

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE

TRABALHO DE CONCLUSÃO FINAL DE CURSO DO MESTRADO
PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE



DURABILIDADE DOS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS ADICIONADOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS

JULIANA CARRASCO ALCAZAS

CAMPO GRANDE

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**DURABILIDADE DOS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS
ADICIONADOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS**

JULIANA CARRASCO ALCAZAS

CAMPO GRANDE

2018

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

DURABILIDADE DOS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS
ADICIONADOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS

JULIANA CARRASCO ALCAZAS

Projeto do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Sustentabilidade.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Silva Milani

CAMPO GRANDE
AGOSTO/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

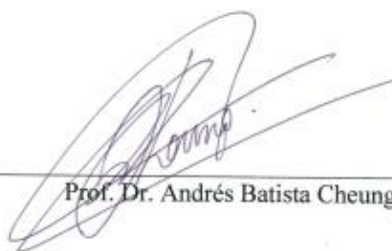
Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **JULIANA CARRASCO ALCAZAS**, aprovada pela Comissão Julgadora em 31 de agosto de 2018, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Prof. Dra. Ana Paula Silva Milani – Orientadora
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Odilar Costa Rondon – Membro Titular
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Andrés Batista Cheung – Membro Titular
FAENG/UFMS

RESUMO

Diversas opções de destinação final dos pneus foram estruturadas segundo o Relatório Pneumáticos 2016 Resolução Conama nº 416/09 (IBAMA 2016), sendo elas: coprocessamento, laminação, granulação, regeneração da borracha e a pirólise. Além dessas, também vem sendo realizados estudos de inserção dos resíduos de pneus em compósitos cimentícios na construção civil, no entanto, questões como o comportamento destes inservíveis ao longo do tempo, nos materiais e sistemas construtivos, ainda necessitam de diretrizes e de especificações para melhorar e garantir o bom desempenho do produto final. O objetivo desse estudo é avaliar a correlação entre a incorporação do resíduo borracha de pneus nos compósitos cimentícios e a durabilidade do produto final. Para isso foi realizado o levantamento bibliométrico, a fim de obter um banco de dados para a realização de uma análise que correlacione a influência das variáveis do resíduo borracha de pneus como tamanho e porcentagem de adição nas propriedades físico-mecânicas dos materiais de construção. As correlações mostraram que a partir do comportamento físico -mecânico de um concreto referência, pode ser encontrado o impacto da inserção da borracha de pneus nos compósitos cimentícios, sendo uma ferramenta de previsibilidade da durabilidade do concreto frente as variáveis resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, resistência à tração por compressão, densidade, absorção de água, porosidade e difusão de íons cloretos.

Palavras-chaves: resíduo borracha de pneus, material de construção, propriedades físico-mecânicas.

ABSTRACT

Several options for the final destination of the tires were structured according to the 2016 Pneumatic Report Conama Resolution nº 416/09 (IBAMA 2016), being: coprocessing, lamination, granulation, rubber regeneration and pyrolysis. In addition, studies have been carried out on the insertion of tire waste into cementitious composites in civil construction, however, issues such as the behavior of these wastes over time in materials and construction systems still require guidelines and specifications to improve and ensure the good performance of the final product. The objective of this study is to evaluate the correlation between waste tires rubber incorporation in cementitious composites and the durability of the final product. To do this the bibliometric survey was carried out to obtain a database, to perform the analysis that correlates the influence of waste tires rubber variables such as size and percentage of addition on the physical-mechanical properties of building materials. The correlations showed that from the physical-mechanical behavior of the concrete reference, can be found the impact of the tire rubber on the cement composite , being a durability predictability tool of the variables of the compressive strength, modulus of elasticity, flexural tensile strength, splitting tensile strength, density, water absorption, porosity and diffusion of chloride ions.

Keywords: waste tires rubber, construction material, physical-mechanical properties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Revisão Bibliométrica	19
3.1.1	Escolha das palavras de busca	19
3.1.2	Medida de aderência do tema	27
3.1.3	Análise de tendências	28
3.2	Seleção de dados dos artigos	28
3.2.1	Padronização de unidades	29
3.2.2	Extração de dados dos gráficos	29
3.2.3	Classes de dados	30
3.2.4	Variáveis de entrada e saída	32
3.3	Formulação do banco de dados e análise estatística	33
4	RESULTADOS	34
4.1	Análise Bibliométrica	34
4.1.1	Medidas de aderência 4, 3 e 2	35
4.1.2	Medida de Aderência 1	37
4.2	Análise das variáveis	44
4.2.1	Análise por classe de tamanho da borracha	46
4.2.2	Análise da classe de relação a/c.	52
4.2.3	Análises estatísticas	55

5	CONCLUSÃO	60
6	TRABALHOS FUTUROS	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE A - BANCO DE DADOS.....	69

1 INTRODUÇÃO

O descarte de resíduos de pneus tornou-se uma preocupação ambiental e social devido aos efeitos negativos a saúde e ao meio ambiente provocados pela disposição inadequada deste resíduo.

Os incêndios em depósitos de pneus geram poluentes do ar e um material oleoso contaminante do solo, águas superficiais e subterrâneas (NAYEF et al., 2010). Em 2012 ocorreu um incêndio em depósito com cerca de cinco milhões de pneus perto de Al Jahrah, no Kuwait, figura 1, que pode ser detectado no dia 17 de abril, pelo Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (MODIS) do satélite Terra da NASA, figura 2.

Figura 1 - Incêndio de pneus, no Kuwait.



Fonte: Fotografia Mohammed Alsultan, imagem enviada para a Revista National Geographic, 2012.

Figura 2 - O incêndio no Kuwait também foi identificado pelo satélite.



Fonte: Jeff Schmaltz, LANCE / EOSDIS MODIS, National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2012.

O acúmulo de pneus descartados no ambiente é, portanto, um problema sério e de grande dimensão, só no Brasil foram produzidos 71,9 milhões de unidades de pneus no ano de 2015, equivalente a 1.008.142,7 toneladas de resíduos, destes apenas 16,9 % dos pneus são exportados (ANIP, 2015). Essa quantidade é tão grande que se considerarmos que no ano de 2011, a produção de lixo domiciliar em Campo Grande –MS foi 236.226,09 toneladas (PMCG, 2011), seriam necessários por volta de 4 anos para equiparar a quantidade em peso de pneus produzidas somente em 2015.

Para impulsionar a resolução desse problema, tem-se intensificado a implementação de políticas públicas. Assim, no Brasil, foram criadas leis a fim de fiscalizar a logística dos pneus a serem descartados. Entre essas legislações a que mais se destaca é a Resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009, que considera a necessidade de disciplinar o gerenciamento dos pneus inservíveis, considerando que os pneus dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que podem resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública.

De acordo com a Resolução nº 416 de 2009, a importação de pneumáticos inservíveis é proibida no Brasil, e é necessário seguir as determinações de coleta e destinação adequada no estado em que o pneu tenha danos irreparáveis em sua estrutura, se tornando inservível.

Ainda nessa resolução, no Art. 3º é descrito que para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível.

Dentre as diversas formas de destinação final dos pneus, no Brasil, o IBAMA (2016) publicou no Relatório Pneumáticos Resolução Conama nº 416/09 as tecnologias de destinação praticadas declaradas pelas empresas brasileiras, sendo elas: coprocessamento, laminação, granulação, regeneração da borracha e a pirólise. Nesse mesmo relatório é apresentado que o cumprimento de destinação nacional pelos fabricantes foi de 101,17% e dos importadores de pneus 84,72%, mostrando resultados positivos em relação a destinação final dos pneus.

Dessas tecnologias de destinação, o coprocessamento corresponde a 59,16% (IBAMA, 2016). Esse processo consiste na trituração dos pneus, transformando-os em pedaços maiores (*chips*), sendo vendidos como combustível de queima para fornos, sendo uma prática comum, mas que expulsa grandes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera. (MEDINA et al., 2016).

Assim, a utilização dos resíduos de borracha de pneus na forma “*in natura*” pode ser outra alternativa ou uma melhor solução para a eliminação destes resíduos, pois poupa os recursos naturais e produz um material mais eficiente (GUPTA et al., 2014).

Nos últimos anos, a comunidade da construção civil vem demonstrando grande preocupação em contribuir para o desenvolvimento sustentável global, sendo constante os estudos referentes ao reaproveitamento de materiais tidos como inservíveis, objetivando as possíveis vantagens no uso destes resíduos e de forma geral colaborando com a preservação do meio ambiente (MARTINS e AKASAKI, 2005).

Dessa forma, foram desenvolvidos estudos para a inserção da borracha proveniente de pneus inservíveis na matriz cimentícia, ou seja, em argamassas, concreto, blocos e outros, criando um novo compósito cimentício que gerou a necessidade de diversas investigações a fim de identificar as características desse material.

Diversos pesquisadores ressaltam que podem haver problemas de redução da resistência à compressão em concretos com borracha conforme o aumento do teor do resíduo e isto pode ocorrer por duas razões: as fissuras iniciadas ao redor das partículas de borracha e à falta de aderência entre as partículas de borracha e a pasta de cimento, pois as partículas que são mais “macias” podem se comportar como vazios na matriz cimentícia (GÜNEYISI et al.

apud YAZDI et al., 2015). Esta ligação interfacial pode ser melhorada usando o tratamento de superfície de agregados de borracha (GUPTA et al., 2014).

Mas é importante ressaltar, que dependendo do local de aplicação do compósito cimentício com borracha, o bom desempenho em outras propriedades do material pode se tornar mais atrativo, desde que a resistência mínima seja atendida.

A melhora no desempenho térmico do concreto foi constatada por Shah et al. (2014) que identificou o aumento da resistência térmica com aumento do teor de borracha e por Yesilata et al., apud Shah et al., (2014) que constatou a ocorrência da diminuição da transmitância térmica.

Nos estudos de Holmes et al. (2014) e de Mohammed et al. (2012) foi identificada a propriedade de melhor absorção sonora do concreto com a utilização de borracha de pneus.

Além disso, a adição de fibras de borracha na mistura de concreto aumenta a resistência à tração na flexão (GUPTA et al., 2014). Outra propriedade é a redução no módulo de elasticidade no concreto com incorporação de borracha que indica maior flexibilidade desse material (GUPTA et al., 2014) e (FARHAD, 2016).

Desta forma, a utilização dos resíduos de pneus na construção civil possibilita a fabricação de compósitos cimentícios com características vantajosas no que diz respeito ao melhoramento do desempenho físico, mecânico, térmico e acústico desses materiais de construção.

Outra propriedade dos materiais de construção civil de grande importância é a durabilidade, visto que o compósito cimentício pode ser considerado duradouro se nas condições ambientais que se encontra proporcionar vida útil de serviço estimado, sem custo excessivo para manutenção e reparação devido à degradação ou deterioração (MATHER, 2004).

Segundo Hooton e Bickley (2014) há muitas maneiras de reduzir a pegada de carbono do concreto, no entanto, a forma mais eficaz para melhorar a sustentabilidade do concreto nas estruturas é fazendo-as durar mais tempo, através de um projeto de durabilidade e pela minimização dos defeitos de construção.

Para avaliar a durabilidade dos materiais cimentícios são muitos os ensaios de projeção de durabilidade, incluindo: o congelamento e descongelamento, molhagem e secagem, aquecimento e refrigeração, carga e descarga, cavitação, erosão, ataque com ácido, ataque de sulfato, outros tipos de ataques químicos (marítimos, carbonatação), corrosão do aço, ataques microbiológicos, resistência à abrasão. Além dos aspectos do ambiente externo,

quando for relevante, também devem ser considerados os fatores do ambiente interno da estrutura (MATHER, 2004).

No estudo de Yung et al. (2013) das propriedades de corrosão anti-sulfato do concreto com borracha de pneus inservíveis em pó, que tinham sido passado através de uma peneira de # 30 a uma adição de 5%, foi possível concluir que os níveis de corrosão foram os melhores comparadas as demais.

Gupta et al. (2014), verificou que a profundidade do desgaste a abrasão é afetada pela inclusão de cinzas de borracha e fibras de borracha. A profundidade de desgaste observado nas condições mais adversas é inferior aos limites permissíveis, o que demonstra que o concreto contendo fibras de borracha tem melhores resultados de resistência à abrasão.

É importante ressaltar que Torgal et al. (2012) realizaram um levantamento dos trabalhos científicos que estudam a durabilidade do concreto com borracha, e concluíram que a durabilidade ainda é uma questão subjetiva e necessita de maiores investigações. Questões de como os resíduos influenciam diferentes parâmetros da durabilidade, e o mais importante, como o tratamento de resíduos pode melhorar a durabilidade do concreto ainda devem ser abordadas.

Diante da falta de normativas e da heterogeneidade dos diversos tipos de aplicação dos pneus inservíveis em argamassas e concretos, há a necessidade de estudos posteriores para parametrizar o tamanho, a forma, a massa específica, a quantidade a ser incorporada e o método de pré-tratamento das partículas de resíduo de borracha; de modo a especificar as características necessárias da borracha de pneu inservível para resultar em um compósito cimentício durável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a correlação entre a incorporação da borracha nos compósitos cimentícios e as propriedades relacionadas a durabilidade deste material de construção por levantamento bibliométrico.

2.2 Objetivos específicos

- Construir um banco de dados dos artigos obtidos por levantamento bibliométrico.
- Parametrizar as métricas tamanho e quantidade de borracha de pneus, relação água/cimentícios e suas influências frente as propriedades físico-mecânicas dos compósitos cimentícios.
- Indicar o desempenho dos compósitos cimentícios adicionados de partículas de borracha de pneus inservíveis considerando os critérios de durabilidade dos compósitos cimentícios.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de conhecimento dessa pesquisa é Engenharias, a abordagem epistemológica é multidisciplinar e a natureza é o método misto, segundo as classificações de Gil (2010).

Este estudo será dividido em duas etapas: a primeira é uma revisão bibliométrica, sendo classificada quanto a finalidade como pesquisa básica e a segunda parte é a análise do banco de dados, sendo classificada como pesquisa experimental (MARCONI e LAKATOS, 2013).

Em relação aos objetivos dessa pesquisa científica, ela é identificada como exploratória e descritiva, uma vez que buscará explorar a produção científica sobre o tema durabilidade do compósito cimentício adicionados de borracha de pneus inservíveis e trabalhar estatisticamente com os dados levantados (GIL, 2010).

Segundo as classificações de Marconi e Lakatos (2013), o método de abordagem é hipotético-dedutivo, pois inicia pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos acerca da hipótese e testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese.

Em relação ao procedimento de levantamento de coleta de dados, a pesquisa é bibliométrica, utilizando dados secundários (MARCONI e LAKATOS, 2013), por meio do estudo sistemático em materiais como publicações acadêmicas do tipo artigo, já que esses são provenientes de trabalho de conclusão de curso, dissertações e teses. Além de ser uma pesquisa *grounded theory*, pois terá análises fundamentada em dados (GIL, 2010).

O instrumento de coleta de dados é a internet, (GIL, 2010) e (MARCONI e LAKATOS, 2013). Esta pesquisa utiliza a técnica mista de análise de dados, pois também

envolve análises de ordem qualitativa, utilizando-se de elementos quantitativos organizados CRESWELL (2007) e MARCONI E LAKATOS (2013).

Silva, et al. (2014) realizou uma pesquisa, em que faz uma análise estatística dos dados extraídos da literatura, entre os anos de 1977 e 2014, relacionada aos estudos de agregados reciclados de construção e demolição, a partir de uma revisão bibliográfica sistemática.

Nesse trabalho são examinados os fatores que afetam as propriedades físicas, químicas, mecânicas, de permeação e de composição de agregados reciclados provenientes da construção e resíduos de demolição, destinados à produção de concreto. Os resultados permitiram produzir meios práticos para medir a qualidade dos agregados reciclados, que podem ser utilizados para produção de concretos com desempenho previsível (SILVA et al., 2014).

Da mesma forma, esta pesquisa realizará uma revisão bibliométrica para coletar dados que permitirão correlacionar a incorporação da borracha nos compósitos cimentícios com parâmetros de durabilidade do produto final.

3.1 Revisão Bibliométrica

A revisão bibliométrica foi realizada por meio da pesquisa dos periódicos da CAPES.

A busca pelos artigos foi no período de 1999 até 2017, pois em 1999 foi criada a Resolução nº 258 do CONAMA, que dispõe da destinação dos resíduos de pneus inservíveis sendo que mais tarde foi substituída pela Resolução nº 416 de 2009.

3.1.1 Escolha das palavras de busca

Por meio da submissão de diversas palavras chaves na busca avançada do periódico CAPES, foram escolhidas as palavras que melhor abrangeram o tema e que retornaram quantidade satisfatória de artigos para iniciar uma seleção mais aprofundada.

Assim, optou-se por palavras-chaves que possuem relação direta com a durabilidade do concreto, as quais serão justificadas nos itens posteriores. As palavras pesquisadas foram: *carbonation resistance* (resistência à carbonatação), *ions chloride resistance* (resistência a

íons cloreto), *shrinkage* (retração), *sulfate resistance* (resistência a sulfatos), *porosity* (porosidade) e *cracking resistance* (resistência à fissuração).

Juntamente com essas palavras foi adicionado o termo *concrete rubber w/c* (concreto borracha a/c (água/cimento)), para restringir a busca apenas aos concretos com borracha e também a artigos que mostrem a relação a/c em seus textos. Nos itens seguintes será explicado como as palavras escolhidas se relacionam diretamente com a durabilidade.

3.1.1.1 Relação a/c (w/c)

As normas brasileiras consideram a relação a/c diretamente em função da classe de agressividade ambiental as quais os concretos serão submetidos. Dessa forma, a NBR 6118 (2014) classifica as classes ambientais e também as especifica com relação as taxas de a/c nos projetos de estruturas correntes, segundo as condições de exposição, como pode ser visualizado nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (2014)

Além disso, a NBR 6118 (2014) determina que ensaios comprobatórios, de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto, devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Porém, caso não seja possível a realização desses ensaios, pode-se adotar os requisitos mínimos apresentados na

tabela 2, pois existe uma forte correspondência entre a relação a/c e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade.

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m^3	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado. CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 12655 (2015)

Já em casos de concretos em condições especiais de exposição, a NBR 12655 (2015) especifica que devem ser atendidos os requisitos mínimos de durabilidade, tabela 3, tanto para a máxima relação a/c quanto para a mínima resistência característica.

Tabela 3 - Requisitos para concreto em condições especiais de exposição.

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal	Mínimo valor de f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água, por exemplo, em caixas d'água	0,50	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,45	40

Fonte: NBR 12655 (2015)

3.1.1.2 Resistência à carbonatação (*carbonation resistance*)

Baroghel- Bouny et al. (2014) cita dois fenômenos distintos que induzem a corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado:

- carbonatação do concreto: dada pelo avanço de uma frente de CO₂ da superfície em direção ao interior do concreto;

- penetração de íons cloreto: no caso das estruturas localizadas em ambiente marinhos (na zona de maré, sujeitas a respingos ou à nevoa salina) ou expostas a saís de degelo nos locais sujeitos à neve e ao gelo.

A importância em relação a profundidade de carbonatação ocorre devido ao alto grau prejudicial que ela pode provocar na estrutura provocando a despassivação do aço, e os fenômenos de corrosão podem ser relativamente rápidos nos concretos com porosidade excessiva ou espessura insuficiente de cobrimento (BAROGHEL-BOUNY et al., 2014).

A porosidade do concreto e a profundidade de carbonatação estão ligadas e variam no mesmo sentido, isto é confirmado no estudo de concreto de alto desempenho, cuja profundidade de carbonatação é praticamente nula (BAROGHEL-BOUNY et al., 2014).

O ambiente tem influência na carbonatação, pois ela não ocorre em um concreto totalmente seco ou completamente saturado de água, sendo máxima para umidades da ordem de 65%, valores característicos de climas temperados (BAROGHEL-BOUNY et al., 2014).

Já as variações do teor de CO₂ exercem influências sobre os concretos de resistência moderada (≤ 30 MPa). Já acima de 50 MPa, a carbonatação é praticamente desprezível, pois nesses casos tem-se uma porosidade cada vez mais baixa (BAROGHEL-BOUNY et al., 2014).

A despassivação por carbonatação é provocada pela ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. Assim, para reduzir esse dano é necessário a realização de medidas preventivas que consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto, como o cobrimento adequado das armaduras, o controle da fissuração que minimizam este efeito e também um concreto de baixa porosidade (NBR 6118, 2014).

3.1.1.3 Resistência a íons cloreto (*ions chloride resistance*)

O elevado teor de íons-cloreto também pode causar a despassivação, que consiste na ruptura local da camada de passivação (NBR 6118, 2014).

O concreto de cobrimento é essencial na proteção das armaduras, mas apenas controlar sua espessura não garantirá sua durabilidade, as suas características de transporte (permeabilidade e difusividade) são essenciais, pois asseguram a entrada de agentes

agressivos. O ambiente (temperatura, umidade) também exerce papel fundamental sobre a resistência dessa barreira (BAROGHEL-BOUNY et al., 2014).

Assim, as medidas que contribuem para minimizar esse efeito, da mesma forma que na carbonatação são: o cobrimento das armaduras, o controle da fissuração e a baixa porosidade do concreto. Além dessas, o uso de cimento composto com adição de escória ou material pozolânico é também recomendável nestes casos (NBR 6118, 2014).

Para a proteção das estruturas a NBR 12655 (2015) estipulou que os ensaios de determinação do teor de íons cloretos solúveis em água devem ser realizados de acordo com ASTM C1218 (2017), e que o valor máximo de concentração de íons cloretos no concreto endurecido não devem ultrapassar aos apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Teor máximo de íons cloreto

Classe de agressividade (5.2.2)	Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl ⁻) no concreto % sobre a massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

Fonte: NBR 12655 (2015)

Caso o concreto com armadura seja exposto a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sal, água salgada, água do mar ou respingos ou borrifação desses três agentes, os requisitos da tabela 3, para a relação água/cimento e a resistência característica à compressão do concreto, também devem ser satisfeitos. Além disso, não é permitido o uso de aditivos contendo cloretos em sua composição em estruturas de concreto armado ou protendido (NBR 12655, 2015)

3.1.1.4 Resistência aos sulfatos (*sulfate resistance*)

A expansão por sulfatos é provocada por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado (NBR 6118, 2014).

Assim, concretos expostos a esses meios contaminados devem ser preparados com cimentos resistentes a sulfatos de acordo com a NBR 16697 (2018), e devem atender as exigências da tabela 5, que se referem a relação a/c e a resistência característica à compressão (NBR 12655, 2015).

Tabela 5 - Requisitos para concreto exposto e soluções contendo sulfatos

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO ₄) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel (SO ₄) presente na água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal ^a	Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada ^b	0,10 a 0,20	150 a 1 500	0,50	35
Severa ^c	Acima de 0,20	Acima de 1 500	0,45	40
^a Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo. ^b A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO ₄ seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos. ^c Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.				

Fonte: NBR 12655 (2015)

3.1.1.5 Retração e resistência à fissuração (*shrinkage and cracking resistance*)

A durabilidade da obra pode ser ameaçada pelas deformações lentas dos concretos, sejam de origem físico-químicas, como a retração por hidratação e de dessecação, ou mecânicas, como a fluência sob tensão (PONS E TORRENTI, 2014).

A retração endógena deve ser levada em conta a partir do momento em que o a pasta de cimento endurece e sua intensidade depende principalmente da relação a/c. Isso porque, a baixa relação a/c (concretos de alto-desempenho de a/c de ordem 0,3) faz com que no processo de hidratação seja utilizada a água livre dos poros do concreto e aumente a auto-dessecação. (PONS E TORRENTI, 2014).

Isso dificilmente ocorrerá em concretos convencionais de a/c > 0,5 e de resistência mais baixas (25 MPa – 30 MPa), pois a disponibilidade de água livre é maior e a auto-dessecação dificilmente ocorrerá, porque a necessidade da água para a hidratação será imediatamente satisfeita, não criando depressão capilar. (PONS E TORRENTI, 2014).

Pons e Torrenti (2014) descrevem alguns fatores que causam a retração por dessecação, tipo de retração que está relacionada a saída de água ao longo do tempo do concreto e depende do ambiente:

- as quantidades de água e de cimento;
- a presença de adições de minerais, entre outras a sílica ativa, que produzem uma rede porosa mais fina;
- o volume da pasta;
- o módulo de elasticidade dos agregados;
- a natureza e a finura do cimento;

As deformações de retração podem causar a fissuração e, assim, criar condições para propagação de fatores que favorecem a corrosão das armaduras. (PONS E TORRENTI, 2014).

A abertura das fissuras é um parâmetro importante, as vezes por razões estéticas, mas, principalmente, por uma questão de durabilidade da obra. (ACKNER et al., 2014). O controle da abertura de fissuras deve ser realizado visando o bom desempenho relacionado à proteção das armaduras quanto à corrosão e à aceitabilidade sensorial dos usuários (NBR 6118, 2014).

Além do mais, sabe-se hoje, exceto em caso de imersão permanente, que o cobrimento de um concreto está sempre fissurado mesmo que frequentemente seja invisível (quando a abertura é menor que 20 μm , poder de resolução do olho humano). (ACKNER et al., 2014)

No entanto, uma fissura de pequena abertura não tem consequência sobre a durabilidade da obra. Isso porque abaixo de certa abertura (da ordem de 0,3 mm), as forças de tensão superficial são superiores à força gravitacional e impedem o movimento da água na fase líquida (ACKNER et al., 2014).

Ainda que a água que possa penetrar (seja por absorção capilar da água que escorre a superfície, seja por condensação da umidade do ar ambiente) e que vá dissolver alguns íons, só pode sair por evaporação. Consequentemente como normalmente não há saída de íons, também não ocorre saída da cal que garante a manutenção de pH elevado, colaborando para a proteção do aço contra a corrosão (ACKNER et al., 2014).

Segundo a NBR 6118 (2014), a presença de fissuras com aberturas que respeitem os limites da tabela 6, em estruturas bem projetadas, construídas e submetidas às cargas previstas na normalização, não provocam perda de durabilidade quanto aos estados-limites últimos.

Tabela 6 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente

^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (Figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: NBR 6118 (2014)

3.1.1.6 Porosidade (*porosity*)

Uma das recomendações da NBR 6118 (2014) para diminuição dos efeitos da carbonatação e dos íons cloretos é o baixo nível de porosidade, demonstrando a grande importância do controle desta propriedade.

A estrutura porosa interfere diretamente nas propriedades de transporte do concreto, sendo elas duas grandezas físicas que caracterizam a aptidão dos concretos de resistir à entrada de agentes agressivos: a permeabilidade (escoamento que ocorre sob gradiente de pressão) e a difusão (transporte em escala molecular sob gradiente de concentração) (OLLIVIER e TORRENTI, 2014).

Pensando em questão de grandeza a porosidade de um concreto convencional é por volta de 15% aos 28 dias, a de um concreto de alto desempenho é de 10% a 12% e a de um concreto de altíssimo desempenho pode variar de 7% a 9% (OLLIVIER e TORRENTI, 2014).

Assim, quando se pensa em durabilidade, essa está associada à porosidade aberta, mais especificamente à porosidade aberta interconectada, que permite a penetração dos agentes agressivos externos para o interior do concreto. (OLLIVIER e TORRENTI, 2014).

3.1.2 Medida de aderência do tema

Os artigos foram baixados de acordo a pesquisa das palavras chaves especificadas, nos periódicos CAPES, após esse processo foi realizada uma seleção utilizando uma medida de aderência do tema para separa-los. As medidas de aderência do tema adotadas foram:

- 1) Durabilidade do concreto com borracha de pneus inservíveis.
- 2) Outros compósitos cimentícios (pasta, argamassa, solo com cimento e outros)
- 3) Diferentes resíduos de pneus “in natura” (cinza de borracha de pneus e outros)
- 4) Revisão Bibliográfica

A busca com as palavras chaves gerou artigos de diversos temas e tipos. Assim de acordo com o objetivo dessa pesquisa, optou-se por classificar os artigos de revisão bibliográfica como os de conteúdo menos relevantes, portanto de aderência de tema quatro.

Como as diferentes derivações da borracha de pneu inservível também influenciam nas análises, foi escolhido não coletar os dados de artigos que continham borracha derivada da queima (cinza) e também resíduos de pneus de origem polimérica como a plumagem sem a borracha, decidindo classifica-los como aderência 3.

Já em relação a outros tipos de compósitos (pasta, argamassa, solo cimento e outros) receberam classificação de aderência 2, pois foram poucos artigos e de origem de compósitos variadas.

A escolha dessas divisões deu-se de acordo com uma breve análise dos perfis dos artigos, sendo que os que se encaixaram no item 1 de aderência são aqueles que possuem tema mais compatível com a pesquisa, aplicação da borracha de pneus em concretos, sendo destes os dados que serão extraídos e trabalhados estatisticamente.

3.1.3 Análise de tendências

Nos artigos com aderência 1 foram analisadas as tendências de pesquisa, seguindo o seguinte método de análise de cada artigo:

- 1) Na página inicial, no resumo e no objetivo do artigo foram observados:
 - País do autor principal;
 - Nome da revista ou jornal;
 - Tipo ou aplicação do concreto (concreto sem aplicação específica ou aplicado a pilar, bloco entre outros)
- 2) Já na metodologia foram extraídos os seguintes dados:
 - Adições ao cimento;
 - Adição ou substituição da borracha;
 - Tratamentos do resíduo;
 - Tipologia dos ensaios realizados. Os ensaios realizados foram divididos em: ensaios Mecânicos (resistência à compressão, resistência à flexão, entre outros), ensaios Físico-químicos (absorção, densidade, análise microestrutural, resistência aos sulfatos, íons cloretos, carbonatação entre outros), ensaios térmicos (condutividade térmica, fluxo de calor, resistividade térmica) e ensaios acústicos (absorção sonora entre outros).

3.2 Seleção de dados dos artigos

Para o levantamento das variáveis, foi realizada uma nova seleção dos artigos de aderência 1.

Assim, foram estabelecidos alguns critérios para a eliminação de artigos: como os ensaios mecânicos específicos relacionadas a aplicação do concreto; não realização do ensaio de resistência à compressão, utilização de dois traços em um único produto, no caso peças de concreto de pavimentação (LING, 2012); não especificação do tamanho da borracha e a mistura de outros agregados reciclados dentro do concreto e que tenha provocado alterações nos resultados.

Os artigos que realizaram o tratamento da borracha também não foram considerados, já que conforme o estudo bibliométrico foram apenas 14,75% dos de aderência 1.

Diferentes artigos de mesmos autores que indicavam a continuação de uma pesquisa foram agrupados, e os dados foram unificados, para que não houvessem repetições de dados de mesmos ensaios.

Após essa classificação, foram analisados 45 artigos totalizando um conjunto de 35 pesquisas.

3.2.1 Padronização de unidades

Para a coleta das variáveis de saída foi definida uma padronização de unidades e de exatidão, de acordo com as normas técnicas vigentes no Brasil, tabela 7, e realizando a transformação das unidades, porém em alguns casos a exatidão ficou limitada aos dados apresentados pelos artigos.

Tabela 7 - Padronização das unidades e exigências de exatidão.

Ensaio	Norma	Unidade	Algarismos Significativos	Casas decimais
Resistência à compressão	NBR 5739:2007	MPa	3	-
Módulo de elasticidade estático	NBR 8522:2017	GPa	3	-
Resistência à tração por compressão	NBR 7222:2011	MPa	3	-
Resistência à tração na flexão	NBR 12142:2010	MPa	3	-
Densidade	NBR 8953:2015	kg/m ³	4	-
Absorção de água	NBR 9778:2005	%	-	2
Índice de vazios	NBR 9778:2005	%	-	2
Difusão de íons cloretos	-	m ² /s	-	-
Retração	NM 131:1997	%	-	3

Fonte: Autor (2018)

3.2.2 Extração de dados dos gráficos

A extração de dados dos gráficos dos artigos foi realizada utilizando o *software* livre *WebPlotDigitalizer*, no qual é feito o carregamento das imagens dos gráficos, a calibração de escala dos eixos x e y, e finalmente a adição e ajustes dos pontos nos quais desejavam-se que o programa retornasse os dados.

3.2.3 Classes de dados

Para a análise de dados, os artigos foram divididos em classes permitindo a reunião de traços com características similares em cada agrupamento, as classes foram divididas em intervalos, sendo elas: tamanho da borracha de pneu e relação a/c.

Os autores Medina et al. (2014) relatam que atualmente é comum a trituração dos pneus em grãos de borracha reciclada de alta qualidade (*High Quality Recycled Rubber-HQRR*), extraído o aço por ímãs e fibras de tecido por aspiradores industriais, usando cada composto separadamente. Os derivados de borracha de pneu reciclado são classificados em: tiras (*shred*) (50-300 mm), pedaços (*chips*) (10-50 mm), amostras de tamanhos granulados (7-15; 2-7 mm; 0,5-2 mm) e pó (*powders*) (0,5-0 mm; 0-500 μ m), de acordo com o Associação Europeia de Reciclagem de Pneus. Nos países europeus, já existe uma norma que classifica os materiais gerados pela reciclagem dos pneus, intitulada: *European Normative: Final Draft FprCEN/TS 1424 Materials produced from end of life tyres—specification of categories based on their dimension and impurities and methods for determining their dimension and impurities*. (MEDINA et al., 2014).

Já nos Estados Unidos da América, Kardos e Durham (2015) citam como referência a norma ASTM D6270 (2017) - *Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering*, para classificar as dimensões dos resíduos de pneus para o uso na construção civil, sendo as classificações: pneus picados (*chopped tire*) como sendo o pneu cortado em grandes dimensões não especificadas; tiras ásperas (*rough shred*) (762 x 50 x 100 – 50 x 50 x 50 mm); e os agregados derivados de pneus (*tire derived aggregate -TDA*): tiras (*shreds*) (50-305 mm), pedaços (*chips*) (12-50 mm), borracha granulada (*granulated rubber*) (0,425-12 mm) e o pó de borracha (*powdered rubber*) (< 0,425).

Siddique e Naik apud Kardos e Durham (2015) também apresentam outra classificação de tamanhos das borrachas obtidas de pneus, a borracha fragmentada (*crumb rubber*) que possui o tamanho de 0,6-4,75 mm e também o pó de resíduos de pneus (*powdered recycled waste tire*) de tamanho de 0,5 mm e $\geq 0,075$ mm.

No Brasil, ainda não existe uma norma específica que classifique os tamanhos dos resíduos de pneus de forma detalhada, que seja semelhante a normas europeias e norte americanas. Isso porque, a borracha derivada de pneus inservíveis ainda não é amplamente comercializada como um agregado leve para a construção civil, sendo mais utilizada hoje como fonte energética para fornos industriais.

No entanto, a NBR 9935 (2011) especifica a terminologia dos agregados para concreto, como pode ser observado na tabela 8 os limites especificados para cada terminologia.

Tabela 8 - Terminologia.

Nome	Limite mínimo	Limite máximo
Fino	-	<150 μ m
Agregado miúdo	> 150 μ m	< 4,75 mm
Agregado graúdo	$\geq$ 4,75	<75 mm

Fonte: Autor (2018)

Como a ASTM D6270 (2017) - *Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering* define: pedaços (*chips*) (12-50 mm), borracha granulada (*granulated rubber*) (0,425-12 mm), e pó de borracha (*powdered rubber*) (< 0,425), realizou-se uma adaptação, tabela 9, segundo as peneiras das séries normal e intermediária utilizadas nos ensaios de granulometria segundo a NBR 7211(2009).

Tabela 9 - Terminologias adotadas.

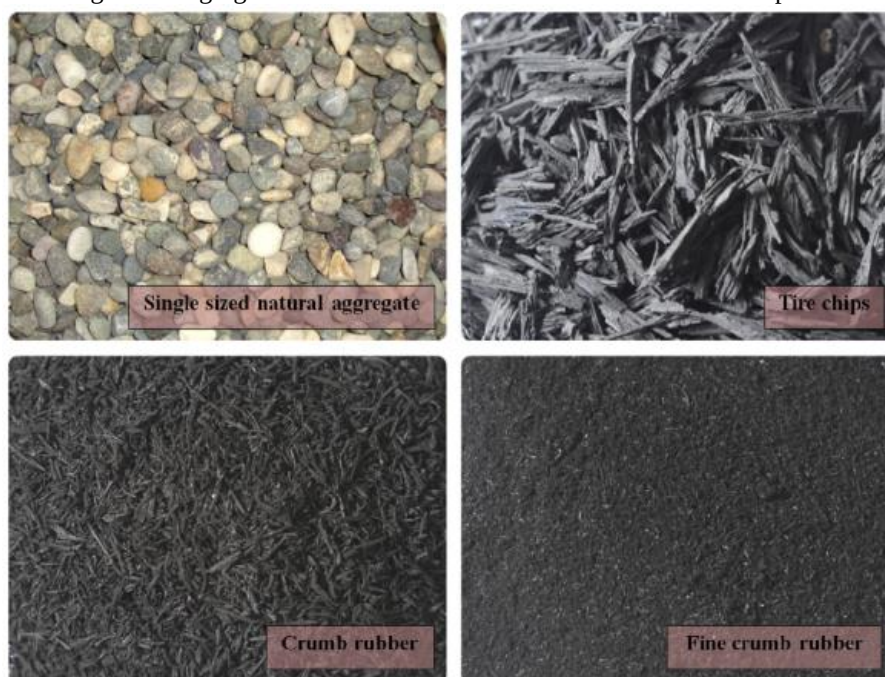
Nome	Limite mínimo (mm)	Limite máximo (mm)	Classe
Finos (<i>powdered</i>)		< 0,6	1
Fragmentada (<i>crumb rubber</i>)	$\geq$ 0,6	< 4,75	2
Granulada (<i>granulated</i>)	$\geq$ 4,75	< 12,5	3
Pedaços (<i>chips</i>)	$\geq$ 12,5	< 50	4

Fonte: Autor (2018)

Como pode ser observado na tabela 9, os intervalos de tamanho receberam um número de classe, assim os dados de dimensão da borracha em (mm) foram classificados segundo essa convenção estabelecida, para que as relações de variáveis de entrada e saída fossem consideradas dentro de cada classe de tamanho.

No caso da borracha utilizada na forma de fibras foi considerado o tamanho do seu comprimento, para classificação no intervalo. Na figura 3, temos amostras dos agregados naturais e da borracha de pneus utilizados no trabalho de Gesoğlu et al. (2014).

Figura 3 - Agregado natural e diferentes tamanhos de borracha de pneus.



Fonte: Gesoğlu et al., 2014.

A segunda classe escolhida foi a relação a/c, utilizando uma adaptação da tabela 2 conforme a NBR 6118 (2014), na qual foi retirada a classe de agressividade 1 e apresentada na tabela 10. No caso dos traços com as adições ou substituições cimentícias, nos artigos que forneceram as informações foi utilizada a relação a/ cimentícios.

Tabela 10 - Classes estabelecidas para agrupar os artigos.

Grupos	Relação a/c
A2	$0,55 < A2 \leq 0,60$
A3	$0,45 < A3 \leq 0,55$
A4	$A4 \leq 0,45$

Fonte: Autor (2018)

3.2.4 Variáveis de entrada e saída

Após o agrupamento dos artigos, foram selecionadas as variáveis de entrada porcentagem de borracha; e de saída: resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, resistência à tração por compressão, densidade, absorção de água, porosidade e difusão de íons cloretos.

Como nos dados das variáveis de saída possuem diferentes traços de concreto para compara-los foi utilizado um critério de amortização nomeado aspecto de relação (A.R.), esse fator consiste da divisão dos resultados das variáveis de saída (V.S.) de porcentagem X% de

borracha pela variável referência (0%), em cada artigo, equação (1). Dessa forma é possível comparar por meio de um número adimensional a interferência (impacto) que a inserção da borracha causa no concreto, podendo ser acima ou abaixo do valor 1 de referência.

$$A.R = \frac{V.S_x \%}{V.S_0 \%} \quad (1)$$

O aspecto de relação (A.R.) foi uma transformação utilizada na tentativa de isolar o máximo possível as diversas variáveis de entrada presentes na composição concreto como, por exemplo o consumo de cimento, agregados naturais, a adição cimentícia no qual foram utilizados dados somente em que o traço referência já continham as adições. Por isso, não foram estudadas as influências específicas das adições cimentícias.

3.3 Formulação do banco de dados e análise estatística

Para análise dos resultados foi utilizado o programa Excel, os dados foram plotados em um gráfico de dispersão xy. Após realizou-se a linha de tendência, que gerou o coeficiente de determinação (R^2), de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais ajustada é a equação com os dados utilizados.

Foram calculados os erros entre o os A.R. reais e os A.R. estimados pela equação de linha de tendência, com os valores dos erros foram realizadas as análises de *outliers*, normalidade e os gráficos de frequência.

Para a análise dos valores amostrais discrepantes dos gráficos também chamados de *outliers* foi utilizado o Critério de Chauvenet aplicado aos erros entre o A.R. (Aspecto de Relação) real e o estimado. O teste de Chauvenet foi realizado segundo as instruções se especificações de Holman (2012), e os pontos discrepantes foram retirados.

Após a retirada dos pontos discrepantes os gráficos foram reformulados apontando curvas em sua maioria com um melhor coeficiente de determinação (R^2).

Para a realização deste teste de normalidade foi utilizado o programa *Rstudio*, *software* gratuito que usa a linguagem R de programação, o teste escolhido foi Shapiro-Wilk em um valor amostral de 3 a 5.000 amostras.

Este teste de aderência (Shapiro-Wilk) tem como critério de decisão a análise de hipóteses testadas: a hipótese de nulidade é de que a variável aleatória adere à distribuição

Normal, contra a hipótese alternativa de que a variável aleatória não adere à distribuição Normal (TORMAN et al., 2012).

Segundo Torman et al. (2012) a maneira mais fácil de tomar a decisão é observar o valor-p dos testes e comparar com o nível de significância adotado. Se o valor-p do teste for menor que o nível de significância escolhido, rejeita-se a hipótese de normalidade. O nível de significância adotado nas análises das amostras foi de 95 %, portanto para serem considerados normais o *p-value* tem que ser maior que 0,05.

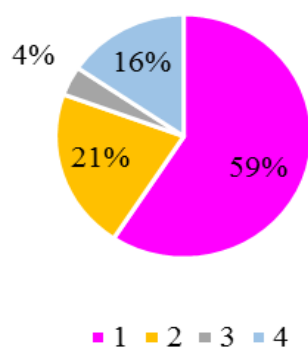
4 RESULTADOS

4.1 Análise Bibliométrica

As buscas pelas seis palavras chaves geraram no portal da CAPES 1980 artigos e após a seleção, na qual, foram retirados artigos repetidos, restaram 103 artigos que continham relação com o tema desse estudo.

Nos 103 artigos realizou-se uma análise de conteúdo, separando-os em relação as medidas de aderência do tema, sendo as quantidades de artigos observadas no gráfico 1. Destaca-se que foram enquadrados na aderência principal - tema Durabilidade do concreto com borracha de pneus inservíveis - a quantidade de 61 artigos.

Gráfico 1 - Porcentagem de artigos de acordo com cada aderência estabelecida.



Fonte: Autor (2017)

Medidas de aderência:

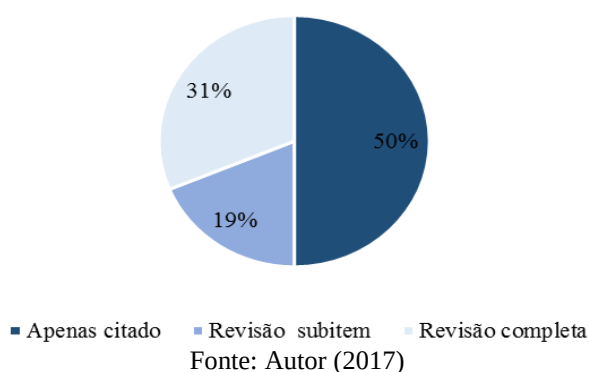
- 1) Durabilidade do concreto com borracha de pneus inservíveis.
- 2) Outros compósitos cimentícios (pasta, argamassa, solo cimento, e outros)
- 3) Diferentes deriva
- 4) dos dos resíduos pneus (cinza de borracha de pneus e outros)
- 5) Revisão Bibliográfica

4.1.1 Medidas de aderência 4, 3 e 2

Em relação a Medida de aderência 4 - Revisão Bibliográfica - foram encontrados 16 artigos classificados de revisão bibliográfica. Dentre os artigos considerados de revisão, existem aqueles que apenas citam os compósitos cimentícios com borracha na introdução ou em alguma outra parte do artigo, aqueles que abordam o tema realizando uma revisão em um subitem e aqueles que falam exclusivamente do tema com revisão completa (Gráfico 2).

Os artigos que realizaram uma revisão bibliográfica completa da borracha de pneu são Myhre e Mackillop (2002), Torgal et al. (2012), Karakurt (2015), Rashad (2016) e Thomas e Gupta (2016). Myhre e Mackillop (2002) fazem uma abordagem geral da borracha reciclada e finalizam com as aplicações desse resíduo. Já em Torgal et al. (2012) são discutidas as propriedades e a durabilidade do concreto com borracha. O trabalho de Karakurt (2015) revisa os estudos que possuem análise microestrutural dos compósitos com borracha. Em Rashad (2016) há uma revisão abrangente sobre reciclagem de borracha como substituição dos agregados finos em materiais cimentícios. E por último, Thomas e Gupta (2016) revisam as aplicações da borracha de resíduos de pneus em concretos.

Gráfico 2 - Nível de aderência 4, revisão bibliográfica.



Em relação a Medida de aderência 3 - Diferentes derivados dos resíduos pneus - foram encontrados quatro artigos com diferentes derivados da borracha: cinza, fibra polimérica e borracha derivada de campos de esporte.

No estudo de Hyeok-Jung et al. (2017) foi avaliada a performance mecânica e a durabilidade de concretos contendo cinza derivadas da queima de pneus.

Serdar et al. (2015) realizou a aplicação de fibras poliméricas (exceto a borracha) derivada de pneus inservíveis no concreto e verificou a resistência à fissuração devido à

deformação por retração. Mais tarde, Onuaguluchi e Banthia (2017) também estudaram as propriedades físicas e químicas de fibra de poliméricas, analisaram a microestrutura, as fissuras plásticas, microestrutura e a durabilidade a longo prazo de misturas de argamassa quando incorporado esse resíduo.

Ghizdăvet et al. (2016) estudou o potencial de uso do estireno butadieno borracha (SBR) como substituição do agregado. Essa borracha é derivada de campos de esporte e não precisa ser moída, sua forma de grão e o tamanho é estatisticamente ideal.

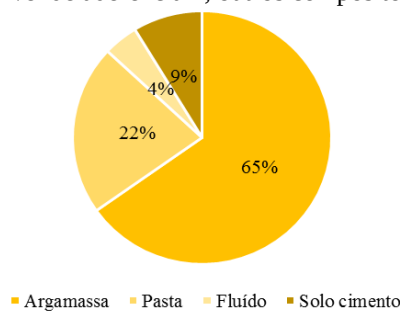
Já para a análise da Medida de aderência 2 - Outros compósitos cimentícios - foram obtidos 22 artigos, como o estudo de Angelin et al. (2015) que realizaram ensaio tanto com argamassa como pasta de cimento, e então foram considerados 23 compósitos cimentícios.

Assim, realizou-se uma subdivisão de tendências desses trabalhos (gráfico 3), sendo elas: argamassa, pasta de cimento, solo-cimento (WANG e SONG, 2015), (YADAV e TIWARI, 2017) e fluído de preenchimento (PIERCE e BLACKWELL, 2003).

Dos 65% dos trabalhos que produziram argamassas, algumas tinham características e usos mais específicos como argamassa de alta resistência (ANGELIN et al., 2017); e argamassa de mistura seca para a produção de blocos (ORTEGA et al., 2016; DEMIR et al., 2015).

No estudo de lajes de Abdulla e Khatab (2014) foi analisado o efeito de uma camada intermediária de argamassa de borracha sobre o comportamento de múltiplas camadas de argamassa armada. Já nos trabalhos com pasta de cimento de Leung e Grasley (2012), Nacif et al. (2013); Angelin et al. (2015), Xiaowei et al. (2017); entre os ensaios realizados está sempre presente a análise microestrutural sobre a interação da borracha com a matriz cimentícia.

Gráfico 3- Nível de aderência 2, outros compósitos cimentícios.



Portanto, os artigos de aderência 4 - Revisão Bibliográfica - discutem os artigos de origem de outros autores, sendo inviável obter dados desses trabalhos para análises.

As pesquisas de aderência 3 - Diferentes derivados dos resíduos de pneus - trabalham com materiais como cinza de borracha de pneus e fibras sintéticas, ou seja, não possuem borracha de pneus processadas por cortes mecânicos. Já os classificados como aderência 2 - Outros compósitos cimentícios - trabalham com produtos cimentícios de propriedades diversificadas, gerando dados heterogênicos e dificultando sua análise.

4.1.2 Medida de Aderência 1

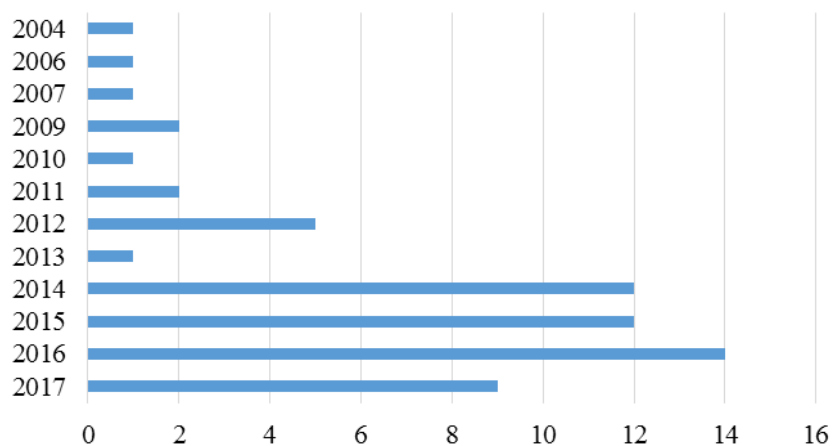
Os artigos classificados aderência 1- Durabilidade do concreto com borracha de pneus inservíveis- são os mais numerosos e trabalham com a borracha de pneus pura ou em conjunto com outros resíduos, todos estudam as propriedades do concreto, propiciando a coleta de dados provenientes de uma mesma categoria, assim somente esses artigos foram selecionados para a análise de dados.

- **Ano de publicação**

Como pode ser observado no gráfico 4, a quantidade de artigos que tratam do conteúdo concreto com borracha de pneus foi crescendo ao longo dos anos, os dados de 2017 foram coletados entre junho e agosto, portanto podem haver publicações que ocorreram após esse período.

Provavelmente o aumento dessas pesquisas tem relação com o aumento do número de veículos no mundo e consequentemente com a geração de pneus inservíveis, ocasionando a busca por destinações mais adequadas e menos impactantes como é caso da aplicação na construção civil.

Gráfico 4- Número de artigos publicados por ano.

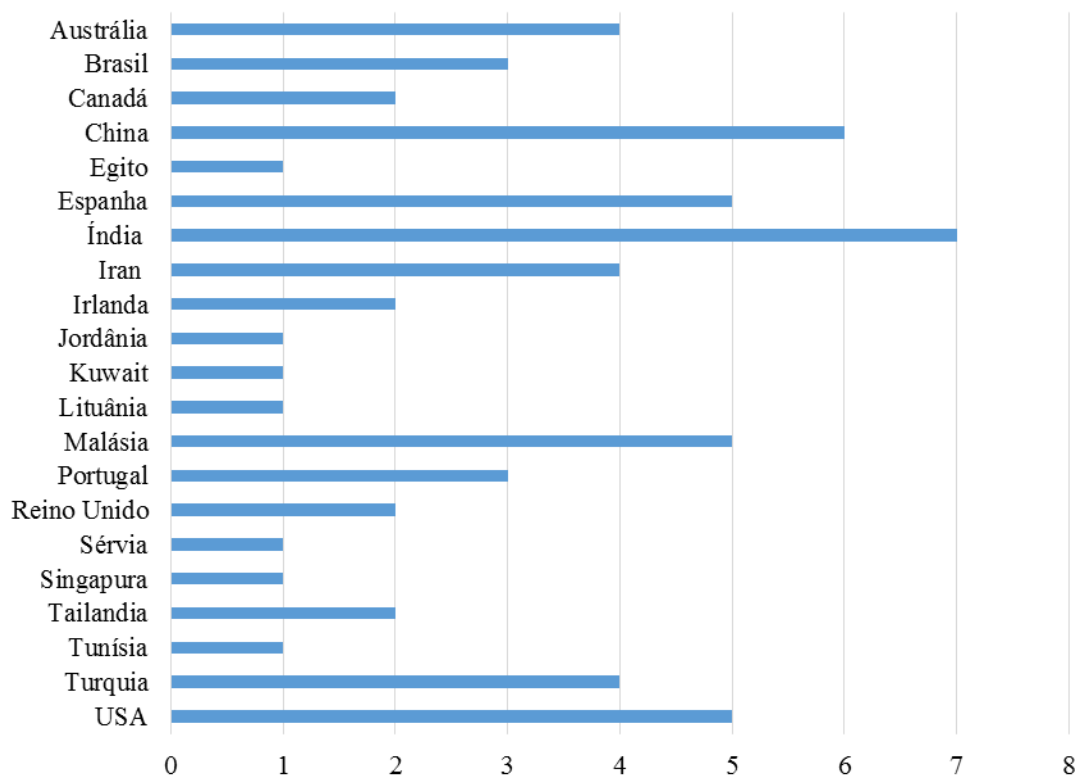


Fonte: Autor (2017)

- **País do autor principal**

Também foi realizado o levantamento dos países aos quais pertenciam os autores principais, totalizando 21 países (gráfico 5), sendo que essa variedade de nacionalidades demonstra que os pneus inservíveis são um problema global, e que sua aplicação na área de engenharia civil tem sido objeto de pesquisas nacionais e internacionais.

Gráfico 5- Quantidade de artigos por país.



Fonte: Autor (2017)

No gráfico 5, os países em desenvolvimento China e Índia são os que apresentaram maiores números de artigos.

Na China, a redução de energia, das emissões de gás carbônico e a escassez do arenito em Taiwan são problemas urgentes que influenciam a melhor utilização dos recursos e uma construção de qualidade e eficiente, a fim de manter o desenvolvimento econômico. Assim, as técnicas de reciclagem podem ser usadas para converter "resíduos" em "novo recurso" oferecendo recursos ambientais (HUNAG et al., 2015).

Os indianos retratam o custo e a escassez da areia de rio, os efeitos ambientais de sua extração, além da restrição dos governos estaduais da Índia à extração da areia de rio para a indústria do concreto, assim é necessária a realização de pesquisas para investigar o uso de materiais alternativos mais baratos, facilmente disponíveis e sustentáveis. A acumulação de pneus descartados é um grande problema, uma vez que a degradação desses pneus é muito difícil. (GUPTA et al., 2016)

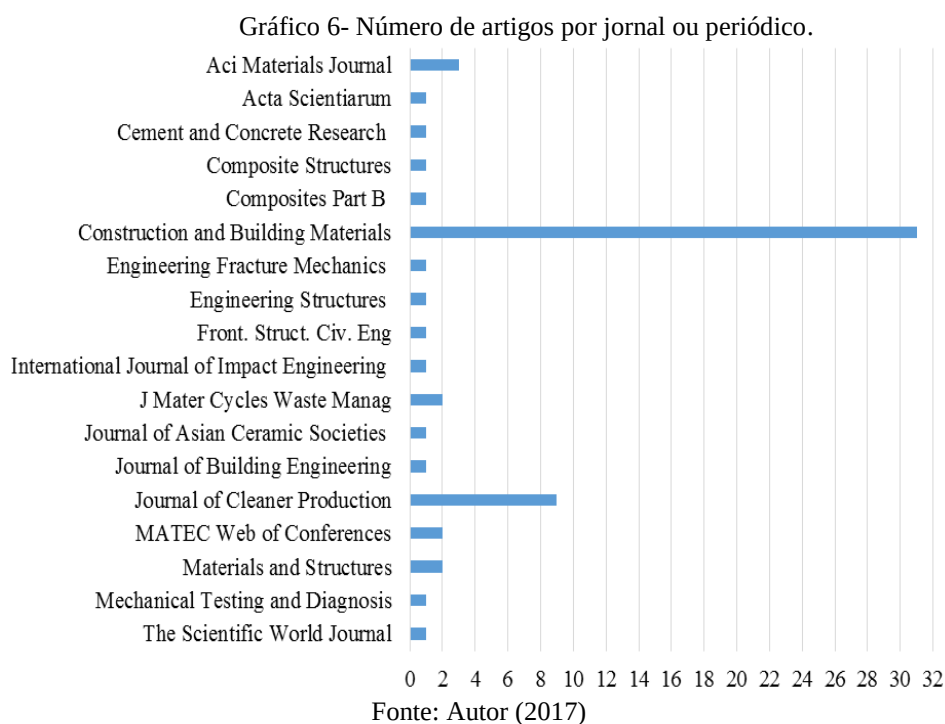
A eliminação de resíduos de pneus é um problema de saúde e ambiental, além da reciclagem ser bastante difícil devido a sua estrutura complexa. (GUPTA et al., 2014). A prática de eliminação por queima cria graves riscos de incêndio e poluição ambiental. A disposição em aterros não é inviável, devido ao esgotamento de locais disponíveis e também as infecções sanitárias por insetos e roedores (THOMAS et al., 2016).

Como pode ser observado ainda no gráfico 5, o Brasil tem apenas 3 publicações, por isso acredita-se que as publicações estão ocorrendo ainda em revistas e bancos de dados nacionais e regionais, já que as políticas públicas em âmbito nacional ainda estão em desenvolvimento, no que diz respeito especificamente a aplicação do resíduo borracha de pneus inservíveis na construção civil.

No entanto, existem municípios que já tomaram a iniciativa da criação de leis que estimulam a aplicação da borracha de pneus, como é o caso da cidade de Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul, que aprovou a Lei nº 4.818, de 19 de março de 2010, que dispõe sobre a incorporação de borrachas de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos de pavimentos e concretos não estruturais rodoviários e urbanos construídos com recursos municipais no âmbito da cidade.

- **Nome da revista ou jornal**

Também foram identificados as revistas e jornais as quais pertenciam esses 61 artigos, com isso foram encontrados 18 tipos de meios de publicações diferentes (gráfico 6) com destaque para a Revista *Construction and Building Materials*, meio de publicação 31 artigos que corresponde a mais da metade do total de aderência 1.



- **Tipo ou aplicação do concreto**

Como pode ser observado na tabela 11, 77% dos autores trabalham mais com as propriedades do material concreto, e poucos trabalharam com componentes ou elementos construtivos, 23%.

Tabela 11 - Concretos, componentes e elementos classificados de acordo com a descrição dos autores.

	Tipo ou aplicação	Nº de artigos	%
Material	Concreto	33	54%
	Concreto auto-adensável	1	2%
	Concreto de alta-resistência	2	3%
	Concreto de reparação	1	2%
	Concreto leve	1	2%
	Concreto para pavimentação	1	2%
	Concreto permeável	2	3%
	Concreto seco	3	5%
	Concreto sob confinamento	3	5%
	Subtotal =	47	77%
Componentes e elementos	Lajes de concreto	2	3%
	Painel de Concreto	1	2%
	Pavimento de concreto	1	2%
	Pavimento de concreto compactado a rolo	2	3%
	Pavimento rígidos de concreto com borracha	1	2%
	Tubos de aço com concreto no interior	2	3%
	Tubos de concreto seco	1	2%
	Vigas (concreto convencional e auto adensável)	1	2%
	Bloco de concreto -Concreto seco	1	2%
	Blocos de Pavimentação de concreto	2	3%
	Subtotal =	14	23%
	Total	61	100%

Fonte: Autor (2017)

O fato de mais de 50% dos artigos terem sido publicados na Revista *Construction and Building Materials* (gráfico 6), e de que 77% dos autores trabalham mais com as propriedades do material concreto (tabela 11) indica que provavelmente o resíduo de borracha de pneus ainda está no estudo da concepção de um novo material, corroborando realmente a necessidade de aglutinar as pesquisas.

- Adição ao cimento

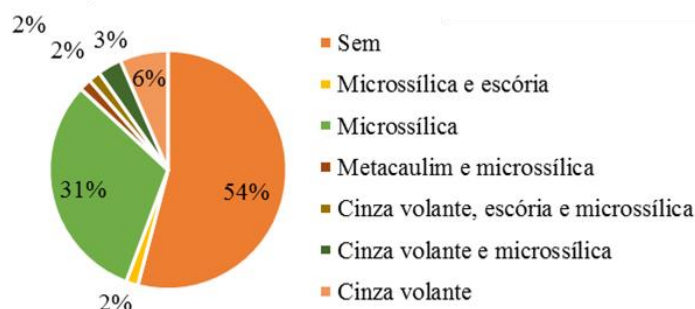
A identificação de que houve adição ao cimento foi computada quando o autor de cada pesquisa deixou explícito na metodologia o nome da adição ou quando inseriu uma tabela da composição química do cimento que fosse possível identificar a presença de adição, como por exemplo a microssilica. Portanto, quando os autores relataram somente o nome do cimento com siglas, sem análise de sua composição, este dado foi desconsiderado (não computado), já que há cimentos com origem de diferentes países e com normas nacionais.

Como pode ser observado gráfico 7, foram considerados 54% artigos sem adição e a maior parte das adições foi de microssílica, o que corresponde a 31%. A adição de microssílica na matriz cimentícia melhora as propriedades mecânicas dos concretos com borracha de pneus e diminuem a taxa de perda de resistência à compressão e à tração, e também do módulo de elasticidade, uma vez que a microssílica é constituída de partículas mais finas que funcionam como um enchimento e que proporcionam uma boa aderência entre a borracha e a matriz de cimento. (GÜNEYISI et al., 2004).

A cinza volante também refina a estrutura dos poros, o concreto auto - adensável com borracha de pneus e cinza volante também apresentou melhor resistência à permeabilidade ao íon cloreto, sortividade de água e absorção de água. (GESOĞLU E GÜNEYISI, 2011).

Além disso, provavelmente a utilização da microssílica, cinza volante e escória, que são resíduos industriais, também está relacionada a redução do consumo de energia e das emissões de carbono na produção dos cimentos.

Gráfico 7 - Porcentagem de artigos que realizaram adições ao cimento



Fonte: Autor (2017)

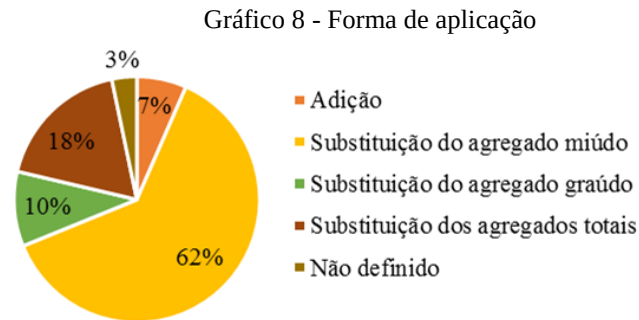
• Adição ou substituição da borracha

Ressalva-se que alguns autores descreveram de forma explícita o processo de fabricação da borracha, ou seja, o corte mecânico dos pneus e também a composição da borracha pura ou com resíduos de aço e fibras poliméricas de outra origem (sem ser a borracha). No entanto, muitos trabalhos deixaram implícito a origem, subentendendo-se que a origem foi mecânica, já que não cita o processo de queima. Portanto é necessário considerar esse fator, pois pode influenciar os dados fornecidos nos resultados desses trabalhos.

Analisou-se o perfil das pesquisas em relação a forma que os autores incorporaram a borracha ao concreto. O gráfico 8, mostra que 62% dos artigos incorporaram a borracha como substituição do agregado miúdo.

A resistência à carbonatação é significativamente afetada pela incorporação de borracha de pneus, especialmente quando o agregado graúdo é substituído. Quanto à

influência do tamanho dos agregados substituídos na mistura, verifica-se que os resultados dos testes de durabilidade pioram quando o tamanho aumenta. O teste de retração foi a única exceção dessa regra (BRAVO e BRITO, 2012).



Fonte: Autor (2017)

• Tratamentos do resíduo

Em relação em como os resíduos foram aplicados, 85,25% não recebeu nenhum pré-tratamento, tabela 12.

O tratamento mais utilizado foi com NaOH (hidróxido de sódio), tabela 12, a utilização de NaOH segundo Segre et al. (2002) remove o estearato de zinco, um aditivo presente nos resíduos de pneu que muitas vezes migram e difundem para a superfície, resultando em baixa adesão entre a borracha e outros materiais.

Em Mohammadi et al. (2016) os resultados revelaram que a resistência do concreto foi reduzida tanto em concretos com borracha de pneus com ou sem tratamento. Em comparação com a borracha não tratada, as amostras preparadas com borracha que receberam o tratamento de hidróxido de sódio apresentaram resistência à compressão e a flexão de 25 e 5% maiores, respectivamente.

Acredita-se, que mesmo tendo alguns estudos relacionados aos tratamentos da borracha de pneus, ainda são poucas as pesquisas nesse tema. Outra questão é que utilizar as partículas de pneus “in natura” é uma forma mais prática e barata de manipular esse resíduo.

Tabela 12 - Tratamentos realizados com a borracha, sendo o SBR látex– (*styrene-butadiene-rubber*) um tipo de aditivo que diminuí a porosidade, aumenta coesão e a fluidez.

Tratamento	Nº de artigos	%
Sem tratamento	52	85,25%
NaOH	4	6,56%
NaOH + epóxi	1	1,64%
NaOH + sílica	1	1,64%
Água + pó de calcário	1	1,64%
Látex SBR	1	1,64%
Argamassa	1	1,64%
Total	61	100,00%

Fonte: Autor (2017)

• Análise dos ensaios

Na metodologia, também foi identificada a tipologia dos ensaios realizados por cada artigo, sendo que todos os trabalhos (100%) realizaram pelo menos um tipo de ensaio mecânico e 66% também fizeram ensaios físico-químicos, a tabela 13 indica a porcentagem de artigos de acordo com cada tipo de ensaio, sendo que um artigo pode ter realizado mais de um tipo de ensaio.

Os resultados da tabela 13 também direcionam para o entendimento de que as pesquisas estão ainda em uma fase inicial de concepção do material, pois se é sabido que a borracha traz benefícios térmicos e acústicos, se já houve pleno conhecimento do compósito cimentício com borracha de pneus deveriam existir trabalhos com mais resultados térmico-acústicos.

Tabela 13–Tipologia dos ensaios realizados.

Ensaio	Artigos
Mecânicos	100%
Físico-químicos	66%
Térmicos	10%
Acústicos	8%

Fonte: Autor (2017)

4.2 Análise das variáveis

Analisou-se os artigos de forma individual, dificilmente um trabalho realizou completamente todos os ensaios que resultassem em todas as variáveis saída resistência à

compressão, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, resistência à tração por compressão, densidade, absorção de água, porosidade e difusão de íons cloretos.

Assim, existem diferentes quantidades de dados em relação a cada variável de saída, o que limitou a análise nas classes tamanho e relação a/c, dessa forma foram analisados apenas os conjuntos no qual continham no mínimo 30 dados, para que aplicação do teste de normalidade fosse eficaz segundo recomendação de Razali e Wah (2011).

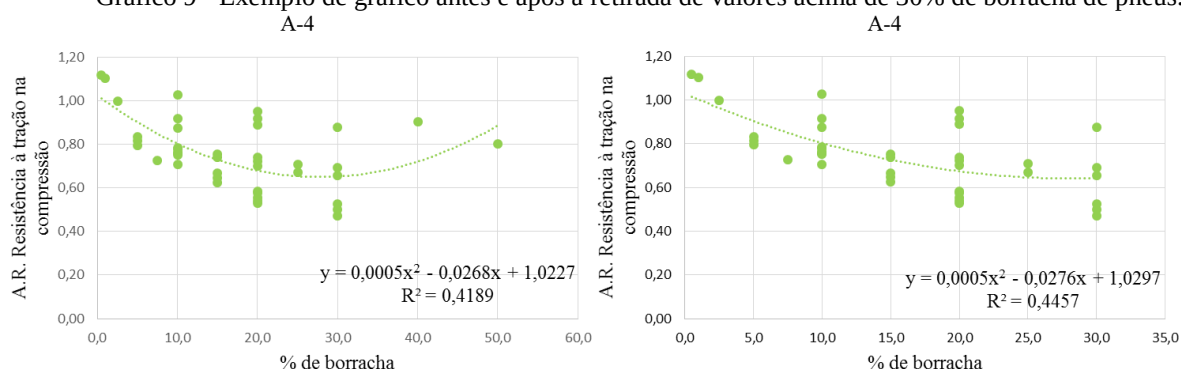
O Apêndice A apresenta o banco de dados com os resultados, nas pesquisas que foram utilizadas adições cimentícias, o concreto referência (0%) também possui essa adição. Como pode ser observado tem-se a coluna de conclusões de forma resumida, mas que passa detalhes e o olhar dos autores frente aos ensaios realizados com borracha de pneus. Em asterisco há algumas observações e particularidades dos artigos encontrados durante a coleta.

O banco de dados Apêndice A foi alimentado de forma objetiva, no entanto o tamanho da borracha é algo que ainda precisa ser aprimorado, devido a forma variada como os autores dos artigos os apresentam, uma forma seria trabalhar com granulometria o que só seria possível se houvesse uma padronização dos resultados granulométricos.

Inicialmente foram coletados todos os dados das % de substituições de borracha que os autores haviam realizado, Apêndice A, no entanto optou-se por limitar a proporção de borracha até 30%. A primeira justificativa foi o comportamento variado após 30% de substituição da borracha apontado por alguns gráficos, gráfico 9, em segundo lugar foram levadas em consideração as recomendações de vários autores.

Bravo e Brito (2012) detectaram que a resistência à compressão é altamente afetada após 15% de substituição do agregado natural pela borracha de pneus. Já Thomas e Gupta (2015, 2016) verificaram que reduções significativas na resistência à compressão podem ser evitadas se a substituição da borracha não exceder 20% do conteúdo agregado total. Por último, Kardos e Durham (2015) pesquisaram a substituição de borracha até 50% e os resultados indicaram que uma substituição de agregados finos por borracha é aceitável até 30%.

Gráfico 9 - Exemplo de gráfico antes e após a retirada de valores acima de 30% de borracha de pneus.



Fonte: Autor, 2018.

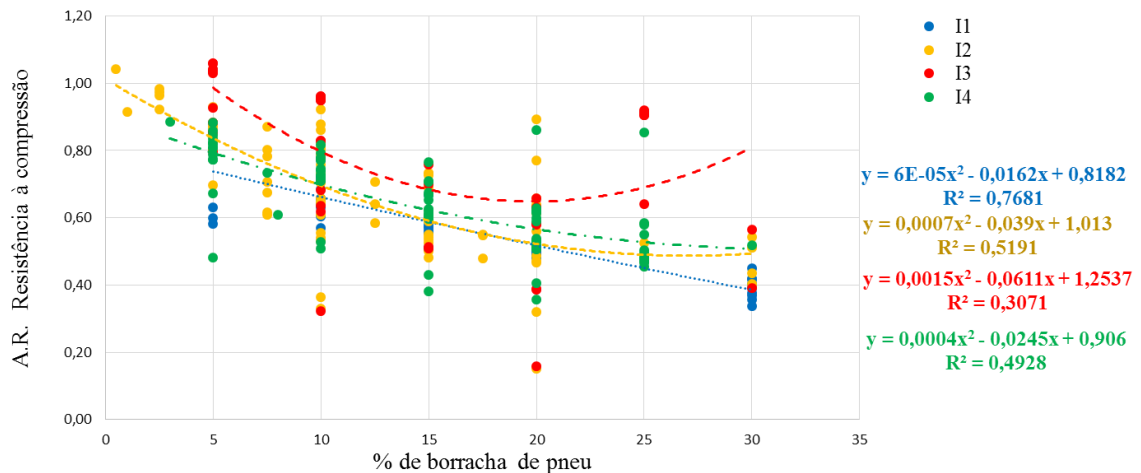
4.2.1 Análise por classe de tamanho da borracha

A variável resistência à compressão é a única que em todos os artigos foram obtidos os resultados, pois esse foi o requisito mínimo estabelecido nesse estudo para a escolha dos artigos.

As análises das variáveis % de borracha x A.R. das variáveis de saídas foram divididas em classes de tamanhos conforme os intervalos de dimensões estabelecidos na tabela 9, sendo assim exemplificando tem-se que I-1 refere-se a borracha de tamanho contido no intervalo 1 (< 0,6 mm).

A redução da resistência à compressão é evidenciada em todas as classificações de tamanho, gráfico 10, Gupta et al. (2016) e Girskas e Nagrockiene (2017) relataram a diminuição da resistência à compressão com o aumento da substituição dos agregados miúdos pela borracha.

Gráfico 10 - A.R. da resistência à compressão em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.



A perda da resistência à compressão é maior nos conteúdos em que a borracha de pneu tem maior tamanho, segundo Gesoğlu et al. (2015), nos estudos em que comparou agregados classificados em tamanho I3 e I4. O tamanho da borracha de pneus interfere no seu comportamento no concreto, (SU et al., 2015) verificou em sua pesquisa que os traços de concretos com borracha de menor dimensão tem melhor desempenho mecânico do que com os com agregado graúdo.

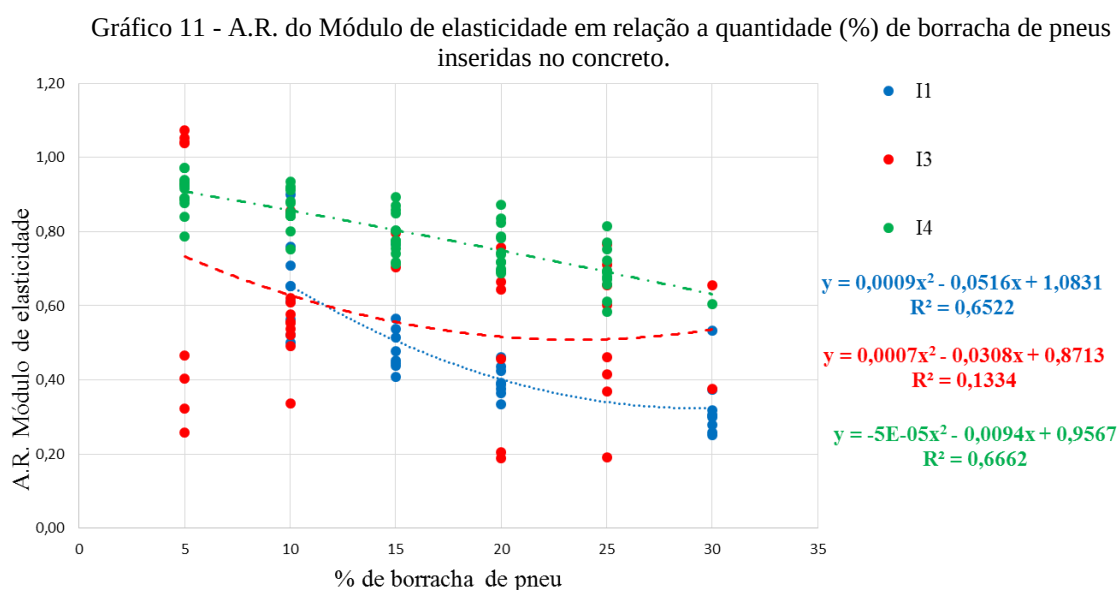
No entanto, quando a borracha está na forma de finos I1(<0,6mm) a queda da resistência à compressão foi mais acentuada do que os demais tamanhos.

A maioria dos resultados de tamanho I1 é proveniente do trabalho de Mohammed e Azmi (2014) que detectou que a resistência à compressão, à flexão na tração e na compressão (divisão), módulo de elasticidade diminuem com o aumento do teor da borracha de pneus, comportamento presente nos gráficos 10-13.

A principal razão da redução das resistências deve-se a macroporosidade do concreto com borracha que possui maior teor de ar, atribuído as características da borracha de repelir a água (hidrofóbica) e atrair o ar, diferentemente das características de um agregado natural (MOHAMMED e AZMI, 2014).

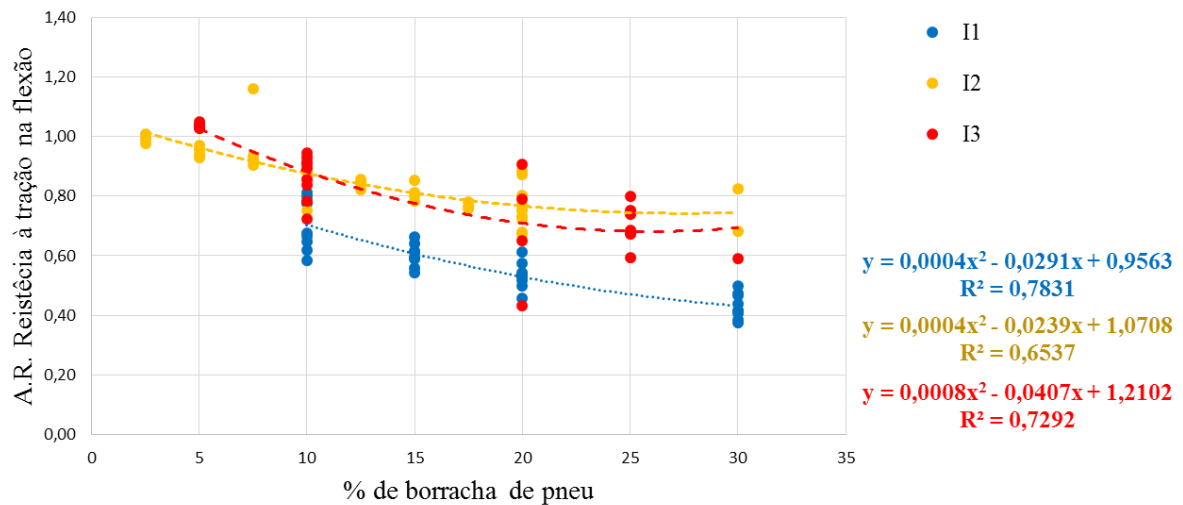
A classe que teve melhor comportamento, ou seja, que houve menor queda de resistência à compressão foi a I3, embora tenha ocorrido uma leve subida da curva após 20%, esse comportamento crescente foi uma exceção e pode ser atribuído também ao baixo valor de R^2 indicando uma menor confiabilidade do desenho da curva.

Em relação ao módulo de elasticidade, também é constatada a diminuição conforme aumenta-se a substituição da borracha. Novamente a classe I1 teve um pior comportamento no desempenho, gráfico 11. Os agregados de borracha têm um baixo módulo de elasticidade no que diz respeito aos agregados minerais, por isso, atuam como poros grandes, e não contribuem significativamente para a resistência externa cargas aplicadas. A redução no módulo de elasticidade indica alta flexibilidade, o que pode ser uma característica positiva desse compósito dependendo de sua utilização (GUPTA et al., 2014).



Em Noaman et al. (2017) também foi observada a redução nas resistências à compressão, tração na compressão e na flexão com o aumento da substituição dos agregados miúdos pela borracha, esse efeito ocorre devido ao aparecimento de vazios e aos defeitos de ligação entre a borracha e a matriz cimentícia, esse comportamento de redução também pode ser observado nos gráficos 10,12 e 13.

Gráfico 12 - A.R. da resistência à tração na flexão em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.

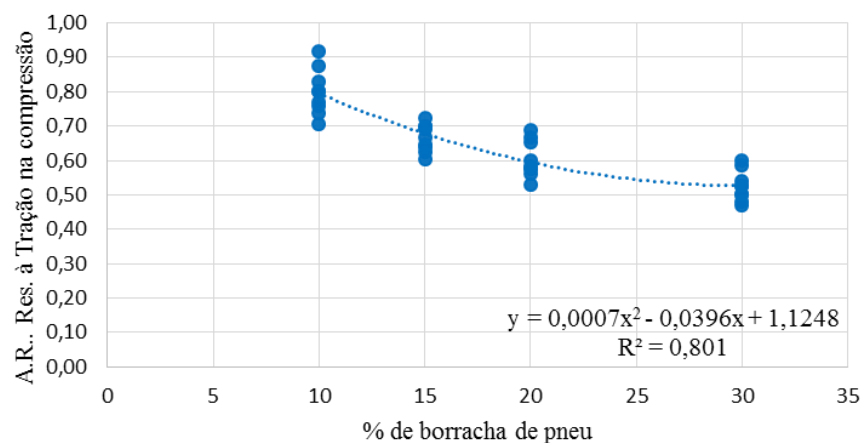


Fonte: Autor (2018)

Na pesquisa de Gesoğlu et al. (2015) novamente foi verificada a redução da resistência à compressão, resistência à tração dividida (na compressão) nos concretos que utilizaram tanto agregados graúdos como miúdos de borracha de pneu, esse comportamento também pode ser observado nos gráficos 10 e 13.

Gráfico 13 - A.R. da resistência à tração por compressão em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.

I-1



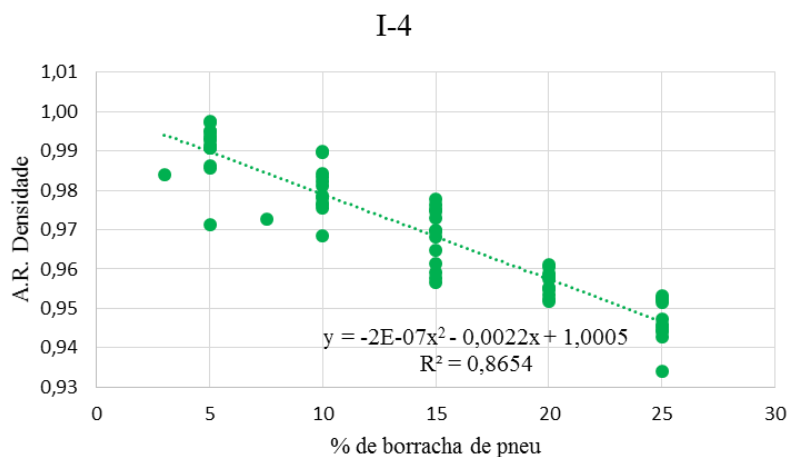
Fonte: Autor (2018)

Os resultados de densidade foram obtidos dos artigos de dimensões no intervalo e I-4 como pode ser observado no gráfico 14, em Sukontasukkul e Chaikaew (2006) as densidades

dos blocos de concreto também foram diminuindo conforme o aumento da quantidade de borracha.

Holmes et al. (2014) atribuiu essa diminuição da densidade compósitos ao alto conteúdo de ar e a baixa densidade da borracha em relação aos agregados naturais.

Gráfico 14 - A.R. densidade em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.

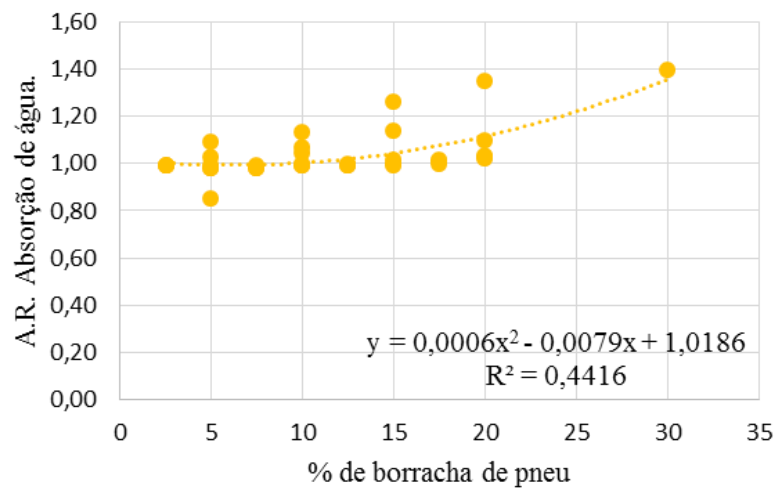


Fonte: Autor (2018)

Onuaguluchi e Panesar (2014) constataram um aumento da absorção de água e da porosidade com o aumento de borracha nos traços de concreto. O aumento do conteúdo vazio do concreto emborrachado é ligado a fatores como a flutuação da borracha na mistura por ser um material leve e fragmentado, além de ser um material elástico o que torna a compactação difícil (ONUAGULUCHI E PANESAR, 2014). Pode-se observar nos gráficos 15 e 16 esse mesmo comportamento de aumento de absorção de água e da porosidade.

Gráfico 15 - A.R. absorção de água em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.

I-2



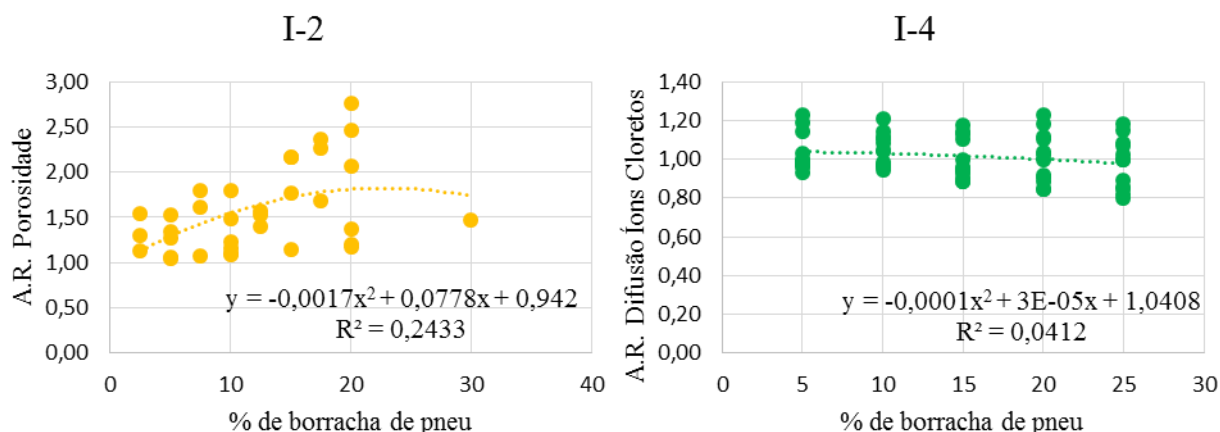
Fonte: Autor (2018)

A concentração de íons cloreto foi muito baixa na célula a jusante para cada mistura de concreto emborrachado, isto indica mais resistência do concreto a penetração de íon cloreto. (GUPTA et al., 2014). As características de transporte de cloreto foram melhoradas pelo aumento da quantidade de borracha de pneu devido a sua capacidade de repelir a água (NOOR et al., 2016).

No entanto, Bravo e Brito (2012) observaram um aumento na difusão de íons cloretos com inclusão da borracha e que esse é ainda mais acentuado quando a borracha de até 11,2 mm de dimensão substituí o agregado graúdo do concreto.

Pode ser observada a relação (%) borracha e A.R. difusão de íons cloretos, gráfico 16, e apesar da curva de tendência ter um valor baixo de R^2 , o comportamento do A.R de difusão de íons de cloretos apresenta que na classe I4, a adição de borracha de pneus praticamente não causou interferência nessa propriedade.

Gráfico 16 - Relação entre os A.R. da porosidade e da difusão de cloretos em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.



Fonte: Autor (2018)

No geral, as correlações encontradas entre % de borracha de pneu e o aspecto de relação foram mais agudas nas variáveis de desempenho mecânico do que nas variáveis de desempenho físico, pode-se atribuir esse comportamento as características físicas da borracha que possui um módulo de elasticidade menor do que os agregados naturais (GUPTA et al, 2016).

4.2.2 Análise da classe de relação a/c.

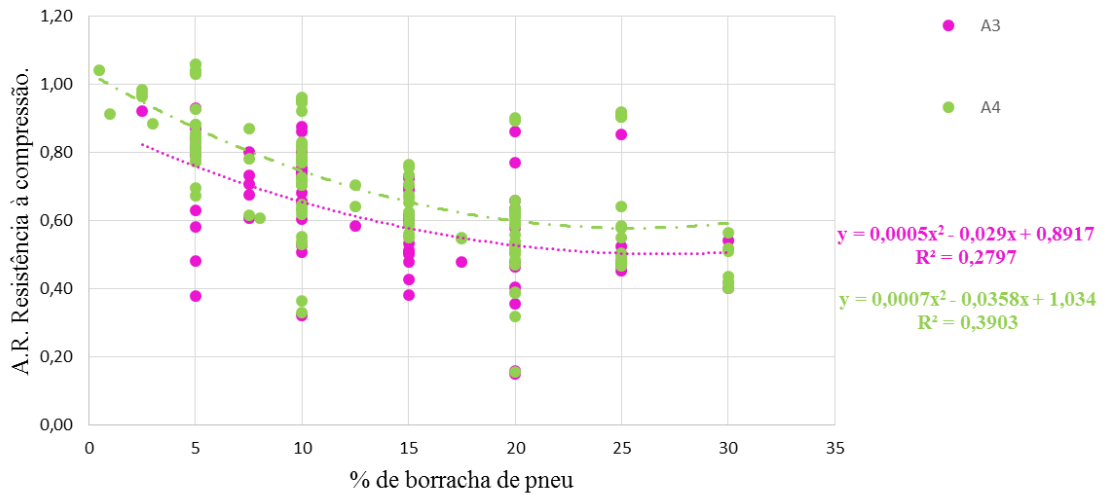
Os gráficos 17-20 exibem a relação das variáveis de acordo com a classe relação a/c, especificada na tabela 10, como pode ser observado os dados dos trabalhos concentram-se na classe A4 ($a/c \leq 0,45$) e um pouco menos na A3 ($0,45 < a/c \leq 0,55$).

Comportamentos semelhantes podem ser observados entre a variável de entrada e as de saídas da classe de relação a/c, gráficos 17-20, em relação a classe tamanho. Pode-se observar em todos os gráficos 10, 12-16; que o comportamento da substituição da borracha de pneu da classe de tamanho (I1, I2, I3, I4) de redução ou aumento dos A.R das variáveis são similares.

Thomas et al. (2014) observou que nos resultados do teste de resistência à compressão, para relações a/c de 0,4; 0,45 e 0,5; a resistência à compressão mostrou uma tendência decrescente quando a porcentagem de a borracha é aumentada. Quando a relação a/c é de 0,4 a força acima de 30 N/mm² foi obtida até 12,5% da substituição de borracha, até 7,5% de substituição quando a relação a/c foi de 0,45 e 5% quando o a relação a/c de 0,5;

comportamento semelhante que ocorre no gráfico 17. No entanto, a resistência à compressão diminuiu até 50% em todas as três relações a/c quando a porcentagem de borracha fragmentada atingiu 20% de agregados finos (THOMAS et al., 2014).

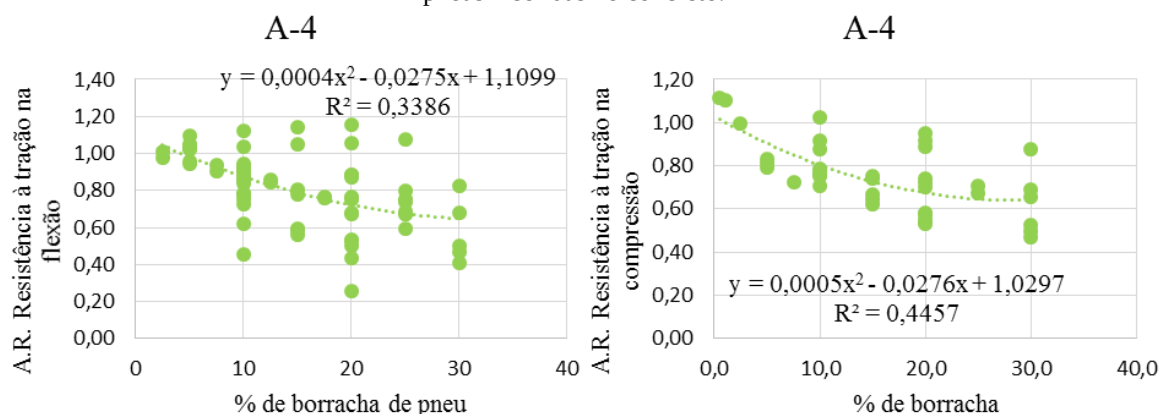
Gráfico 17 - A.R. da resistência à compressão em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.



Fonte: Autor (2018)

O gráfico 18, apresenta a redução do A.R de resistência à tração na flexão. Aliabdo (2015) verificou que a substituição de 20% de borracha teve redução de 32% da resistência à tração na flexão, mas apesar da diminuição significativa na resistência à tração na flexão do concreto “emborrachado”, a deflexão máxima aumentou, apresentando um comportamento mais elástico desse compósito podendo ser atribuído a absorção maior de energia devido a inclusão de borracha. (ALIABDO, 2015)

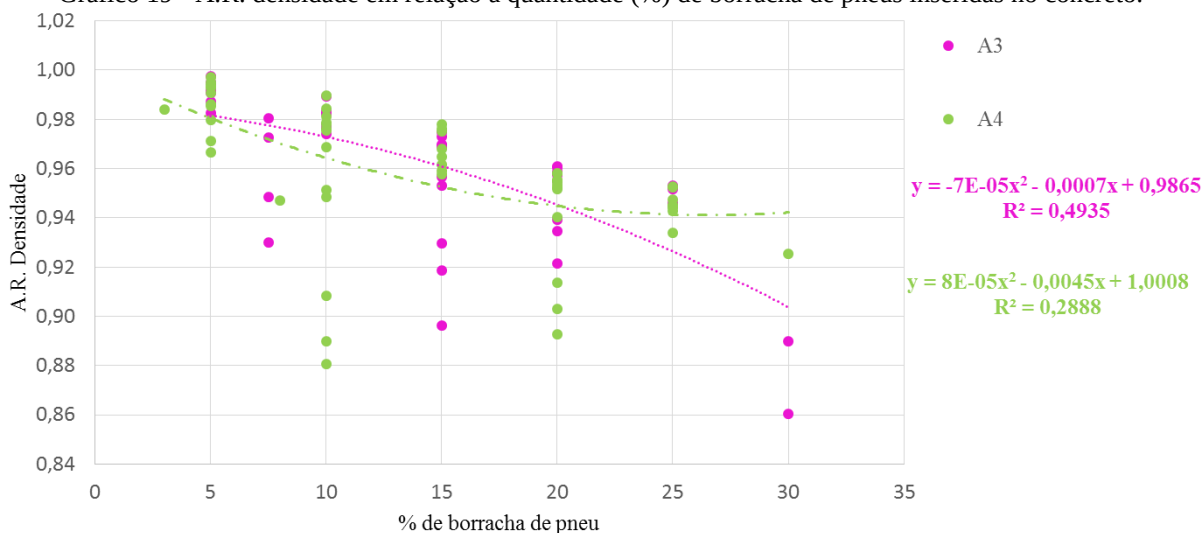
Gráfico 18 - A.R. resistência à tração na flexão e na compressão em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.



Fonte: Autor (2018)

Girskas e Nagrockiene (2017) realizaram traços com relação a/c de 0,35 e obtiveram reduções na densidade do concreto proporcionalmente com o aumento do teor de borracha nas misturas, esse comportamento está presente no gráfico 19. Nesse estudo os testes também revelaram que a absorção de água aumenta conforme aumenta-se o conteúdo de misturas de borracha. As partículas de borracha formam poros abertos e capilares que são facilmente preenchidos com água, portanto todos os corpos de prova com borracha tiveram valores maiores de absorção de água em comparação com os de referência (0%).

Gráfico 19 - A.R. densidade em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.

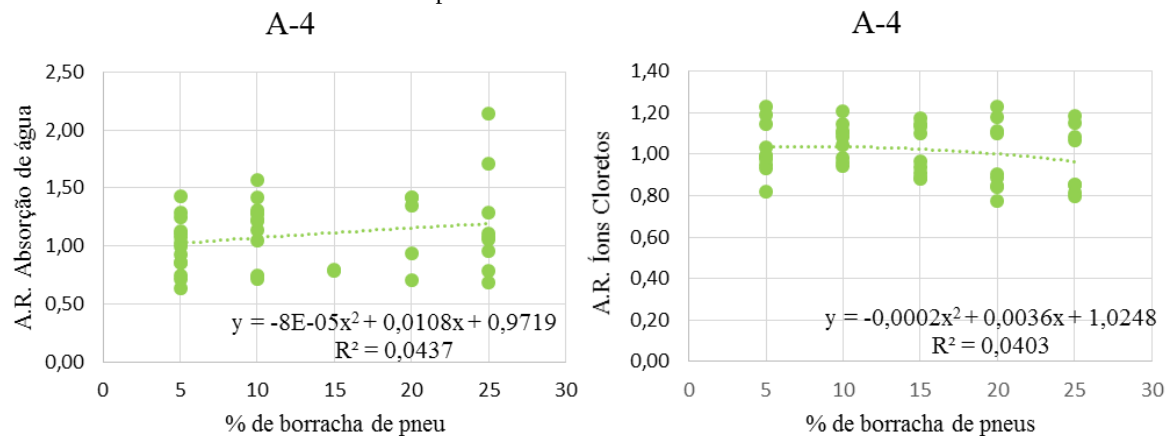


Fonte: Autor (2018)

O gráfico 20 de difusão de íons cloretos A4 é parecido com o gráfico 16 da classe I4, porque a maioria dos dados são de mesma precedência, ou seja, a maior parte dos traços de

borracha de tamanho I4 utilizaram relação a/c dentro do intervalo A4, nos ensaios de difusão de íons cloretos.

Gráfico 20 - A.R. da absorção de água e de difusão de íons cloretos em relação a quantidade (%) de borracha de pneus inseridas no concreto.



Fonte: Autor (2018)

4.2.3 Análises estatísticas.

A verificação de normalidade das variáveis também pode ser feita pelos gráficos como o histograma e Q-Q Plot. A análise visual tem a desvantagem de ser subjetiva e um método mais objetivo é a realização de testes não-paramétricos de aderência à distribuição Normal. (TORMAN et al.,2012)

Assim, foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk nos dados dos erros calculados entre os A.R. reais e os A.R. estimados pela equação de linha de tendência de cada variável de saída, na tabela 14 temos os valores resultantes do teste e seu respectivo resultado, pode ser observado que somente algumas amostras tiveram resultados normais.

Tabela 14 - Resultado teste de normalidade.

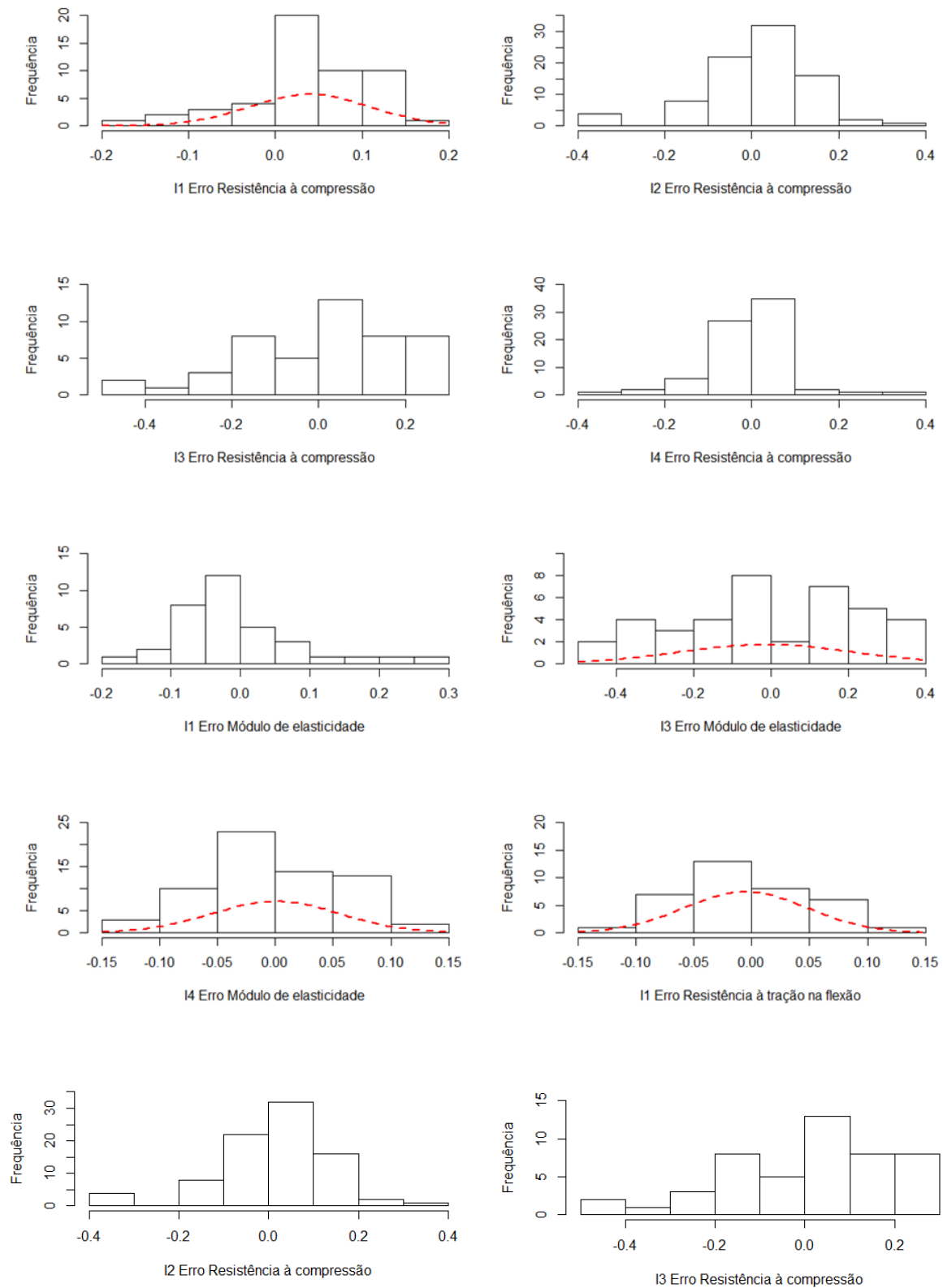
Identificação	Shapiro-Wilk - <i>p-value</i>	<i>p-value</i> > 0,05
I-1 Resistência à compressão	0,07594	POSITIVO NORMALIDADE
I-2 Resistência à compressão	0,001033	NEGATIVO
I-3 Resistência à compressão	0,006844	NEGATIVO
I-4 Resistência à compressão	0,0002846	NEGATIVO
I-1 Módulo de elasticidade	0,001189	NEGATIVO
I-3 Módulo de elasticidade	0,09979	POSITIVO NORMALIDADE
I-4 Módulo de elasticidade	0,8262	POSITIVO NORMALIDADE
I-1 Resistência à tração na flexão	0,8887	POSITIVO NORMALIDADE
I-2 Resistência à tração na flexão	5,52E-05	NEGATIVO
I-3 Resistência à tração na flexão	0,009788	NEGATIVO
I-1 Resistência à tração na compressão	0,1971	POSITIVO NORMALIDADE
I-4 Densidade	0,03815	NEGATIVO
I-2 Absorção	0,0002671	NEGATIVO
I-2 Porosidade	0,5693	POSITIVO NORMALIDADE
I-4 Difusão de íons cloretos	0,01701	NEGATIVO
A-3 Resistência à compressão	0,01068	NEGATIVO
A-4 Resistência à compressão	8,09E-05	NEGATIVO
A-4 Resistência à tração na flexão	0,008107	NEGATIVO
A-4 Resistência à tração na compressão	0,01722	NEGATIVO
A-3.Densidade	9,55E-05	NEGATIVO
A-4 Densidade	3,25E-08	NEGATIVO
A-4 Absorção de água	0,1364	POSITIVO NORMALIDADE
A-4 Difusão de íons cloretos	0,02136	NEGATIVO

Fonte: Autor (2018)

Torman et al. (2012) explica que as distribuições de frequências são distribuições de probabilidade, onde para um evento teremos uma probabilidade de ocorrência associada. Assim, a partir de uma distribuição de probabilidade completamente especificada pode-se calcular a probabilidade de uma variável aleatória assumir determinado intervalo de valores, a distribuição de probabilidades mais conhecida é a distribuição Normal ou Gaussiana.

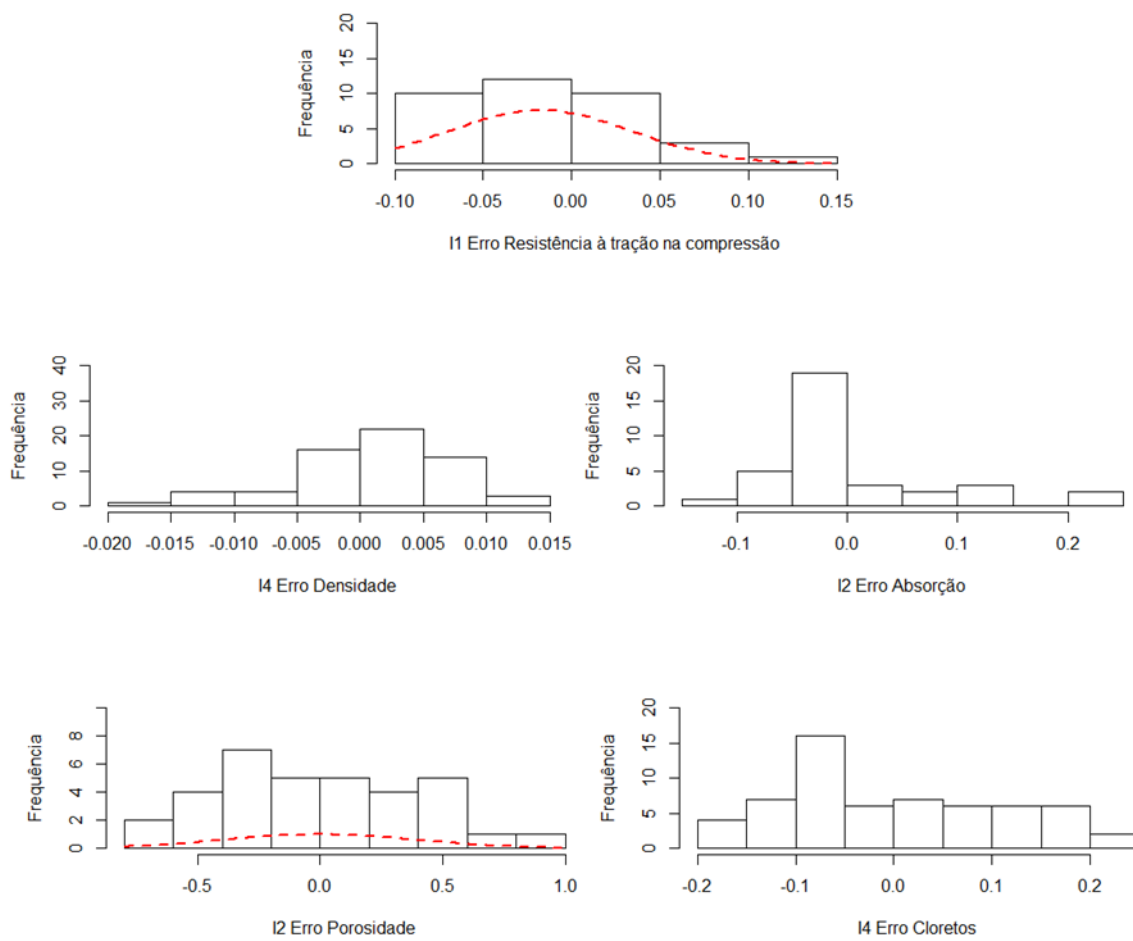
Os gráficos 21, 22 e 23 apresentam a frequência de cada amostra e a curva de normalidade pra aquelas em que os resultados foram positivos, na tabela 15 temos as médias, desvios - padrão e variâncias dos dados referentes aos grupos que foram considerados normais segundo o teste Shapiro-Wilk.

Gráfico 21 - Gráficos de frequências e curva de normalidade da classe tamanho.



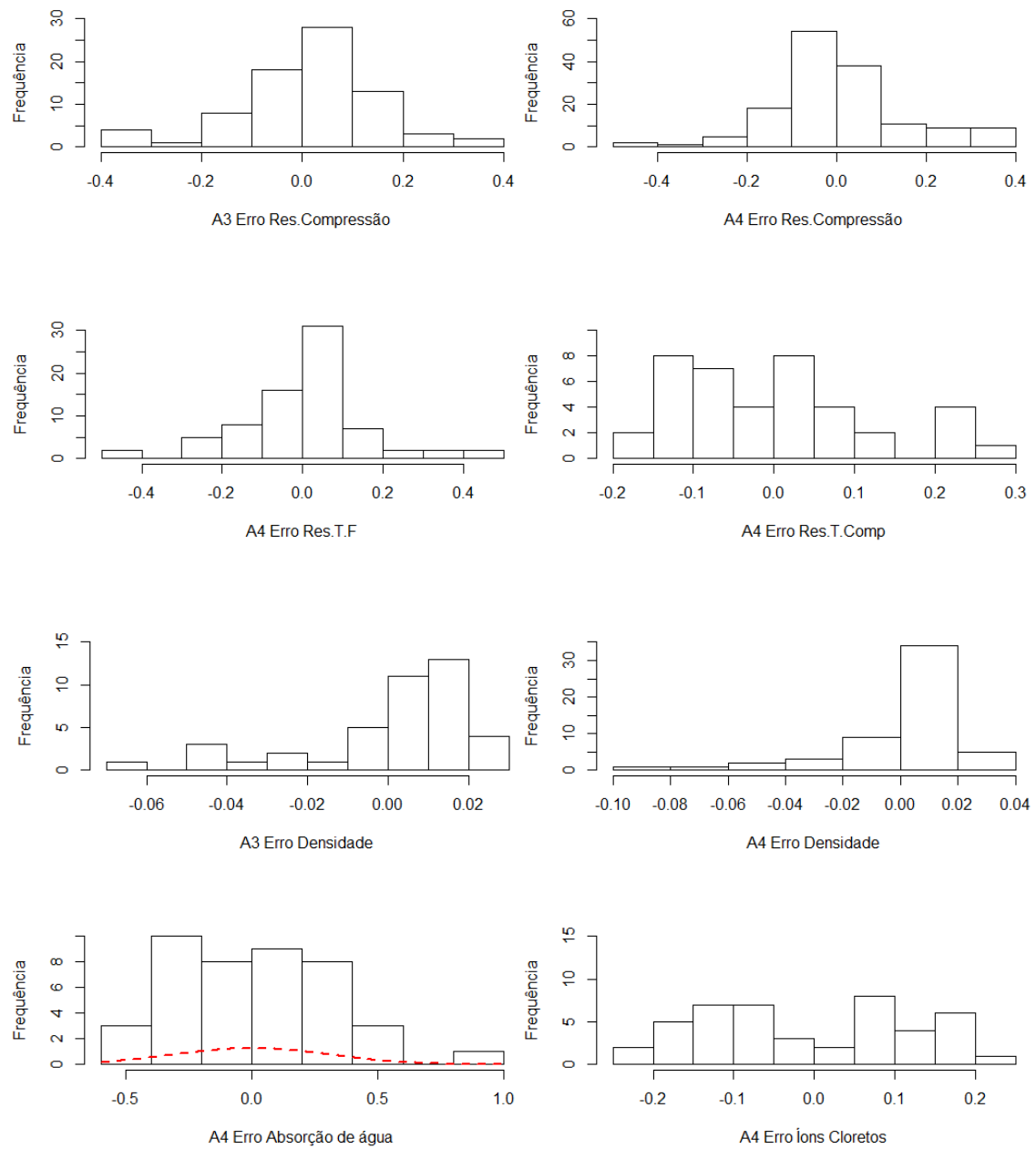
Fonte: Autor (2018)

Gráfico 22 - Gráficos de frequências e curva de normalidade da classe tamanho.



Fonte: Autor (2018)

Gráfico 23 - Gráficos de frequências e curva de normalidade da classe relação a/c.



Fonte: Autor (2018)

Tabela 15 - Resultados das amostras das variáveis positivas para o teste de normalidade.

Identificação	Média (μ)	Desvio padrão (σ)	Variância (σ^2)
I-1 Resistência à compressão.	0,038913	0,069703	0,004859
I-3 Módulo de Elasticidade.	-0,013170	0,228686	0,052297
I-4 Módulo de Elasticidade	0,000284	0,055896	0,003124
I-1 Resistência à tração na flexão	-0,005253	0,053610	0,002874
I-1 Resistência à tração na compressão	-0,017923	0,052378	0,002743
I-4 Densidade	0,000750	0,006154	0,000038
I-2 Porosidade	-0,002434	0,397122	0,157706
A-4 Absorção de água	-0,000230	0,310744	0,096562

Fonte: Autor (2018)

5 CONCLUSÃO

A revisão bibliométrica mostrou que a maioria dos trabalhos dos compósitos cimentícios com borracha estudam as propriedades mecânicas do material concreto, substituindo os agregados miúdos pela borracha de pneus sem tratamento. Ainda é observada a necessidade melhor detalhamento de procedimentos e materiais, pois alguns artigos não apresentaram clareza nos processos de fabricação de borracha de pneus inservíveis. Esse princípio é essencial para que as pesquisas científicas possam ser reproduzidas, nesse caso o rigor deve ser maior ainda, já que os resíduos são mais suscetíveis a variações de suas propriedades.

A inserção da borracha de pneu nos concretos diminui a resistência à compressão, à tração na flexão, à tração na compressão e a densidade, consequentemente aumentando os poros e absorção de água. Assim, deve-se ter atenção para que os traços de concretos com borracha tenham baixa relação a/c para diminuição da porosidade, evitando assim entrada de agentes agressivos que diminuam a durabilidade do compósito cimentício.

Apesar da adoção das classes de agrupamento em relação ao tamanho da borracha de pneu e a relação água/cimento, e do fator de ponderação aspecto de relação entre propriedades físico-mecânicas do concreto com e sem borracha, a influência dos tipos de concretos necessita ser abordada de forma ampliada para a diminuição da variabilidade dos dados, no entanto, foi possível traçar a tendência do comportamento físico-mecânico do compósito cimentício com borracha.

Assim, as correlações encontradas mostraram a influência da inserção da borracha de pneu inservível no compósito cimentício, bem como a potencialidade de uso como ferramenta para a previsibilidade da durabilidade do concreto frente as variáveis resistência à

compressão, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, resistência à tração por compressão, densidade, absorção de água, porosidade e difusão de íons cloretos.

6 TRABALHOS FUTUROS

A utilização dos aditivos nos concretos com borracha e a sua interferência na durabilidade também é um campo que necessita de maiores investigações.

A carbonatação, assim como os ensaios específicos de agentes agressivos que afetam a durabilidade devem continuar sendo estudados, para que se tenham mais resultados.

O banco de dados, apêndice A, poderá ser trabalhado com a adoção de outros critérios de classificações e/ou agrupamentos (grupos de resistências, de aplicações, consumo de cimento entre outros) para verificar uma melhor correlação entre as variáveis.

Além da importância da abrangência dos ensaios é importante que a comunidade científica se empenhe na construção de um banco de dados internacional, o Apêndice A é apenas um início, havendo nestas planilhas uma padronização para o preenchimento das variáveis, tornando o acesso aos dados publicamente, o que permitirá avanços maiores devido a clareza, organização e desenvolvimento de análises de dados. O compartilhamento científico é importante para que as pesquisas se desenvolvam com rapidez.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLA, AZIZ; KHATAB, HADEEL. **Behavior of Multilayer Composite Ferrocement Slabs with Intermediate Rubberized Cement Mortar Layer**. Arabian Journal for Science and Engineering, v.39, p. 5929-5941, 2014.

ACKNER, P.; TORRENTI, J. M.; GUÉRINET, M. Capítulo 6: Controle de fissuração nas primeiras idades: condição de durabilidade das obras de concreto. **Durabilidade do concreto. Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente**. Editores: Jean- Pierre Ollivier e Angélique Vichot. São Paulo. IBRACON, 2014.

ALIABDO, A. A.; ELMOATY, M. A.; ABDELBASET, M. M. **Utilization of waste rubber in non-structural applications**. Construction and Building Materials, v.91, p. 195-207, 2015.

ALSULTAN, M. **Kuwait Tire Fire**. Revista National Geographic. Disponível em: <<https://yourshot.nationalgeographic.com/photos/9595172/>>. Acessado em: 5 de setembro, 2018.

ANGELIN, A. F. ; LINTZ, R. C. C.; GACHET-BARBOSA, L. A. ; OSÓRIO, W. R. **The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar (with recycled rubber)**. Construction and Building Materials, v. 151, p. 534-545, 2017.

ANGELIN, A.F. ; ANDRADE, M. F.F. ; BONATTI, R. ; LINTZ, R. C. C. ; GACHET-BARBOSA, L. A. ; OSORIO, W. R. **Effects of spheroid and fiber-like waste-tire rubbers on interrelation of strength-to-porosity in rubberized cement and mortars**. Construction and Building Materials, v.95, p.525, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto- Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

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

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12142**: Concreto -Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS (ANIP). Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/infografico_anip_final_2015.pdf>. Acessado em: 22 novembro, 2016.

_____. Disponível em:< <http://www.anip.org.br/anip-em-numeros/dados-gerais/>>. Acessado em:5 setembro, 2018.

ASTM C1218 / C1218M-17, **Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: < <https://www.astm.org/Standards/C1218.htm> >. Acessado em: 30 novembro, 2017.

ASTM D6270-17, **Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: < <https://www.astm.org/Standards/D6270.htm> >. Acessado em: 27 agosto, 2018.

BAROGHEL-BOUNY, V; CAPRA, B.; LAURENS, S. Capítulo 9: A durabilidade das armaduras e do concreto. **Durabilidade do concreto. Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente**. Editores: Jean- Pierre Ollivier e Angélique Vichot. São Paulo. IBRACON, 2014.

BRAVO, M.; DE BRITO, J. **Concrete made with used tyre aggregate: durability-related performance**. Journal of Cleaner Production, v. 25, pp.42-50, 2012.

CÂMARA MUNICIPAL DE CAMPO GRANDE, MATO GROSSO DO SUL. **Lei n. 4.818, de 19/03/2010**. Disponível em:< <http://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal> >. Acessado em: 15 novembro, 2017.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa. Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. Porto Alegre, Artmed, 2007.

DEMIR, F.; YESILATA, B.; TURGUT, P.; BULUT, H.; ISIKER, Y. **Investigation of the effects of pH, aging and scrap tire content on the dissolution behaviors of new scrap tire-concrete mixture structures**. Journal of Cleaner Production 93, p. 38-46, 2015.

FARHAD, A. **Mechanical Properties of Waste Tire Rubber Concrete**. J. Mater. Civ. Eng., 28. 2016. p. 040151521-0401515214.

GESOĞLU, M.; GÜNEYISI, E. **Permeability properties of self-compacting rubberized concretes**. Construction and Building Materials, v. 25, pp.3319-3326, 2011.

GESOĞLU, M.; GÜNEYISI, E.; KHOSHNAW, G.; IPEK, S. **Abrasion and freezing–thawing resistance of pervious concretes containing waste rubbers**. Construction and Building Materials, v. 73, p.19-24, 2014.

GESOĞLU, M.; GÜNEYISI, E.; HANSU, O.; İPEK, S.; ASAAD, D. S. **Influence of waste rubber utilization on the fracture and steel–concrete bond strength properties of concrete**. Construction and Building Materials, v. 101, p.1113–1121, 2015.

GHIZDĂVET, Z.; STEFAN, B.; NASTAC, D. ; VASILE, O. ; BRATU, M. **Sound absorbing materials made by embedding crumb rubberwaste in a concrete matrix**. Construction and Building Materials 124, p.755, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIRSKAS, G.; NAGROCKIENĖ, D. **Crushed rubber waste impact of concrete basic properties.** Construction and Building Materials, v.140, p. 36-42, 2017.

GÜNEYISI, E.; GESOĞLU, M.; ÖZTURAN, T. **Properties of rubberized concretes containing silica fume.** Cement and Concrete Research, v.34, p.2309-2317, 2004.

GUPTA, T.; CHAUDHARY, S.; SHARMA, R. K. **Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate.** Construction and Building Materials 73, p. 562–574, 2014.

_____. **Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume.** Journal of Cleaner Production 112, p. 702-711, 2016.

HOLMAN, J. P. Capítulo 3: Análise de Experimental Dados. Subitem: 3.8 The Gaussian or Normal Error Distribution. **Experimental Methods for Engineers.** 8ª edição. New York. The McGraw-Hill Companies, 2012.

HOLMES, N.; BROWNE, A.; MONTAGUE, C. **Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement.** Construction and Building Materials 73, p. 195–204, 2014.

HOOTON, R. D; BICKLEY, J. A. **Design for durability: The key to improving concrete sustainability.** Construction and Building Materials 67, p. 422-430, 2014.

HUNAG, L. J.; WANG, H. Y.; WANG, S. Y. **A study of the durability of recycled green building materials in lightweight aggregate concrete.** Construction and Building Materials 96, p. 353–359, 2015.

HYEOK-JUNG, K.; SANG-MIN, P.; SUBBIAH, K.; SEUNG-JUN, K. **Durability performance evaluation of concrete containing TDFA (Tire Derived Fuel Ash).** Construction and Building Materials 133, p.376, 2017.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório Pneumáticos 2016 Resolução Conama nº 416/09.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/174D441A/RelatorioPneumaticos2016.pdf>>. Acessado em: 22 novembro, 2016.

KARAKURT, C. **Microstructure properties of waste tire rubber composites: an overview.** Journal of Material Cycles and Waste Management, v.17, p.422-433, 2015.

KARDOS, A. J.; DURHAM, S. A. **Strength, durability, and environmental properties of concrete utilizing recycled tire particles for pavement applications.** Construction and Building Materials, v. 98, p. 832-845, 2015.

LEUNG, CHIN K.; GRASLEY, Z. C. **Effect of micrometric and nanometric viscoelastic inclusions on mechanical damping behavior of cementitious composites.** Construction and Building Materials, v. 35, p.444, 2012.

LING, T. C. **Effects of compaction method and rubber content on the properties of concrete paving blocks.** Construction and Building Materials, v.28, p.164 - 175, 2012.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do Trabalho Científico**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

MARTINS, I. R. F.; AKASAKI, J.L. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu**. Dissertação UNESP. 2005.

MATHER, B. **Concrete durability**. Cement e Concrete Composites, v. 26, p. 3-4, 2004.

MEDINA, D. F; MEDINA, N.R.; HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. **Static mechanical properties of waste rests of recycled rubber and high quality recycled rubber from crumbed tyres used as aggregate in dry consistency concretes**. Materials and Structures, v. 47, p. 1185-1193, 2014.

MEDINA, N.R; MEDINA, D. F; HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. **Influence of fibers partially coated with rubber from tire recycling as aggregate on the acoustical properties of rubberized concrete**. Construction and Building Materials, v. 129, p. 25-36, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO Nº 416**, DE 30 DE SETEMBRO DE 2009. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>>. Acessado em: 23 junho, 2016.

MOHAMMADI, I.; KHABBAZ, H.; VESSALAS, K. **Enhancing mechanical performance of rubberised concrete pavements with sodium hydroxide treatment**. Materials and Structures, v. 49, p. 813-827, 2016.

MOHAMMED, B. S.; AZMI, N. J. **Strength reduction factors for structural rubbercrete**. Frontiers of Structural and Civil Engineering, v.8, p. 270-281, 2014

MOHAMMED, B. S.; HOSSAIN, K. M. A.; SWEE, J. T. E.; WONG, G. **Properties of crumb rubber hollow concrete block**. Journal of Cleaner Production 23, p. 57-67, 2012.

MYHRE, M.; MACKILLOP, D. **Rubber recycling**. Rubber Chemistry and Technology, Vol.75, p. 429-474, 2002.

NACIF, G. L; PANZERA, T. H; STRECKER, K; CHRISTOFORO, A. L ; PAINE, K. **Investigations on Cementitious Composites Based on Rubber Particle Waste Additions**. Materials Research-Ibero-American Journal Of Materials, Vol.16, p. 259-268, 2013.

NAYEF, A. M.; FAHAD, A. R.; AHMED, B. **Effect of microsilica addition on compressive strength of rubberized concrete at elevated temperatures**. J Mater Cycles Waste Manag, v. 12, p. 41-49, 2010.

NOAMAN, A. T.; BAKAR, B.H. A.; AKIL, H. MD. ; ALANI, A.H. **Fracture characteristics of plain and steel fibre reinforced rubberized concrete**. Construction and Building Materials, v. 152, p. 414-423, 2017.

NOOR, N. MD.; YAMAMOTO, D.; HAMADA, H.; SAGAWA, Y. **Study on Chloride Ion Penetration Resistance of Rubberized Concrete Under Steady State Condition**. MATEC Web of Conferences 4, 2016.

OKTAY, H.; YUMRUTAS, R.; AKPOLAT, A. **Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate concretes**. Construction and Building Materials, v. 96, p.217-225, 2015.

OLLIVIER, J. P.; TORRENTI, J. M. Capítulo 3: A estrutura porosa dos concretos e as propriedades de transporte. **Durabilidade do concreto. Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente**. Editores: Jean- Pierre Ollivier e Angélique Vichot. São Paulo. IBRACON, 2014.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. **Durability performance of polymeric scrap tire fibers and its reinforced cement mortar**. Materials and Structures 50, p. 1-10, 2017.

ONUAGULUCHI, O.; PANESAR, D. K. **Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume**. Journal of Cleaner Production, v.82, p. 125-131, 2014.

ORTEGA, E. S. ; FRAILE-GARCIA, E. ; FERREIRO-CABELLO, J. ; SANZ-GARCIA, A. **Evaluation of crumb rubber as aggregate for automated manufacturing of rubberized long hollow blocks and bricks**. Construction and Building Materials, v.106, p.305, 2016.

PIERCE, C.E.; BLACKWELL, M. C. **Potential of scrap tire rubber as lightweight aggregate in flowable fill**. Waste Management, v.23, p. 197-208, 2003.

PMCG. Prefeitura Municipal de Campo Grande – MS. **Apresentação do Plano de Saneamento Básico – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**, 2011. Disponível em: <<http://www.pmcg.ms.gov.br/semadur>>. Acessado em: 24 novembro, 2016.

PONS, G.; TORRENTI, J. M. Capítulo 5: Retração e fluência. **Durabilidade do concreto. Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente**. Editores: Jean- Pierre Ollivier e Angélique Vichot. São Paulo. IBRACON, 2014.

RASHAD, A. M. **A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials**. International Journal of Sustainable Built Environment, v.5, p. 46-82, 2016.

RAZALI, N. M.; WAH, Y.B. **Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests**. Journal of Statistical Modeling and Analytics, v.2 N°1, p.21-33, 2011.

SCHMALTZ, J. Legenda por SCOTT, M. **The Five Million Tire Fire in Kuwait**. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2012. Disponível em: <https://www.nasa.gov/mission_pages/fires/main/world/20120425-kuwait.html>. Acessado em: 5 de setembro, 2018.

SEGRE, N.; MONTEIRO, P. J. M.; SPOSITO, G. **Surface Characterization of Recycled Tire Rubber to Be Used in Cement Paste Matrix**. Journal of Colloid And Interface Science, v. 248, p.521-523, 2002.

SERDAR, M ; BARICEVIC, A ; RUKAVINA, M. J.; PEZER, M ; BJEGOVIC, D ; STIRMER, N. **Shrinkage Behaviour of Fibre Reinforced Concrete with Recycled Tyre Polymer Fibres**. International Journal Of Polymer Science, 2015.

SHAH, S. F. A.; NASEER, A.; SHAH, A. A.; ASHRAF, M. **Evaluation of Thermal and Structural Behavior of Concrete Containing Rubber Aggregate** © King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia. 2014.

SILVA, R. V. ; DE BRITO, J. ; DHIR, R. K. **Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production**. Construction and Building Materials, v. 65, p.201, 2014.

SU, H.; YANG, J; LING, T.C.; GHATAORA, G. S., DIRAR, S. **Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes**. Journal of Cleaner Production, v. 91, p. 288-296, 2015.

SUKONTASUKKUL, P.; CHAIKAEW, C. **Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber**. Construction and Building Materials, v. 20, p. 450-457, 2006.

THOMAS, B. S.; GUPTA, R.C.; KALLA, P.; CSETENEYI, L. **Strength, abrasion and permeation characteristics of cement concrete containing discarded rubber fine aggregates**. Construction and Building Materials, v. 59, p. 204-212, 2014.

THOMAS, B. S.; GUPTA, R. C. **Long term behaviour of cement concrete containing discarded tire rubber**. Journal of Cleaner Production, v.102, p.78-87, 2015

_____. **A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, p.1323-1333, 2016.

THOMAS, B. S. ; GUPTA, R. C. ; PANICKER, V. J. **Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: durability-related performance**. Journal of Cleaner Production 112, p. 504-513, 2016.

TORGAL, F. P.; DING, Y.; JALALI, S. **Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): an overview**. Construction and Building Materials, v. 30, p.714, 2012.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não paramétricos por simulação**. Revista HCPA, v. 32, p. 227-234, 2012.

WANG, F. C; SONG, W. **Effects of Crumb Rubber on Compressive Strength of Cement-Treated Soil**. Archives of Civil Engineering, v. 61, p. 59-78, 2015.

XIAOWEI, CHENG; SHENG, HUANG; XIAOYANG, GUO; WENHUI, DUAN. **Crumb waste tire rubber surface modification by plasma polymerization of ethanol and its application on oil-well cement.** Applied Surface Science, Vol.409, 2017. p. 325-342.

YADAV, J. S.; TIWARI, S. K. **Effect of waste rubber fibres on the geotechnical properties of clay stabilized with cement.** Applied clay science, 2017.

YAZDI, M. A.; YANG, J.; YIHUI, H. S. **A Review on Application of Waste Tire in Concrete.** International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, v. 9, N°:12, 2015.

YUNG, W. H.; YUNG, L. C.; HUA, L. H. **A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete.** Construction and Building Materials, v. 41, p. 665–672, 2013.

APÊNDICE A - BANCO DE DADOS

Identificação	Aplicação	Tamanho da borracha (mm)	Quantidade Borracha (%)	Consumo de Cimento (kg/m³)	Adição cimentícia	Relação f/c	1 Resistência à compressão (MPa)	2 Módulo de elasticidade estático (GPa)	3 Resistência à tração na flexão (MPa)	4 Resistência à tração na compressão (MPa)	5 Densidade (kg/m³)	6 Absorção de água (%)	7 Porosidade (%)	8 Difusão de íons cloretos	Conclusões e Observações (*)
6 e 7	Tubos de aço com concreto dentro. *Foram utilizados dados apenas do concreto.	4-11,2	0	350		0,53	49,5	37,6		3,4					A mistura de concreto com uma baixa a proporção de substituição (5%) de borracha de pneu leva simultaneamente ao menor decréscimo na carga lateral máxima e ao maior aumento na ductilidade de colunas CFST (<i>Concrete filled steel tube</i>). Sendo assim a mais adequada (entre as misturas estudadas) poderá ser usada em colunas CFST em áreas sísmicas, onde a ductilidade e a dissipação de energia são requisitos essenciais.
		4-11,2	5	350		0,53	39,3	33,4		2,6					
8 e 9	Pavimento de concreto compactado a rolo	10,00	0	250		0,40	33,6	2,3719	6,9			1,2			* Traços utilizados apenas com borracha e sem o resíduo de asfalto. Ensaio de flexão com 4 pontos. Cura de 7 dias no tanque e não deixa exposto a realização dos ensaios aos 28 dias. Ensaio adotados os 28 dias.
		10,00	5	250		0,40	34,6	2,5478	7,1			1,5			
		10,00	10	250		0,39	31,9	7,4142	5,4			1,7			
		10,00	25	250		0,39	30,4	8,3764	4,1			3,6			
		10,00	0	300		0,39	37,9	10,3669	7,3			1,3			
		10,00	5	300		0,39	39,3	10,9225	7,6			1,4			
		10,00	10	300		0,38	36,2	5,5719	6,1			1,6			
		10,00	25	300		0,38	34,5	6,2554	4,9			1,4			
		10,00	0	350		0,38	38,7	14,4416	7,6			1,9			
		10,00	5	350		0,38	40,1	15,0473	7,9			1,2			
		10,00	10	350		0,37	37,2	7,1	6,8			1,4			
		10,00	25	350		0,36	35,5	11,0672	5,2			1,3			
		10,00	0	400		0,37	42,9	20,6513	8,0			1,4			
		10,00	5	400		0,37	45,5	21,4647	8,3			1,0			
		10,00	10	400		0,36	40,8	11,4793	7,3			1,0			
		10,00	25	400		0,36	39,0	13,552	6,4			1,1			
		10,00	0	250		0,40	40,0	19,177	7,0			1,4			
		10,00	5	250		0,40	41,3	7,7439	7,2			1,2			
		10,00	10	250		0,38	38,1	11,9124	6,0			1,8			
		10,00	25	250		0,38	36,2	3,6431	5,2			2,4			
10	Concreto de reparação de um vertedouro de uma hidrelétrica	10,00	0	300		0,38	40,1	22,8274	7,7			0,9			O uso de materiais reciclados adicionados ao concreto é uma tecnologia que pode ser constantemente melhorada, em termos de condições técnicas e ambientais. Portanto, os estudos nesta área são promissores para sua disseminação no mercado.
		10,00	5	300		0,38	41,8	5,8985	7,9			0,9			
		10,00	10	300		0,37	38,4	13,9006	7,0			1,1			
		10,00	25	300		0,37	36,6	8,4203	5,8			1,0			
		10,00	0	350		0,37	40,9	23,1707	8,3			0,7			
		10,00	5	350		0,37	42,5	7,4503	8,7			1,0			
		10,00	10	350		0,36	39,3	13,3504	7,7			1,9			
		10,00	25	350		0,36	37,6	9,6290	5,6			0,9			
		10,00	0	400		0,36	46,8	25,1992	8,8			0,7			
		10,00	5	400		0,36	49,6	11,7529	9,1			0,9			
		10,00	10	400		0,35	44,4	13,1534	8,3			1,1			
		10,00	25	400		0,35	42,6	11,6385	6,5			1,5			
		1,20	0,0	389		0,45	34,23			3,36					
		1,20	0,5	389		0,45	35,64			3,75					
		1,20	1,0	389		0,45	31,29			3,70					
		1,20	2,5	389		0,45	33,69			3,35					
		1,20	5,0	389		0,45	27,47			2,80					
		1,20	7,5	389		0,45	21,11			2,44					

Identificação	Aplicação	Tamanho da borracha (mm)	Quantidade Borracha (%)	Consumo de Cimento (kg/m³)	Adição cimentícia	Relação f_c	1 Resistência à compressão (MPa)	2 Módulo de elasticidade (GPa)	3 Resistência à tração na flexão (MPa)	4 Resistência à tração na compressão (MPa)	5 Densidade (kg/m³)	6 Absorção de água (%)	7 Porosidade (%)	8 Difusão de íons cloretos	Conclusões e Observações (*)
16 Granzotto, L.; De Souza, R. A. Mechanical properties of structural concrete with partial replacement of fine aggregate by tire rubber. 2013.	Concreto	2,00	0	373		0,63	26,77			2,60					Os resultados obtidos mostram que esse material pode ser usado em estruturas como calçadas, <i>pavers</i> , guias, ciclovias, paredes e ornamentos pré-fabricados * Ensaio adotados os 28 dias.
		2,00	5	360		0,58	23,10			2,39					
		2,00	10	347		0,55	17,22			2,04					
		2,00	15	331		0,55	14,04			1,75					
		2,00	0	386		0,54	27,80			2,76					
		2,00	5	360		0,58	24,30			2,51					
		2,00	10	343		0,58	16,96			2,25					
		2,00	15	330		0,57	15,06			1,90					
		20	0			0,35	56,93	27,564	4,08		2415,1435	0,64		3,320920	
		20	5			0,35	46,88	25,879	4,19		2408,1095	0,59		3,282271	
		20	10			0,35	44,25	24,194	4,24		2390,4229	0,73		3,195870	
		20	15			0,35	43,52	22,143	4,28		2355,2581	0,5		2,946801	
		20	20			0,35	35,24	20,458	4,32		2307,1593	0,6		2,803028	
		20	25			0,35	31,38	18,993	4,39		2300,1241	0,61		2,711818	
		20	0			0,45	48,65	27,125	3,04		2386,2050	1,17		3,781611	
		20	5			0,45	37,66	25,073	3,34		2353,3154	0,87		3,697302	
17 Gupta, T.; Chaudhary, S.; Sharma, R. K. Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. 2014.	Concreto	20	10			0,45	34,50	22,876	3,41		2329,5538	0,87		3,574243	O uso de partículas de borracha de pneu como agregado no concreto mostrou resultados promissores na produção de um novo tipo de concreto com aceitáveis propriedades em condições variadas. O uso de resíduos em o concreto parece ser um método de disposição amigável, pois facilita o uso efetivo dos resíduos sólidos, minimiza a acumulação de pneus e reduz o consumo de recursos naturais. Além disso, a utilização desses resíduos produzirá um material de construção sustentável. * Ensaio de difusão de cloretos 10^{-12} m²/s). Junto com as partículas de borracha continham 10% de adição de cinza de borraça.
		20	15			0,45	32,51	20,458	3,48		2301,9837	0,93		3,432227	
		20	20			0,45	29,86	18,993	3,51		2285,8242	0,82		3,345655	
		20	25			0,45	28,45	15,843	3,58		2273,4670	1,24		3,223525	
		20	0			0,55	24,96	23,242	3,25		2358,7862	1,8		7,044927	
		20	5			0,55	37,66	21,557	3,03		2347,1883	1,38		6,939116	
		20	10			0,55	30,77	19,872	3,20		2303,6559	1,41		6,828667	
		20	15			0,55	27,91	18,040	3,27		2286,7347	1,37		6,573586	
		20	20			0,55	21,52	15,989	3,34		2266,7705	1,43		6,455407	
		20	25			0,55	21,31	14,231	3,40		2248,3308	1,47		6,289132	

Identificação	Aplicação	Tamanho da borracha (mm)	Quantidade Borracha (%)	Consumo de Cimento (kg/m³)	Adição cimentícia	Relação f_c	1 Resistência à compressão (MPa)	2 Módulo de elasticidade estático (GPa)	3 Resistência à tração na flexão (MPa)	4 Resistência à tração na compressão (MPa)	5 Densidade (kg/m³)	6 Absorção de água (%)	7 Porosidade (%)	8 Difusão de íons cloretos	Conclusões e Observações (*)
Gupta, T.; Chaudhary, S.; Sharma, R. K. Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume. 2016. Gupta, T.; Sharma, R. K.; Chaudhary, S. Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume 2015. Gupta, T.; Siddique, S.; Sharma, R. K.; Chaudhary, S. Effect of elevated temperature and cooling regimes on mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber fiber 2017.	Concreto	20	0	364.0		0.35	58.97	30.072			2512.5			3.429752	A redução do módulo de elasticidade estático e dinâmico sobre a substituição parcial do agregado fino por fibra de borracha indica maior flexibilidade. Portanto, o concreto emborrachado pode ser usado em construções para absorção de onda de choque do terremoto, fundação de máquinas, construção de pavimento rodoviário, pistas de aeroportos e barreiras de choque. A análise microestrutural mostra que existem lacunas entre a fibra de borracha e a pasta de cimento que indicam interfaces fracas levando à redução da resistência do concreto emborrachado. Com base nos resultados dos testes realizados, pode-se concluir que as fibras de borracha podem ser usadas como substituição parcial de areia para um nível de substituição de até 10% sem perda significativa de força e propriedades de durabilidade, na substituição simultânea de 10% de cimento por microsilica. * Ensaio de difusão de cloretos $10^{(-12)}$ m²/s). Relação a/c considerando (cimento + sílica). Sílica em substituição parcial ao cimento.
		20	5	364.0		0.35	48.37	26.787			2500			3.198347	
		20	10	364.0		0.35	45.50	26.527			2457.5			3.584022	
		20	15	364.0		0.35	38.47	23.329			2432.5			3.024793	
		20	20	364.0		0.35	34.73	21.599			2407.5			2.909091	
		20	25	364.0		0.35	28.43	20.389			2372.5			2.735537	
		20	0	364.0		0.45	50.43	27.478			2483			4.0854	
		20	5	364.0		0.45	39.03	21.599			2468			4.856749	
		20	10	364.0		0.45	35.87	20.648			2405			4.933884	
		20	15	364.0		0.45	30.73	19.611			2378			4.625344	
		20	20	364.0		0.45	26.93	19.092			2363			4.818182	
		20	25	364.0		0.45	23.60	18.055			2319			4.837466	
		20	0	364.0		0.55	33.70	23.847			2375			7.575758	
		20	5	364.0		0.55	27.23	20.908			2368.75			7.286501	
		20	10	364.0		0.55	24.97	20.216			2350			7.440771	
		20	15	364.0		0.55	20.13	19.179			2315			7.190083	
		20	20	364.0		0.55	17.10	18.746			2277.5			7.749311	
		20	25	364.0		0.55	15.30	17.968			2260			7.556474	
		20	0	345.8		0.35	67.2	31.715			2530			3.15978	
		20	5	345.8		0.35	56.1	29.726			2512.5			3.140496	
		20	10	345.8		0.35	52.3	28.948			2482.5			3.429752	
		20	15	345.8		0.35	45.4	26.960			2470			2.966942	
		20	20	345.8		0.35	40.3	24.798			2412.5			2.85124	
		20	25	345.8		0.35	33.3	22.896			2385			2.69697	
		20	0	345.8		0.45	56.5	29.813			2501.25			3.873278	
		20	5	345.8		0.45	44.5	25.058			2465			4.760331	
		20	10	345.8		0.45	40.8	23.847			2440			4.432507	
		20	15	345.8		0.45	35.3	21.427			2405			4.548209	
		20	20	345.8		0.45	30.4	20.648			2388.75			4.760331	
		20	25	345.8		0.45	26.9	20.043			2362.5			4.451791	
		20	0	345.8		0.55	37.1	24.193			2402.5			7.38292	
		20	5	345.8		0.55	30.5	23.501			2382.5			7.112948	
		20	10	345.8		0.55	27.7	22.291			2360			7.112948	
		20	15	345.8		0.55	22.5	21.599			2330			7.093664	
		20	20	345.8		0.55	19.1	20.216			2300			7.633609	
		20	25	345.8		0.55	17.4	19.697			2272.5			7.344353	
		20	0	327.6		0.35	75.2	32.493			2541.25			0.575758	
		20	5	327.6		0.35	64.5	30.072			2517.5			0.595041	
		20	10	327.6		0.35	59.6	29.813			2501.25			0.633609	
		20	15	327.6		0.35	53.1	27.911			2485			0.633609	
		20	20	327.6		0.35	46.7	26.787			2420			0.633609	
		20	25	327.6		0.35	37.9	25.058			2402.5			0.614325	
		20	0	327.6		0.45	62.7	30.245			2515			0.672176	
		20	5	327.6		0.45	50.7	26.787			2497.5			0.768595	
		20	10	327.6		0.45	45.7	25.490			2461.25			0.749311	
		20	15	327.6		0.45	39.2	22.378			2412.5			0.768595	
		20	20	327.6		0.45	33.1	21.686			2402.5			0.749311	
		20	25	327.6		0.45	29.9	20.994			2382.5			0.730028	
		20	0	327.6		0.55	39.7	25.317			2415			0.922865	
		20	5	327.6		0.55	33.6	24.625			2392.5			0.922865	
		20	10	327.6		0.55	29.4	23.674			2375			0.961433	
		20	15	327.6		0.55	24.5	22.032			2350			0.922865	
		20	20	327.6		0.55	20.1	22.118			2320			0.922865	
		20	25	327.6		0.55	19.1	21.945			2300			0.942149	

Identificação	Aplicação	Tamanho da borracha (mm)	Quantidade Borracha (%)	Consumo de Cimento (kg/m³)	Adição cimentícia	Relação /c	1 Resistência à compressão (MPa)	2 Módulo de elasticidade estático (GPa)	3 Resistência à tração na flexão (MPa)	4 Resistência à tração na compressão (MPa)	5 Densidade (kg/m³)	6 Absorção de água (%)	7 Porosidade (%)	8 Difusão de íons cloretos	Conclusões e Observações (*)
25	Concreto	Borracha granulada	0	350		0,50	41,8	30,9	2,82	2,98	2370				Em geral, a indústria da construção é relativamente conservadora, e mudanças nos procedimentos e políticas estabelecidos exigem estratégias a longo . A introdução de instrumentos econômicos e legais que incentivem a reciclagem dos resíduos e o uso do agregado reciclado, pode superar as barreiras tradicionais. Por exemplo, deve-se mencionar que alguns países introduziram impostos especiais e benefícios em dinheiro a favor da reciclagem como o governo dinamarquês que apresentou uma imposto sobre os resíduos que não são reciclados, mais descartados em aterros sanitários, desde 1986. Hoje, esse imposto é de cerca de 50 euros por tonelada de resíduos descartados. Infelizmente, tais taxas na Sérvia ainda não existem, mas devemos esperar, no entanto, que o caminho que a União Europeia trilhará, será em parte feita com materiais reciclados.
			10	350		0,50	13,5	17,1	1,27	1,68	1931				
			20	350		0,50	6,6	6,3	0,63	0,62	1702				
26	Concreto para pavimentação	2.36	0	333		0,35	51	24,175	4,56	2,76					Os resultados deste estudo determinaram que 30% de substituição de areia por borracha (aproximadamente 5,5% da mistura total volume) foi ótimo e produziu as propriedades frescas e endurecidas necessárias para o pavimento de concreto. * Relação água/cimentos
			10	333		0,35	36	23,506	4,25	2,83					
			20	333	Cinza volante	0,35	32	22,048	4,04	2,62					
			30	333		0,35	26	19,008	3,76	2,42					
			40	333		0,35	25	19,008	3,76	2,49					
		2.36	50	333		0,35	15	16,152	3,48	2,21					* Foram utilizados somente dados do concreto com borracha sem agregados de concreto reciclado.
27	Concreto	0,075-4,75	0	446		0,56	27,33					12,0			
			10	446		0,56	22					12,8			
		0,075-4,75	20	446		0,56	30					13,2			A resistência à abrasão melhorou com a presença de borracha no traço. *Ensaio de difusão de cloretos 10 ⁻⁴ (-12) m²/s).
28 e	Concreto	Crumb rubber	0	330		0,50	46,18							4,875	
			10	330		0,50	33,72							2,099	
			15	330		0,50	31,89							2,771	
			0	457		0,35	68,8							1,376	
			10	457		0,35	56,52							1,354	
29	Concreto	Crumb rubber	15	457		0,35	50,46							1,328	
			20	457		0,35	43,81							1,068	

Jevtić, D.; Zakić, Di.; Savić, A.
Achieving sustainability of
concrete by recycling of solid
waste materials.2012.

Kardos, A. J.; Durham, S.A.
Strength, durability, and
environmental properties of
concrete utilizing recycled tire
particles for pavement
applications. 2015

Marie, I.
Thermal conductivity of hybrid
recycled aggregate-rubberized
concrete. 2017.

Noor, N. M.; Yamamoto, D.;
Hamada, H.; Sagawa, Y.
Rubberized Concrete Durability
Against Abrasion. 2016.
Noor, N. M.; Yamamoto, D.;
Hamada, H.; Sagawa, Y.
Study on Chloride Ion
Penetration Resistance of
Rubberized Concrete Under
Steady State Condition. 2016.

Identificação	Aplicação	Tamanho da borracha (mm)	Quantidade Borracha (%)	Consumo de Cimento (kg/m³)	Adição cimentícia	Relação /c	1 Resistência à compressão (MPa)	2 Módulo de elasticidade estático (GPa)	3 Resistência à tração na flexão (MPa)	4 Resistência à tração na compressão (MPa)	5 Densidade (kg/m³)	6 Absorção de água (%)	7 Porosidade (%)	8 Difusão de íons cloretos	Conclusões e Observações (*)
30,31 e 32	Concreto seco	4-8	0	360		0,50	47,78	8,88	4,75		2422		9,04		* Temos dois traços, o primeiro é com partículas de borracha (<i>Crumb Rubber</i> - CR) e o outro é com fibras sintéticas e metálicas revestidas com borracha (FCR). O concreto com 80-100% de FCR como agregado pode ter um mercado potencial para itens pré-moldados com boa absorção de som, especialmente entre 700 e 1300 Hz (ruído do tráfego). O concreto emborrachado apresenta maior dureza de abrasão e maior resistência ao desgaste, o que permite a sua utilização para coberturas, calçadas e pavimentos. Em Medina et al. (2017) os traços de concreto apresentado com maiores quantidades de borracha também podem ter usos estruturais, especialmente com fibras. Portanto, ele pode ser usado para peças pré-moldadas, porque eles têm uma resistência à compressão e à tração na flexão considerável e, além disso, têm uma condutividade térmica de 0,34 W / m K, 45% inferior ao do concreto de referência com agregados naturais. Estas peças pré-moldadas também têm uma densidade mais baixa que permite a fabricação de peças de concreto maiores ou para melhorias térmicas de telhados planos com um ligeiro aumento de peso. Alguns desses sistemas podem alcançar uma redução de fluxos até 87% em dias claros nos climas estudados. * Teve cura de 7 dias e não fala se rompeu com 28 dias, mas foi considerado como rompido aos 28 dias.
		4-8	20	360		0,50	27,71	5,91	3,75		2264		8,97		
		4-8	40	360		0,50	17,71	3,93	2,90		2156		9,29		
		4-8	60	360		0,50	13,58	3,80	2,75		2026		9,11		
		4-8	80	360		0,50	8,60	1,06	2,05		1858		9,68		
		4-8	100	360		0,50	6,33	0,39	1,86		1742		11,54		
		4-8	0	360		0,50	47,78	8,88	4,75		2422		9,04		
		4-8	20	360		0,50	30,09	5,71	4,30		2313		9,17		
		4-8	40	360		0,50	22,84	4,63	3,43		2139		11,38		
		4-8	60	360		0,50	15,82	3,60	3,32		2032		14,01		
		4-8	80	360		0,50	9,60	2,05	3,24		1851		18,31		
		4-8	100	360		0,50	4,64	0,77	1,68		1668		21,37		
33	Pavimento de concreto	0,6-4,75	0	370		0,45	55,6	42,3	6,0		2442				*Foram utilizados somente dados das tabelas (médias) para evitar erros entre dados extraídos de gráficos e dos de tabelas. Resultados utilizados sem o tratamento da borracha. Os resultados revelaram que a resistência do concreto foi reduzida tanto no concreto de borracha com ou sem tratamento. Contudo, utilizando o método otimizado de tratamento com hidróxido de sódio, o concreto emborrachado preparado teve um menor redução de força. Observou-se que a melhoria foi mais significativa para a resistência à compressão do que a resistência à tração na flexão.
		0,6-4,75	20	370		0,45	27,0	34,4	4,6		2296				
		0,6-4,75	0	370		0,40	63,0	46,5	6,9		2426				
		0,6-4,75	30	370		0,40	27,4	33,6	4,7		2245				
		0,6-4,75	30	370		0,40	27,4	33,6	4,7		2245				

Identificação	Aplicação	Tamanho da borracha (mm)	Quantidade Borracha (%)	Consumo de Cimento (kg/m³)	Adição cimentícia	Relação f_c	1 Resistência à compressão (MPa)	2 Módulo de elasticidade estático (GPa)	3 Resistência à tração na flexão (MPa)	4 Resistência à tração na compressão (MPa)	5 Densidade (kg/m³)	6 Absorção de água (%)	7 Porosidade (%)	8 Difusão de íons cloretos	Conclusões e Observações (*)
Mohammed, B. S.; Azmi, N. J. Strength reduction factors for structural rubbercrete. 2014.	Concreto	0,05-0,6	0	556,1		0,41	35,5	36	9,8	4,8					1) O concreto contendo borracha atinge uma mistura viável em termos de facilidade de manuseamento, colocação e acabamento, em comparação ao convencional. 2) O peso unitário do concreto com borracha diminui à medida que o conteúdo de borracha aumenta, devido ao aumento do conteúdo de ar dentro da mistura e menor densidade de borracha. 3) A tendência da borracha de repelir a água e aprisionar o ar leva a uma redução na resistência do concreto com borracha em relação ao concreto convencional. 4) Modelos de fatores de redução (RFs) para resistência à compressão, resistência à tração na flexão, resistência à tração na compressão e o módulo de elasticidade para o concreto como a substituição ao agregado fino pelo volume de borracha (rubbercrete) foi desenvolvido e testado estatisticamente.
		0,05-0,6	10	556,1		0,41	25,7	22	7,6	4,4					
		0,05-0,6	15	556,1		0,41	21,2	16	5,8	3,2					
		0,05-0,6	20	556,1		0,41	18,2	12	5,2	2,8					
		0,05-0,6	30	556,1		0,41	14,3	10	4,9	2,4					
		0,05-0,6	0	400		0,57	29,56	31	8	3,8					
		0,05-0,6	10	400		0,57	20,21	22	6,5	2,8					
		0,05-0,6	15	400		0,57	17,5	14	5,3	2,3					
		0,05-0,6	20	400		0,57	14,5	12	4,9	2,2					
		0,05-0,6	30	400		0,57	11,13	8	3,8	2					
		0,05-0,6	0	335,29		0,68	23,4	23	7,2	3					
		0,05-0,6	10	335,29		0,68	18,2	15	4,8	2,4					
		0,05-0,6	15	335,29		0,68	15,6	13	4,4	2,1					
		0,05-0,6	20	335,29		0,68	12,43	9	3,9	2					
		0,05-0,6	30	335,29		0,68	10,5	7	3	1,8					
		0,05-0,6	0	592,68		0,41	44,3	30	9	4					
		0,05-0,6	10	592,68		0,41	34,21	27	7	3,5					
		0,05-0,6	15	592,68		0,41	24,56	23	5,3	2,5					
		0,05-0,6	20	592,68		0,41	22,19	21	4,8	2,3					
		0,05-0,6	30	592,68		0,41	18,56	16	4,2	2,1					
		0,05-0,6	0	426,32		0,57	36,5	26	7,5	2,9					
		0,05-0,6	10	426,32		0,57	26,2	17	6	2,4					
		0,05-0,6	15	426,32		0,57	21,74	14	4,8	2,1					
		0,05-0,6	20	426,32		0,57	18,45	12	4,3	2					
		0,05-0,6	30	426,32		0,57	12,3	9,7	3,3	1,7					
		0,05-0,6	0	357,35		0,68	30,12	20	6,5	2,6					
		0,05-0,6	10	357,35		0,68	19,39	15,2	4,4	2					
		0,05-0,6	15	357,35		0,68	17,24	10,3	4	1,8					
		0,05-0,6	20	357,35		0,68	15,5	8,5	3,5	1,7					
		0,05-0,6	30	357,35		0,68	11,1	6	2,5	1,4					
		0,05-0,6	0	629,27		0,41	48,1	23	6,8	3,4					
		0,05-0,6	10	629,27		0,41	37,2	12	4,2	2,4					
		0,05-0,6	15	629,27		0,41	27,1	11	3,8	2,2					
		0,05-0,6	20	629,27		0,41	24,5	10	3,4	1,8					
		0,05-0,6	30	629,27		0,41	20,1	7	2,8	1,6					
		0,05-0,6	0	452,63		0,57	40,1	22	5,4	2,5					
		0,05-0,6	10	452,63		0,57	28,8	11	3,5	1,9					
		0,05-0,6	15	452,63		0,57	23,2	9	3,2	1,6					
		0,05-0,6	20	452,63		0,57	20,1	8	2,8	1,4					
		0,05-0,6	30	452,63		0,57	14,3	7	2,2	1,2					
		0,05-0,6	0	379,41		0,68	34,2	16	4,8	2					
		0,05-0,6	10	379,41		0,68	22,5	9	2,8	1,6					
		0,05-0,6	15	379,41		0,68	19,6	7	2,6	1,4					
		0,05-0,6	20	379,41		0,68	17,1	6	2,2	1,2					
		0,05-0,6	30	379,41		0,68	13,4	4	1,8	1					

Identificação	Aplicação	Tamanho da borraça (mm)	Quantidade Borraça (%)	Consumo de Cimento (kg/m³)	Adição cimentícia	Relação f_c	1 Resistência à compressão (MPa)	2 Módulo de elasticidade estático (GPa)	3 Resistência à tração na flexão (MPa)	4 Resistência à tração na compressão (MPa)	5 Densidade (kg/m³)	6 Absorção de água (%)	7 Porosidade (%)	8 Difusão de íons cloretos	Conclusões e Observações (*)
35	Concreto	1,18 - 2,36	0	430		0,47	41,2	33,0			2402				* Dados utilizados apenas dos traços com borraça.
		1,18 - 2,36	5	430		0,47	34,9	29,9			2371				
		1,18 - 2,36	10	430		0,47	33,1	28,4			2349				
36	Concreto	1,18 - 2,36	15	430		0,47	29,9	26,9			2328				A utilização de agregados de borraça de pneus na produção de concreto pode ser considerada uma solução para o problema dos pneus dispostos em áreas remotas ou povoadas, sendo uma contribuição para um ambiente limpo e desenvolvido alcançando assim a sustentabilidade.
		0,3-2,36	0	430		0,49	44,5	35,55	4,59	3,79					
		0,3-2,36	5	430		0,49	38,7	31,44	4,26	3,30					
		0,3-2,36	10	430		0,49	33,7	29,40	4,07	3,20					
		0,3-2,36	15	430		0,49	32,5	25,80	3,92	3,10					
37	Concreto	0,3-2,36	20	430		0,49	29,3	22,02	3,69	2,90					A utilização de agregados de borraça a partir de pneus reciclados proporciona a redução das ameaças ambientais causadas por resíduos de pneus, a introdução de uma fonte alternativa de agregados no concreto e contribuindo também para reduzir o custo de isolamento térmico.
		0,3-2,36	25	430		0,49	23,4	19,58	3,45	2,50					
		0,75-4,75	0	315		0,48	48,0				2288		8,4		
		0,75-4,75	10	315		0,48	42,1				2248		9,22		
		0,75-4,75	20	315	Microsilica	0,48	30,6				2149		11,49		
38	Concreto	0,75-4,75	30	315		0,48	19,3				2036		12,33		Os resultados deste estudo sugerem que o concreto de resistência normal (convencional) contendo borraça pode ser produzido. Assim, o futuro da reciclagem em grande escala de pneus como agregado fino em concreto é promissor, o que inevitavelmente provocará enormes benefícios ambientais e de sustentabilidade.
		0,75-4,75	40	315		0,48	9,73				1877		14,33		
		0,75-4,75	50	315		0,48	4,93				1646		16,51		
		0,75 - 2,3	0	375		0,48	40,4	38,6		3,5	2402	5,56	12,85		
		0,75 - 2,3	5	375		0,48	37,6	33,0		3,3	2360	6,09	13,67		
39	Concreto	0,75 - 2,3	10	375		0,48	34,8	30,8		3,1	2340	6,29	14,07		A borraça de pneu reciclado provou ser um excelente agregado para uso em concreto. Bons resultados foram obtidos com as combinações do tratamento químico por hidróxido de sódio seguido pelo adição de 15% de sílica. Isso pode resultar em uma recuperação da resistência especificamente para uma resistência à compressão de 50 MPa (mesmo resistência como o concreto de referência). Os concretos com estas características permitem a aplicação de estruturas leves com resistência satisfatória (referência de 20 MPa) e um baixo consumo de cimento (260 kg/m³) para a produção de painéis para edifícios. Além disso, há o potencial para melhorar a eficiência energética nas fachadas, reduzindo assim a energia consumida de ar condicionado. * Dados utilizados da borraça sem tratamento.
		0,75 - 4,75	0			0,40	55,3	43,5			2384				
		0,75 - 4,75	10			0,40	18,2	21,2			2056				
		0,75 - 4,75	0			0,45	46,5	41,6			2378				
		0,75 - 4,75	10			0,45	16,9	23,6			2116				
40	Concreto	0,75 - 4,75	0			0,60	32,6	36,8			2355				* relação a/cimentos
		0,75 - 4,75	10			0,60	8,14	15,8			1358				
		0,75 - 4,75	30	379,501	Metacaolim	0,51	39,09				2312,0	4,46			
40	Concreto	1,01-1,32	0	379,501		0,51	39,09				2312,0	4,46			* relação a/cimentos
		1,01-1,32	30	379,501	Metacaolim	0,51	21,23				1989,4	6,23			

Identificação	Aplicação	Tamanho da borracha (mm)	Quantidade Borracha (%)	Consumo de Cimento (kg/m ²)	Adição cimentícia	Relação /c	1 Resistência à compressão (MPa)	2 Módulo de elasticidade estático (GPa)	3 Resistência à tração na flexão (MPa)	4 Resistência à tração na compressão (MPa)	5 Densidade (kg/m ³)	6 Absorção de água (%)	7 Porosidade (%)	8 Difusão de íons cloretos	Conclusões e Observações (*)
41	Su, H.; Yang, J.; Ling, T.; Ghataora, G. S.; Dirar, S. Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes. 2015.	0,6-3	0	632		0,37	61,1		6,98	3,60					As descobertas deste artigo podem ser benéficas para a indústria de reciclagem de pneus na concepção da distribuição de tamanho da borracha usada para agregados reciclados. Por exemplo, as partículas de borracha com tamanhos bem graduados são melhores na trabalhabilidade e a resistência à permeabilidade da água do concreto com borracha. Na prática, deseja-se que seja feita a classificação de borracha nas indústrias de processamento de resíduos de pneus, o que pode economizar tempo e custo de capital. Além disso, é provável que o desempenho dinâmico dos produtos de concreto de borracha seja importante. Com uma natureza altamente resiliente, partículas de borracha de diferentes tamanhos têm um efeito mais positivo no desempenho dinâmico quando incluído no concreto.
		0,6-3	20	627		0,37	54,6		6,09	3,20					
		0,6-0,5	0	632		0,37	61,1		6,98	3,60					
		0,6-0,5	20	621	Cinza Volante	0,37	55,2		6,19	3,30					
42	Sukontasukkul, P.; Chaikaew, C. Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. 2006.	<3,36	0			0,33	36,00				2218				É possível fabricar blocos de concreto por processos manufaturados contendo borracha até cerca de 20%, em peso. Os blocos resultantes, embora não tão resistentes quanto os referências são mais leves e parecem ser mais flexível com melhor absorção de energia.
		<3,36	10			0,35	19,96				2015				
		<3,36	20			0,39	5,58				1683				
		<0,84	0			0,33	36,00				2218				
43	Thomas, B. S.; Gupta, R. C.; Kalla, P.; Csetenyi, L.; Strength, abrasion and permeation characteristics of cement concrete ra;containing discarded rubber fine aggregates. 2014; Thomas, B. S.; Gupta, R. C. Long term behaviour of cement concrete containing discarded tire rubber. 2015. Thomas, B. S.; Gupta, R. C.; Panicker, V. J. Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: durability-related performance. 2016.	<0,84	20			0,47	5,40				1737				O concreto emborrachado pode ser recomendado para a construção de pavimentos, obras estruturais (até 7,5% de substituição) e obras não estruturais. A borracha pode ser utilizada para a substituição parcial agregados finos naturais até 20%, nas áreas onde a resistência à compressão não é muito importante. Resistência à compressão acima de 30 N/mm ² foi obtido para as misturas contendo até 12,5% de borracha. Melhores resistência à absorção de água e à carbonatação foram observadas nos traços contendo até 12,5% de borracha. Então, pode-se concluir que existe um futuro promissor para a reciclagem de borracha de pneu descartada como substituto parcial de agregados finos em concreto, o que pode resultar em grandes benefícios ambientais de sustentabilidade. O concreto emborrachado é altamente resistente aos ambientes agressivos e pode ser implementado nas áreas onde há possibilidades de ataque ácido sulfúrico.
		0,15-4,75	0	388		0,40	42,5		5,32			1,15	6,6		
		0,15-4,75	2,5	388		0,40	41,0		5,20			1,14	10,2		
		0,15-4,75	5	388		0,40	37,5		5,01			1,14	10,1		
		0,15-4,75	7,5	388		0,40	37,0		4,80			1,13	11,9		
		0,15-4,75	10	388		0,40	33,5		4,56			1,14	11,9		
		0,15-4,75	12,5	388		0,40	30,0		4,48			1,14	10,4		
		0,15-4,75	15	388		0,40	25,0		4,16			1,15	14,3		
		0,15-4,75	17,5	388		0,40	23,3		4,04			1,16	14,9		
		0,15-4,75	20	388		0,40	20,0		4,00			1,19	18,2		
		0,15-4,75	0	388		0,45	39,0		5,28			1,17	8,1		
		0,15-4,75	2,5	388		0,45	38,0		5,32			1,16	10,5		
		0,15-4,75	5	388		0,45	33,0		5,06			1,15	10,9		
		0,15-4,75	7,5	388		0,45	30,5		4,94			1,15	13,1		
		0,15-4,75	10	388		0,45	27,5		4,65			1,16	12,0		
		0,15-4,75	12,5	388		0,45	25,0		4,52			1,16	12,4		
		0,15-4,75	15	388		0,45	21,5		4,24			1,16	17,5		
44		0,15-4,75	17,5	388		0,45	21,5		4,04			1,17	19,2		
45		0,15-4,75	20	388		0,45	20,0		4,00			1,2	19,9		
		0,15-4,75	0	388		0,50	36,5		5,12			1,19	11,0		
		0,15-4,75	2,5	388		0,50	33,7		5,08			1,18	12,5		
		0,15-4,75	5	388		0,50	30,7		4,96			1,17	14,0		
		0,15-4,75	7,5	388		0,50	29,3		4,70			1,18	11,9		
		0,15-4,75	10	388		0,50	24,0		4,36			1,19	13,6		
		0,15-4,75	12,5	388		0,50	21,3		4,20			1,19	15,4		
		0,15-4,75	15	388		0,50	18,3		4,16			1,21	19,5		
		0,15-4,75	17,5	388		0,50	17,5		4,00			1,21	18,6		
		0,15-4,75	20	388		0,50	17,0		3,76			1,22	22,7		