiviado (Giacobbe apud Silva, 2004).
	Concreto asfáltico	Limitar a fragilidade,melhorar a resistência, evitar o trincamento apresentando um alto nível de deformação antes de microtrincas aparecerem (TURATSINZEA, 2005).
	Artefatos de borracha (tapetes, solas de sapatos, buchas, estrados)	Os pneus passam pelo processo de trituração, desvulcanização e transformação em pasta através da adição de óleos aromáticos (ROCHA,2008).
	Barreiras de choques	Amortecimento de impactos
Reciclagem Química	Pirólise	Também conhecida como destilação destrutiva de pneus, é a transformação do material elastomérico, de composição química complexa, em outros compósitos hidrocarbonetos como óleo e gás, unicamente pelo calor. É uma alternativa adequada para o reaproveitamento energético de pneus.
	Desvulcanização	Este processo envolve duas etapas distintas: a redução de tamanho e a quebra de ligações químicas.

		Consiste na regeneração da borracha (LAGARINHOS, 2008).
	Hidrogenação	Produtos de óleos leves, gasolinas, gases e óleos lubrificantes (GIACOBBE APUD SEGRE, 1999).
	Gaseificação	Produção de metano (GIACOBBE APUD SEGRE, 1999).
Valorização Energértica	Combustível / Co-processamento	A borracha picada originaria de pneu inservível ou o pneu inteiro é enviado as cimenteiras licenciadas, pelos órgãos ambientais estaduais, para serem utilizados como combustível alternativo. A principal característica é o poder calorífico do pneu (AEROBOP, 2011).

Fonte: GIACOBBE, 2008.

2.11.2 Caso de adoção dos Princípios da Sustentabilidade

Diversas cidades do mundo sofrem com problemas de inundações, que ocorrem principalmente devido à ocupação urbana não planejada. Com o objetivo de minimizar estes problemas, são muitos os casos de cidades que passaram a adotar medidas que se baseiam na retenção e infiltração das águas de chuva, soluções estas que funcionam segundo os princípios da sustentabilidade. Este é o caso da cidade de Portland nos Estados Unidos, que terá um de seus programas de manejo sustentável de águas de chuva, o Programa Ruas Verdes (ABCP, 2016).

> Programa Ruas Verdes (Green Streets Program): É um programa de manejo sustentável de águas da chuva criado e gerenciado pela Prefeitura Municipal de Portland (Portland City Council), através da Secretaria de Serviços Ambientais de Portland (Portland's Bureal of Environmental Services).

Consta da construção de jardins de chuva, de acordo com a figuras 6(A), 6(B) e 6(C), faixas gramadas e pavimento permeável, além do plantio de inúmeras árvores. Este programa foi reconhecido como uma estratégia importantíssima na redução do escoamento superficial e na melhoria da qualidade das águas pluviais.

Figura 6 (A): Obras com utilização de intertravados.

Fonte: NE Siskiyou Street, EUA

Figura 6 (B): Obras com utilização de intertravados

Fonte: NE Siskiyou Street, EUA.

Figura 6 (C): Pavimentação permeável.

Fonte: NE Siskiyou Street, EUA.

- Pavimentos Permeáveis

  Os resultados deste programa de manejo sustentável das águas foram inspiradores, pois, além dos benefícios para o alívio do sistema de drenagem e melhoria da qualidade das águas, contribui para a diminuição da velocidade dos carros, aumentando a segurança dos pedestres; do volume total de água que entra no jardim de chuva, 85% fica retido na estrutura e apenas 15% do volume retorna para a rede pública; o pico da vazão que chega ao sistema de drenagem é atrasado em 20 minutos conforme as figuras 7 (A) e 7 (B).

Figura 7 (A): Local: Bairro de Westmoreland, EUA, pavimento permeável e exemplo de execução.

Fonte: Portland’s Bureau of Environmental Services.

Figura 7 (B): Local: Bairro de Westmoreland, EUA, pavimento permeável, exemplo de execução.

Fonte: Portland’s Bureau of Environmental Services.

A instalação dos pavimentos permeáveis garantiu cerca de 80% de eficiência, o que significa que em eventos chuvosos para os quais o sistema foi projetado, apenas 20% da água das chuvas escoará para as guias, e o restante será armazenado e infiltrado no solo (ABCP, 2016).

2.12 OS PISOS INTERTRAVADOS NAS ZONAS URBANAS POPULOSAS

Em áreas urbanas densamente ocupadas, as superfícies destinadas ao sistema viário e às áreas de estacionamento ocupam espaços consideráveis.

A utilização de pavimentos permeáveis contribui muito para a diminuição dos problemas de inundações urbanas. Estas medidas atuam sobre diferentes níveis, como segue:

- Pavimentos dotados de revestimentos superficiais permeáveis: possibilitam a redução da velocidade da água da chuva, a retenção temporária de pequenos volumes na própria superfície do pavimento e a infiltração de parte das águas pluviais;
- Pavimentos dotados de estrutura porosa: onde é efetuada a detenção temporária das águas pluviais, atrasando a ida deste volume de água para a rede de drenagem, o que ajuda a evitar a sobrecarga do sistema de drenagem.

Pavimentos dotados de estrutura porosa e de dispositivos de facilitação da infiltração: onde ocorre tanto a detenção temporária das águas pluviais como também a infiltração de parte delas. Estas características contribuem com atraso e redução dos volumes escoados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

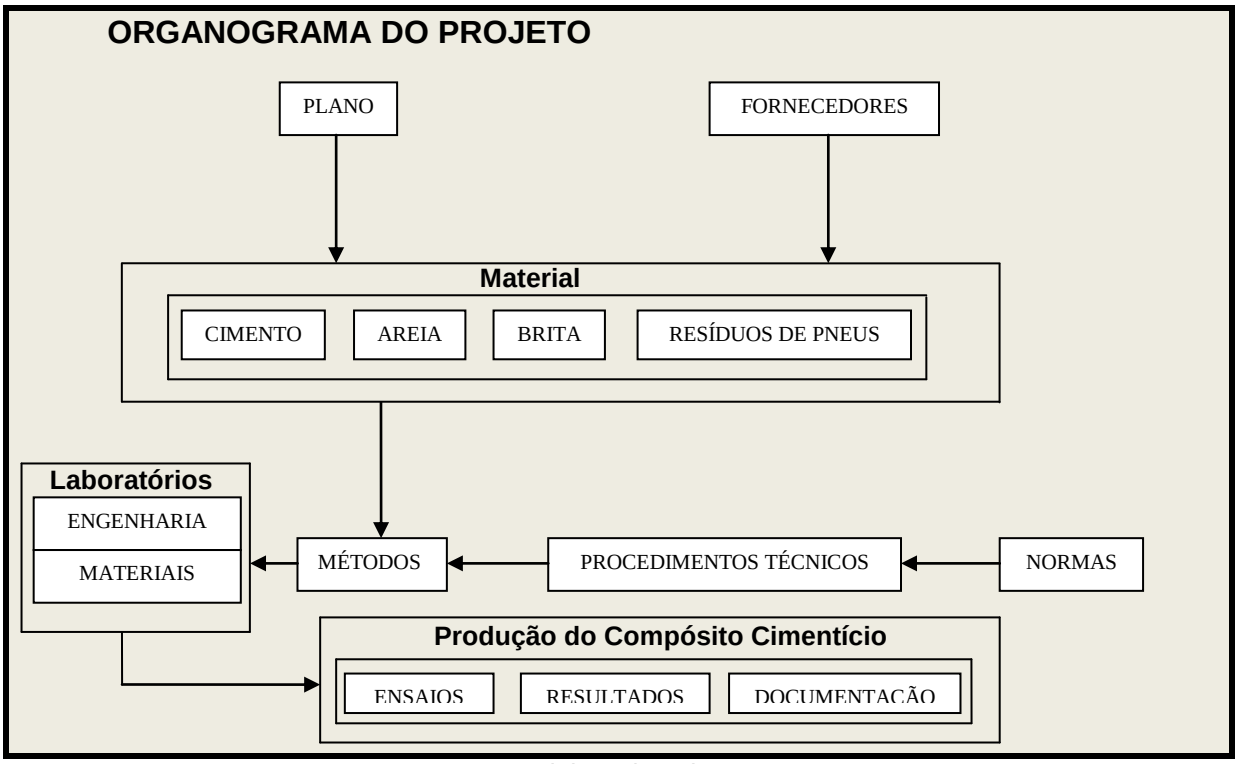
Os materiais em estudo são compósitos constituídos por uma fase de matriz cerâmica - Cimento Portland (CP), uma fase dispersa composta por partículas de minerais e/ou partículas de borracha de pneus e água. As matérias-primas em questão serão discutidas nas seções 5.4.1, 5.4.2 e 5.4.3.

Inicialmente, para a execução dos trabalhos com o compósito pretendido, foram planificados um “Organograma” (Organograma 1) objetivando a visualização do projeto, e um “Fluxograma” com as etapas a seguir (Fluxograma 1). Tanto o organograma, como o fluxograma, são mostrados a seguir.

3.1 ORGANOGRAMA DO PROJETO

Foi definida a seguinte ordem de eventos quanto à estrutura do projeto do compósito cimentício pretendido, conforme a figura 8 que revela o Organograma do Projeto, mostrada a seguir.

Figura 8: Organograma do Projeto.

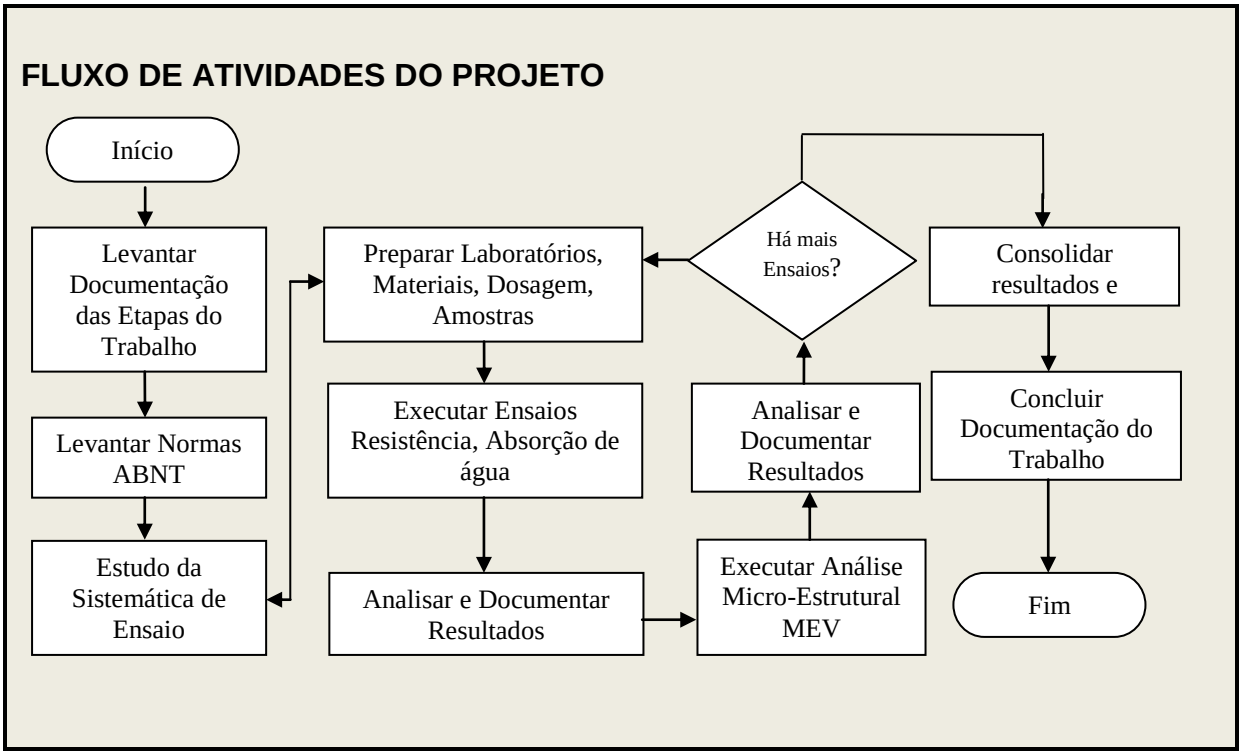


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES DO PROJETO

Para os trabalhos do presente projeto, traçou-se uma sequência de atividades, considerando as etapas, normas, documentações a levantar e trabalhos práticos a serem executados, descrito na figura 9.

Figura 9: Fluxo de atividades do Projeto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre as várias definições de materiais compósitos descritas na literatura após uma revisão bibliográfica, verifica-se que uma das mais utilizada é dada por Daniel e Ishai (1994). Estes autores definem:

- Compósito estruturado: como um sistema de materiais consistindo de duas ou mais fases numa escala macroscópica, cujo desempenho mecânico e propriedades são projetados para serem superiores àqueles dos constituintes atuando independentemente;

- Fase matriz: fase que é menos resistente, porém contínua, além de fornecer proteção contra ataques químicos, umidade e preenchimento dos espaços vazios;

- Fase Dispersa: fase que proporciona resistência e rigidez, sendo descontínua;

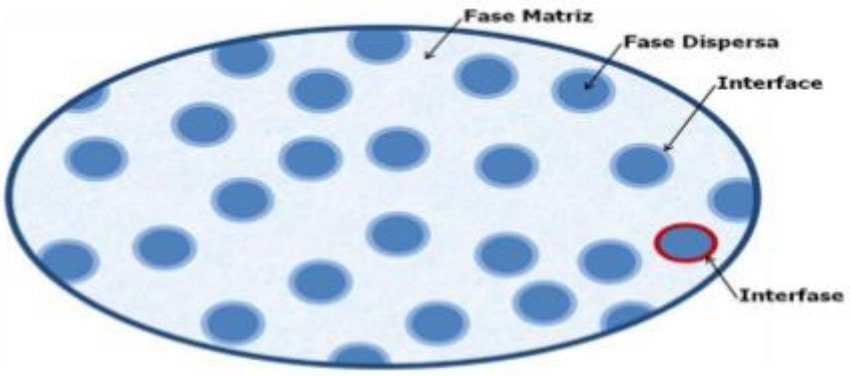
- Interface: diz respeito a região de contato entre a fase dispersa e a fase matriz, podendo esta ser forte ou fraca dependendo do tipo de interação, seja física e/ou química;

- Zona de transição de interface (ZTI): pode desempenhar um papel importante no controle dos mecanismos de falha, tenacidade à fratura, e comportamento de tensão-deformação global do material.

Por causa de interações químicas ou efeitos de processamento, uma fase adicional, chamada interfase, pode existir entre o reforço e a matriz, exibindo composição química distinta.

A Figura 10, abaixo, ilustra claramente as fases constituintes de um compósito.

Figura 10: Fases de um material compósito.



Fonte: CALLISTER Jr, Ciência e engenharia de materiais 2011.

Finalmente, qualquer material constituído por pelo menos dois ou mais componentes, multifásico, com propriedades físicas e químicas nitidamente distintas e não miscíveis podem ser tratados como um material compósito, conclui-se.

3.2.1 Compósitos Polímeros-Cerâmicos

Definem-se os Compósitos polímero-cerâmico (CPC) como um grupo novo de materiais, cujas propriedades mecânicas e térmicas são muito significativas. São materiais resultantes da combinação de materiais cerâmicos e materiais poliméricos.

As propriedades finais desses compostos derivados de dois ou mais componentes revelam-se diferentes de cada material que as originou caso ainda não estivessem combinadas, o que se explica pelo efeito sinérgico da combinação destes dois materiais (GEMERT, *et. al*. 2005; KOULOURIDIS, *et al*., 2006; ZHOU, 2009).

Existe vários tipo de Compósitos polímeros-cerâmicos (CPC), dentre eles, pode-se citar os Compósitos cimentícios poliméricos (CCP), formados pela adição de polímeros ao Cimento Portland. Esses compósitos vêm sendo empregados na construção civil para a fabricação de produtos pré-fabricados, e na fase de acabamento (PANZERA, *et al*., 2010).

3.2.2 Cimento Portland - Fase Matriz Cerâmica

Trata-se do Cimento Portland padrão CPIII 40 RS (Figura 11), fabricado pela CSN Cimentos S. A., adquirido na Construcenter Correta Materiais de Construção Ltda, em Volta Redonda, RJ, em embalagens de 50Kg. Sua escolha se deu por se tratar de um material de alta durabilidade, ideal em todas as fases de obra, com resistência superior aos 40 MPa após 28 dias, ecológico e econômico.

Figura 11: Cimento Portland CPIIIP – 40RS

Fonte: Acevo de fotos do autor,

Os materiais obtidos para a produção do compósito cimentício polimérico, pretendido neste trabalho, estão descritos com resumo de sua composição e origem na Tabela 8.

Tabela 8: Constituintes dos Cimentos Portland

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdos dos componentes (%)			
			Clinquer + Gesso	Escória	Pozolana	Filler + Calcário
Comum	CPI	25, 32, 40	100	-	0	-
Comum c/ Adição	CPI-S	25, 32, 40	99-95	-	1-5	-
Composto c/ Escória	CPI-E	25, 32, 40	94-56	6-34	0	0-10
Composto c/ Pozolana	CPII-Z	25, 32, 40	94-76	0	6-14	0-10
Composto c/ Filer	CPI-F	25, 32, 40	94-90	0	0	6-10
Alto Forno	CPIII	25, 32, 40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25, 32	5-45	0	15-50	0-5
Alta Resist. Inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resist. À Sulfatos	RS	25, 32, 40	-	-	-	-
Baixo Calor de Hidratação	BC	25, 32, 40	-	-	-	-
Branco Estrutural	CPB	25, 32, 40	-	-	-	-

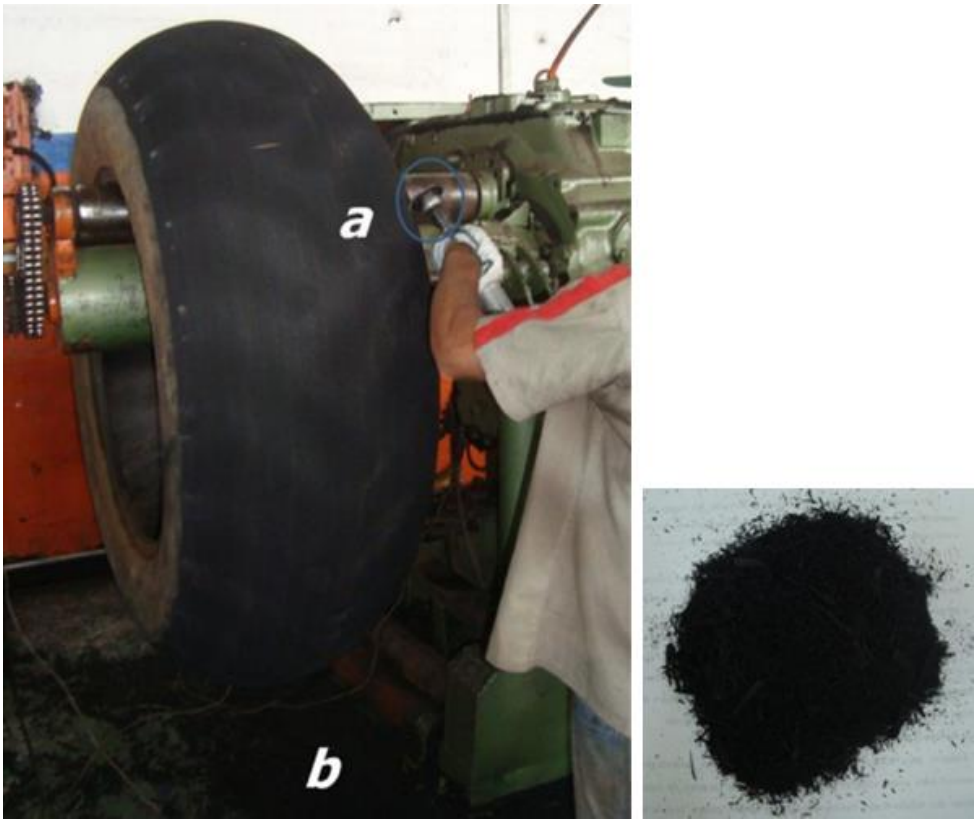
Fonte: Fonseca (2010).

3.2.3 Partículas de borracha de pneus - Fase Dispersa

A Borracha de Pneu (Figura 12) foi obtida de rejeitos de pneus velhos ou inservíveis oriundos do Centro de Picotagem da Cimpor – Jundiaí (SP).

Este centro de picotagem recebe mensalmente uma quantidade de 1000 ton. de rejeito, concretizada através de uma parceria firmada entre a ANIP e a CIMPOR. O objetivo é buscar a redução do custo deste tipo de material, já que os custos desta borracha picotada geralmente são menores quando provêm de empresas recauchutadoras, as quais executam o processo de raspagem, uma das etapas de reparo para recauchutagem de pneus (Figura 12).

Figura 12: Raspagem de pneus para recauchutagem de pneus.



Fonte – scielo.br (2016).

É importante destacar que as cimenteiras cobram em média, US$ 100 por tonelada de pneu destruída, emitindo um certificado para as empresas apresentarem aos órgãos ambientais de fiscalização, comprovando a destinação final do pneu inservível conforme prevê a legislação (CIMINO; ZANTA, 2005, p. 302; LOJUDICE, 2002).

Este material de origem comum constitui-se de pneus inservíveis e resíduos de pneus do processo da recauchutagem. As partículas de borracha resultantes da picotagem dos pneus apresentam formatos e tamanhos diversos no material utilizado (Figura 13).

Figura 13: Centro de Picotagem da Cimpor – Jundiaí (SP)

Fonte: LAGUNO *apud* MARTINS, 2004.

3.2.4 Partículas Minerais- Fases Dispersas

Todos particulados minerais utilizados neste estudo foram fornecidas pela Construcenter Correta Materiais de Construção Ltda, localizada no bairro Aterrado na cidade de Volta Redonda/RJ. Os preços praticados no ato da compra para a brita e a areia foram, respectivamente, de R$100,00 por m³ a brita e de R$90,00 por m³ a areia.

A origem da brita foi da Pedreira Volta Redonda, areia foi da Extratora de Areia Volta Redonda e a água tratada, do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Volta Redonda (SAAE/VR), que na época cobrava pelo fornecimento a tarifa média de R$17,00 o metro cúbico.

a) Brita - agregado graúdo: estas partículas foram fornecidas em faixas granulométricas comumente industrializadas, para tanto, foram peneiradas e classificadas em faixas granulométricas conforme previsto na norma ABNT NBR 7211:2009. Esta norma fixa as características exigidas para agregados que podem ser de origem natural ou resultante de processo de cominuição (britagem) de rochas estáveis. Ainda, com relação a esta norma, define agregado graúdo como cascalho ou rocha britada ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8mm.

A brita ou pedra britada para construção civil é o produto do processo de cominuição de vários tipos de rochas. Brita é um termo utilizado para denominar fragmentos de rochas duras, originários de processos de beneficiamento (britagem e peneiramento) de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos (granito, gnaisse, basalto, calcário) com auxílio de explosivos. Trata-se de um material de uso amplo e diversificado na indústria da construção civil em aplicações como: concreto, pavimentação, edificações, obras civis (ferrovias, túneis, barragens), obras de infraestrutura (saneamento básico), segundo definição técnica de Tanno, tem-se a seguinte classificação por tamanho, como é apresentado na Figura 14 (SINTONI, 2003).

Figura 14: Classificação por tamanho do agregado graúdo.

Fonte – Scielo.br (2016).

A faixa granulométrica utilizada na preparação dos compósitos está ilustrada na Figura 15.

Figura 15: Partículas minerais Brita 1 - agregado gaúcho

Fonte: Acervo de fotos do autor.

b) Areia - agregado miúdo: estas partículas foram fornecidas em faixas granulométricas comumente industrializadas. Segundo a norma ABNT NBR 7211:2009, “agregado miúdo” é definido como areia de origem natural ou resultante da cominuição (britagem) de rochas, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075mm. Ressalta-se ainda que especificamente neste estudo, as partículas minerais de areia sofreram eventuais substituições pela adição de partículas de borracha respeitando a mesma faixa granulométrica das partículas de borracha na produção do compósito cimentício pretendido. A Figura 16 ilustra o agregado miúdo utilizado.

Figura 16: Partículas minerais, areia – agregado miúdo.

Fonte: Acervo de fotos do autor.

c) Água: a água utilizada na produção do compósito pretendido neste trabalho possui composição química própria de água tratada e potabilizada para consumo humano em cidades.

A reação química do cimento com a água é fundamental para fornecer resistência, durabilidade, trabalhabilidade, impermeabilidade dos artefatos produzidos com cimento.

3.2.5 Resumo dos Materiais Utilizados

Resumo dos materiais utilizados na produção do compósito cimentício com adição de agregado de borracha de pneu (Tabela 9), proposto neste trabalho.

Tabela 9: Lista de Materiais para Confecção do Compósito Cimentício

MATERIAIS	MARCAS / ORIGEM	DESCRIÇÃO DO INSUMO (TIPO / MODELO)	COMPOSIÇÃO QUÍMICA PADRÃO	CUSTO (R$/UNID)
CIMENTO	CSN Cimentos, Construcenter Correta Materiais de Construção Ltda	Tipo: Portland de alto forno Modelo: CPIII-40RS	• Ferro (Fe_2) + silicatos de cálcio (Ca_2SiO_4) • Ferro (Fe_2) + alumína (Al_2O_3) • Filler carbonático (Fe_2) + sulfato de cálcio (Ca_2SO_4) • Escória de alto forno (Fe_2O_3)	25,00 /50Kg
AREIA	Construcenter Correta Materiais de Construção Ltda	Média (leito de rio, Areal Santa Isabel Ø2,0mm	Areia granulada: quartzo [base sílica (Sio_2) + impurezas]	90,00 /m^3
BRITA	Pedreira VR, Construcenter correta materiais de construção ltda	Brita 1: ø 9,5mm	Granito de jazida natural: quartzo (Sio_2) + feldspato ( ) + mica ( )	100,00 /m^3
ÁGUA	SAAE / VR	Tratada	H_2O + resíduos de tratamento	17,00 / m^3
RESÍDUOS DE PNEUS	Centro de Picotagem da Cimpor – Jundiaí (SP)	Granulado de pneus processado	Borracha de pneu triturado (composição química não disponível)	US$ 100 por tonelada

Fonte – Scielo.br (2016)

4 MÉTODOS

4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

As peneiras, previamente limpas, foram encaixadas de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo (fundo - 600 µm; 600 µm - 2,00 mm; 2,00 mm - topo).

As aberturas das peneiras são relacionadas ao número de malhas (mesh) que representa o número de aberturas de uma mesma dimensão contida num comprimento de 25,4 milímetros ou 1 polegada. O material retido na tela da peneira é denominado oversize e o passante, undersize.

Como as partículas de borracha de pneus utilizadas no experimento (figura 17) possuíam uma composição granulométrica bastante diversificada em relação a suas dimensões e sua separação no local de beneficiamento se constitui numa prática impossível de ser realizada. Sendo assim, optou-se por executar seleção por processo de peneiramento da amostra de resíduos de borracha, aproveitando-se os grãos de borracha com o tamanho menores que 2mm (passante, undersize) e maiores que 600µm (retido, oversize) na malha das peneiras.

Figura 17: Partículas de borracha de pneus.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com isto, os resíduos de borracha efetivamente agregados ao concreto dos corpos de prova confeccionados, foram os grãos de borracha que retidos pela malha de 600µm e os que passaram na malha da peneira de 2mm.Tanto os grãos de borracha que ficaram retido na peneira de 2mm quanto os que passaram na de 600µm, foram descartados, demonstrado na figuras 18**.**

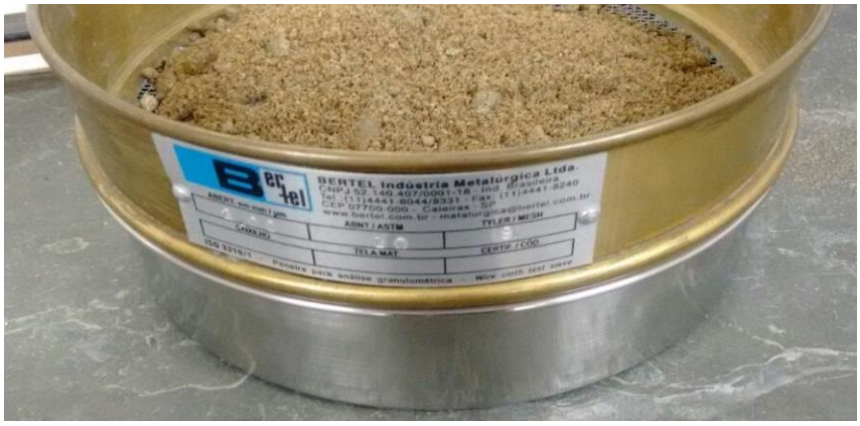
Para a areia, foram executados os mesmos procedimentos de peneiramento para padronização granulométrica executada no caso das partículas de borracha de pneus, respeitando-se sempre a mesma faixa granulométria para os dois agregados do compósito cimentício pretendido (Figura 19).

No caso da brita, também houve o seu peneiramento, realizado em agitador de peneiras de 19mm e 9,5mm, aproveitando-se as britas com o tamanho menores que 19mm e maiores que 9,5mm na malha das peneiras que ficaram retidas, descartou-se o restante.

Figura 18: Seleção granulométrica de resíduos de pneus por processo de peneiramento – Peneiras Soloteste - ABNT

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19: Peneiramento da areia média Ø2mm - Peneiras Soloteste - ABNT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 ESTUDOS E PROCEDIMENTOS

Para subsidiar a confecção do compósito cimentício, foi realizado os seguintes estudos e procedimentos:

a) Propriedade e conformação do concreto: O concreto é um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico com materiais inertes e água. O aglomerante usualmente empregado é o Cimento Portland embora existam outros. Os materiais inertes do concreto são designados por agregados e conforme sua granulometria recebem as denominações de agregados graúdos e agregados miúdos.

   O agregado graúdo mais frequente é a pedra britada e o miúdo é a areia natural, também pode ser usado o pó de pedra.

   Para a fabricação do Cimento Portland é necessário, principalmente, os seguintes produtos minerais: calcário, argila e gesso.

   Calcário é o carbonato de cálcio ($CaCO_3$).

$$\underset{(100\%)}{CaCO_3} \longrightarrow \underset{(56\%)}{CaO} + \underset{(44\%)}{CO_2}$$

O Calcário dá origem a 560 kg de cal que é a verdadeira matéria-prima do cimento. A dolomita é o carbonato de cálcio e magnésio ($CaMg(CO_3)_2$), que encerra apenas 30,4% de CaO não é utilizado na fabricação do Cimento Portland.

Os componentes químicos encontrados no Cimento Portland podem ser apreciados na Tabela 10.

Tabela 10: Componentes químicos do Cimento Portland

COMPONENTES	MINERAL / NOME / FÓRMULA QUÍMICA	Qt. (%)
CLÍNQUER	C_3S (ALÍTA) – SILICATO TRICÁLCICO – $(CaO)_3+SiO_2$	52
	C_2S (ALÍTA) – SILICATO DICÁLCICO – $(CaO)_2+SiO_2$	18
	C_3A (CELÍTA) – ALUMINATO TRICÁLCICO $(CaO)_3+Al_2O_3$	10
	C_4AF (BROWNMÍLERITA) – FERROALUMINATO TETRACÁLCICO - $(CaO)_4+Al_2O_3+Fe_2O_3$	9
ADIÇÕES	GIPSITA – SULFATO DE CÁLCIO – $Ca_2SO_3+2H_2O$	< 3

Fonte: Associação Brasileira de Cimentos PortLand (ABCP).

Do ponto de vista da resistência, os dois silicatos de cálcio são fundamentais, o C_3S nas primeiras idades e o C_2S em maiores. Os aluminatos são responsáveis pelas primeiras reações, porém atingem valores muito baixos de resistência aos esforços mecânicos. Conforme informações colhidas no site (<http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf>), na publicação “Apostila de Tecnologia do Concreto”, o calor desenvolvidos pelas reações do aglomerante com a água é devido, principalmente, ao C_3A, seguido pelo C_3S. O C_2S e o C_4AF liberam muito pouco calor diante da hidratação.

O “concreto” é um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico com materiais inerte e água, podendo ser combinado com outros produtos para ser empregado noutras aplicações específicas, conforme publicação “Time LIFE™, 1996”.

O cimento Portland é um produto de características bem definidas em suas normas aprovadas, no Brasil, pela ABNT, Tabela 11.

Tabela 11: Componentes normais do Concreto

MATERIAIS	PROPRIEDADE/ MATERIAL	FUNÇÃO
Cimento portland	Aglomerante	Cola os componentes
Areia natural de quartzo (sílica + impurezas) ou artificial (pó de pedra beneficiado), pó de pedra	Agregado miúdo	Preenchimento intersticial e resistência mecânica
Pedra britada ou seixo natural	Agregado graúdo	Resistência mecânica
Água tratada	Reagente do cimento	Ativar formação e compor o concreto
Plastificante, retardador de pega	Aditivo químico	Acelerador ou retardador da cura
Metacaulim, cinza volante, pozolanas, cal, pó de pedra	Adições naturais	Incrementar a resistência mecânica

Fonte: Associação Brasileira de Cimentos PortLand (ABCP).

b) Normas e procedimentos para ensaios da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, para produção de compósito de concreto: As normas ABNT em que se basearam os ensaios executados para a produção do compósito de concreto são:

- NBR 5738/2003 – Concreto: procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova.
- NBR 5739/2007 – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Procedimentos tomados conforme as normas ABNT para a produção do compósito de concreto desenvolvido neste trabalho:

a) Características dos moldes: são constituídos de aço, possuem sua superfície lisa e antiaderente. Sua base é de diâmetro Ø10cm e altura de 20cm, sendo inerte ao cimento e com adequada resistência mecânica para suportar processo de moldagem e desmoldagem por várias vezes. Possui dispositivo de travamento na lateral do molde capaz de evitar fuga de materiais, como também sua abertura após 24 horas para retirada dos CP's de concreto com facilidade, conforme itens 4.1 e 4.1.3 da NBR 5738/2003;

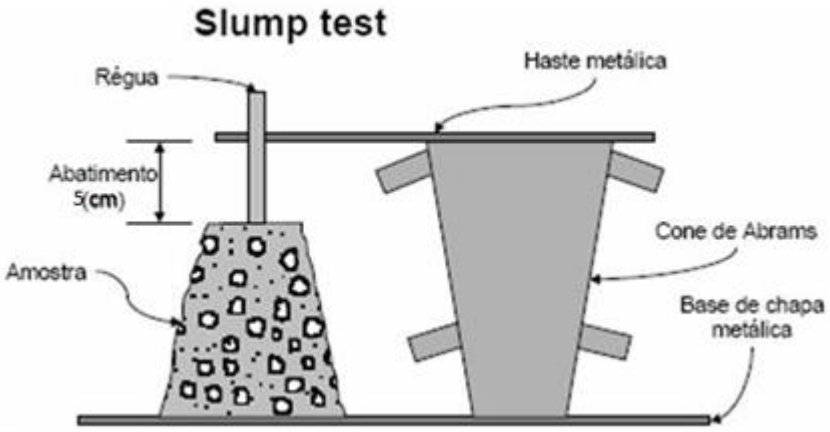
b) Preparação dos moldes: Aspectos de manejo com os moldes tais como: separação dos CP's, sua limpeza, o oleamento de sua superfície interna para facilitar retirada dos CP's no manejo preliminar. No pós-manejo de envasamento do concreto nos moldes, acondicioná-los em local com temperaturas bastante constante, pois sua variação pode gerar problemas para o processo seguinte de cura dos CP's. Outro aspecto importante para o local de armazenamento dos CP's refere-se a sua superfície que deve ser estável e imóvel, conforme NBR 5738/2003;

c) Adensamento: O adensamento deve ser executado manualmente no manuseio com os moldes e com uso de barra de aço cilíndrica de ponta arredondada de dimensões de 60 cm de comprimento e diâmetro de Ø1,5cm. A compactação é feita com a execução de 12 punções, distribuídas circularmente em duas camadas de 50% e 100%, conforme tabela 1 da NBR 5738/2003. Realizar pancadas laterais com objetivo de preencher os vazios por escoamento. Preencher a última camada até o transbordo do molde, fazer rasamento do topo com colher de pedreiro, disposto nos itens 7.2, 7.4, 7.4.2.2 e 7.4.2.3, de acordo com a NBR 5738/2003;

d) Método de abatimento (Slump): Definido no ítem B, a faixa de 3cm a 15cm para abatimento no Teste de Slump com adensamento na

conformação dos CP's com barra de Ø1,5cm x 60cm, manualmente. O "*Slump Test*" é feito através de um cone de aço com dimensões padronizadas, conforme NM67, 2003, preenchido com o concreto. Após, o mesmo é erguido verticalmente ao ar, sem vibrações, através de suas alças laterais, objetivando o concreto formar uma torre cônica, onde o concreto, por gravidade, descerá do topo para baixo – abatimento – que será tanto maior quanto maior for a fluidez do concreto. A seguir, o cone é posicionado de forma invertida ao lado da torre. A barra usada na compactação é colocada na horizontal, sobre a boca do cone, de modo que sua projeção vertical se situe sobre o topo da torre de concreto. Prossegue o teste slump medindo a distância da linha inferior da barra até o topo da torre de concreto, com auxílio de fita métrica graduada em centímetros. O resultado apurado deu a fluidez desejada, em centímetros, conforme item 7.4.1 da norma NBR 5738/2003 (BOTELHO, 2012). A Figura 20 ilustra o 'Concrete Slump Test';

Figura 20: Concrete Slump Test.



Fonte – scielo.br (2016).

c) Moldagem dos corpos de prova (CP's): As misturas do concreto, garantindo sua homogeneidade, são inseridas nos moldes com quantidade de camadas equivalentes aos dados das tabelas do item 7.3 da norma NBR 5738/2003;

d) Lançamento na Câmara Úmida: Proceder à identificação dos CP's previamente à inserção na Câmara Úmida (item 8.2.3) à temperatura de 25ºC ± 2ºC, umidade relativa (UR) maior que 95%, 100% submersos em tanque de água parada, conforme item 8.2.2, da norma NBR 5738/2003;

e) Rompimento a "N" dias de cura: Após a retirada dos CP's da Câmara Úmida, os CP's de 7 dias de cura, são levados imediatamente para o ensaio de resistência mecânica, conservados à 25ºC ± 2ºC e umidade relativa (UR) de 35% a 65%. Os outros ensaios com idades de 14 dias, 21 dias e 28 dias, devem seguir o mesmo padrão de etapas, conforme item 8.2.5 da norma NBR 5738/2003;

f) Procedimentos para Ensaio de Resistência referente às bases dos CP's: Com relação ao teste de tensão Axial, devem estar planas e lisas, sem saliências ou protuberâncias o topo e a base dos CP'S, perpendicular ao eixo longitudinal do CP, proporcionando a ação uniforme da força de compressão dos braços da prensa. Procedimentos de ajuste nos itens 9.2 até 9.4 da norma NBR 5738/2003, devem ser executados caso os PC's apresentem deformações de base e topo, que impeçam o perfeito encaixe das placas de pressão dos braços da prensa, conforme item 9.1 da norma NBR 5738/2003.

4.3 ÁREA DE DESENVOLVIMENTO

Os ensaios foram desenvolvidos nos Laboratórios do Curso de Engenharia Civil e Laboratórios de Materiais (CIT) do Centro Universitário de Volta Redonda, UniFOA.

Para realização das atividades, utilizou-se de alguns equipamentos tais como:

a) Betoneira: utilizada para misturar o concreto;
b) Copo Volumétrico de 1 litro: para adição da água;
c) Moldes Soloteste Cilíndricos (Ø10cm de base x 20cm de altura): para moldagem;

d) Barra de aço para compactação: para compactar o concreto do corpo de prova.

Os materiais utilizados na confecção dos corpos de prova foram: cimento, brita areia, água e granulado de borracha.

Para a obtenção dos corpos de prova e execução dos ensaios foi realizada as seguintes etapas:

1º) Separação de 12 Moldes de CP's e Oleamento dos CP's;

2º) Separação dos agregados;

3º) Mistura dos materiais na betoneira;

4º) Adição de água e Teste *Slump*;

5º) Enchimento e compactação dos CP's;

6º) Retirada dos CP's dos moldes e sua imersão no Tanque de Cura;

7º) A cada 7 dias: retirada de 3 CP's com 7,14, 21, 28 dd, para os testes **de** Compressão Axial.

Os moldes receberam fina camada de óleo mineral para facilitar a soltura dos CP's no ato da abertura dos moldes para a retirada dos mesmos após a pré-cura de 24 h, conforme NBR 5738/2003.

Foi convencionado trabalhar com um traço unitário de "1:2:3", onde tem-se 1 de cimento para 2 de areia para 3 de brita, considerando-se o custo benefício.

Agregados miúdos e graúdos assim como o cimento foram preparados previamente de acordo com dosagens (traço) previstos nas Tabelas 12 e Tabela 13.

As premissas, para o traço definido na produção do compósito cimentício, encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12: Premissas na configuração do traço

PREMISSAS NO TRABALHO	PARÂMETROS ESTABELECIDAS
TRAÇO	1 (cimento) : 2 (areia + borracha) : 3 (brita)
MEDIDA DO ABATIMENTO	6cm ± 1cm, com meta de 5cm
QUANTIDADE ESTIMADA DE MATERIAIS / TRAÇO	5L de cimento 10L de areia peneirada 15L de brita 1 3,3L de água
QUANTIDADE MÍNIMA DE CP"s / BATELADA	12 CP's p / Ensaio de Compressão Axial com 7, 14, 21 e 28 dd; 01 CP p/ Ensaio de absorção de Água; 01 CP testemunho (conforme definido).
TRAÇOS POR BATELADA (POR ADIÇÃO %)	01 traço por percentual definido de resíduo de borracha a se incorporado no concreto.

Fonte: elaborado pelo autor.

Foram adotadas as premissas de produção do CP's de acordo com a tabela 13, com os parâmetros para atendimento das quantidades estimadas na tabela 12.

Tabela 13: Proporções teóricas pretendidas por traço com as adições

ADIÇÃO (%)	CIMENTO PORTLAND (L)	BRITA (L)	AGREGADOS MIÚDOS	
			BRITA (L)	BORRACHA (L)
0	5	15	10	0,0
5	5	15	9,5	0,5
310	5	15	9,0	1,0
15	5	15	8,5	1,5
20	5	15	8,0	2,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, misturou-se a areia, a brita e a borracha por cinco minutos na Betoneira, com 70% da água de amassamento. Feito isto, adicionou-se o cimento à mistura e o restante da água por meio do Copo Volumétrico, conforme NBR 5738/2003.

Com a adição dos 30% restante da água pode-se atingir a consistência de cascata fluida. Então foi paralisada a Betoneira para se efetuar o Teste de Abatimento ou "*Slump Test*"- termo em inglês (figura 21), para controle do fator "a/c". O fator "a/c" influencia na resistência do concreto e é calculado através da seguinte equação:

$$a/c = \frac{\text{Volume de água}}{\text{Volume de cimento}} \qquad \text{(eq.1)}$$

Figura 21: Teste *Slump* para aferição da fluidez.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Deve-se controlar o fator “a/c” pois quanto mais água adicionada, menor será a resistência do concreto e neste caso poderia se aumentar a quantidade de cimento a ser adicionada tornando mais altos os custos de produção (BOTELHO, 2012).

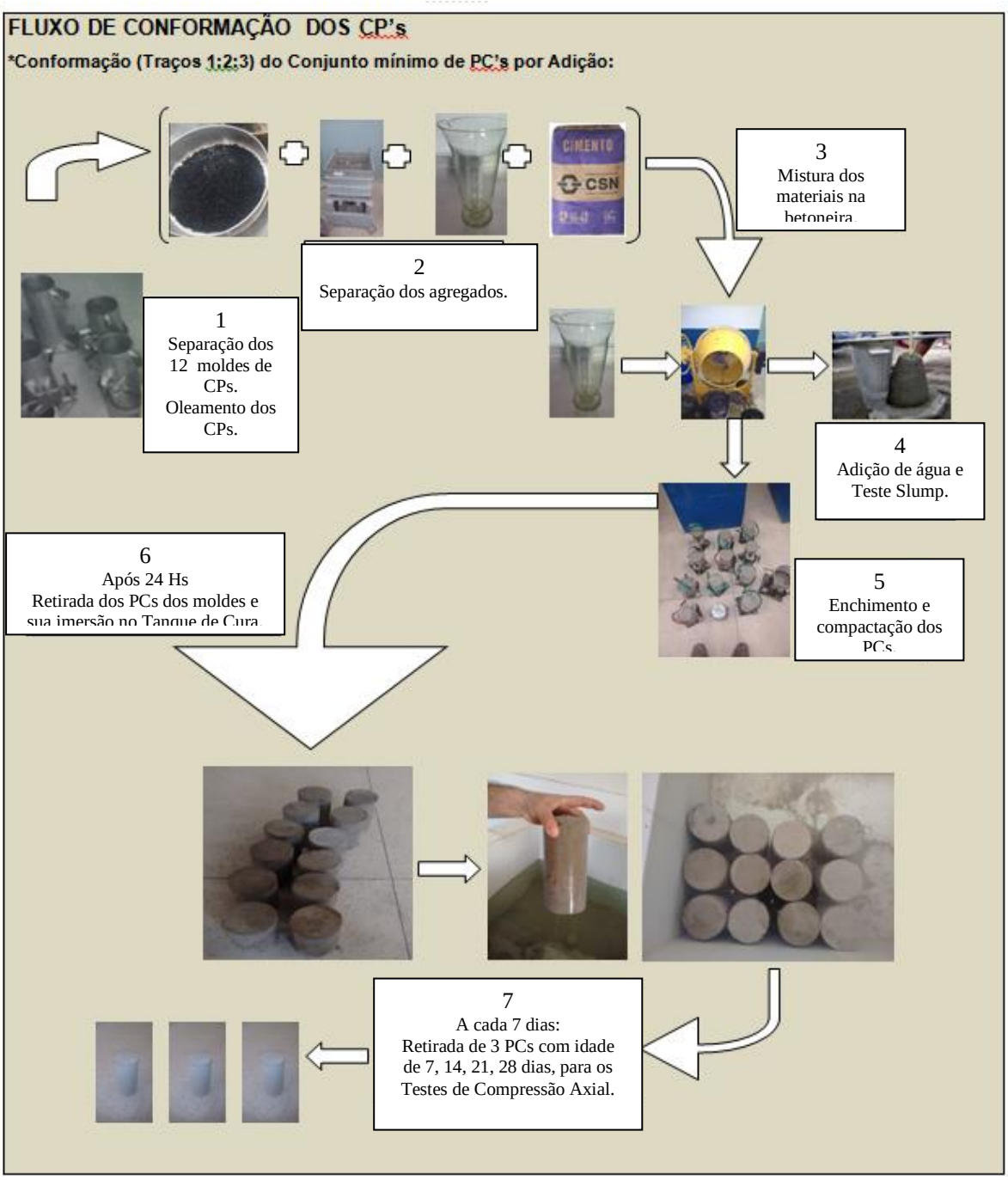
O Teste *Slump* foi executado segundo a prerrogativa de se atingir o valor de abatimento de 5cm (padrão 6cm±1cm), obtido após, no máximo, com três medições. Ao término do Teste Slump, com a Betoneira desligada, iniciou-se o enchimento dos moldes de conformação dos CP’s com o concreto obtido na batelada. Cada molde cilíndrico foi preenchido com o compósito de concreto em duas etapas, sendo a 1ª até a metade do molde de 10cm (base) x 20cm (altura) e a 2ª com o preenchimento total, com compactação de cada CP com a Barra de Ferro (Fotografia 20), até o transbordo superior do concreto (Fotografia 21). Com auxílio da Colher de Pedreiro, foi feito rasamento do topo do CP para deixar sua superfície lisa.

O laboratório de Engenharia, que possui seu piso plano, permitiu que também servisse para abrigar os CP’s durante o período de pré-cura de 24h após o enchimento dos moldes com as misturas de concreto. Após este período, os compósitos sofreram desmoldagem (Figura 22), e foram identificados e transferidos direto para a câmara úmida e dispostos em posição vertical, imersos na água da tanque d’água (Figura 23).

Por ocasião do início dos ensaios mecânicos (Figura 25), conforme previsto no Fluxo de conformação dos CP’s, executou-se a retirada dos mesmos para dar prosseguimento dos trabalhos guiados a luz da norma ABNT NBR 5738/2003.

Na figura 22, pode-se visualizar o fluxo do processo de moldagem e cura para a obtenção dos corpos de provas a serem ensaiados.

Figura 22: Fluxograma do processo.



Fonte: elaborado pelo autor.

5 ENSAIOS COM OS CORPOS DE PROVA

De acordo com as orientações da **NBR 5739/2007,** a qual especifica ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, nesta etapa do trabalho, foram realizados ensaios de resistência mecânica à compressão.

Já o ensaio referente à absorção de água, conforme **NBR 9778/2003,** que se aplica ao concreto ou argamassa, a qual determina a absorção de água, índice de vazio, massa específica.

Os procedimentos de preparação dos materiais de conformação do compósito de concreto, à luz da norma **NBR 5738/2003,** foram processados os materiais, borracha de pneus inservíveis e areia, para a confecção do compósito de concreto objeto do estudo realizado.

a) Borracha de pneus inservíveis: As partículas de borracha de pneus utilizadas no experimento possuíam uma composição granulométrica diversificada em relação a suas dimensões, tendo sido necessário realizar o peneiramento das partículas, aproveitando-se somente os grãos com o tamanho menores que 2mm, passante *undersize,* e os grãos maiores que 600µm, retidos *oversize,* na malha das peneiras, o resíduo restante foi descartado;

b) Areia: A areia foi peneirada para garantir a remoção de eventuais impurezas no material, adotando a mesma granulometria dos grãos de borracha, resultando assim toda areia com o tamanho menores que 2mm, passante *undersize,* e maiores que 600µm, retido *oversize*, na malha das peneiras, sendo que o resíduo restante foi descartado.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Foram feitos testes preliminares para escolher o nível das partículas de borracha, contendo diversas frações volumétricas, sendo que o limite máximo de 20% em volume de partículas de borracha foi verificado.

Devido à elevada viscosidade da mistura e dificuldades no processo de moldagem, ocorreu um esfarelamento dos CP's ao realizar a sacagem do molde ao utilizar o nível alto de 20% de partícula de borracha.

Dessa forma, testou-se em 4 níveis, um nível alto de 20%, um de 15%, um intermediário de 10%, e outro considerado o nível inferior de 5% em volume.

Os percentuais de resíduos de pneus foram definidos, levando-se em consideração os resultados obtidos nas referencias bibliográficas encontradas, tais como: KHORRAMI (2010), MARTUSCELLI (2012) e XU (2012), que utilizaram teores de resíduos variáveis em volume alcançando 20% em volume em suas composições e que constataram que o concreto com essas faixas de resíduos tem tendência à perda de resistência à compressão e à tração menor do que quando se utilizaram percentuais acima de 20%.

De acordo com a análise realizada nas tabelas 14,15, 16, 17 e 18, observou-se que durante a realização dos ensaios o corpo de prova de referência e os que foram adicionados resíduos de pneus, apresentaram reações diferentes.

Comparando os resultados obtidos entre o corpo de prova de referência e os que tinham adição de resíduos, verificou-se que aqueles que tinham adição de borracha, por apresentarem valores de compressão, de forma geral menores que o corpo de prova de referência, tem-se que o percentual de 10% a 15% de resíduos ao serem adicionados no concreto dos CP's, indicam melhores resultados ao avaliar todos os ensaios.

Os dados obtidos nos ensaios de Resistência à compressão, os resultados estão detalhados na tabela14 de acordo com o nível de adição de resíduo borracha estabelecido previamente para os ensaios.

a) Caracterização do Corpo de Prova de referência: A tabela 14 apresenta os resultados referentes aos ensaios de compressão com os CP's de referência, ou seja, com 0% de adição de resíduos de borracha de pneu.

Tabela 14: Resistência à compressão da referência.

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
0	7	78,54	91,64	11,67	10,7133333	1,36514956
		78,54	71,85	9,15		
		78,54	88,90	11,32		
	14	78,54	114,18	14,54	15,02	0,43266615
		78,54	120,81	15,38		
		78,54	118,88	15,14		
	21	78,54	171,58	21,85	18,6666667	2,77052943
		78,54	131,98	16,80		
		78,54	136,26	17,35		
	28	78,54	202,41	25,77	24,53	1,07429046
		78,54	188,05	23,94		
		78,54	187,58	23,88		

Fonte: elaborado pelo autor.

b) Caracterização do Corpo de Prova com adição de 5% de resíduos de borracha de pneu: A tabela 15 apresenta os resultados referentes aos ensaios de compressão dos CP's com 5% de adição de resíduos de borracha de pneu.

Tabela 15: Resistência à compressão com 5% de adição de resíduos de borracha de pneu.

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
5	7	78,54	75,31	9,59	11,09	1,44374513
		78,54	88,04	11,21		
		78,54	97,78	12,47		
	14	78,54	103,82	13,22	14,0966667	0,761993
		78,54	114,66	14,60		
		78,54	113,64	14,47		
	21	78,54	152,28	19,39	19,5733333	0,80089533
		78,54	160,61	20,45		
		78,54	148,28	18,88		
	28	78,54	187,86	23,92	24,6066667	0,59877653
		78,54	195,40	24,88		
		78,54	196,50	25,02		

Fonte: elaborado pelo autor.

c) Caracterização do Corpo de Prova com adição de 10% de resíduos de borracha de pneu: A tabela16 apresenta os resultados referentes aos ensaios de compressão dos CP's com 10% de adição de resíduos de borracha de pneu.

Tabela16: Resistência à compressão com 10% de adição de resíduos de borracha de pneu.

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
10	7	78,54	95,33	12,14	**12,9833333**	**0,76133654**
		78,54	106,94	13,62		
		78,54	103,58	13,19		
	14	78,54	122,58	15,61	**15,0433333**	**0,4908496**
		78,54	116,00	14,77		
		78,54	115,88	14,75		
	21	78,54	134,66	17,15	**17,8566667**	**0,67722473**
		78,54	145,28	18,50		
		78,54	140,75	17,92		
	28	78,54	161,03	20,50	**19,7633333**	**1,53396002**
		78,54	148,29	18,00		
		78,54	163,32	20,79		

Fonte: elaborado pelo autor.

d) Caracterização do Corpo de Prova com adição de 15% de resíduos de borracha de pneu: A tabela17 apresenta os resultados referentes aos ensaios de compressão dos CP's com 15% de adição de resíduos de borracha de pneu.

Tabela17: Resistência à compressão com 15% de adição de resíduos de borracha de pneu.

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
15	7	78,54	95,34	12,14	12,9833333	0,76133654
		78,54	106,97	13,62		
		78,54	103,59	13,19		
	14	78,54	122,60	15,61	15,0433333	0,4908496
		78,54	116,00	14,77		
		78,54	115,84	14,75		
	21	78,54	134,69	17,15	17,8566667	0,67722473
		78,54	145,29	18,50		
		78,54	140,54	17,92		
	28	78.54	161,00	20,50	19,89	0,80318118
		78.54	149,06	18,98		
		78.54	158,57	20,19		

Fonte: elaborado pelo autor.

e) Caracterização do Corpo de Prova com adição de 20% de resíduos de borracha de pneu: A tabela 18 apresenta os resultados referentes aos ensaios de compressão dos CP's com 20% de adição de resíduos de borracha de pneu.

Tabela 18: Resistência à compressão com 20% de adição de resíduos de borracha de pneu.

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
20	7	78.54	64,63	8,23	9,49666667	1,09696551
		78.54	79,56	10,13		
		78.54	79,56	10,13		
	14	78.54	82,70	10,53	11,1033333	0,58011493
		78.54	87,10	11,09		
		78.54	91,81	11,69		
	21	78.54	94,24	12,00	12,05	0,05
		78.54	94,17	12,05		
		78.54	95,03	12,10		
	28	78.54	97,38	12,40	12,6666667	0,37072002
		78.54	98,25	12,51		
		78.54	102,08	13,09		

Fonte: elaborado pelo autor.

6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Define-se a absorção de água de uma matéria pelo percentual de água absorvida por um corpo de prova depois da imersão em água sobre pressão negativa constante, conforme descrito na determinação da densidade e porosidade aparentes.

A expressão abaixo mostra a obtenção desta variável resposta.

$$A_b = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Sendo:

A_b é a absorção de água (%);

m_1 peso seco;

m_2 peso molhado.

Ao comparar com o concreto de referência, verificou-se redução na densidade aparente. Observa-se que a densidade aparente, para as três composições de borracha (5%, 10% e 15%), sofrem redução com o aumento do teor de borracha, como era de se esperar, pois a borracha é mais 'leve' que o concreto. As

composições com adição de 15% e de 20% de borracha resultaram em CP's de consistência mecânica cada vez menor, sendo que os CP's de 20% de borracha foram descartados, pois já na desmoldagem mostravam-se inconsistentes. As variações de densidades real e aparente que ocorreram na composição de 15% de borracha fogem à expectativa, pois se esperava que fossem menores em relação aos que ocorreram para 10% de borracha. Este fato poderia ser explicado pela desuniformidade de concentração do material no interior do CP. A porosidade externa do CP com 15% de borracha foi evidentemente maior, fato este que pode ser justificado pela maior retenção de água,.

Os dados obtidos nos ensaios de absorção de água estão demonstrados na tabela 19:

Tabela 19: Ensaio de absorção da agua nos CP's
(Volume Aparente = 196,25 cm^3)

BORRACHA NO CORPO DE PROVA (%)	DENSIDADE REAL	DENSIDADE APARENTE (a seco)	PESAGEM DO CORPO DE PROVAS (gramas)		RETENÇAO D'ÁGUA (%)
0	2,87	2,22	seco	437	10,06
			molhado	481	
5	2,22	1,63	seco	376	16,44
			molhado	422,28	
10	2,50	1,88	seco	320	12,30
			molhado	372,61	
15	2,82	1,84	seco	362	18,84
			molhado	430,23	

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada na análise microestrutural das superfícies das amostras para verificação de adesão entre partículas e matriz.

O equipamento utilizado para a obtenção das imagens foi o microscópio eletrônico de varredura Hitachi MEV–TM 3000, por meio de elétrons secundários

com voltagem de aceleração de 15 kV (Figura 23). Os corpos de prova fabricados para esta análise foram colocados em um porta-amostra metálico.

Figura 23: Microscópio Eletrônico de Varredura Hitachi MEV–TM 3000

Fonte: Elaborado pelo autor.

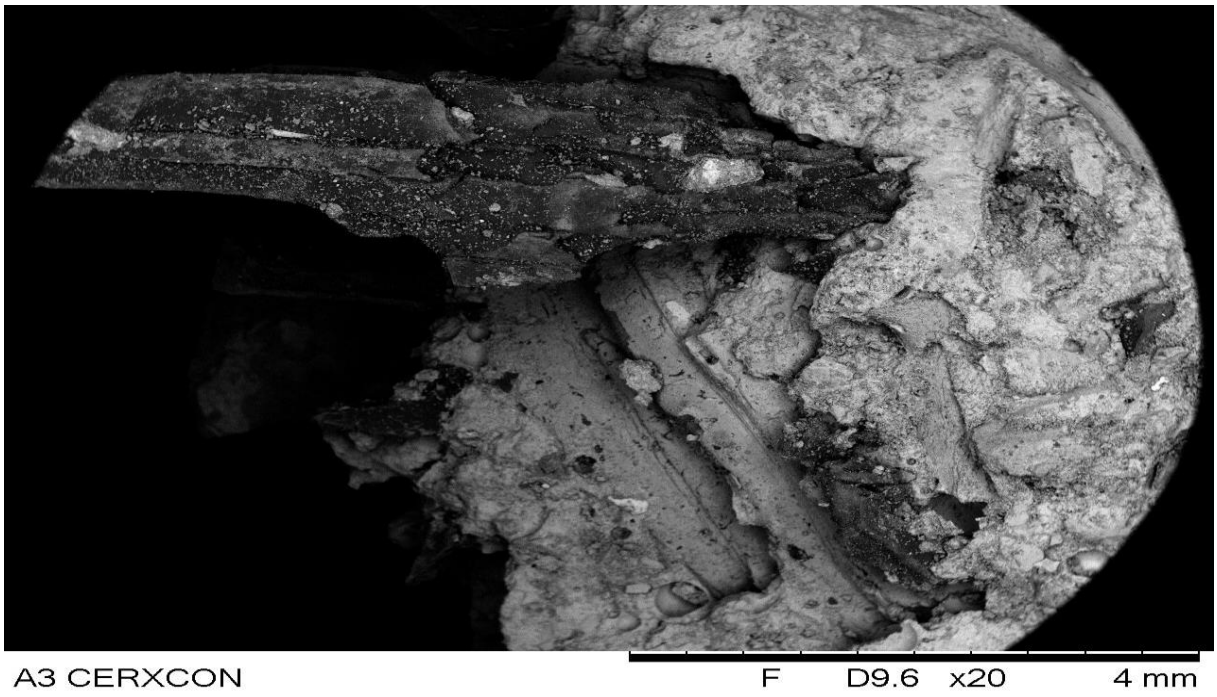
As figuras 24, 25 e 26 exibem imagens de partículas de borracha, sendo possível identificar uma geometria angular de tamanho irregular uma vez que a mesma é proveniente de processo de raspagem de pneus. O fragmento analisado foi extraído dos CP’s após ensaio de compressão.

Ao analisar as figuras de números 24, 25 e 26, embora a resistência à compressão não seja melhorada, nota-se maior absorção de água das misturas contendo borracha.

Quanto às figuras 24 e 25, mostram a borracha de pneu parcialmente encoberta pela matriz de cimento *Portland,* indicando bom potencial para utilização de borracha de pneus inservíveis.

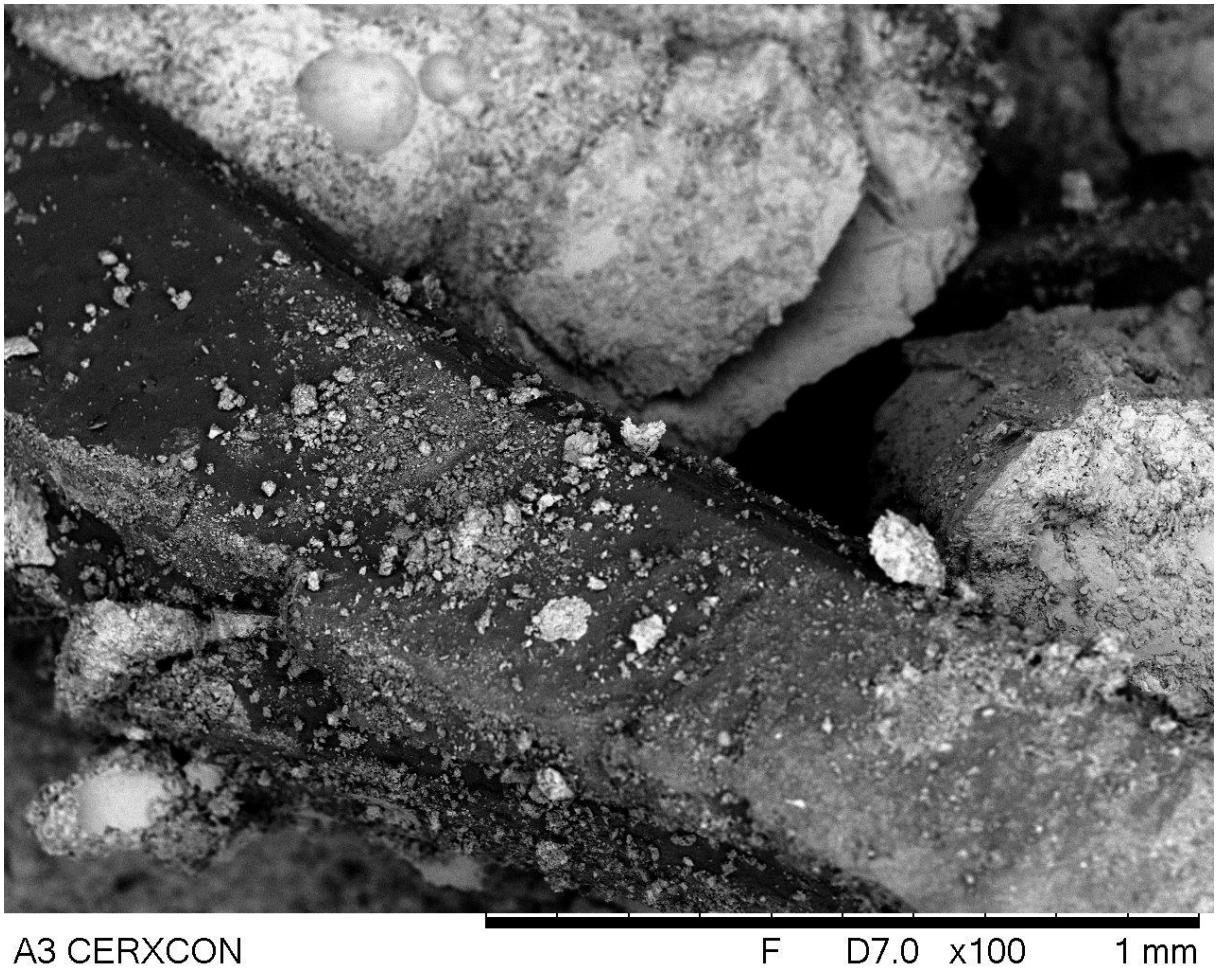
Em relação à figura 26, apresenta a borracha de pneu envolvida pelo polímero, esta matriz cimentícia demonstra aparência de melhor ligação entre a borracha de pneu e o concreto *Portland.*

Figura 24: Imagem das partículas de borracha de pneu com ampliação de 20X, granulado de borracha encoberta parcialmente pela matriz de cimento *Portland.*



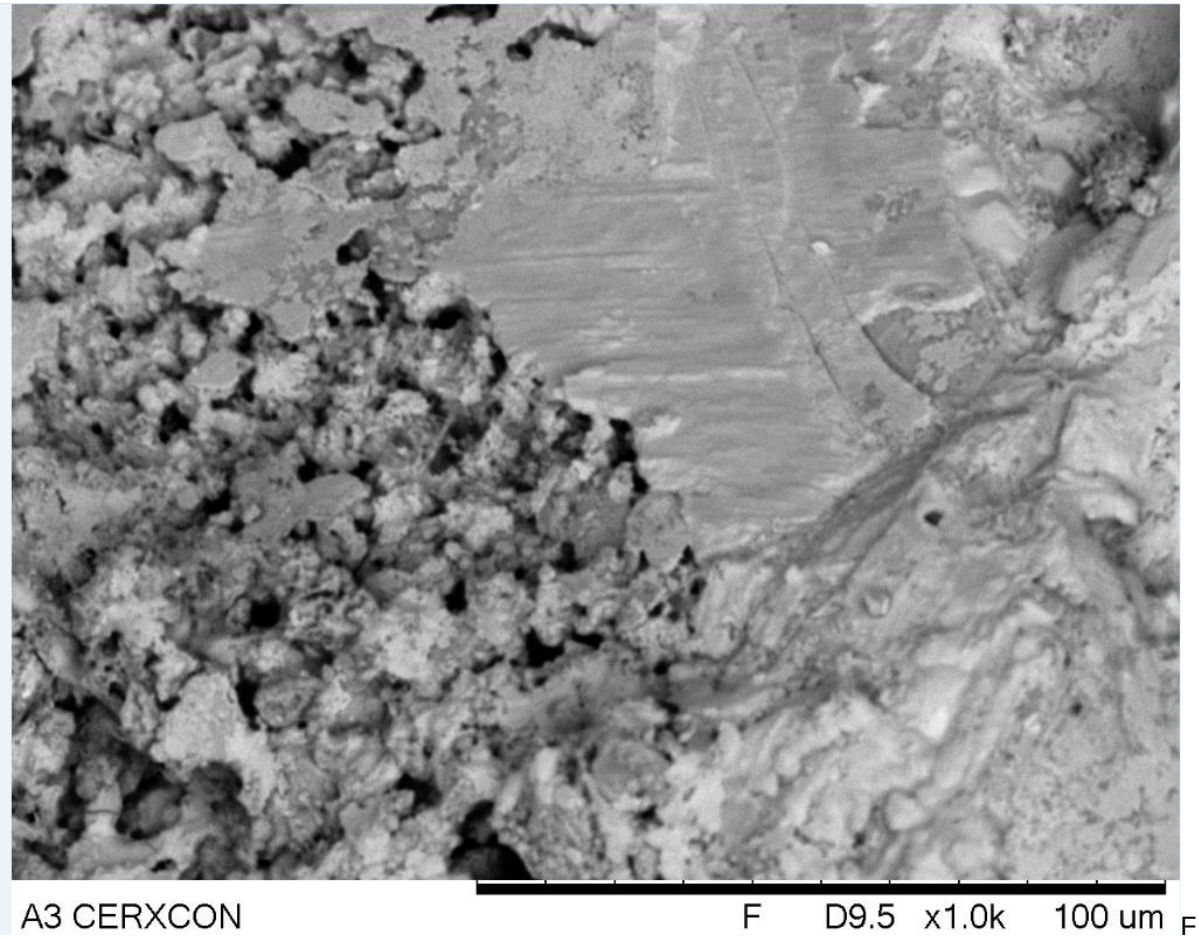
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25: Imagem das partículas de borracha de pneu com ampliação de 1000X.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26: Imagens das partículas de borracha de pneu com ampliação de 1000X.



Fonte: Elaborado pelo autor.

7 CONCLUSÃO

A realização desse trabalho permitiu observar que é possível utilizar resíduos de borracha agregando-os a outros compósitos cimentícios, para produção de *pavers.*

Ao adicionar o resíduo de borracha em substituição às partículas minerais, observou-se que na fase de ensaios de resistência à compressão, houve um aumento da viscosidade do concreto, aumentando a porosidade, absorção de água e ocorrendo redução da resistência à compressão nos CP's.

Quanto ao estudo microestrutural do compósito, observou-se um aumento de formação de poros ao adicionar partículas de borracha, o que se pode concluir que quanto maior o teor de borracha de pneus incorporado nos compósitos cimentícios, maior a redução das propriedades como densidade aparente e real, como também, menor a redução das propriedades como absorção de água e permeabilidade.

Dentre os traços em que se adicionou borracha granulada, os que apresentaram melhores resultados, nos ensaios de resistência à compressão, foram os de 10% e 15% de adição de resíduos de pneus, ainda que tenha apresentado menores resistências comparando com o concreto do corpo de prova de referência, acredita-se que possa ser utilizado para construção de calçadas.

Apesar de o teor ideal de borracha para algumas propriedades esteja situada em valores de cerca de 5%, o máximo de resíduos para aproveitamento do resíduo de borracha de pneu na fabricação de *pavers,* sem prejudicar de forma considerável as propriedades mecânicas, fica em torno de 10% de partículas de borracha em substituição parcial do volume de areia.

Para tanto, todo esse processo utilizado na área da construção civil, contribui para redução de impactos ambientais, assim como os problemas relacionados à saúde.

8 SUGESTÕES DE FUTURAS PESQUISAS:

- VERIFICAR POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DESTE COMPÓSITO EM EMBOÇO DE PAREDES.

- ESTUDO COMPARATIVO, ENTRE ESTE COMPÓSITO E CONCRETO NORMAL, QUANTO A DESGATES POR ABRASÃO.

- DESENVOLVER TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE ‘FARELOS DE PNEUS”;

- FABRICAR PAVERS COM OUTROS PERCENTUAIS E GRANULOMETRIAS DE RESÍDUOS DE PNEUS NA COMPOSIÇÃO DO CONCRETO PARA CONSTRUÇÃO DE CALÇADAS;

- ANALISAR A INTERFACE DOS PAVERS COM ADIÇÃO DE PNEUS (ANÁLISE MORFOLÓGICA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Programa de Soluções para Cidades. **Revista Ruas.** Disponível em: <file:///E:/MEMAT%202212/INTERNET-pesquisa/AF_04_PORTLAND_revista_ruas.pdf>. Acesso em: 02 de março de 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738**. Moldagem e Cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro. 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**. Agregados para concretos - especificação. Rio de Janeiro. 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9778.** Absorção de Água por Índice de Vazios. Rio de Janeiro. 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9781.** Peças de concreto para pavimentação (Especificações e metodologia de ensaio). Rio de Janeiro. 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**. Resíduos sólidos-Classificação. Rio de Janeiro. 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118.** Projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**. Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro. 2005.

ALLEN, H. **The house of Goodyear**: my yeara of industry-cronodogy of rubber. Cleveland Goodyer Ter e Rubber Compary. 1949. 687p.

ALY, O. **Pneus inservíveis**: alternativas para redução expressiva desse passivo ambiental. São Paulo: ABES. 2006.

AMBIENTE BRASIL. **Ambientes Resíduos**: Reciclagem de Pneus. Disponível em <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_pneus.html?query=padilla> Acesso em 07 de jun. 2016.
ANIP. **Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos**. Disponível em < www.anip.com.br>. Acesso em 08/01/2015.

BARROS, R. T. V. *et al*. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte - MG, 2003.
Disponível em: http://rdigital.univille.rctsc.br/index.php/rsa/article/viewfile/91/146. Acesso em 20 de dezembro de 2014.

BERTOLLO, S. A. M. *et al.* **Pavimentação asfáltica**: uma alternativa para areutilização de pneus usados. Revista de Limpeza Pública. São Paulo, n.54, p. 23-30, jan. 2000. Disponível em: <http://www.lixo.com.br/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=150>. Acesso em: 20 de Jan. 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 258 de 29 de abril de 2005**. Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. Disponível em: < http:// www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>. Acesso em: 16 de Jan. de 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 301, de 21 de março de 2003**. Altera dispositivos da Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre Pneumáticos. Disponível em <www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_301.pdf>. Acesso em 18 de Jan. de 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 008, de 19 de setembro de 1991**. Dispõe sobre a vedação da entrada no País de materiais residuais destinados à disposição final e incineração no Brasil. Disponível em < www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=122>. Acesso em 20 de Jan. de 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 416**, de 01 de outubro de 2009. Que disciplina a obrigação de destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis pelas empresas fabricantes e importadoras de pneus. Disponível em < www.mma.gov.br/port/**conama**/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acesso em 20 de Março de 2015.

BRASIL. Lei n. 12305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial.** Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 26 de Ago. de 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Pneus**. Um Problema Ambiental e de Saúde Pública. Disponível em <http://www.mma.gov.br/sqa/prorisc/index.cfm>. Acesso: 22 de Jan. de 2015.

CALLISTER Jr, W. D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 705p.

CEMPRE. **Pneus**: O Mercado para reciclagem. Disponível em <http://www.cempre.org.br/fichastécnicas/pneu> Acesso em 04 de Dez. 2014.

CIMINO, M. A. ZANTA, V. M. **Gerenciamento de pneumáticos inservíveis** (GPI): análise crítica de ações institucionais e tecnologias para minimização. Artigo Técnico – Engenharia Sanitária Ambiental. Vol. 10. n.4. out/dez/2005, p.299-306. Disponível em: <http://www.artigocientifico.com.br/uploads/artc_1142630549_95.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2016.

DANIEL, I. M.; ISHAI, O. **Engineering mechanics of composite materials. New York**: Oxford University Press, 1994.

ENCICLOPÉDIA Time LIFE^{TM}. **Estrutura da Matéria**. 2ª Ed., Rio de Janeiro: Abril Livros Ltda, 1996.

ESIM, T. COSGUN, N. **Study conducted to reduce construction waste generation in Turkey**. Builing and Environmente, Vol. 42, p. 1667-1674, 2007.

FONSECA, G. C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil**: uma abordagem epistêmica. Dissertação Mestrado em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. MG. 2010. 105p.

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneus**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 106p.

GEMERT, D.; *et.al*. 2005. **Cement concrete and concrete-polymer composites**: Two merging worlds. A report from 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004". Cement and Concrete Composites, v. 27, p. 926-933.

GOODYEAR DO BRASIL. **Layout de produção de pneus fábrica São Paulo**. São Paulo: Goodyear do Brasil. 2004.

GUNTHER, W.M.R. **Minimização de resíduos e educação ambiental**. In: Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, 7. Curitiba, 2000. Anais. Curitiba, 2000.

IPT. Instituto De Pesquisas Tecnológicas. **Manual de gerenciamento integrado**. Lixo Municipal. São Paulo, 2000.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. 102p. Tese. Livre Docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

LOJUDICE, M. **Companhias Investem Para Reciclar Pneus**. Valor Econômico. Jun. 2002.

LUND. H. F. The McGraw. **Hill Recycling Handbook. New York**: McGraw.Hill, 1993.

KAMIMURA, E. **Potencial dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil.** 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis.

KGATHI, D.L. E BOLAANE, B. **Instruments for sustainable solid waste management waste**: management and research. 2002. Disponível em <http://www.deecc.ufc.br/download/gestao_de_residuos_solidos_pgtga/consideracoes_s obre_residuos_solidos.pdf> acesso em 1 agosto. 2014.

KNEPPER, G. W. **Akron City at the Summit. Akron**: Continental Heritage Press, 1981. P. 197, 200-201.

KOVAC, F. J. **Tire Technology**. 4. Ed. Akron: The Goodyear Tire & Rubber Company. 1973. 159 p.

KHATIB, Z. K., BAYOMY, F. M. **Rubberized Portland Cement Concrete.** Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 11, N. 3., pp. 206-213. 1999.

LAGARINHOS, C. A. F. **Reciclagem de pneus**: Análise do Impacto da Legislação Ambiental através da logística reversa. São Paulo, 2011. Disponível em www.teses.usp.br/teses/disponiveis/.../Tese_Carlos_A_P_Lagarinhos.pdf. Acesso em 05 de Jan. de 2015.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO J. A. S. **Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil**. Polímeros. São Carlos, v. 18, n. 2, abr./jun. 2008.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concrete**: Structure, Properties and Materials. 2nd Edition. New Jersey, EUA: Prentice Hall, 1994.

MICHELIN. 2010. **Annual and Sustainable Development Report**. Clemont-Ferrand, Michelin, mar.2011.116 p.

MORAIS, N. S. **Desenvolvimento Sustentável**: Reciclagem de pneus. Cuiabá, 2009. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAqZMAF/reciclagem-pneus>. Acesso em: 10 de Mai. 2012.

MOTTA, F. G. A. **Cadeira de destinação de pneus inservíveis**: o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico ambiente & sociedade. V. XI, N. 1, P. 167 – 184. 2008.

PANZERA T. H.; SABARIZ A. L. R.; STRECKER K. *et al.* 2010. **Propriedades mecânicas de materiais compósitos à base de cimento portland e resina epóxi**. Cerâmica, v.56, p. 77-82.

PANZERA, T. H.; SABARIZ, A. L. R.; STRECKER K; BORGES, P. H. R.; WASCONCELOS, D. C. L.; VASCONCELOS, W. L. **Propriedades mecânicas de materiais compósitos à base de cimento Portland e resina epoxi**. Cerâmica. São Paulo. Impresso. v. 56, p. 77-82. 2010.

PEREIRA, L. C.; TOCCHETTO, M. R. L. **Resíduos**: É preciso inverter a pirâmide – reduzir a geração". Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3…/residuos.htm>. Acesso em 28 set. 2014.

RAMOS, L. S, N.. **A logística Reversa de Pneus Inservíveis**: O problema da Localização dos Pontos de Coleta. Dissertação de Mestrado. 2005, 99 p.. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis. Disponível em <

https://re**pos**itorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/101638/225292.pdf?>. Acesso em 10 de Fev. 2015.

RECICLANIP. **Construtora geral a homepage**. Disponível em <htt://www.reciclanip.com.br>. Acesso em 08 de jan. de 2015.

RESCHNER, K.; 2008. **Scrap Tire Recycling**: A Summary of Prevalent Disposal and Recycling Methods. Retrieved from <www.entire-engineering>. Acesso em 10 de Jan. de 2015.

RODRIGUES, M. R. P; FERREIRA, O.P. Caracterização de compósitos produzidos com borracha de pneus inservíveis e resina poliuretana. **Revista Iberoamericana de Polímeros**. São Paulo. v. 11 n. 5. p. 274-283. 2010.

SASSE, J. A. Deposição de Lixo na Alemanha: alternativas para um programa brasileiro de administração do lixo. Piracicaba. São Paulo. 2002. **Revista Impulso.** Vol.13, n.30, p. 1-159.

SILVA, L. B. A; DA SILVA, J. M; DIAS, F. M. **Adição de borracha de pneu em concreto**. In: 51° Congresso Brasileiro de Cerâmica. 3 a 6 de junho de 2007, Salvador, Bahia.

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

SANDRONI, M. PACHECO, E. B.A V. **O Destino dos Pneus Inservíveis**. 2005. Disponível em: < http://www.niead.ufrj.br/artigoelen.htm>. Acesso em: 12 mar. 2016.

TEIXEIRA, A. C. **Lixo ou Rejeitos Reaproveitáveis?** São Paulo, 2005. Disponível em:<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.p.../lixo_rejetiso.htm>. Acesso em: 28 set. 2014.

TRIGO, A. P. M; AKASAKI, J. L; MELGES, J. L. P; CAMACHO, J. S. **Avaliação do comportamento estrutural de protótipos de lajes pré-moldadas com concreto com resíduo de borracha de pneu**. Ambiente Construído. Porto Alegre. v. 8, n. 4. p. 37-50, 2008.

TURGUT, P; YESILATA, B. **Physico-mechanical and thermal performances of newly develop rubber-added bricks**. Energy and Buildings. Turkey. v. 40, n. 1, p. 679-688, 2008.

TOPÇU, I. B. **The properties of rubberized concretes**. Cement and Concrete Research, Vol. 25, N. 2 – pag. 304-310. 1995.

TOUTANJI, H. A. **The Use of Rubber Tire Particles in Concrete to Replace Mineral Aggregates.** Cement and Concrete Composites. Vol 18. N. 2. pag. 135-139, 1996.

YESILATA, B.; BULUT, H; TURGUT, P. **Experimental study on thermal behavior of a building structure using rubberized exterior-walls**. Energy and Buildings. v. 43. n. 1. p. 393-399. 2011.

ZHOU,Y. **Polymer-Ceramic Composites for Conformal Multilayer Antenna and RF Systems**. Ph. D. dissertation. The Ohio State University, Columbus, Ohio.USA. 2009.

YUNPING XI*, et al*. Utilization of solid wastes (waste glass and rubber particles as aggregates in concrete**. In: International Workshop on Sustainable Development And Concrete Technology.** pp.45-54, 2004.