

CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU E BRITA GRANÍTICA

F. A. da Silva Júnior¹, K. J. Jucier¹, L. R. Izídio Júnior¹; C.S.Alcântara¹
¹Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas – UFERSA
Rua Francisco Mota, 572, Costa e Silva, Mossoró, RN – Brasil
juniorparau@ufersa.edu.br

RESUMO

O aumento expressivo do número de resíduos gerados para o ambiente vem se tornando cada vez mais preocupante, causando problemas sociais, econômicos e ambientais. Diante disso, e baseado nos princípios de sustentabilidade, a reciclagem vem se tornando quase uma obrigação perante as grandes indústrias. Incluída neste contexto está a construção civil. Tecnologias que possam incorporar resíduos ao concreto são de grande valia para o meio ambiente, e podem melhorar algumas de suas propriedades. Todavia, é comum nas obras introduções de água, além do necessário a hidratação do concreto, a fim de melhorar a trabalhabilidade. No entanto, isto pode causar redução nas propriedades mecânicas do mesmo. Logo, este trabalho pretende realizada uma explanação sobre o comportamento de concretos, com elevada relação água/cimento, introdução de plastificante e substituição parcial de areia por resíduo de borracha de pneu, confeccionados com brita de origem granítica.

Palavras-chave: concreto, resíduos de borracha de pneu, brita granítica.

INTRODUÇÃO

Hoje no mundo existe uma disposição ao crescimento respeitando-se os conceitos de desenvolvimento sustentável. Isto é uma tendência cada vez mais atual e deve ser estimulada. A busca alternativa para o uso de materiais tradicionais em todos os setores comerciais colabora para o crescimento de estudos relacionados com a utilização racional de recursos naturais e o aproveitamento de resíduos inseridos na natureza. Uma alternativa para este propósito é a reciclagem.

Dentre os vários resíduos sólidos produzidos pelo ser humano, podem-se destacar os pneus inservíveis de borracha. Os pneus são considerados resíduos especiais e começam a ocupar papel de destaque nas discussões dos impactos sanitários e ambientais⁽¹⁾. A Figura 1 representa uma ilustração de dano que o acúmulo de pneus pode causar.



Figura 1 – Pneus inservíveis dispostos no ambiente⁽²⁾.

Em 2012, as dez empresas associadas à Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) produziram 62,6 milhões de unidades, com volume de Vendas: (produção + importação por associados da ANIP) de 67,9 milhões de unidades⁽³⁾.

Das alternativas mais atuais de reuso dos pneus destaca-se o processo de recauchutagem ou reconstrução, que consiste em aproveitar a estrutura resistente do pneu gasto (liso), desde que esta esteja em boas condições de conservação, e incorporar-lhe nova borracha de piso, de forma a que este ganhe outra vida. No entanto, dentre as operações de reconstrução de pneus, ocorre a raspagem, que consiste na retirada da superfície do pneu, para remover a banda remanescente, de forma a definir sua geometria, e preparar a textura da superfície para receber a nova borracha. Este processo gera uma espécie de resíduo fibrilar de dimensões variadas.

Atualmente, existem várias pesquisas destinadas ao estudo da aplicação do resíduo de borracha de pneus na construção civil. Estes podem ser reutilizados na forma de agregado as pastas de cimento ou concretos, existindo pesquisas até mesmo com concreto de alto desempenho, assim como, aplicação em revestimentos de pavimentos de rodovias⁽⁴⁾. Dentro desta esfera, o concreto de cimento Portland é o insumo mais utilizado na construção civil, sendo mundialmente o segundo material de consumo, ficando atrás apenas da água⁽⁵⁾.

É comum em canteiros de obras, elevar-se o fator a/c do concreto para se melhorar a trabalhabilidade deste, aumentando-se a porcentagem de água excedente ao processo de hidratação, que possivelmente reportaram em vazios quando no estado endurecido, diminuindo suas propriedades mecânicas.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência do resíduo de borracha de pneu, derivado do processo de recauchutagem, na produção de concretos destinados a níveis de solicitações baixos a moderados. Tendo como objetivos específicos: Caracterizar os agregados constituintes do concreto, e verificar a sua utilização de acordo com as normas que padronizam estes materiais; Compreender a trabalhabilidade de concretos contendo resíduo de borracha de pneu oriundos do processo de recauchutagem (RBP); Verificar a resistência mecânica de concretos com diversas porcentagens de substituição da areia por RBP, confeccionados com brita granítica; Estudar a influência da introdução de plastificante nos concretos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Para embasar os estudos deste trabalho, além da caracterização dos agregados, serão confeccionados corpos de prova de concreto convencional e com substituição em massa de parte do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu (RBP), proveniente do processo de recauchutagem para análise mecânica. Desta forma, os insumos utilizados nesta pesquisa são:

Cimento – cimento Portland CP IV 32 RS. 32 MPa corresponde a sua resistência a compressão aos 28 dias e RS – resistente a sulfatos;

Agregado miúdo:

Areia com dimensão máxima de 4,75 mm. A areia foi passada na peneira de malha # 4,75 mm, por possuir grãos maiores (pedregulho).

Resíduo de borracha de pneu (RBP) proveniente do processo de recauchutagem. Este resíduo foi fornecido pela empresa VIPAL com sua filial em Mossoró representado pela empresa Normando Recapagem de Pneus.

Agregado graúdo (brita 01 – granítica com dimensão máxima de 19,00 mm)

Água – respeitando-se o que preconiza a norma ABNT NBR 15900/2009⁽⁶⁾.

Plastificante comercial para concretos a base de lignosulfonatos, de consistência líquida, cor amarronzada; densidade de $1,22 \text{ g/cm}^3$ (indicação de uso – 0,2 a 0,3 % sobre a massa de cimento do traço de concreto, segundo o fabricante).

Hidróxido de sódio (NaOH – soda cáustica).

Métodos

Como método de trabalho, procurou-se avaliar as características do concreto, partindo de traços referência que não contêm o resíduo na sua composição, mas com as mesmas proporcionalidades dos demais materiais. Os agregados componentes destes foram caracterizados e posteriormente confeccionaram-se os concretos, obedecendo à norma ABNT NBR 5738/2003⁽⁷⁾, em amostragem de 05 corpos de prova por traço, em moldes cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para a realização das análises quando no estado fresco (trabalhabilidade⁽⁸⁾), respeitando-se uma trabalhabilidade adequada aos pisos de concretos, com base em um abatimento que varie entre um mínimo de 25 mm a um máximo de 75 mm), e no estado endurecido (resistência à compressão⁽⁹⁾).

Os traços referência foram selecionados com a seguinte proporcionalidade em massa de materiais: 1,0: 2,5: 3,5: 0,6. Sendo respectivamente as proporções de Cimento: Agregado Miúdo: Agregado Graúdo: Fator Água/Cimento.

Optou-se em estudar concretos confeccionados com a brita granítica, assim como, avaliar a ação de um plastificante no comportamento mecânico do concreto com RBP, em relação à massa de cimento. Logo, têm-se dois traços de partida (referência), na seguinte ordem de apresentação: Traço com brita granítica contendo plastificante (G1) e Traço com brita granítica não contendo plastificante (G2).

Para cada traço referência, tem-se a estes a substituição de parte do agregado miúdo (areia) por RBP, proveniente do processo de recauchutagem, tratado com NaOH 1M, nas proporções especificadas em relação a massa de areia em: 5,0 %; 7,5 %; 10,0 %; 12,5 %; 15,0 %; 17,5 %; 20,0 %. Estas variações foram escolhidas baseando-se na massa específica da borracha que é inferior a da areia, e variações maiores, proporcionariam maiores volumes de material a compor o traço.

Os RBP's foram tratados em solução de 1mol de hidróxido de sódio (NaOH – soda cáustica), a fim de aumentar sua hidrofiliabilidade.

Os agregados componentes do concreto inicialmente foram caracterizados⁽¹⁰⁾ a fim de se obter um melhor entendimento de suas peculiares, assim como, para se verificar a possibilidade de utilização destes na mistura de concreto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos agregados miúdos

A Tabela 1 mostra dos resultados de massa específica e unitária para os agregados miúdos utilizados na pesquisa, assim como, o teor de material pulverulento determinado para a areia.

Tabela 1 – Caracterização dos agregados miúdos.

Ensaio	Agregado	
	Areia	RBP tratado
Massa específica (g/cm ³)	2,60	1,18
Massa unitária (g/cm ³)	1,54	0,39

A areia pode ser classificada como normal, pois, sua massa específica está entre 2000 kg/m³ e 3000 kg/m³ ⁽¹⁰⁾. Já o RBP como leve, pois, sua massa específica é inferior a 2000 kg/m³ ⁽¹⁰⁾. Este valor de massa específica do RBP está em conformidade com os valores encontrados nas referências estudadas que pode variar de 1,25 g/cm³ ⁽¹¹⁾ a 1,09 g/cm³ ⁽¹²⁾. O valor encontrado para o RBP tratado é menor que o da areia, sendo esta em torno de 120,81 % maior que a do RBP. O volume unitário de RBP é 2,21 vezes superior ao da areia. Concretos com este material terão menor densidade.

O diâmetro máximo é encontrado para: Areia da areia e RBP é de 4,75 mm, sendo classificados como agregados miúdos. Já o módulo de finura (MF), para os agregados foi de 2,88 e 3,14, respectivamente para a areia e para o RBP, onde a areia fica na zona ótima, e o RBP tratado dentro do limite utilizável superior. O valor encontrado para o RBP está bem próximo aos resultados encontrados na literatura, que podem variar em média de 3,27⁽¹²⁾, a 3,85⁽¹³⁾, podendo chegar a 5,63⁽¹⁴⁾.

Os resultados destas análises foram plotados em gráfico representativo da variação granulométrica, comparando-se com os limites utilizáveis e ótimos⁽¹⁰⁾ (FIGURA 2), assim como, com a curva da areia, onde no eixo das abscissas em

escala logarítmica representa-se a abertura das peneiras, e o eixo das ordenadas os valores das porcentagens retidas nessas.

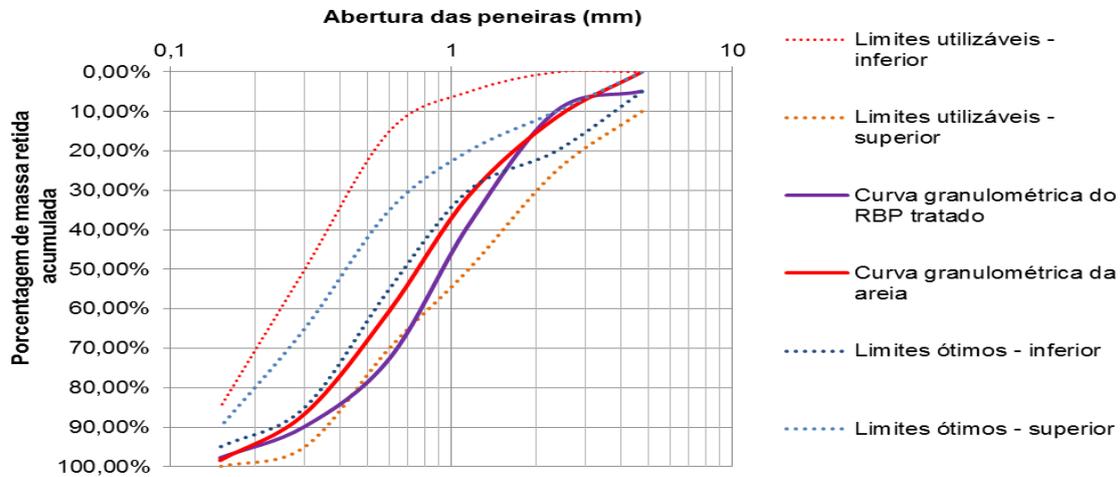


Figura 2 – Curva granulométrica dos agregados miúdos entre os valores utilizáveis.

Nas curvas da distribuição granulométrica da areia e do RBP não existem patamares, o que representaria uma ausência de determinado tamanho, como também, não se observa um crescimento íngreme da curva, demonstrando que este material não possui uniformidade de dimensões. As curvas representam materiais bem graduado, com granulação aberta, possuindo todos os diâmetros em proporcionalidades e dentro dos intervalos estabelecidos pelos limites utilizáveis.

Trabalhabilidade

A Tabela 2 mostra os resultados de consistência para os concretos referência e seus respectivos produtos derivados.

Tabela 2 – Resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone.

RBP	Abatimento (mm)	
	G1	G2
0,0 %	220,0	60,0
5,0 %	150,0	40,0
7,5 %	130,0	20,0
10,0%	90,0	15,0
12,5 %	70,0	5,0
15,0 %	50,0	5,0
17,5 %		2,0
20,0 %		2,0

Observa-se que para todos os traços estudados ocorre um aumento da consistência do concreto com os incrementos de substituições de areia por RBP (TABELA 2) Este resultado acarreta em concretos com menor trabalhabilidade, formação de poros e conseqüente dificuldade de adensamento.

Pode-se observar que os traços com 3,0 % de plastificante são pouco consistentes e possivelmente reportaram em pequenas resistências. Ao se retirar este plastificante, tem-se um aumento nesta consistência, no entanto os concretos ficam não trabalháveis a partir da concentração de 7,5 % de RBP.

Propriedades mecânicas

Traço com brita granítica e plastificante:

Os CP's devem ser desmoldados em 24 horas após sua moldagem⁽⁸⁾. Entretanto, que ao se realizar este procedimento com os corpos de prova para escolha da referência G1, observou-se que a superfície de contato entre o molde e o CP não ficou perfeitamente lisa. Optou-se por desmoldar os CP's contendo este traço após 48 horas da moldagem. Assim como esses, a superfície de contato entre o molde e o CP não ficou perfeitamente lisa, mostrando que este concreto ainda estava com pouca resistência e o processo de pega muito pouco evoluído. Fez-se então a desmoldar destes em 72 horas, obtendo-se um melhor resultado, mas ainda com superfície aderida ao molde. Logo, optou-se em se fazer esta em 96 horas (04 dias). Quando se realizou a desmolda dos CP de concretos contendo RBP e plastificante, os resultados foram ainda piores, optando-se por realizar este procedimento após 168 horas (7 dias) da moldagem.

Como para obter-se a data mais conveniente para o desmolde dos CP's do traço de referência G1, foram feitos desmoldes com 48, 72 e 96 horas, o número da amostragem inicial destes antes a exclusão de valores distorcidos da média foi reduzido pra 03 CP's, pois para 48 e 72 horas os CP's foram perdidos.

Com a substituição parcial do agregado miúdo por RBP, muitos dos corpos de prova não possuíram resistência suficiente para suportar o processo de desmolde ou cura. Para a amostragem inicial, antes da exclusão de variações superiores a 10,0 %:

- Os CP's com 5,0 % de RBP foram desmoldados, no entanto, não resistiram ao processo de cura em imersão, desmanchando-se na água em menos de 24 horas.
- Todos os CP's com 7,5 % de RBP não resistiam ao processo de desmolde, assim como, alguns dos demais traços com 10,0; 12,5 e 15,0 %, rompendo no desmolde, respectivamente, 2, 1 e 2 unidades.
- Com isto, tomou-se como resistência zero para os traços contendo 5,0 e 7,5 % de RBP, como mostra a Tabela 3, com as respectivas resistências para os demais traços, com suas deformações axiais atingidas.
- Os resultados encontrados para este traço não foram satisfatórios em relação à resistência do concreto.

Tabela 3 – Tensão de ruptura e deformação axial aos 28 dias para os traços produtos da referência G1.

Variável	RBP					
	0,0 %	5,0 %	7,5 %	10,0 %	12,5 %	15,0 %
	Tensão de ruptura aos 28 dias (MPa)					
Nº de CP	3			2	3	2
Média	8,90	0,0	0,0	2,82	3,26	2,53
Mediana	9,10	0,0	0,0	2,82	3,25	2,53
Desvio padrão	0,36	0,0	0,0	0,19	0,12	0,51
Coeficiente de variação	4,02%	0,0	0,0	6,78%	3,69%	20,12%
Mínimo	8,49	0,0	0,0	2,68	3,15	2,17
Máximo	9,12	0,0	0,0	2,95	3,39	2,89
	Deformação axial - 28 dias (mm)					
Média	0,760			1,200	0,860	1,060
Mediana	0,710			1,200	0,760	1,060
Desvio padrão	0,114			0,297	0,439	0,537
Coeficiente de variação	14,94%			24,75%	51,00%	50,70%
Mínimo	0,680			0,990	0,480	0,680
Máximo	0,890			1,410	1,340	1,440

Traço com brita granítica sem plastificante:

A Tabela 4 representa a variação da resistência a compressão aos 28 dias do concreto G2 e seus produtos com os incrementos de RBP no traço, podendo-se observar uma tendência a diminuição desta à medida que se aumenta a porcentagem de resíduo no traço. Comportamento semelhante ao ocorrido com os traços produtos de G1.

Tabela 4 –Tensão de compressão axial dos concretos produtos da referência G2 aos 28 dias.

RBP	Resistência à compressão (MPa)
0 %	18,48
5,0 %	12,31
7,5 %	11,27
10,0 %	8,71
12,5 %	7,74
15,0 %	7,61
17,5 %	6,38
20,0 %	5,17

Pode-se observar através da Tabela 4 que há uma queda de resistência para todas as idades em relação ao crescimento de substituição de areia por RBP.

A Tabela 5 mostra a variabilidade estatística da amostragem para os resultados das resistências à compressão e deformação axial obtidas com os traços de concreto G2 e com substituição parcial da areia por RBP tratado (produtos de G2).

Tabela 5 – Variação estatística da amostragem para a tensão de ruptura aos 28 dias para os traços produtos da referência G2, com suas deformações.

Variável	Concentração de borracha							
	0,0 %	5,0 %	7,5 %	10,0 %	12,5 %	15,0 %	17,5 %	20,0 %
	Tensão de ruptura (MPa)							
Nº de CP	5	3	4	4	3	5	4	4
Média	18,48	12,31	11,27	8,71	7,74	7,61	6,38	5,17
Mediana	18,74	12,16	11,28	8,64	7,85	7,53	6,44	5,04
Desvio padrão	0,88	0,52	0,76	0,68	0,51	0,46	0,44	0,40
Coeficiente de variação	4,78%	4,24%	6,74%	7,82%	6,59%	6,06%	6,83%	7,69%
Mínimo	17,41	11,88	10,34	8,07	7,18	7,04	5,83	4,85
Máximo	19,68	12,89	12,17	9,49	8,18	8,29	6,80	5,75
	Deformação axial - (mm)							
Média	0,946	0,810	0,890	0,905	0,783	0,740	0,923	0,725
Mediana	0,920	0,790	0,935	0,900	0,700	0,740	0,920	0,740
Desvio padrão	0,045	0,072	0,171	0,082	0,189	0,080	0,340	0,062
Coeficiente de variação	4,76%	8,90%	19,27%	9,04%	24,17%	10,77%	36,81%	8,54%
Mínimo	0,910	0,750	0,650	0,830	0,650	0,670	0,530	0,640
Máximo	1,000	0,890	1,040	0,990	1,000	0,870	1,320	0,780

CONCLUSÕES

A partir dos resultados de caracterização dos componentes do concreto e realização de ensaios avaliativos do comportamento deste, com proporções em massa de 1,0: 2,5: 3,5: 0,60, obtidos neste trabalho pode-se ter como considerações finais:

- A consistência do concreto onde a brita utilizada é a granítica, contendo 3,0 % do plastificante, é muito reduzida e não é indicada. O resultado de abatimento mostra que ao se retirar o plastificante do traço e, mantendo-se as outras proporcionalidades constantes, obtém-se um aumento desta, com trabalhabilidade mais adequada;
- A concentração de água com fator a/c de 0,60, com e sem a utilização de plastificante, causa exudação de água no concreto fresco, devido ao excesso de água, não sendo necessária a utilização de um fator a/c de 0,60 para este tipo de concreto;
- Com a desmolda, pode-se inferir que o plastificante utilizado funciona como um retardador de pega para os concretos, sendo mais prejudicial em grandes proporções e com esta para os concretos contendo brita granítica e fator água /cimento elevado, a partir de 060;
- Os traços contendo brita granítica, ao se aumentar a substituição parcial de areia por RBP, tem-se uma redução na trabalhabilidade e nas propriedades mecânicas à medida que se aumenta esta substituição.

REFERÊNCIAS

⁽¹⁾GIACOBBE, S.. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneu**. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2008. Disponível em <<http://biblioteca.universia.net/ficha.do?id=36794107>>. Acesso em 15 de dezembro de 2009.

⁽²⁾CICLO VIVO. 2013. Disponível em <http://www.ciclovivo.com.br/noticia/programa_reciclou_mais_de_300_mil_toneladas_de_pneus_inserviveis_em_2010>. Acesso em 14 de Fevereiro de 2014.

(3)ANIP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. São Paulo. 2013. Disponível em: < <http://www.anip.com.br> >. Acesso em 02 de Dezembro de 2013.

(4)ALBUQUERQUE, A. C.; ANDRADE, W. P.; HASPARYK, N. P.; ANDRADE, M. A. S.; BITENCOURT, R. M.. **Adição de Borracha de Pneu ao Concreto Convencional e Compactado com Rolo**. In: ANAIS DO ENTAC. 2006.

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

(6)ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900 – **Água para amassamento do concreto**. Rio de Janeiro, 2009. 11p

(7)ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2003. 6p

(8)ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67 - **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 8p

(9)ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 – **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007. 9p

(10)ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 – **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009. 9p

(11)Campos, W. C. de e Jacintho, A. E. P. G. A.. **Concreto com adição de fibras de borracha: um estudo frente às resistências mecânicas**. Anais do XV Encontro de Iniciação Científica da PU. Campinas. 2010. Disponível em < <http://unila.edu.br/sites/default/files/files/Jessica%20Penayo%20Chavez.pdf> >. Acesso em 03 de Outubro de 2013.

(12)FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L.. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2007, v. 7, n. 4,

p. 43-54. Disponível em <
<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3753/2106>>. Acesso em 03
de Outubro de 2013.

⁽¹³⁾GRANZOTTO, L.. **Concreto com adição de borracha: Uma alternativa ecologicamente viável**. Dissertação. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2010. Disponível em <
<http://www.peu.uem.br/Discertacoes/Laura.pdf>>. Acesso em 03 de Outubro de 2013.

⁽¹⁴⁾BAUER, R. J. F.; TOKUDOME, S.; GRADET, A.. **Estudo de Concreto com Pneu Moído**. Anais do 43º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON Foz de Iguaçu, 2001.

CONCRETE WITH TIRE RUBBER WASTE AND CRUSHED GRANITE

ABSTRACT

The significant increase in the number of waste generated for the environment is becoming increasingly worrying, causing social, economic and environmental problems. Therefore, and based on principles of sustainability, recycling has become almost an obligation to major industries. Included in this context is the construction. Technologies that can incorporate the waste concrete are of great value to the environment, and can improve some of its properties. However, it is common issues in water works, besides the necessary moisture of the concrete in order to improve the workability. However, this may cause reduction in mechanical properties thereof. Therefore, this paper aims performed an explanation of the concrete behavior with high water / cement ratio, introduction of plasticizer and partial replacement of sand for tire rubber residue, made with crushed granitic origin.

Key-words: Concrete, Waste Rubber Tire, Granite Gravel.