

ESTUDO DO EFEITO DA BORRACHA RECICLADA DE PNEUS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO GEOPOLIMÉRICO E CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Iury Daniel Rovaris (1); Patrícia Montagna Allem (2); Jorge Henrique Piva (3).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) rovaris_iury@unesc.net, (2) patricia.allem@hotmail.com, (3) jhpiva@gmail.com

RESUMO

Com os avanços tecnológicos, a busca por materiais e métodos construtivos que agridam menos o meio ambiente, se tornou fundamental, além disso, a reciclagem de materiais de difícil aproveitamento é outro fator que deve ser observado com atenção. A utilização do concreto geopolimérico no lugar do concreto de cimento Portland é uma alternativa que contribuiu para a preservação do meio ambiente reduzindo a emissão de gases poluentes na atmosfera. O descarte de forma incorreta de pneus inservíveis na natureza é outro problema comum que causa grandes danos ao meio ambiente e ajudam na proliferação de diversas doenças. Este trabalho tem como finalidade dar uma opção de destinação para a borracha proveniente de pneus inservíveis através de sua utilização na produção de concreto. Como metodologia do trabalho foram confeccionados 18 corpos de prova prismáticos com dimensões de 10 x 10 x 35 cm de concreto de cimento Portland e geopolimérico, com diferentes percentuais de adição de borracha reciclada: 2,5% e 5%. Os corpos de prova foram curados durante 28 dias e submetidos aos ensaios de tração na flexão e compressão axial. Com os resultados obtidos é possível observar que a adição da borracha gerou uma redução na resistência de ambos os concretos quando analisados a compressão, sendo que no concreto geopolimérico a queda foi de no máximo 29,07% e no concreto de cimento portland de até 51,09%. Quando analisados à flexão houve um acréscimo de resistência no grupo de geopolimérico sendo no máximo de 52,20% e uma redução no grupo de concreto de cimento Portland chegando até 38,57%. A adição de borracha reciclada de pneu não impede a utilização destes concretos, desde que seja em locais onde não exija elevada resistência a compressão.

Palavras-Chave: Borracha reciclada de pneu, concreto de cimento Portland, concreto geopolimérico.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor responsável por grande parte da geração de poluentes causadores de problemas ambientais, grande parte dessa geração vem da produção de cimento Portland. Segundo Davidovits (1994), a produção de uma tonelada de clínquer de cimento Portland equivale a 0,95 toneladas de dióxido de carbono. Com

isso a busca por materiais e métodos construtivos alternativos que agridam menos o meio ambiente se tornou fundamental. Neste cenário, os concretos geopoliméricos surgem como uma alternativa inovadora e bastante promissora, uma vez que, comparados ao concreto a partir de cimento Portland, sendo produzidos a partir de resíduos, apresentam baixas emissões e elevada durabilidade (COSTA, 2012).

Outro problema presente no cenário atual é o descarte de forma incorreta de pneus inservíveis na natureza. É fato que além de poluir o meio ambiente, o descarte incorreto contribui com a proliferação de diversas doenças. Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) em 2016 foram produzidos cerca de 67,9 milhões de pneus. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua resolução de nº 416/2009, diz em seu artigo 3º que para cada novo pneu comercializado, as empresas fabricantes ou importadoras devem dar destinação adequada a um pneu inservível. Buscando assim, manter um equilíbrio entre o que é produzido e o que é descartado. Já em seu artigo 12º (CONAMA), frisa que transformar o pneu inservível em lascas não é considerado como sendo uma destinação final para o mesmo.

Estudos apontam o concreto de cimento Portland com adição de borracha reciclada de pneu como uma alternativa viável e sustentável para ser empregada em locais onde não há elevada exigência estrutural. De acordo com (Batista et. al, 2017) quanto maior for a adição de borracha, menor será a massa específica do concreto, provavelmente devido ao aumento de ar incorporado ao concreto, o que acaba diminuindo sua resistência a compressão. Buscando esta interação entre inovação e reaproveitamento de materiais, o presente trabalho tem por objetivo avaliar e comparar o desempenho da adição de borracha reciclada de pneu no concreto de cimento Portland e concreto geopolimérico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi desenvolvido para avaliar o comportamento mecânico dos concretos de cimento Portland e geopolimérico com e sem adição de borracha reciclada de pneu. Os traços utilizados para os dois tipos de concreto são apresentados na Tabela 1, juntamente com a relação água/cimento utilizada no concreto de cimento Portland. Ambos os concretos foram produzidos no Laboratório

de Materiais de Construção Civil (LMCC), localizado no Iparque, da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

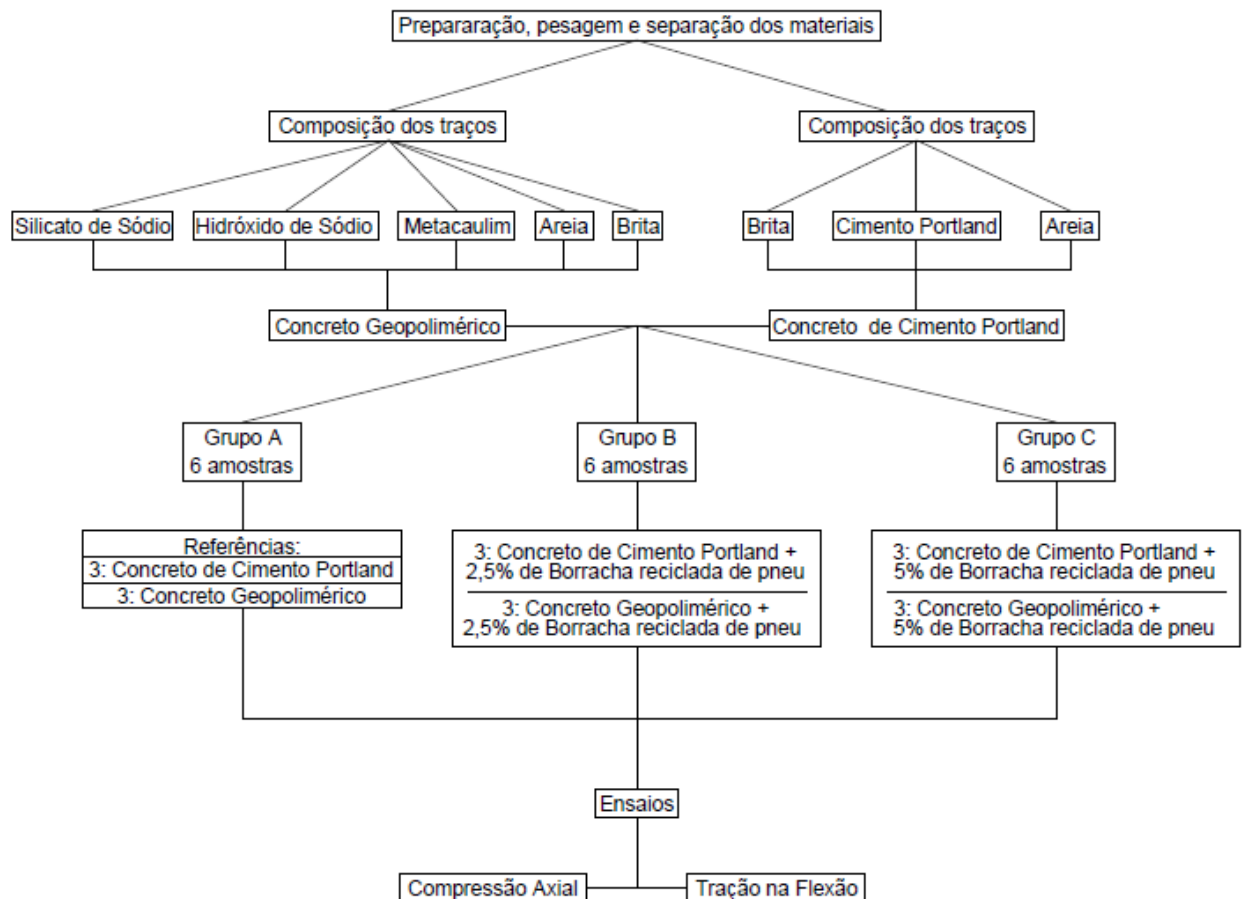
Tabela 1 - Traços utilizados na mistura

Especificações	C. Geopolimérico	C. de Cimento Portland
Traço	1 : 0,09: 1,2 : 3,8 : 1,2 (Metacaulim : Hidróxido: Silicato : Areia : Brita)	1 : 2,3 : 2,7 (Cimento : Areia : Brita)
Relação a/c	-	0,53

Fonte: Autor, 2017.

O trabalho consiste na confecção de 18 corpos de prova prismáticos 10x10x35cm (largura x altura x comprimento), divididos em 3 grupos, composto cada um por 6 corpos de prova, sendo 3 de concreto geopolimérico e 3 de concreto de cimento Portland. O fluxograma do programa experimental é apresentado na Figura 1. O grupo A, por tratar-se das referências, não receberá adição da borracha reciclada de pneus, já o grupo B receberá adição de 2,5% e o grupo C receberá adição de 5%.

Figura 1 - Fluxograma do programa experimental



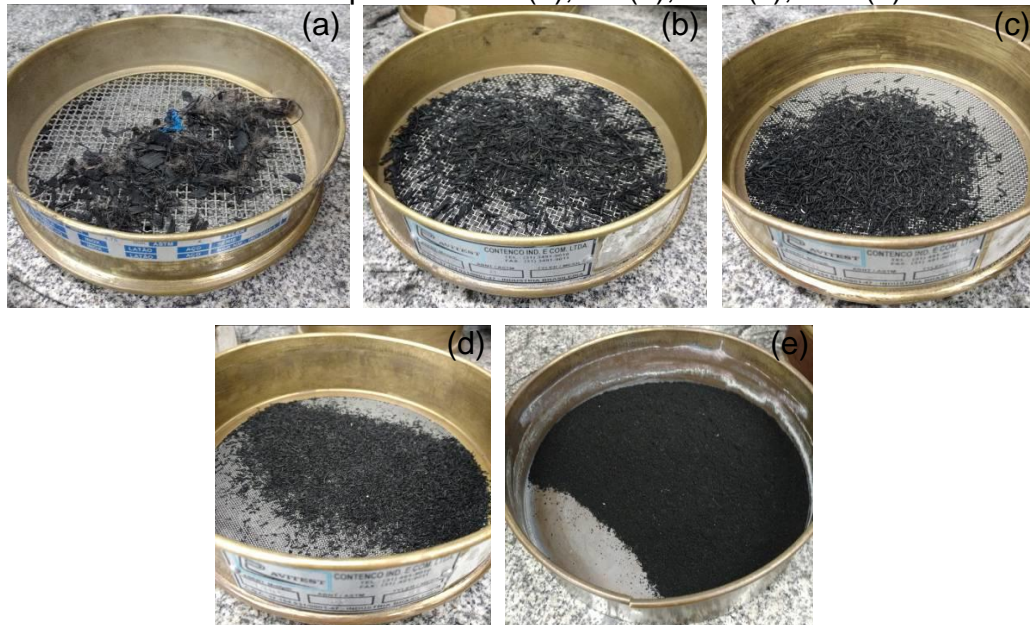
Fonte: Autor, 2017.

2.1 MATERIAIS

Na composição do concreto convencional foi utilizado cimento CP IV - 32, areia seca em estufa, peneirada e padronizada, com diâmetro máximo do agregado ($D_{m\acute{a}x}$) de 2.40 mm e brita nº1 com $D_{m\acute{a}x}$ igual a 19.00 mm ambas disponibilizadas pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC).

No concreto geopolimérico foram utilizados hidróxido de sódio em escamas e silicato de sódio para a ativação alcalina, metacaulim, areia seca em estufa, peneirada e padronizada, com diâmetro máximo do agregado ($D_{m\acute{a}x}$) de 2.40 mm e brita nº0 com $D_{m\acute{a}x}$ igual a 9.50 mm ambas disponibilizadas pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC). A borracha reciclada de pneu foi cedida pela empresa CriPneus em partículas com dimensões variadas, a borracha foi peneirada no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), utilizando as peneiras de tamanhos #4, #8, #16, #30 e fundo, apresentadas na Figura 2. O material utilizado foi o retido nas peneiras #16 e #30. Os demais foram descartados.

Figura 2 - Borracha retida nas peneiras #4 (a), #8 (b), #16 (c), #30 (d) e fundo (e)



Fonte: Autor, 2017.

2.2 MÉTODOS

A preparação do concreto de cimento Portland começou com a adição da brita e metade da água na betoneira, em seguida foi adicionado o cimento e posteriormente

a areia com o restante da água, por fim a borracha reciclada de pneu foi adicionada ao concreto, exceto nas amostras pertencentes ao grupo A (referências). Na Figura 3 são apresentados os corpos de prova após a concretagem.

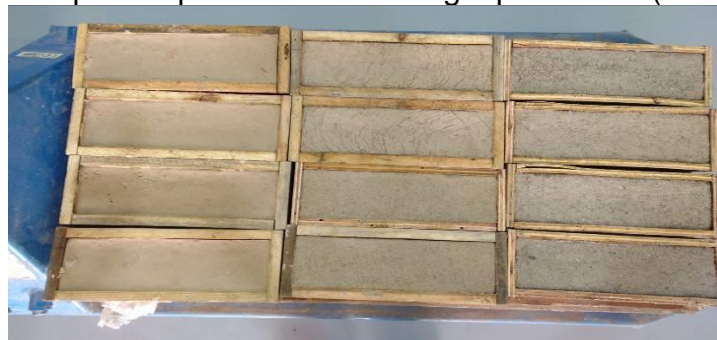
Figura 3 - corpos de prova de concreto de cimento Portland (10x10x35 cm)



Fonte: Autor, 2017

Já no concreto geopolimérico, iniciou-se o processo misturando o hidróxido de sódio e o silicato de sódio, assim produzindo uma solução alcalina, depois de feita a mistura, foi colocado em uma argamassadeira acrescentando o metacaulim. Quando o material passou a se apresentar de forma homogênea foi adicionada a areia e a brita até atingir a uniformidade, por fim, a borracha reciclada de pneu foi adicionada ao concreto, exceto nas amostras pertencentes ao grupo A (referências). Na Figura 4 são apresentados os corpos de prova após a concretagem.

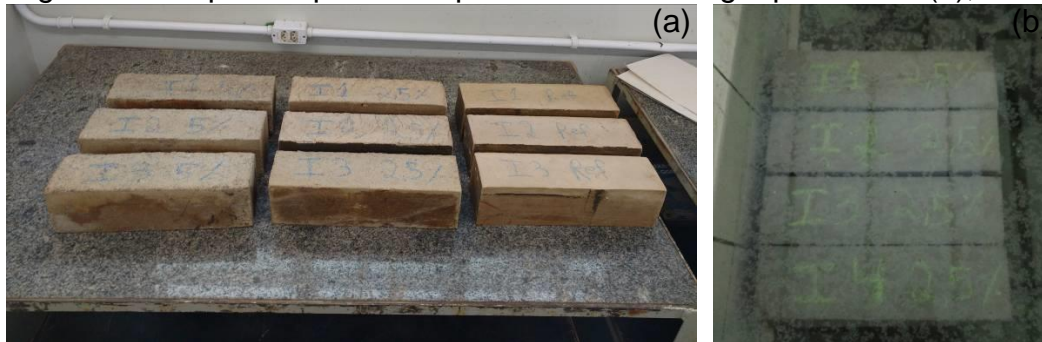
Figura 4 - Corpos de prova de concreto geopolimérico (10x10x35 cm)



Fonte: Autor, 2017.

Para os corpos de prova de concreto de cimento Portland, foi realizado o processo de submersa pelo período de 28 dias. E os corpos de prova de concreto geopolimérico, por não receber água em sua composição, foram curados ao ar livre durante 25 dias e posteriormente receberam uma cura térmica em estufa de 3 dias a 60°C, assim também totalizando 28 dias de cura. Na Figura 5 são demonstrados os corpos de prova em processo de cura.

Figura 5 - Corpos de prova em processo de cura: geopolimérico (a), Portland (b)

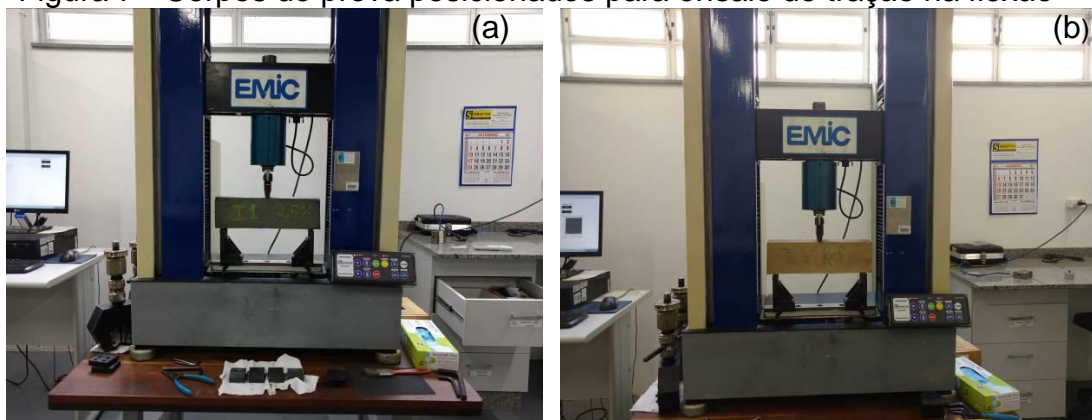


Fonte: autor, 2017.

Os ensaios de tração na flexão foram realizados seguindo os critérios da norma reguladora ABNT NBR 12142 (2010), executados através de uma prensa eletromecânica, microprocessada, da marca EMIC de modelo DL10000 com uma capacidade de carga de 100 KN junto ao computador com software TESC - Test Script, que fornece recursos para a leitura e obtenção de resultados.

Após o período de cura os corpos de prova foram submetidos aos ensaios. Os corpos de prova foram apoiados por suas faces laterais à célula de carga, optou-se por utilizar estas devido a sua superfície mais uniforme, assim, evitando possíveis irregularidades devido à rugosidade da superfície do corpo de prova. Com o corpo de prova posicionado de forma correta, tem início o carregamento da carga, sendo empregada de forma contínua e constante até a sua ruptura. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM), localizado no Iparque. Na Figura 7 é apresentado o posicionamento dos corpos de prova para a realização do ensaio.

Figura 7 - Corpos de prova posicionados para ensaio de tração na flexão

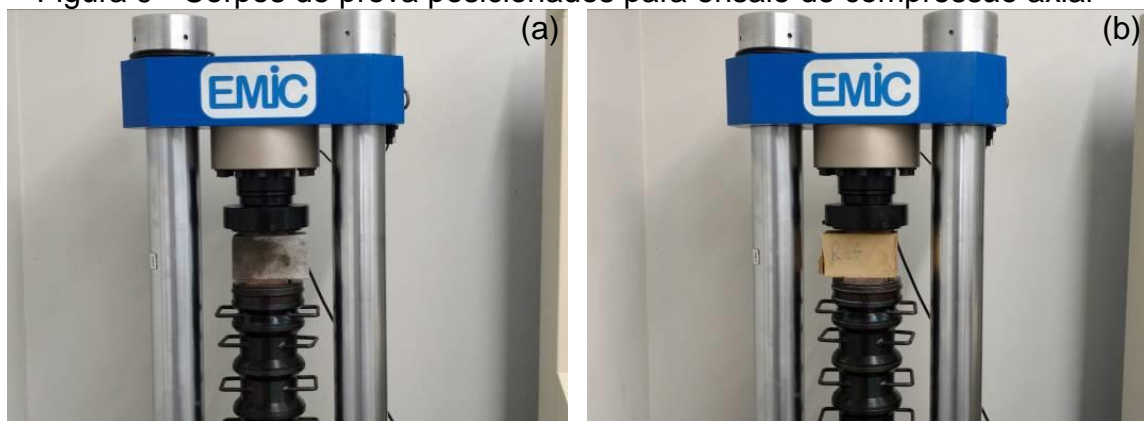


Fonte: Autor, 2017.

Após a ruptura dos corpos de prova, as metades originadas no processo foram ensaiadas à compressão axial, o ensaio seguiu as orientações da norma reguladora CSN EN 12390-3 (2003). Os corpos de prova apresentaram área de contato com a prensa nas dimensões de 10 x 10 cm, ou seja, 100 cm². Para realização do ensaio, foi utilizada uma prensa hidráulica, da marca EMIC modelo PC200CS, com capacidade máxima de 200 toneladas, junto a um computador com o software TESC - Teste Script, que fornece recursos para a leitura e obtenção de resultados.

Os corpos de prova foram posicionados utilizando as faces laterais, assim como no ensaio de tração na flexão, buscando evitar erros devido a possíveis irregularidades existentes nas demais faces. Os corpos de prova foram posicionados no centro da prensa e iniciou-se a aplicação da carga de forma contínua e constante, até a ocorrência de uma redução na força de carregamento indicada pela prensa, redução esta que demonstra a ruptura da amostra. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), localizado no Iparque. Na Figura 9 é apresentado o posicionamento dos corpos de prova para a realização do ensaio.

Figura 9 - Corpos de prova posicionados para ensaio de compressão axial



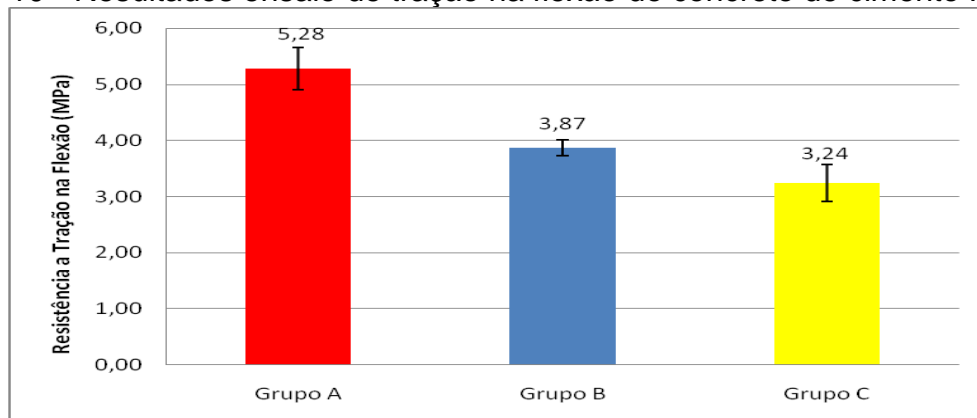
Fonte: Autor, 2017.

3. RESULTADOS E DISCUÇÕES

Os resultados dos ensaios de tração na flexão e compressão axial para os dois tipos de concreto são apresentados na página a seguir.

3.1 TRAÇÃO NA FLEXÃO

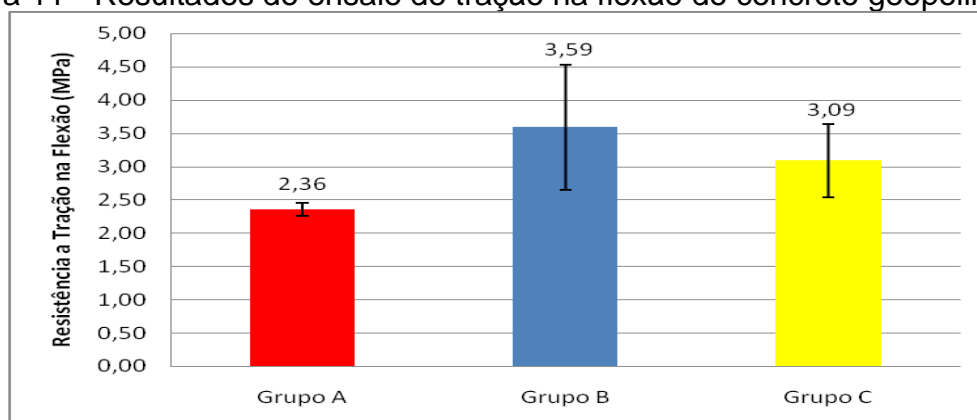
Figura 10 - Resultados ensaio de tração na flexão do concreto de cimento Portland



Fonte: Autor, 2017.

Na figura 10 são apresentados os resultados do ensaio de tração na flexão para os corpos de prova de concreto de cimento Portland, é possível observar uma redução na resistência conforme a adição de borracha. Analisando a resistência média de cada grupo, nota-se que o grupo B com 2,5% de adição de borracha apresentou uma redução de 26,73 % em relação à referência e o grupo C com 5% de adição de borracha teve sua resistência reduzida em 38,57%. Quanto maior a adição de borracha menor é a resistência à tração, isso provavelmente se deve ao fato das fibras não serem compatíveis com a dimensão do agregado graúdo, outra provável causa de queda na resistência é a fraca ligação entre a matriz cimentícia e a borracha.

Figura 11 - Resultados do ensaio de tração na flexão do concreto geopolimérico



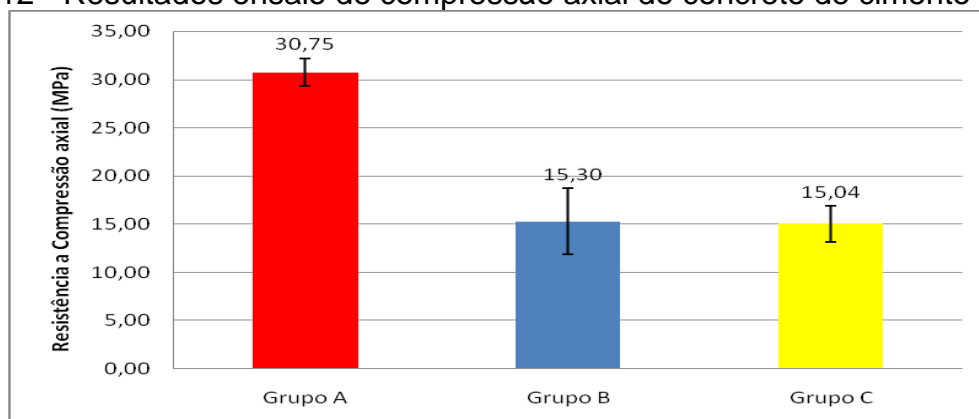
Fonte: Autor, 2017.

Na figura 11 são apresentados os resultados do ensaio de tração na flexão para os corpos de prova de concreto geopolimérico, é possível observar que a adição de

borracha gerou um aumento de resistência quando comparado com as referências, sem adição. Analisando a resistência média dos grupos tem-se um aumento de 52,20% no grupo B com 2,5% de adição de borracha e 31,04% no grupo C com adição de 5% de borracha, ou seja, com uma adição de 2,5% de borracha, tem-se uma resistência maior que com 5%. A fibra de borracha reciclada adicionada ao concreto geopolimérico produziu um efeito contrário ao observado no concreto de cimento Portland. A justificativa do resultado deve-se ao fato de que o concreto geopolimérico não teve uma cura completa, o que é observado pela baixa resistência apresentada, entretanto nas amostras com adição de borracha, observou-se um estágio de cura melhor, possivelmente pelo fato da borracha não ter aderência ao demais componentes do concreto, o que gerou maior porosidade. Fazendo uma comparação entre os dois tipos de concreto, analisando as médias de cada grupo, no concreto geopolimérico a adição de borracha fez com que a resistência tivesse um aumento de até 52,20%, enquanto que no concreto de cimento Portland houve uma redução na resistência conforme a adição da borracha, chegando a reduzir até 38,57% sua resistência.

3.2 COMPRESSÃO AXIAL

Figura 12 - Resultados ensaio de compressão axial do concreto de cimento Portland

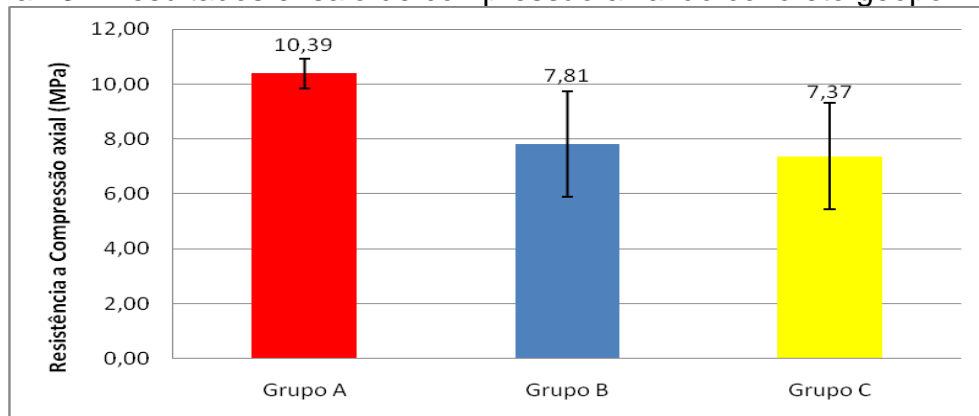


Fonte: Autor, 2017.

A figura 12 traz os resultados do ensaio de compressão axial dos corpos de prova de concreto de cimento Portland. Assim como no ensaio de tração flexão observou-se uma redução de resistência conforme se aumenta a adição de borracha. Analisando a resistência média de cada grupo, temos uma redução de 50,24% para o grupo com adição de 2,5% de borracha, e 51,09% no grupo com 5% de borracha

em comparação com a resistência. A queda da resistência à compressão é explicada pela baixa resistência da borracha e pela fraca adesão da borracha com a matriz cimentícia, o que possivelmente gerou um aumento na porosidade do concreto.

Figura 13 - Resultados ensaio de compressão axial do concreto geopolimérico



Fonte: Autor, 2017.

Na figura 13 são apresentados os resultados do ensaio de compressão axial do concreto geopolimérico, é possível observar que a adição de borracha se comportou de forma diferente da apresentada no ensaio de tração na flexão, o grupo B com 2,5% de adição de borracha apresentou uma redução na resistência em relação à referência de 24,83%, já no grupo C com 5% de adição de borracha houve uma redução de 29,07%. Como já citado em outros trabalhos, a adição da borracha prejudica a resistência à compressão, quanto maior a adição de borracha maior é a queda na resistência, o que é possivelmente explicado pelo aumento da porosidade gerado pela adição da borracha reciclada de pneus.

3.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Para comprovar a significância dos dados obtidos realizou-se uma análise de variância ANOVA com auxílio do software Microsoft Excel. A análise foi realizada para um nível de significância de 95%, ou seja, um valor $p \geq 0,05$, para valores maiores que este as amostras podem ser consideradas iguais com 95% de certeza, caso contrário são consideradas diferentes com a mesma precisão. O $F_{crítico}$ é outro valor que deve ser analisado, quando $F \geq F_{crítico}$ são consideradas diferentes, caso contrário às amostras são iguais.

Tabela 2: Resultados da Análise de Variância ANOVA

Parâmetros	Resistência a Tração C. Geopolimérico	Resistência a Tração C. Portland	Resistência a Compressão C. Geopolimérico	Resistência a Compressão C. Portland
Valor p	0,134	0,000	0,119	0,000
F	2,862	36,382	3,091	42,946
Fcrítico	5,143	5,143	5,143	5,143

Fonte: Autor, 2017.

Os resultados obtidos na Tabela 2 demonstram que as amostras mostram-se estatisticamente diferentes para os ensaios realizados no concreto de cimento Portland e estatisticamente iguais para os ensaios realizados no concreto geopolimérico, com 95% de precisão.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados dos ensaios realizados e de sua análise, pode-se concluir que:

- A adição de 2,5% e 5% de borracha reciclada de pneus no concreto de cimento Portland reduz a sua resistência tanto para ensaios na flexão quanto para a compressão. Os principais fatores para a queda da resistência nos ensaios de compressão e flexão no concreto de cimento Portland são possivelmente: a baixa resistência mecânica da borracha e a sua fraca aderência com a matriz cimentícia, o que acaba gerando aumento na porosidade do concreto. Na literatura é recomendada a realização de um tratamento químico com utilização de hidróxido de sódio (NaOH) para melhorar a aderência entre a borracha e o concreto, minimizando assim a queda na resistência;
- A adição de 2,5% e 5% de borracha reciclada de pneu no concreto geopolimérico melhora sua resistência quanto na flexão e prejudica sua resistência a compressão. A melhora na resistência a tração deve-se ao fato da adição de borracha ter provavelmente auxiliado no processo de cura do concreto, fazendo que o processo fosse melhor concluído nos grupos que receberam esta adição. A queda na resistência a compressão no concreto geopolimérico com adição de borracha possivelmente se deve a baixa

resistência mecânica da borracha e o aumento da porosidade gerada por sua adição;

- Estatisticamente a adição de borracha teve influência significativa apenas no concreto de cimento Portland, enquanto que no concreto geopolimérico as amostras se mostraram iguais;
- Concretos com adição de borracha reciclada de pneu podem ser perfeitamente utilizados, desde que em locais onde não há elevada exigência de resistência à compressão.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Repetir o mesmo trabalho, com percentuais diferentes de adição de borracha em concreto geopolimérico;
- Avaliar a resistência de concreto de cimento Portland e geopolimérico com adição de borracha realizando tratamento químico na borracha para melhorar sua aderência;
- Avaliar a resistência de concreto de cimento Portland e geopolimérico com percentuais de adição de borracha e com tempos de cura diferentes;
- Avaliar o desgaste superficial do concreto com adição de borracha reciclada de pneu;
- Estudar a influência da adição de borracha reciclada de pneu na dilatação do concreto.

5. REFERÊNCIAS

ALLEM, Patrícia M. **Avaliação do desempenho mecânico de concreto geopolimérico com uso de fibras de aço**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: CONCRETO – PROCEDIMENTO PARA MOLDAGEM E CURA DE CORPOS DE PROVA**. RIO DE JANEIRO, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência a tração na flexão de corpos de prova prismáticos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE PNEUMÁTICOS (ANIP). 2017. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/infografico_anip_4tri.pdf>. Acessado em: 28/03/2017.

BATISTA, Giovani dos Santos; MAGNI, Júlia Regina; KRUG Lucas Fernando. **Adição de Resíduos de Recapagem de Pneus na Produção de Concreto**. 2017. 13f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

BRIGIDO, Jimmi Silveira. **Estudo do efeito da macrofibra de polietileno e microfibra de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto geopolimérico**. 2016. 15f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

CONAMA (2009). Resolução nº 416, 30 de setembro de 2009. Dispões sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação adequada, e de outras providências.

COSTA, A. F. M. **Utilização de geopolímeros para Protecção de Betão: Resistência a altas temperaturas**. Tese (Doutorado) – Curso de engenharia civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2012.

DAVIDOVITS, J. **Properties of Geopolymer Cements**. Geopolymer Institute, Alkaline Cementsand Concretes, Kiev, Ukraine, 1994.

EUROPEAN STANDARDS. **CSN EN 12390-3**: Ensaio de Concreto Endurecido – Resistência à compressão dos corpos de prova de ensaio. Portugal, 2003.

MENGER, Manuela Hoffmann. **Análise da aderência entre compósitos de cimento portland e geopolimérico**. 2015. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.