

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS GRAÚDOS POR RESÍDUOS TÊXTEIS NO CONCRETO

Arisa Sumikawa Miashita E-mail: arissasumikawam@hotmail.com
Andrea Sartori Jabur (UTFPR - APUCARANA) E-mail: sartorijabur@gmail.com
Valquiria dos Santos Ribeiro E-mail: valquiria@utfpr.edu.br
Rodolfo Krul Tessari E-mail: rtessari@utfpr.edu.br

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de substituição parcial de agregados graúdos por resíduos sólidos provenientes da indústria têxtil na fabricação de concreto de cimento Portland. O resíduo sólido têxtil utilizado na pesquisa consiste em retalhos de tecido 100% poliéster e é fruto de doação de uma empresa da região noroeste do Paraná. O resíduo foi utilizado na mistura do concreto nas proporções de 0%, 1%, 2% e 3% em massa na substituição do agregado graúdo (brita). Foram confeccionados 4 corpos de prova de concreto com e sem resíduos têxteis e estes foram submetidos a ensaios físicos com a finalidade de avaliar a viabilidade da metodologia empregada, quanto à resistência a compressão e absorção de água. Em relação a confecção dos corpos de prova, a maior quantidade de resíduos no corpo de prova conferiu maior necessidade de quantidade de água no traço, bem como apresentou menor massa final e maior porcentagem de umidade. Foi possível analisar que o corpo de prova com 2% de resíduos apresentou um resultado próximo ao concreto tradicional. O corpo de prova que contém 3% de resíduos apresentou a menor resistência de todos os testes.

Palavras-chave: Resíduo sólido têxtil, concreto, sustentabilidade.

EVALUATION OF THE PARTIAL REPLACEMENT CAPACITY OF LARGE AGGREGATES FOR TEXTILE RESIDUES IN CONCRETE

Abstract: The present work had the objective of evaluating the partial replacement capacity of large aggregates for solid wastes from the textile industry in the manufacture of Portland cement concrete. The textile solid residue used in the research consists of 100% polyester fabric and is the result of a donation from a company located in the northwestern region of Paraná. The residue was used in the concrete mixture in proportions of 0%, 1%, 2% and 3% by weight in the replacement of the aggregate (gravel). Four body proofs of concrete with and without textile residues were made and these were submitted to physical tests with the purpose of evaluating the feasibility of the methodology used for the resistance to compression and water absorption. In relation to the preparation of the body proofs, the greater amount of residues in the body proof gave a greater need of water quantity in the trace, as well as lower final mass and higher percentage of moisture. It was possible to analyze that the specimen with 2% of residues presented a result close to the traditional concrete. The body proof containing 3% of residues had the lowest resistance of all the tests.

Keywords: Solid textile residue, concrete, sustainability.

1. Introdução

A busca por fontes alternativas de energia renovável ocorre de maneira a encontrar uma solução para frear o acelerado consumo de recursos naturais e preservar o meio ambiente (AVELINO, 2011). Visto isso, nota-se a crescente utilização de materiais compósitos em diversas áreas tecnológicas, este é um assunto que vem ganhando grandes proporções de atenção nas pesquisas acadêmicas. De um modo geral, denomina-se material compósito aquele que é constituído por dois ou mais constituintes

diferentes, formando a combinação de duas fases, nomeadas matriz e reforço, e juntas, resultam na formação de um novo material com melhor desempenho e melhores propriedades mecânicas (VENTURA, 2009).

Segundo Santos (2013), é notável o investimento das indústrias modernas, que vem ampliando o uso de materiais compósitos, geralmente no ramo automotivo, esportivo e de construção civil. Ainda de acordo com o autor, a área de construção civil, a cada ano tem experimentado essa possibilidade de aprimorar propriedades de materiais de construção, pois estes materiais compósitos geralmente apresentam características de menor peso, menor densidade e a possibilidade de melhor desempenho em relação aos materiais convencionais.

Paralelamente ao estudo relacionado ao desenvolvimento de materiais compósitos, a indústria têxtil é um dos segmentos mais antigos do país e foi responsável pelo faturamento de cerca de 40 bilhões de dólares americanos somente no ano de 2016, sendo o Brasil o quinto maior produtor têxtil no mundo (ABIT, 2017). Em conjunto com a larga escala de produção do setor, gera-se uma grande quantidade de resíduos que são em sua maioria destinados à aterros e demoram muitos anos para se decompor. Contudo, com o avanço das pesquisas e o recorrente investimento em inovação na área, tornou-se possível o reuso desses resíduos de modo a encontrar uma solução alternativa e eficiente por meio de sua incorporação em materiais como o concreto, por exemplo, por se tratar de resíduos poliméricos.

Diversos métodos de mistura de materiais em concreto têm sido desenvolvidos nos últimos anos como aditivos de reforço, principalmente com materiais poliméricos, que quando combinados com partículas rígidas aprimoram suas propriedades mecânicas e resultam em aumento do módulo de rigidez e de resistência a propagação de trincas. Países como Estados Unidos, Alemanha e China demonstram grande interesse nessa área e segundo Santos (2013), o tamanho da partícula é de grande influência no processo, pois quanto menores as partículas, maior a abrangência da área superficial dos polímeros e assim obtêm-se melhores resultados de resistência.

No entanto, no ramo que se insere a produção do concreto, a indústria da construção civil é responsável por até 50% do consumo de recursos naturais extraídos do planeta. De acordo com Avelino (2011), o concreto de cimento Portland é o material de construção mais utilizado no mundo e é um material capaz de absorver certos tipos de resíduos e rejeitos industriais, viabilizando assim, a inserção de resíduos como matéria prima com o objetivo de substituir recursos naturais retirados do meio ambiente, tornando o processo renovável e também aprimorando as propriedades do material a baixo custo. Diante disso, o presente estudo pretende avaliar a substituição de agregados graúdos por resíduos sólidos têxteis 100% poliéster no concreto.

2. Metodologia

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos no presente trabalho, inicialmente realizou-se levantamento do resíduo sólido têxtil estudado e levantamento bibliográfico sobre o tema para que fosse possível definir a porcentagem de resíduos incorporados no concreto, para posterior avaliação do desempenho dos corpos de prova de concreto fabricados com os mesmos.

O desenvolvimento experimental compreendeu a caracterização dos resíduos sólidos têxteis, a fim de verificar suas propriedades físicas e avaliar sua capacidade de inserção no concreto como substituto parcial de agregados, por meio de ensaios de caracterização do concreto produzido.

2.1 Caracterização dos Materiais

2.1.1 Resíduo Sólido Têxtil

Os resíduos sólidos utilizados na substituição ao agregado graúdo nos corpos de prova de concreto apresentavam composição 100% poliéster e foram adquiridos por meio de doação de uma indústria de confecção de vestuário localizada na região noroeste do Paraná.

Com o auxílio de uma tesoura os resíduos foram triturados manualmente de tamanho aproximado a brita substituída, número 1, de dimensão aproximada a 24 mm, conforme Figura 1. Não houve a necessidade de triturar o material de maneira que cada parte triturada fosse idêntica à outra, uma vez que a própria brita apresenta superfície irregular. Os resíduos triturados passaram pelo teste de granulometria, objetivando a regularidade do tamanho do material e foram armazenados em um recipiente até a hora da fabricação dos corpos de prova.



Figura 1 - Resíduo têxtil triturado

2.1.2 Concreto

Segundo Modro (2008) o concreto é obtido pela composição de cimento, água e agregados. Portanto, para a confecção do concreto utilizou-se água, cimento Portland, brita e areia. O cimento Portland utilizado na fabricação do concreto atuou como aglomerante e é da marca Votoran.

Os agregados utilizados para a confecção do concreto foram: areia média para fina, esta passou pela análise de granulometria segundo norma NBR NM 248 (2003), referente a agregados e sua composição granulométrica, brita número 1 que também passou pelas mesmas análises acima citadas. Para os ensaios de granulometria da areia e brita (Figura 2a), as peneiras foram encaixadas e colocadas sobre o agitador de peneiras, contendo 1kg do material e vibração 0, aumentada gradualmente. Realizou-se também o *Speedy test* (Figura 2b), para verificar o teor de umidade da areia, que fornece o resultado no manômetro do equipamento em kgf/cm^2 para ser comparado em uma tabela que acompanha o equipamento, para assim obter resultado em relação a umidade do material analisado. A água utilizada na prática foi a disponível pelo município de

Apucarana/PR.



Figura 2 – Equipamentos utilizados: A) peneiras e agitador para granulometria; B) equipamento *Speedy*

A confecção dos corpos de prova de concreto ocorreu em temperatura ambiente, por esse motivo um teste de lixiviação (para detectar possíveis contaminantes) não foi realizado. Uma vez que o corante disperso (utilizado em fibras de poliéster) age apenas com a presença de elevadas temperaturas (acima de 100°C) e a temperatura de hidratação do concreto, segundo Carneiro, Gil e Neto (p.17, 2011), oscila de 0 a 85°C, até se estabilizar com a temperatura ambiente.

2.2 Planejamento Experimental

2.2.1 Escolha do Traço

Sgorlon (2014) diz que o traço é como uma receita para indicar as proporções entre as matérias-primas inseridas na produção do concreto ou argamassa, e que em sua maioria a determinação do traço é realizada de maneira empírica, ou seja, com base em tentativas e erros. Segundo a autora citada, por não existir um meio consagrado de dosagem para concretos com consistência seca, que foi o caso do presente estudo, pode-se optar por adotar como base das escolhas do traço um autor de referência. Sendo assim, foi utilizado o traço referência conforme o estudo de Avelino (2011), 1:1,33:2,45:0,50 (cimento:areia:brita:água). Avelino (2011), estudou a incorporação de resíduo de corte de botão de poliéster nas proporções de 0%, 5%, 10% e 20%, obtendo bons resultados de resistência à flexão para os traços de 5% e 10% em relação ao concreto de cimento Portland sem resíduos. A partir do traço referência, foram propostos novos traços conforme a porcentagem de substituição de resíduos sólidos têxteis de poliéster em relação a massa da brita para possível substituição de agregados. As proporções de substituição de resíduos têxteis foram 1%, 2% e 3% em relação a massa, para que fosse possível analisar o comportamento do concreto. A Tabela 1, apresenta a proporção dos materiais utilizados para o presente trabalho.

Tabela 1 – Traços utilizados na fabricação do concreto com incorporação de resíduos têxteis.

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Resíduo (kg)	Água/Cimento (kg)
Referência	1,00	1,33	2,45	0,00	0,50
1%	1,00	1,33	2,43	0,02	0,50
2%	1,00	1,33	2,40	0,05	0,50
3%	1,00	1,33	2,38	0,07	0,50

Fonte: organizado pelos Autores.

2.3 Fabricação do Concreto

Para a fabricação do concreto com incorporação de resíduos têxteis, primeiramente realizou-se a pesagem de todos os materiais utilizados, conforme proporções apresentadas na Tabela 1.

Segundo Avelino (2011) o concreto pode ser misturado manualmente, em betoneiras ou em central de concreto. Para esse trabalho, o concreto foi misturado manualmente, devido à pouca quantidade produzida. As etapas de fabricação do concreto consistiram em misturar parte da água ao agregado graúdo (brita), em seguida cimento, agregado miúdo (areia) e o restante da água. Para os traços que incluíram resíduo, este foi misturado com a brita anteriormente.

Após a produção do concreto, foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos de 100 x 200 mm (diâmetro x comprimento) indicados na Figura 11, previamente revestidos com uma camada fina de óleo mineral neutro para máquinas (Figura 12). Os corpos de provas fabricados tiveram a primeira cura do concreto na sombra, para que depois de 24 horas ocorresse a desforma. Após este procedimento, os corpos de prova ficaram em um tanque de imersão para a cura lenta do concreto por 6 dias. O tanque de imersão consiste em um tanque com água, para hidratar os corpos de prova de concreto durante o tempo de cura e assim evitar posteriores rachaduras nos mesmos. Após sete dias de cura, os corpos de provas foram retirados, para secagem final na sombra por mais 21 dias, completando um total de 28 dias de processamento (cura/secagem) do concreto, conforme a NBR 5738 (2003).

2.3 Ensaios no Concreto

Com os corpos de prova fabricados foram realizados os ensaios para a caracterização do concreto produzido, realizou-se o teste de resistência a compressão, com auxílio da máquina de ensaio universal da marca EMIC (Figura 3) para medir a resistência à compressão (realizado após os 28 dias de cura) conforme NBR 5739 (2007) e teste de absorção de água com o tanque de imersão para conferir a quantidade de água absorvida pelo concreto com e sem incorporação de resíduos têxteis após imersão em água por 24 horas. Para calcular a quantidade de água (em gramas) que o corpo de prova absorveu, realizou-se o cálculo de subtração das massas, massa seca (antes da imersão) menos o de massa úmida (após a imersão). E para calcular a porcentagem de absorção de água (ω) realizou-se a divisão da diferença de massas pela massa seco. O cálculo da massa específica do concreto foi obtido por meio da divisão da massa (kg) pelo volume do corpo de prova (m^3).



Figura 3 – Máquina de ensaio universal EMIC.

3. Resultados e Discussões

Os resultados da análise granulométrica da areia e brita estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Granulometria da areia (agregado miúdo)

Diâmetro peneira (mm)	Massa Retida (g)
6,60	0
4,75	0
2,40	5,1
1,2	23,7
0,6	154,8
0,3	653,5
0,15	148,5
Fundo (pó pulverulento)	10,3

Tabela 3 - Granulometria da brita (agregado graúdo)

Diâmetro peneira (mm)	Massa retida (g)
100	0
50,8	0
30	0
19,1	0
6,35	953,2
Fundo (pó pulverulento)	46,8

Foi possível analisar que as peneiras que concentraram maior massa de material, tanto de areia como brita, confirmaram as dimensões destes conforme a norma. Logo, por meio da análise granulométrica foi possível comprovar as especificações de dimensão dos agregados utilizados no experimento.

Ao realizar o *Speedy test*, obteve-se um resultado igual a 0 kgf/cm² no manômetro do equipamento. Ao comparar este resultado com a tabela que acompanha o equipamento, analisou-se que a areia apresentou zero umidade. Uma possível explicação seria referente ao clima no dia da realização do teste, ou seja, um dia com baixo teor de umidade do ar que implicou em uma radiação solar bastante forte, somado ao fato da areia estar diretamente exposta ao tempo e mais de 10 dias sem chover, resultou em um material sem umidade.

Os corpos de prova foram planejados para serem confeccionados segundo o traço referência citado 1:1,33:2,45:0,5 (cimento:areia:brita:água). Porém, para a fabricação dos corpos de prova as reais quantidades de materiais utilizadas estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidades de materiais utilizados na fabricação do concreto

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Resíduo (kg)	Água (kg)
Referência	1,00	1,33	2,45	0,00	0,50
1%	1,00	1,33	2,43	0,02	0,70
2%	1,00	1,33	2,40	0,05	0,70
3%	1,00	1,33	2,38	0,08	0,80

Por meio da Tabela 4, foi possível observar que na prática a quantidade de água utilizada teve que ser diferente da quantidade proposta conforme a Tabela 1. Invés de todos os corpos de prova receberem quantidade fixa de água de 500 ml (0,5 kg), os traços 1% e 2% tiveram que receber 200 ml a mais que o estipulado inicialmente, e o de 3% precisou, além dos 200 ml adicionais, mais 100 ml, totalizando 300 ml a mais que o proposto. A quantidade de água adicionada além do esperado pode ser explicada pelo fato de que mesmo que o fio de poliéster apresente baixíssima porcentagem de absorção de água, o resíduo foi utilizado em forma de tecido e que devido a sua estrutura, apresentou uma superfície capaz de reter água.

Portanto, pode-se perceber que conforme o aumento da porcentagem de resíduo no concreto, houve uma maior necessidade de adição de água justamente devido a absorção da mesma pelo tecido. Ou seja, quanto maior a quantidade de tecido na mistura, maior a necessidade de água a ser adicionada. Esse fato também pode ser comprovado de acordo com os resultados obtidos no teste de absorção de água, das massas registradas, bem como a quantidade de água absorvida e a porcentagem de umidade (ω), conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Massas dos corpos de prova úmidos e secos

Traço	Massa seco (g)	Massa úmido (g)	Água (g)	ω (%)
Referência	3546	3650	104	2,93
1%	3604	3746	142	3,94
2%	3438	3618	180	5,24
3%	3186	3426	240	7,53

Por meio dos resultados obtidos com o teste de absorção de água, foi possível observar que com o aumento da quantidade de resíduos no concreto conferiu uma maior absorção de água do corpo de prova. Logo, o teste demonstrou que a maior porcentagem de tecido absorveu maior quantidade de água, e essa quantidade de água a mais no traço pode afetar a resistência do material posteriormente.

Outro fator observado na tabela 5 são as massas dos corpos de prova com resíduos, que tenderam a ser mais leves em comparação ao concreto sem resíduos. Apenas o corpo de prova com 1% estabeleceu uma massa superior ao corpo de prova de 0%. Em relação a absorção de água ser superior conforme a adição dos resíduos têxteis, estes ainda estabeleceram um valor inferior de massa, em comparação ao corpo de prova 0% úmido. E o corpo de prova 3% apresentou um valor de massa inferior ao corpo de prova seco e úmido à 0%.

Considerando a massa do corpo de prova seco com 0% (referência), os corpos de prova 2% e 3% apresentaram respectivamente 3% e 10% à menos. Em relação a quantidade de absorção da água, os corpos de provas 2% e 3% ficaram 0,8% e 3% mais leves em comparação ao corpo de prova 0%. Na Figura 4, a seguir, pode-se observar os corpos de prova confeccionados com 0%, 1%, 2% e 3% de resíduo, respectivamente (Figura 4a, 4b, 4c e 4d).

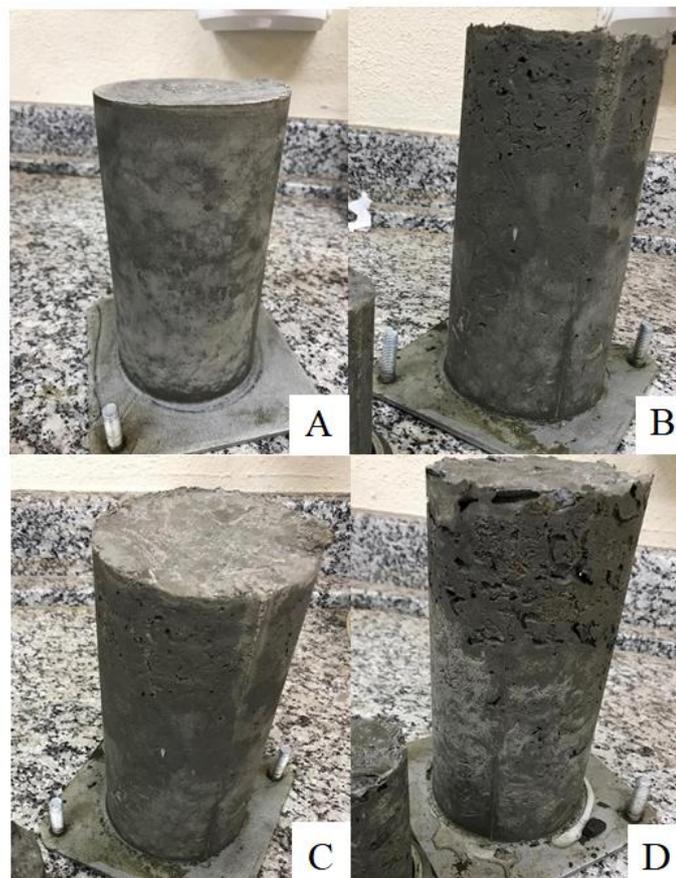


Figura 4 – Corpos de prova: A) sem adição do resíduos; B) com 1% de adição; C) com 2% de adição e D) com 3% de adição.

A massa específica do concreto com 0% de resíduos foi de 2257,4 kg/m³, que coincide com o valor referência de 2000 à 2800 kg/m³ (PINHEIRO, MUZARDO, SANTOS, 2004). As massas específicas dos corpos de prova 1%, 2% e 3%

apresentaram respectivamente os valores de 2294,37 kg/m³, 2188,7 kg/m³ e 2028,3 kg/m³.

Quanto a realização do teste de resistência a compressão, os resultados obtidos podem ser observados na tabela 6.

Tabela 6 - Resistência a compressão dos corpos de prova

Traço	Força máxima aplicada (kN)	Resistência a compressão (MPa)
Referência	58,44	7,44
1%	51,24	6,52
2%	55,62	7,08
3%	49,59	6,31

Fonte: Autora (2017).

Como observado na tabela 6, foi possível analisar que os resultados de resistência a compressão no geral foram semelhantes, porém pode-se observar que o corpo de prova com 2% de resíduos apresentou um resultado próximo ao concreto tradicional (referência) e melhor que 1%, indicando que possivelmente a substituição poderia ocorrer sem causar uma diferença considerável de resistência a compressão. O corpo de prova que contém 3% de resíduos apresentou a menor resistência de todos os testes. Os corpos de prova com resíduos, ao iniciarem o rompimento se despedaçaram, porém houve a acomodação dos agregados com o tecido, como uma liga, que os mantiveram presos capacitando os corpos de prova a suportarem a força (compressão) aplicada (Figura 5). Os corpos de prova após os ensaios de resistência a compressão podem ser conferidos na Figura 6.



Figura 5 – ensaios de compressão, nos corpos de prova (CP), com 0%, 1%, 2% e 3%



Figura 6 - Corpos de prova após ensaio de compressão

4. Conclusões e Considerações Finais

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de substituição parcial de agregados graúdos por resíduos sólidos 100% poliéster, provenientes da indústria têxtil, na fabricação de concreto de cimento Portland. O resíduo foi utilizado na mistura do concreto nas proporções em massa de 0%, 1%, 2% e 3% na substituição do agregado graúdo (brita), totalizando 4 corpos de prova. Os corpos de prova confeccionados de concreto com e sem resíduos têxteis foram submetidos a ensaios físicos com a finalidade de avaliar a viabilidade da metodologia empregada, quanto à resistência a compressão e absorção de água.

Em relação a confecção dos corpos de prova, a maior quantidade de resíduos no corpo de prova conferiu maior necessidade de quantidade de água que o planejado conforme o traço referência. Isso pode ser explicado devido a substituição da brita pelo resíduo de tecido, sendo este capaz de reter água, que implicou na maior quantidade de água na receita, que possivelmente interferiu nos resultados de resistência.

Quanto a realização do ensaio de resistência a compressão, foi possível observar que as bases do corpo de prova foram as áreas mais comprometidas com o ensaio e que o resíduo auxiliou os agregados a se acomodarem, criando uma liga. Os resultados de resistência a compressão obtidos foram semelhantes entre os corpos de prova com e sem resíduos, porém por tratar-se de um estudo inicial não foi possível afirmar o sucesso da substituição. Para isto, devem ser realizados novos testes com corpos de prova para realizar um levantamento estatístico do estudo em questão.

Durante o desenvolvimento do trabalho, um dos obstáculos enfrentados foi o curto prazo para conclusão do trabalho, logo não foi possível confeccionar maior número de corpos de prova. Ocorreram dificuldades em relação a etapa de triturar o resíduo, justamente por ser resíduo e este apresentar tamanhos e formas irregulares. Também foi possível observar a importância da etapa de vibração na confecção do concreto, uma vez que essa etapa é responsável pela homogeneidade do concreto e por encaixar todos os componentes do concreto de maneira a ocupar todo o espaço do molde do corpo de prova, evitando deixar ar no concreto, que pode gerar consequente perda de resistência.

Embora seja um estudo inicial os resultados obtidos podem ser considerados um avanço, uma vez que até o momento não há disponíveis estudos que abrangem esse

tema. Como sugestão para pesquisas futuras, seria interessante continuar o presente estudo confeccionando novos corpos de prova, para efeitos de comparação de resultados. Também seria interessante aumentar a porcentagem da substituição do resíduo em relação ao agregado graúdo, estudar adotando outro traço de referência e até mesmo a viabilidade da substituição do agregado miúdo.

Referências

ABIT. *Perfil do Setor*. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

AVELINO, V. K. G. R. *Estudo Do Comportamento No Estado Fresco E Endurecido Do Concreto Com Incorporação De Resíduo De Corte De Botão*. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

MODRO, N. L. R. *Desenvolvimento e caracterização de concreto de cimento portland contendo resíduos poliméricos de pet*. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade de Região de Joinville, Joinville, 2008.

PINHEIRO, L. M. & MUZARDO, C. D. & SANTOS, S. P. *Estruturas de concreto*. Departamento de Engenharia de Estruturas, EESC. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

SANTOS, J. C. *Compósitos laminados têxteis de vidro e carbono em matriz epóxi reforçada com micro e nano sílica*. São João del-Rei, 2013.

SGORLON, J. G. *Utilização de resíduos da indústria galvanotécnica no desenvolvimento e fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada*. 2014. 206 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

VENTURA, A. M. F. M. *Os Compósitos e a sua Aplicação na Reabilitação de Estruturas Metálicas*. Ciência & Tecnologia dos Materiais, Vol. 21, nº 3/4, 2009.