XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente ‘
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise do uso de concreto com incorporação de pó de borracha: uma revisão da literatura

Analysis of the use of concrete with incorporation of rubber powder: a literature review

Luis Fernando Barbosa Mercado
Universidade Federal da Grande Dourados | Dourados-MS | Brasil | luis.mercado057@academico.ufgd.edu.br
Christian Souza Barboza
Universidade Federal da Grande Dourados | Dourados-MS | Brasil | christianbarboza@ufgd.edu.br

Resumo
Este trabalho analisou bibliografias acerca do desempenho físico-mecânico de concretos com incorporação do pó de borracha de pneu (PBP). Para isso, foi realizada uma revisão da literatura, levantando-se os dados sobre os traços utilizados, normas técnicas adotadas e propriedades aferidas. Os resultados obtidos mostraram uma queda na resistência mecânica e um leve aumento na capacidade de absorção de água para as misturas com adição de PBP. O concreto utilizando uma dosagem entre 2,5% e 5% de PBP em adição ou substituição do agregado miúdo apresentou os melhores resultados quanto ao seu desempenho físico-mecânico.

Palavras-chave: Reciclagem de pneu; Pó de borracha; Concreto mais sustentável; revisão da literatura.

Abstract
This manuscript analysed bibliographies about the physical-mechanical performance of concretes with the incorporation of tire rubber powder (TRP). For this, a review of the literature was carried out, collecting data on the traits used, technical standards adopted and properties measured. The results obtained showed a decrease in mechanical strength and a slight increase in water absorption capacity for the mixtures with the addition of TRP. The concrete using a dosage between 2.5% and 5% of TRP in addition or replacement of the fine aggregate presented the best results in terms of its physical-mechanical performance.

Keywords: Tire recycling; Rubber powder; More sustainable concrete; literature review

MERCADO, L. F. B. BARBOZA. C S. Análise do uso de concreto com incorporação de pó de borracha: Uma revisão da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de abrigo fora das cavernas naturais fez com que a humanidade buscasse materiais apropriados para lhes fornecer segurança e qualidade de vida [1]. A busca pela construção de edificações nos acompanha desde os primórdios da civilização, sendo a primeira composição de argamassa a mistura de barro com água, os assírios e babilônios usavam a argila como material ligante, e posteriormente, passaram a utilizar a argamassa de cal [2].

Algo que se manteve no emprego de materiais cimentícios desde a criação do primeiro concreto até o concreto que temos hoje é o preocupante consumo de recursos naturais, entre os quais estão os agregados minerais, utilizados frequentemente na produção de argamassas, concretos e na fabricação de cimento. A exploração das jazidas desses agregados resulta na escassez de matéria-prima natural e ainda na degradação do meio ambiente [3]. Os resíduos gerados pela construção civil interferem no meio ambiente, na sociedade pelas atividades humanas na cadeia de reciclagem e na economia quando geram emprego e renda [4].

A reciclagem e a reutilização de materiais são técnicas que reduzem a quantidade de resíduos direcionados aos aterros sanitários, pois os materiais que são reciclados ou reutilizados podem ser reinseridos em processos que possibilitam o fechamento de um ciclo [5]. O ato de utilizar novamente materiais que seriam descartados pode auxiliar na redução do consumo de recursos naturais, pois objetos que seriam jogados fora podem ser reutilizados com uma proposta diferente da inicial [6].

Seguindo a linha de tentar diminuir o despejo de resíduos no meio ambiente, surge a possibilidade de utilizar a construção civil como meio para reciclar resíduos de outras áreas, como por exemplo o pneu [1]. Segundo [7], um pneu leva em torno de 600 anos para se decompor quando descartado incorretamente na natureza. Quando dispostos em locais inadequados contribuem para o acúmulo de animais e insetos, sendo foco de doenças, causando também um constante risco de incêndio, além de contaminar o solo [8]. De acordo com a Resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA [9], é delegado aos fabricantes a responsabilidade pelo destino final do montante de pneus descartados.

A falta de alternativas para o reaproveitamento econômico do pneu só aumenta o acúmulo em beiras de estradas, rios, lixões ou então largados ao céu aberto. Para evitar este acúmulo torna-se uma prática comum à sua queima à céu aberto, proibida por lei, pois libera dióxido de enxofre na atmosfera, poluindo o ar, além de liberar cerca de 10 litros de óleo no solo que percola até atingir o lençol freático [10].

Segundo [11], o elastômero mais utilizado na confecção de pneus é o copolímero butadieno-estireno (SBR), contendo 25%, em peso, de estireno. Outros componentes usados na fabricação dos pneus são por exemplo o poli cis-isopreno, sendo esse a borracha natural, o poli trans-isopreno, sendo essa a borracha sintética e o poli cis-butadieno.

Existem diferentes técnicas para a trituração da borracha, o que pode gerar tamanhos variados para o resíduo de borracha, no qual o tamanho utilizado frequentemente seja

entre 2 e 4 mm por ser utilizado como material substituto de agregados finos e graúdos [12]. A Figura 1 mostra o resíduo da borracha de pneu e é possível observar suas variações de grânulos.

Figura 1 – Resíduo da borracha de pneu



Fonte: os autores.

Para a utilização do resíduo de borracha na confecção de concreto, o material pode ser inserido como agregado miúdo, como apresentado nos trabalhos de [13], [14] e [15], como agregado graúdo como mostrado no trabalho de [16], e existem trabalhos em que o pneu foi moído e peneirado para substituir parcialmente o cimento como visto em [17].

Com o emprego de concreto com adição de borracha o material acaba tendo algumas propriedades melhoradas, tal como o aumento da capacidade de deformação sem o aparecimento de fissuras. Porém, com o lado negativo de haver uma diminuição real na resistência mecânica à compressão. Não há um consenso de que as resistências à abrasão de concretos e argamassas sejam ampliadas com a adição de borracha, o material desempenha um valor aproximadamente igual ou menor que em dosagens similares de concreto convencional [18]. Segundo [14], as fibras de borracha atuam como obstáculos para a propagação de fissuras, pois a ruptura de corpos de concreto se dá mediante o surgimento de trincas que comprometem a sua capacidade de suportar esforços.

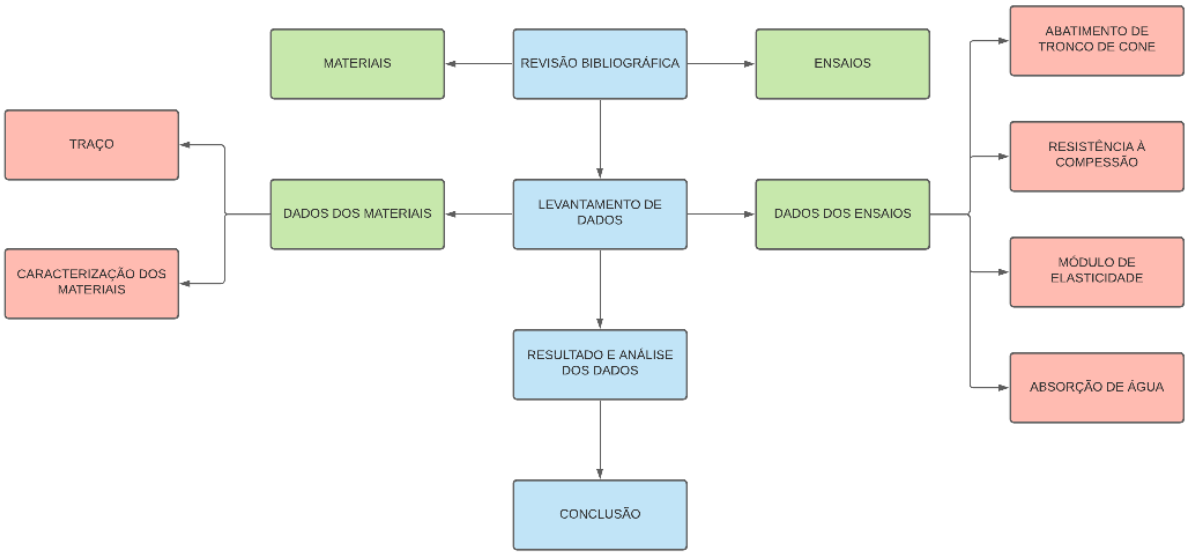
Neste sentido, este trabalho foi produzido com o intuito de revisar as características físicas e mecânicas de concretos produzidos com resíduo de borracha obtida de pneus usados, analisando a possibilidade de sua aplicação como agregado em concretos não estruturais, ao adicionar ou substituir gradativamente algum agregado, através de um comparativo entre trabalhos.

2 MÉTODO

Para definir a dosagem e analisar as propriedades mecânicas, consistência e fluidez do concreto foi realizada uma revisão da literatura utilizando trabalhos que abordaram a

incorporação do pó de borracha no concreto. A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas utilizadas para a confecção do presente trabalho, no qual consiste em traçar os dados obtidos na revisão realizada e com isso obter valores satisfatórios.

Figura 2 – Fluxograma de etapas do trabalho



Fonte: os autores.

A revisão iniciou-se com a procura e leitura de artigos relacionados à incorporação do resíduo da borracha de pneu no concreto, procurando saber os materiais utilizados e os métodos adotados para definir o resistência físico-mecânico destes materiais e do concreto em seu estado fresco e endurecido. A pesquisa pelos trabalhos se deu através do Portal de Periódicos da CAPES acessando o setor de comunidade acadêmica federada (CAFe), utilizando palavras-chaves como “pó de borracha”, “rubber poder”, “concreto sustentável”, “concreto com adição de pó de borracha”, “concrete with rubber powder".

Com a leitura dos trabalhos foi registrado os dados relacionados aos materiais e métodos utilizados na confecção do concreto. Para facilitar a análise, esse registro dos dados dos materiais usados foi dividido entre a caracterização dos agregados e o traço apresentado pelos trabalhos. Os ensaios comumente utilizados nos trabalhos analisados na revisão bibliográfica foram o de distribuição granulométrica, massa específica e unitária.

Com o mesmo propósito de facilitar, a análise dos dados levantados sobre os ensaios adotados dividiu-se entre a trabalhabilidade do concreto, seu desempenho mecânico e sua capacidade de absorção de água.

Após o levantamento sobre os materiais e ensaios adotados pelos trabalhos estudados, inicia-se a fase de análise dos dados obtidos pelos ensaios e por meio de um método comparativo, através de Quadros e Tabelas, verifica-se o concreto que apresenta os melhores resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados levantados na revisão dos trabalhos foi possível analisar se o concreto produzido é viável para utilização. O Quadro 1 apresenta os agregados utilizados para a produção do concreto de acordo com seus respectivos autores.

Quadro 1 – Agregados para confecção do concreto

AUTORES	CIMENTO	AREIA	BRITA
[14]	CP II-F-40	Areia natural	Seixo de origem quartzosa
[13]	CP II E-32	Areia natural	
[15]	CP II-Z-32	Média	Brita #1
[19]	CPV-ARI	Areia natural	Pedrisco de basalto
[20]	CEM I 42.5 N		
[21]	CEM I 42.5 R	Areia Siliciosa	
[16]	CEM II-52.5 N	Areia média lavada	Cascalho lavado
[22]	CEM II-52.5 N	Areia lavada	Cascalho lavado
[23]		Areia lavada	Pedra de Dolomita

Fonte: (Adaptado de [14]; [13]; [15]; [19]; [20]; [21]; [16]; [22]; [23]).

Como é mostrado no Quadro 1 observa-se que trabalhos brasileiros como [14], [13] e [15] tiveram preferência em utilizar o cimento Portland composto (CP II) na produção do concreto e que a areia lavada foi um agregado comumente utilizado pelos trabalhos.

O Quadro 2 mostra o traço dos concretos produzidos e os respectivos autores do trabalho.

Quadro 2 – Traço do concreto com resíduo de borracha de pneu

AUTORES	TRAÇO				
[14]	(1:1,17:2,74) sem adição	(1:1,17:2,74) com adição de 6%	(1:1,17:2,74) com adição de 9 %	------	------
[13]	(1:2, 11:3, 10:0,57) sem adição	(1:2, 11:3, 10:0,57) com adição de 5%	(1:2, 11:3, 10:0,57) com adição de 10%	(1:2, 11:3, 10:0,57) com adição de 15%	------
[15]	(1:2:3) sem adição	(1:2:3) com adição de 5%	(1:2:3) com adição de 10%	(1:2:3) com adição de 15%	------
[19]	(1:2:3) sem adição	(1:2:3) com adição de 8%	(1:2:3) com adição de 10%	(1:2:3) com adição de 12%	(1:2:3) com adição de 15%

Fonte: (Adaptado de [14]; [13]; [15] e [19]).

A partir destes estudos (Quadro 2) é possível observar o traço adotado pelos autores e a dosagem do resíduo de borracha que irá substituir o agregado especificado pelo trabalho em questão, seja no agregado fino ou graúdo. Os traços utilizados por [14] e [19] encontram-se em volume, enquanto os traços de [13], [15] encontram-se em massa.

O Quadro 3 mostra a dosagem do resíduo de borracha que irá substituir o agregado especificado pelo trabalho em questão, seja no agregado miúdo ou graúdo. Diferente do Quadro 2, estes autores não especificaram os traços adotados.

Quadro 3 – Dosagens do resíduo de borracha de pneu no concreto

AUTORES	DOSAGENS								
[20]	sem adição	5%	10%	20%	------	------	------	------	------
[21]	sem adição	20%	40%	60%	80%	100%	------	------	------
[24]	sem adição	2,5%	5,0%	7,5%	10,0%	12,5%	15,0%	17,5%	20,0%
[25]	sem adição	5,0%	10,0%	15,0%	20,0%	30,0%	------	------	------
[26]	sem adição	10,0%	15,0%	20,0%	25,0%	30,0%	35,0%	40,0%	------
[16]	sem adição	20,0%	40,0%	60,0%	------	------	------	------	------
[22]	sem adição	30,0%	60,0%	------	------	------	------	------	------
[23]	sem adição	10,0%	20,0%	30,0%	40,0%	50,0%	------	------	------
[27]*	sem adição	20%a	20%b	20%c	20%d	------	------	------	------
[28]	sem adição	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	------	------	------	------

[27]* utilizou quatro partículas de tamanhos diferentes de pó de borracha, adotando em cada traço 20% de uma porção diferente de pó de borracha (tamanho "a", tamanho "b", tamanho "c" e tamanho "d".

Fonte: (Adaptado de [20]; [21]; [24]; [25]; [26]; [16]; [22]; [23]; [27]; [28]).

3.1 REVISÃO DOS ENSAIOS

Os trabalhos estudados na revisão bibliográfica são de autores de lugares distintos e com isso os estudos apresentam diferentes normas técnicas para analisar as mesmas características, como mostrado nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4 – Normas técnicas utilizadas para caracterização dos agregados

Autores	Composição granulométrica	Massa específica do agregado miúdo	Massa específica do agregado graúdo	Massa unitária dos agregados	Massa específica do resíduo de borracha	Massa unitária do resíduo de borracha
[14]	ABNT NBR NM 248 (2003)	ABNT NBR NM 52 (2009)	ABNT NBR NM 53 (2009)	ABNT NBR 45 (2006)	ASTM C 792 (2015)	ABNT NBR 45 (2006)
[13]	ABNT NBR NM 248 (2003)	ABNT NBR NM 52 (2009)	ABNT NBR NM 53 (2009)	ABNT NBR 45 (2006)		
[15]	ABNT NBR 7211 (2009a)	ABNT NBR NM 52 (2009)		ABNT NBR 45 (2006)		
[16]	ASTM-C136	EN 1097-6	EN 1097-6	EN 1097-6		

Fonte: (Adaptado de [14]; [13]; [15] e [16]).

O Quadro 4 apresenta as normas utilizadas para a caracterização dos agregados de acordo com seus respectivos autores. Apenas [14] informou no trabalho as normas utilizadas para caracterização do resíduo de borracha. O Quadro 5 apresenta as normas utilizadas para a caracterização do concreto de acordo com seus respectivos autores.

Quadro 5 – Normas técnicas utilizadas para caracterização do concreto

Autores	Abatimento do tronco de cone (*Slump test*)	Compressão Axial	Resistência à tração na flexão	Módulo de Elasticidade do Concreto	Absorção de água
[14]	ABNT NBR NM 67 (1998)	ABNT NBR 5739 (2007)	ASTM C 293 (2016)		
[13]	------	ABNT NBR 5739 (2007)	-------	ABNT NBR 8522 (2008)	
[19]		ABNT NBR 9780 (1987a)			ABNT NBR 12118 (2007)
[29]	BS 1881-102 (1993);BS 1881-103 (1993)	BIS 516 (1959)		ASTM C469 (1994)	DIN 1048 (1991)
[21]	UNE-EN 12350-3 (2009)	UNE-EN 12390-4 (2001)			
[30]		GB/T 50081-2002		GB/T 50081-2002	
[26]	EN 206-1-2008	EN 12390-3 / EN 772-1			
[16]	EN 13877-1/BS EN 206-1	EN 12390-3			EN 1097-6
[22]	EN 12350-2	EN 12390-3:2009			
[27]	BS EN 12350-2	BS EN 12390-3			BS 1881-208

Fonte: (Adaptado de [14]; [13]; [19]; [29]; [21]; [30]; [26]; [16]; [22]; [27]).

Como é visto no Quadro 5, poucos trabalhos se preocupam em ensaiar a resistência à tração do concreto. É possível observar que poucos trabalhos produzidos no brasil procuram ensaiar o módulo de elasticidade e a capacidade de absorção do concreto.

3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

A trabalhabilidade do concreto é definida através do ensaio de abatimento de tronco de cone de concreto, seguindo os critérios da NBR 16889 [31]. O Quadro 5 apresenta a norma que cada autor(a) seguiu para realizar o ensaio, sendo que [24] não informou em seu trabalho qual norma foi utilizada. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco pelos trabalhos estudados.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de abatimento de tronco (mm)

Autores	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6
[14]	55	40	25	------	------	------
[24]	75	61	36	18	10	5
[27]	95	79	73	71	83	------

Fonte: (Adaptado de [14]; [24] e [27]).

Como apresentado na Tabela 1, o ensaio de abatimento de tronco do concreto com a incorporação do pó de borracha apresenta uma queda de consistência e fluidez em comparação do concreto de agregado comum. No trabalho de [24] foi utilizado dosagens diferentes para o ensaio em relação ao mostrado pelo Quadro 3, as dosagens foram de 0%, 20%, 30%, 40%, 60%, 80% e 100%, respectivamente. [27] apresenta a mesma dosagem de resíduo de borracha para cada traço, porém com grânulos de tamanhos diferentes.

A fluidez do concreto com a incorporação do resíduo de borracha de pneu decai cada vez que é aumentado a porcentagem de substituição do resíduo no concreto, como mostrado pela Tabela 2.

Tabela 2 – Perda de fluidez do concreto com pó de borracha em relação ao concreto referência (%)

Autores	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6
[14]	27,27	54,55	------	------	------
[24]	18,67	52,00	76,00	86,67	93,33
[27]	16,84	23,16	25,26	12,63	------

Fonte: (Adaptado de [14]; [24] e [27]).

Uma solução para a correção do efeito de diminuição da trabalhabilidade do concreto seria o emprego de aditivo plastificante à mistura. Outra opção seria a adequação do procedimento de pré-molhagem dos agregados reciclados [32].

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

A resistência do concreto é influenciada por muitos aspectos, como por exemplo, a relação entre água e cimento, pela granulometria, textura, resistência, rigidez e dimensão máxima dos agregados. Para qualquer relação água/cimento, a resistência depende do grau de hidratação e propriedades físicas e químicas do cimento e da temperatura na qual ocorre a hidratação [33].

Nos trabalhos estudados, as caracterizações mecânicas do concreto foram mais voltadas à análise da resistência a compressão do concreto e pouco focadas na resistência a tração e ao módulo de elasticidade. Com a revisão dos trabalhos foi elaborada a Tabela 3 que mostra os resultados do ensaio de acordo com seu autor(a) e traço.

Tabela 3 – Média dos resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias (MPa)

Autores	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6	Traço 7	Traço 8	Traço 9
[14]	50,3	42,7	41,6	------	------	------	------	------	------
[13]	17,6	16,3	15,2	14,1	------	------	------	------	------
[15] (C20)	26,77	23,1	17,22	14,04	------	------	------	------	------
[15] (C25)	27,8	24,3	16,96	15,06	------	------	------	------	------
[19]	26,31	23,25	20,09	19,15	15,21	------	------	------	------
[20] 2/4*	62,5	43,6	33,7	20	------	------	------	------	------
[20] 4/6*	62,5	55,2	39,7	24,2	------	------	------	------	------

[21]	47,78	27,71	17,71	13,58	8,6	6,33	------	------	------
[24]	75	73,8	71,3	70	68,5	60	51,3	44,3	33,3
[23]	64,4	50,7	40	29,4	24,1	21,6	------	------	------
[27]	61,1	54,6	55,2	55,3	55,1	------	------	------	------
[28]	34,3	33	30,3	29,1	28,2	------	------	------	------

*Duas frações de diferentes tamanhos de grânulo 2/4 e 4/6.

Fonte: (Adaptado de [14]; [13]; [15]; [19]; [20]; [21]; [24]; [23]; [27]; [28]).

A partir dos estudos analisados identificou-se que dosagens com porcentagens de substituições nas faixas de 2,5% e 5% proporcionam resultados mais satisfatórios. Comparando-se a resistência à compressão obtida no concreto piloto apresentado pela Tabela 3, no qual não há a substituição ou adição do resíduo de borracha no concreto, com os demais concretos que incorporam o resíduo (Quadros 4 e 5), foi produzido a Tabela 4 que mostra a perda de resistência à compressão em relação a dosagem escolhida pelos autores dos trabalhos.

Tabela 4 – Perda de resistência à compressão do concreto (%)

Autores	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6	Traço 7	Traço 8	Traço 9
[14]	15,11	17,30	------	------	------	------	------	------
[13]	7,39	13,64	19,89	------	------	------	------	------
[15] (C20)	13,71	35,67	47,55	------	------	------	------	------
[15] (C25)	12,59	38,99	45,83	------	------	------	------	------
[19]	11,63	23,64	27,21	42,19	------	------	------	------

[20] 2/4*	30,24	46,08	68,00	------	------	------	------	------
[20] 4/6*	11,68	36,48	61,28	------	------	------	------	------
[21]	42,01	62,93	71,58	82,00	86,75	------	------	------
[24]	1,6	4,93	6,67	8,67	20	31,6	40,93	55,6
[23]	21,27	37,89	54,35	62,58	66,46	------	------	------
[27]	10,64	9,66	9,49	9,82	------	------	------	------
[28]	3,79	11,66	15,16	17,78	------	------	------	------

*Duas frações de diferentes tamanhos de grânulo 2/4 e 4/6.

Fonte: (Adaptado de [14]; [13]; [15]; [19]; [20]; [21]; [24]; [23]; [27]; [28]).

Dos trabalhos estudados [24] foi a que produziu concreto com a menor dosagem de resíduo de borracha de pneu e foi a que apresentou a menor perda de resistência. [34] estudou a incorporação do resíduo de borracha substituindo em 2,5% o cimento ao invés do agregado fino como [24], porém apresentou uma perda de resistência de 28%.

Como é possível verificar-se na Tabela 5, poucos trabalhos abordaram o ensaio para verificar o módulo de elasticidade do concreto.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade do concreto (GPa)

Autores	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6
[13]	20,8	19,4	18,2	15,0	------	------
[23]	52,9	50,4	44,2	37	34,5	25,7

Fonte: (Adaptado de [13] e [23]).

Com os poucos trabalhos que realizaram o ensaio de verificar o módulo de elasticidade do concreto foi observado uma perda em seu valor com a incorporação do resíduo no concreto, como é visto na Tabela 5. A rigidez dos grânulos de pó de borracha faz com que a borracha tenha um baixo módulo de elasticidade, reduzindo assim o módulo de elasticidade geral do concreto [17].

A Tabela 6 mostra quanto o concreto perde de módulo de elasticidade devido a quantidade de pó de borracha que há no concreto.

Tabela 6 – Perda do módulo de elasticidade do concreto com pó de borracha em relação ao concreto referência (%)

Autores	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6
[13]	6,7	12,5	27,9	------	------
[23]	4,7	16,4	30,1	34,8	51,4

Fonte: (Adaptado de [13] e [23]).

Substituindo o agregado fino pelo resíduo de borracha em 5% e 25% o concreto vai ter uma redução no módulo de elasticidade de 2,44% e 31,74%, respectivamente, em relação ao concreto referência [35].

3.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA E ÍNDICE DE VAZIOS

Com a análise dos dados levantados foi elaborado a Tabela 7, na qual são apresentados os resultados do ensaio de absorção em diferentes traços.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de absorção de água do concreto (%)

Autores	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6	Traço 7	Traço 8	Traço 9
[23]	3,1	3,0	3,5	4,0	4,1	4,5	------	------	------
[28]	1,91	2,15	2,41	2,71	3,2	------	------	------	------
[24]	1,53	1,55	1,55	1,57	1,57	1,60	1,62	1,63	1,65

Fonte: (Adaptado de [23]; [28]; [24]).

Como é visto na Tabela 7, a absorção de água do concreto aumenta quanto maior for a quantidade de pó de borracha presente no concreto. Os grânulos de borracha no concreto podem criar poros que são facilmente preenchidos com água [17]. Os trabalhos de [36]e [37], mostraram que o concreto que possui diferentes tamanhos do resíduo de borracha melhora sua gradação de agregados e com isso aumenta sua capacidade de enchimento, diminuindo seus poros.

Com os estudos sobre a microestrutura do concreto com resíduo de borracha, utilizando o microscópio eletrônico de varredura de emissão de campo para gerar imagens, de [38], é mostrado que o aumento da taxa de substituição de pó de borracha também aumenta os vazios no concreto endurecido.

O aumento da taxa de substituição do resíduo da borracha aumenta os vazios no concreto e a espessura da Zona de Transição Interfacial. Com o aumento da dosagem do resíduo de borracha se torna visível a fraca adesão e aglomeração da borracha na superfície da fratura, causando uma zona de transição interfacial fraca. Essa zona de transição interfacial fraca em conjunto da distribuição heterogênea entre as partículas do resíduo da borracha e a pasta de cimento acaba gerando muitas microfissuras [40].

A zona de transição interfacial esta fortemente ligada a resistência mecânica, módulo de deformação e permeabilidade de agentes agressivos no concreto ([40]; [41]). Segundo [33], 5% de vazios já proporciona uma redução de até 30% na resistência. Para reduzir a espessura da zona de transição agregado-matriz pode-se adicionar minerais como a sílica ativa, com isso melhorando o desempenho mecânico e durabilidade do concreto [42].

CONCLUSÃO

Percebeu-se que o concreto com a incorporação do pó de borracha de pneu apresenta valores de resistência à compressão, módulo de elasticidade e trabalhabilidade cada vez mais baixo ao aumentar a quantidade do resíduo no concreto, também é possível ver um leve aumento na capacidade de absorção de água. Alguns métodos possíveis para melhorar estas propriedades do concreto seriam realizar uma pré-molhagem do resíduo da borracha e adicionar um aditivo plastificante para obter uma melhor consistência, utilizar grânulos de diferentes tamanhos da borracha para diminuir os vazios e adicionar minerais como a sílica ativa para reduzir a espessura da zona de transição agregado-matriz.

Tendo em vista os fatos apresentados, o uso do resíduo de borracha de pneu para confeccionar concreto, e com isso ajudar a limpar o meio ambiente cada vez mais, é possível se o resíduo for utilizado em substituição ao agregado fino e em dosagens baixas, entre 2,5 e 5%, e adotando os métodos sugeridos para melhorar as propriedades do concreto.

A falta de dados em relação a norma utilizada ou a especificação dos agregados utilizados para confeccionar o concreto é uma crítica construtiva para que futuros trabalhos se atentem.

AGRADECIMENTOS

À universidade Federal da Grande Dourados pelo apoio logístico e fomento à pesquisa e divulgação científica.

REFERÊNCIAS

[1] RIBEIRO, C. C.; JOANA, D. da S.; STARLING, T.. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. – Belo Horizonte : Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2006 – 1°reimpressão. 102p.

[2] CARVALHO, J. D. N. **Um pouco sobre a história do concreto**. Maringá, 2008. 19p. Notas de aula (Estruturas de concreto I) - Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Civil.

[3] SANTOS, A. A. M. dos; LEITE, M. B. Avaliação de concretos reciclados com agregado graúdo de concreto dosados pelo método da ABCP modificado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 341-359, out./dez. 2018.

[4] NAGALLI, ANDRÉ. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

[5] ADEODATO, S. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. A lei na prática. São Paulo, 2011. Disponível em:< http://www.cempre.org.br/download/pnrs_leinapratica.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021.

[6] CINTRA, L. Qual a diferença entre reciclar e reutilizar?. **Revista Super Interessante** Blog, 2013. Disponível em:<http://super.abril.com.br/blogs/ideias-verdes/qual-a-diferenca-entre-reciclar-e-reutilizar/. Acesso em: 30 mar. 2021.

[7] SCAGLIUSI, S. R. **Reciclagem de pneus inservíveis: alternativa sustentável à preservação do meio ambiente**. Tese apresentada para a obtenção do título de doutora em ciências. Tecnologia Nuclear – IPEN/CNEN – USP. São Paulo, 2011.

[8] FREIRES, F. G. M.; GUEDES, A. P. S. **Power and trust in reverse logistics systems for scraptires and its impact on performance**. The Flagship Research Journal, of International Conference of the Production and Operations Management Society. Vol. 1, January – June 2008.

[9] BRASIL. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama n° 258 de 26 de agosto de 1999**. Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. Publicado no DOU, de 2 de dezembro de 1999.

[10] KAMIMURA, ELIANE. **Potencial De Utilização Dos Resíduos De Borracha De Pneus Pela Indústria Da Construção Civil**. 2002. 143 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina, [S.l.], 2002.

[11] ROCHA, T. C. J.; SOARES, B. G.; COUTINHO, F. M. B. Principais copolímeros elastoméricos à base de butadieno utilizados na indústria automobilística. **POLIMEROS CIENCIA E TECNOLOGIA**, v. 17, n. 4, p. 299, 2007.

[12] FRAILE-GARCIA, E.; FERREIRO-CABELLO, J.; MENDIVIL-GIRO, M.; VICENTE-NAVARRO, A. S. Thermal behaviour of hollow blocks and bricks made of concrete doped with waste tyre rubber, **Construction and building materials**. 176 (2018) 193–200.

[13] SAAD, D. P.; SERRA, G. C.; BARBOSA, I. L. S.; ADORNO, A. L. C. Utilização de fibra de pneu de borracha como agregado na composição de concreto. Anápolis – UniEVANGÉLICA. **Revista Gestão, Inovação e Negócios** – N. 1, V. 3, 2017.

[14] SILVA, L. S. et al. Concreto alternativo com utilização de resíduos de borracha de recauchutagem de pneus para elementos e componentes pré-fabricados. **RCT – Revista de ciência e tecnologia**, v. 5, n. 8, Belém – PA, 2019.

[15] GRANZOTTO, L.; SOUZA, F. A. de. Mechanical properties of structural concrete with partial replacement of fine aggregate by tire rubber. **Acta Scientiarum, Technology.** Maringá, v. 35, n. 1, p. 39-44, Jan. -Mar., 2013.

[16] ALSAIF, A.; KOUTAS, L.; BERNAL, S. A.; GUADAGNINI, M.; PILAKOUTAS, K. Mechanical performance of steel fibre reinforced rubberised concrete for flexible concrete pavements, **Construction and building materials**. 172 (2018) 533–543.

[17] BISHT, K., & RAMANA, P. V. (2017). Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. **Construction and building materials**, 155, 811-817.

[18] FREITAS, C. et al. Desempenho físico-químico e mecânico de concreto de cimento Portland com borracha de estireno-butadireno reciclada de pneus. **Química Nova**, v. 32, n. 4, Curitiba – PR, 2009.

[19] FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. **Acta Scientiarum, Technology**. Maringá, v. 32, n. 3, p. 237-244, 2010.

[20] GIRSKAS, G.; NAGROCKIENE, D. Crushed rubber waste impact of concrete basic properties**, Construction and building materials**. 140 (2017) 36–42

[21] MEDINA, N. F.; MEDINA, D. F.; HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; NAVACERRADA, M. A. Mechanical and thermal properties of concrete incorporating rubber and fibres from tyre recycling, **Construction and building materials**. 144 (2017) 563–573.

[22] ALSAIF, A.; BERNAL, S. A.; GUADAGNINI, M.; PILAKOUTAS, K. Durability of steel fibre reinforced rubberised concrete exposed to chlorides, **Construction and building materials**. 188 (2018) 130–142

[23] YOUSSF, O.; HASSANLIA, R.; MILLS, J. E. Mechanical performance of FRP-confined and unconfined crumb rubber concrete containing high rubber content, **J. Build. Eng**. 11 (2017) 115–126.

[24] SOFI, A. **Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete** – A review, Ain Shams Eng. J. 9 (4) (2018) 2691–2700.

[25] MOUSTAFA, A.; ELGAWADY, M. A.; Mechanical properties of high strength concrete with scrap tire rubber, **Construction and building materials**. 93 (2015) 249–256.

[26] SODUPE-ORTEGA, E.; 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**. 106 (2016) 305–316.

[27] SU, H. L.; YANG, J.; LING, T. C.; GHATAORA, G. S.; DIRAR, S. Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes, **J. Cleaner Prod**. 91 (2015) 288–296.

[28] BISHT, K.; RAMANA, P. V. Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete, **Construction and building materials**. 155 (2017) 811–817.

[29] GUPTA, T.; CHAUDHARY, S.; SHARMA, R. K. Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume, **J. Cleaner Prod**. 112 (2016) 702–711.

[30] HE, L.; MA, Y.; LIU, Q. T.; MU, Y. H. Surface modification of crumb rubber and its influence on the mechanical properties of rubber-cement concrete, **Construction and building materials**. 120 (2016) 403–407.

[31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. **NBR 16889**. Rio de Janeiro, 2020.

[32] Frotté, C., Nubila, C. S. A. D., Nagalli, A., Mazer, W., Macioski, G., & Oliveira, L. O. S. D. (2017). **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD**. Matéria (Rio de Janeiro), 22.

[33] NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016

[34] FERNÁNDEZ-RUIZ, M. A.; GIL-MARTÍN, L. M.; CARBONELL-MÁRQUEZ, J. F.; HERNÁNDEZMONTES, E. Epoxy resin and ground tyre rubber replacement for cement in concrete: compressive behaviour and durability properties, **Construction and building materials**. 173 (2018) 49–57.

[35] MURUGAN, R. B.; NATARAJAN, C. Investigation of the behaviour of concrete containing waste tire crumb rubber, **Adv. Struct. Eng**. 1795–1802 (2015).

[36] SI, R. Z.; GUO, S. C.; DAI, Q. L. Durability performance of rubberized mortar and concrete with NaOH-Solution treated rubber particles, **Construction and building materials**. 153 (2017) 496–505.

[37] REZAIFAR, O.; HASANZADEH, M.; GHOLHAKI, M**.** Concrete made with hybrid blends of crumb rubber and metakaolin: optimization using response surface method, **Construction and building materials**. 123 (2016) 59–68.

[38] MOHAMMED, B. S.; ADAMU, M. Mechanical performance of roller compacted concrete pavement containing crumb rubber and nano silica, **Construction and building materials**. 159 (2018) 234–251

[39] LI, G. Y.; WANG, Z. K.; LEUNG, C. K. Y.; TANG, S. W.; PAN, J.; HUANG, W. S.; CHEN, E. Properties of rubberized concrete modified by using silane coupling agent and carboxylated SBR, J**. Cleaner Prod**. 112 (2016) 797–807.

[40] MONTEIRO, P. J. M. **Microstructure of concrete and its influence on the mechanical properties**, Dissertação mestrado, University of California, Berkeley, 1985.

[41] MASO, J. C. **Influence of the interfacial transition zone on composite mechanical properties, Interfacial Transition Zone in Concrete**, ed. by MASO, J.C., E & FN SPON, London, pp.103-16, 1996.

[42] ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação da zona de transição interfacial pasta-agregado leve em concretos com sílica ativa e látex SBR. Universidade de São Paulo, São Carlos. **Revista Matéria.** Rio de Janeiro, 2007.