

CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO LEVE UTILIZANDO EVA COMO AGREGADO E ACRÉSCIMO DE FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO

Erick Thiago Costa de Andrade ¹
Antonio Farias Leal ²

RESUMO

Um campo muito promissor, porém, não tão explorada é o chamado concreto leve, que possui propriedades que pode se aproximar a do material tradicional, porém, com peso muito menor. Recentemente, tem-se reutilizado materiais para a produção desse tipo de concreto, um exemplo é a utilização de borracha de EVA, esse material possui grande volume de resíduo, resultado da produção principalmente da indústria de calçados. O concreto leve, atribuído a incorporação de fibras sintética na argamassa leve acarretará na melhora das propriedades do concreto, entre elas a resistência após a formação e deslocamento da trinca. Dessa maneira pode-se desenvolver materiais para inúmeras situações que exija resistência e leveza. Este trabalho objetiva obter concreto leve com acréscimo de fibra sintética curta de polipropileno para caracterização e análise das propriedades do material. Após a fabricação dos corpos de prova prismáticos, foi feito ensaio de tração na flexão, compressão e microscopia eletrônica de varredura (MEV), seguindo essa ordem, a partir disso determinamos um fator de eficiência para os dois tipos e fazendo também comparações entre o concreto fibroso e não fibroso. Os resultados foram eficientes de acordo com a composição do agregado usado. Ficando evidenciado o benefício desse tipo de concreto na construção civil.

Palavras chaves: Concreto leve, EVA, fibra de polipropileno, fator de eficiência.

INTRODUÇÃO

O concreto possui uma série de características que lhe garante o posto de material estrutural mais utilizado do mundo. Entre as principais vantagens podemos citar o baixo custo, facilidade de se adequar a vários processos e a possibilidade de ser moldado de inúmeras formas (COUTO; CARMINATTI; NUNES; MOURA, 2013). Apesar disso, o concreto possui limitações como baixa resistência mecânica, elevado peso, capacidade de medir suas propriedades apenas depois do processo de cura e secagem, após esse tempo

¹ Graduado do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, ericktandrade@gmail.com;

² Antonio Farias Leal: Doutor, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, antoniofleal@gmail.com.

possui pouca deformação antes da ruptura, tendo em vista que, uma vez fissurado, o concreto perde completamente a capacidade de resistir a esforços de tração e flexão.

Uma combinação de materiais à base de cimento Portland e de polímeros nas mais diversas formas dão origem a um compósito que apresenta propriedades características como resistência mecânica, módulo de elasticidade, ductilidade, tenacidade e comportamento pós-fissuração mais apropriadas do que quando comparadas às propriedades dos materiais isoladamente (MOGRE; PARBAT, 2012).

A presença de fibras na argamassa promove ao concreto um ganho de resistência à tração, aumento da tenacidade e maior capacidade de deformação após o surgimento de fissuras (BENTUR; MINDESS, 2007). Além disso, Choi e Yuan (2004), diz que as fibras proporcionam o aumento da resistência à flexão, resistência ao impacto e do módulo de ruptura. Entre as fibras usadas para reforço de materiais cimentícios, o uso de fibras sintéticas (poliméricas), vem ganhando importância, com destaque especial para as de polipropileno, extensivamente utilizadas.

As fibras de polipropileno são produzidas a partir da resina de polipropileno do tipo homopolímero em vários tamanhos, formas e com diferentes propriedades. As principais vantagens dessas fibras são relativo alto ponto de fusão (165 °C), resistência aos álcalis e o baixo preço do material. Em contrapartida, suas desvantagens são sua baixa resistência ao fogo, sensibilidade à luz do sol e oxigênio, baixo módulo de elasticidade e fraca aderência com a matriz cimentícia (BENTUR; MINDESS, 2007). Como o peso específico das fibras de polipropileno é baixo, um alto teor de fibras também diminui o peso do concreto (LUCENA, 2017).

Dentro desse contexto e levando em consideração um conhecimento prévio sobre o assunto, alguns questionamentos ainda existem para serem esclarecidos sobre o tema, entre essas questões estão: com aumento da fração volumétrica do polímero irá influenciar nas propriedades do concreto? É possível proporcionar uma estrutura capaz de suportar os esforços ao qual esse tipo de material será submetido? Em relação ao peso, como será afetado? Tendo em vista que a matriz se trata de concreto leve.

Dentro deste contexto tivemos como objetivo principal avaliar as características mecânicas e microestrutural de concreto com os agregados leves de EVA com e sem fibra de polipropileno, tendo como objetivos específicos Produzir os blocos prismáticos com cada agregado leve com e sem fibra de polipropileno nas devidas proporções, analisar a resistência

à flexão, por meio do ensaio de flexão de três pontos após 28 dias, investigar a resistência à compressão, analisando o fator de eficiência para cada composição, observar, através das imagens de MEV, o comportamento do agregado e da fibra dentro da estrutura.

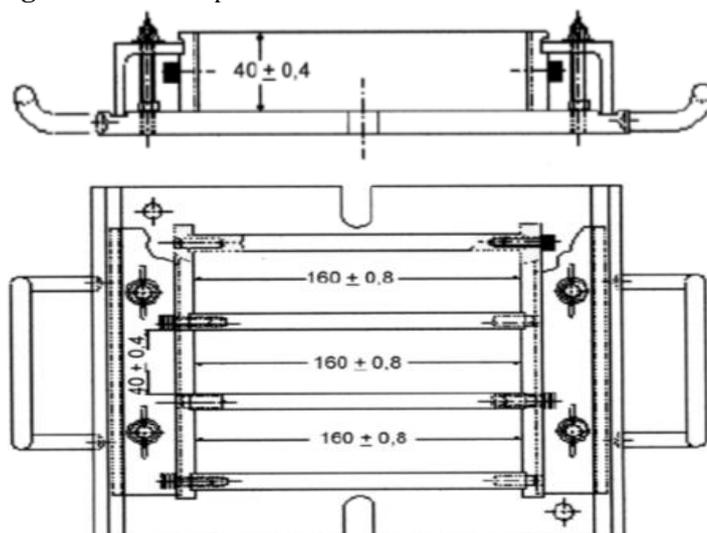
METODOLOGIA

Nesse trabalho foram utilizado *Poliestireno expandido (isopor)* como reforço para a matriz cimentícia, estando o mesmo presente na proporção 1:1 com a quantidade de cimento Portland, enquanto a quantidade de fibras presente na composição é de 1:50 em relação a quantidade de cimento.

Essas proporções foram predefinidas, tendo em vista que não foi adicionado agregado de concreto convencional na composição. Já em relação às fibras foi determinada com estudo da literatura.

A fabricação dos corpos de prova deu-se da seguinte maneira, inicialmente foram fabricados 2 grupos com 5 blocos prismáticos nas dimensões 40mm x 40mm x 160mm, figura 10, de acordo com a norma ABNT NBR 13279, utilizando o agregado supra citados com e sem a fibra sintética de polipropileno, o fator água/cimento foi de 0,4 para ambos, os corpos de prova passaram por um tempo de cura de 28 dias até o início dos ensaios.

Figura 1– Blocos prismáticos de acordo com a norma ABNT NBR 13279.



Fonte: ABNT, 2005.

O *Cimento portland* utilizado para esta pesquisa é da marca Elizabeth, do tipo Cp2, adquirido comercialmente, em embalagem de 50 kg, foram separadas as porções a serem utilizadas em sacos plásticos antes da misturas com os agregados.

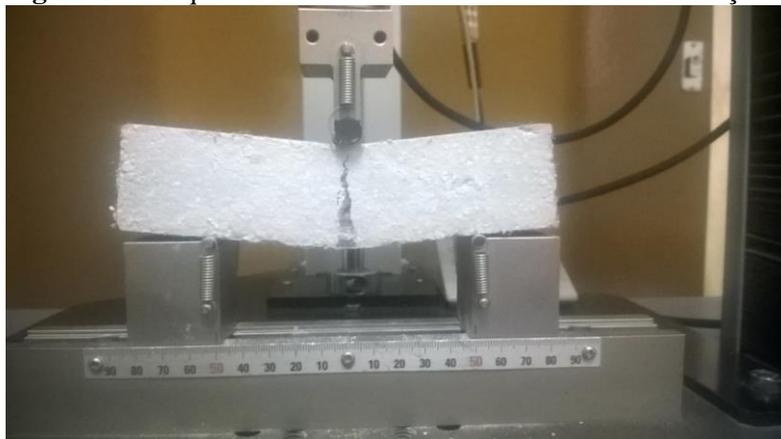
O *Agregado leve* foi utilizado na forma de agregado miúdo, para a determinação se fez uso de um conjunto de peneiras com abertura variando de 4,75 à 0,15 mm, foi utilizado as partículas que passaram pela peneira de abertura de 4,75mm até as que ficaram na peneira com abertura de 0,15mm, dessa maneira o material é dito miúdo de acordo com a norma ABNT NBR 7211 que especifica o tipo de agregado para concreto.

O *EVA (Ethylene Vinyl Acetate)*, também foi doado pelo Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas – LABEME da UFPB, que por sua vez recebeu da Amazonas Produtos para Calçados Ltda o material já triturado. O mesmo possuía coloração preta e a granulometria foi determinada de acordo com o que foi descrito anteriormente.

Para finalizar a temos a *Fibra de polipropileno* que foi adquirida comercialmente, da marca Maccaferri, tipo FibroMac® 12, de comprimento 12mm. A mesma não sofreu nenhum tratamento especial antes de ser incorporada ao concreto.

Após o tempo determinado de 28 dias foram realizados o ensaio de determinação da Resistência à Tração na Flexão, a máquina de ensaio é do tipo SPL-10KN, modelo autograph AG-X, com capacidade máxima de 10KN. O tipo de ensaio realizado foi o de 3 pontos, com distância entre os pontos de apoio de 100 mm, com uma velocidade de 0,05mm/min. Podemos observar na figura 2 como ocorreu esse ensaio.

Figura 2 – Máquina utilizada no Ensaio de Resistência à Tração na Flexão.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Após serem obtidos os valores do gráfico força (N) x deslocamento (mm), utilizamos o valor máximo para calcular a Resistência à Tração na Flexão através da equação:

$$RR \quad R_f = \frac{1,5F_f}{40^3} L = \frac{1,5 F_f L}{40^3}$$

Onde:

R_f é a Resistência à Tração na Flexão;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em Newtons;

L é a distância entre os suportes, em milímetro.

Já para o ensaio de Resistência à Compressão axial utilizou-se duas partes remanescentes do ensaio de flexão de cada corpo de prova, assim foram realizados em 10 blocos prismáticos para cada material, posicionando-as no dispositivo de apoio do equipamento de modo que a face rasada não ficou em contato com o dispositivo de apoio, nem com o dispositivo de carga. Foram utilizadas barras de metal com as dimensões de 40mm x 40mm para que a aplicação da carga fosse distribuída nessa determinada área do corpo de prova. Observe na figura 3.

Figura 3 - Aparelho do ensaio de Resistência à Compressão.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

A Resistência à Compressão é calculada segundo a equação:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Onde:

R_c é a Resistência à Compressão em megapascal;

F_c é a carga máxima aplicada em Newtons;

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga, caso as barras com dimensões de 40 mm x 40 mm, em milímetro quadrado.

O fator de eficiência é um parâmetro utilizado para avaliar e comparar a eficiência dos concretos leves trata-se de dividir a resistência a compressão (MPa) pela massa específica (kg/dm^3).

$$F_e = \frac{R_c}{\gamma}$$

Onde:

F_e – fator de eficiência ($\text{MPa} \cdot \text{dm}^3/\text{kg}$);

R_c – resistência a compressão (MPa);

γ - massa específica (Kg/dm^3).

Para finalizar foram realizados ensaios no para obtenção de imagens através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde as amostras correspondentes a cada composição foram cortadas, lixadas, polidas e metalizadas, o procedimento foi realizado em um MEV LEO, modelo 1430.

Após a coleta, foi construído um banco de dados onde os mesmos foram digitalizados e organizados no *Microsoft Office Excel*, versão 2013. A partir dos grupos todas as informações relativas a cada caso foram descritas na forma de variáveis: Resistência à Compressão, Resistência à Tração na Flexão e Densidade. Com os dados já digitalizados, as planilhas foram salvas e transportadas para os programas de análises estatísticas.

Para análise estatística utilizou-se o *software Statistical Package for Social Sciences (SPSS)* na versão 22.0. Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória para reconhecimento das variáveis e correção de possíveis erros ou inconsistências no preenchimento ou na digitação dos dados. Depois das correções necessárias procedeu-se a

análise dos dados, aplicando a estatística descritiva, com a inclusão dos resultados em gráficos e tabelas.

Ainda, utilizou-se Teste Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos dados, admitindo distribuição normal um p-valor maior ou igual a 0,05, para posterior escolha e análise estatística das comparações entre grupos de amostras independentes por meio de teste paramétrico ou não paramétrico.

Já para analisar a influência dos teores de adição e construção dos gráficos de força x deslocamento dos Agregados Leves com e sem fibra nas propriedades físico-mecânicas dos compósitos, utilizou-se do programa *ORIGIN* na versão 7.0.

DESENVOLVIMENTO

O concreto, é um compósito constituído por cimento, água, agregado e ar. Pode também conter adições como cinza volante, pozolanas, sílica ativa, entre outros, além de aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (FALCÃO, 2010).

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios executados respeitando as condições específicas.

O *Ethylene Vinyl Acetate (EVA)* que de acordo com a cartilha do editada pelo Centro tecnológico do Couro, Calçados e Afins – CTCCA (1993) de Novo Hamburgo, o EVA é um composto microporoso constituído pelos seguintes elementos: resina de EVA, agente reticulante, cargas, ativadores, auxiliares do processo e outros polímeros como a borracha.

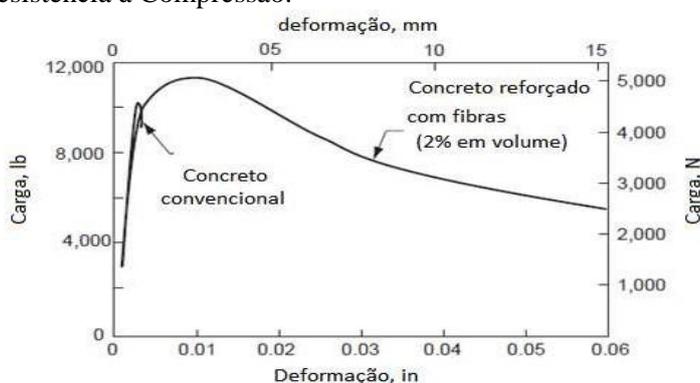
Segundo, Ribeiro (1995) e Triunfo (1994), as principais características dos copolímeros de Etileno acetato de vinila são: excelente flexibilidade e tenacidade, mesmo à baixas temperaturas; elasticidade similar à da borracha; resistência as quebras sob tensão ambientais “stress cracking”; é atóxico; apresenta baixo preço; e trata-se de um material termofixo, ou seja, ao serem submetidos ao aquecimento em determinada temperatura modificam permanentemente sua estrutura molecular, sofrendo reação química irreversível no processo.

Ainda como principais propriedades do EVA que indicam seu potencial na construção civil, destaca-se a baixa massa molar e característica de resiliência (TRIUNFO, 1994). A

obtenção do EVA reciclado, se restringe a moagem do mesmo. O material é depositado em moinhos de facas rotativos sem nenhum tratamento especial no material antes ou durante a moagem.

A combinação de material baseado em cimento Portland e de polímeros forma um compósito que apresenta características como resistência mecânica, módulo de elasticidade, ductilidade, tenacidade e comportamento pós-fissuração mais apropriadas, quando comparadas às propriedades dos materiais isoladamente.

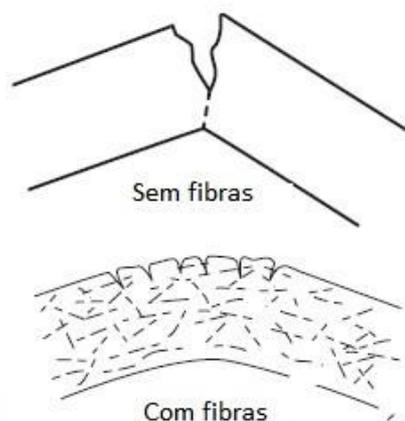
Gráfico 1 - Comportamento carga-deformação de concreto convencional e Força de Resistência à Compressão.



Fonte: Hanna, A.C., 1977 apud Mehta e Monteiro, 2008.

As propriedades mecânicas do concreto podem ser melhoradas por fibras curtas, discretas, aleatoriamente orientadas, que previnem ou controlam a formação e a propagação de fissuras. A fibra induz uma distribuição mais homogênea das tensões no concreto, o que provoca uma melhor exploração da matriz de elevada resistência (GENCEL et al., 2011).

Figura 4 - Mecanismo de aumento de tenacidade à flexão do concreto com fibra.



Fonte: Johnson, 1980 apud Mehta e Monteiro, 2008.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizou-se do teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados por compósitos, relacionada as variáveis Resistência à Compressão, Resistência à Tração na Flexão e Densidade e ao nível de 95% de confiança pode-se afirmar que os dados possuem distribuição normal na Resistência à Compressão e Resistência à Tração na Flexão e os dados relacionado a Densidade não possuem distribuição normal. Nesse sentido, será utilizado a média e desvio padrão para representar os dados que apresentam distribuição normal e a mediana para representar os dados que não possuem distribuição normal.

Finalizada a coleta de dados, seguiu-se o processo de tratamento e análise estatística desses dados. Com relação à Resistência à Compressão (RC), a comparação entre grupos mostrou que o compósito com fibra ($\bar{X}=9,80\text{MPa}$; $S=1,43$), mostraram maior resistência à compressão quando comparado ao compósito contendo apenas o EVA ($\bar{X}=8,41\text{MPa}$; $S=1,99$).

Quando observamos o gráfico 2, com relação a Resistência à Tração na Flexão (RTF) vimos que o compósito sem fibra ($\bar{X}=2,54\text{MPa}$; $S=0,20$) obteve valores menores ao compósito com acréscimo de fibra ($\bar{X}= 4,33\text{MPa}$; $S=0,19$) em relação a RTF.

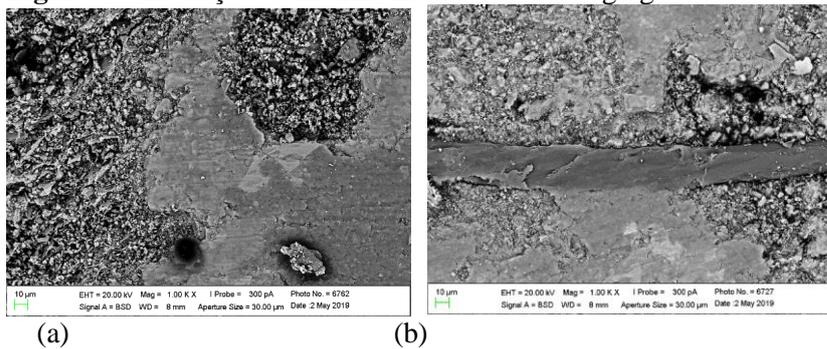
Com relação a Densidade, a comparação entre os materiais mostrou que o EVA apresenta menor mediana ($\text{med}=1,50$), seguido do grupo do EVA com fibra ($\text{med}=1,57$), o que caracterizam ambos como concreto leves.

Obtidos os resultados podemos então fazer o fator de eficiências para o concreto com e sem fibra de polipropileno.

Para o concreto sem fibra obtivemos o FE igual a $5,61\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{Kg}$ e para o compósito com a presença da fibra $6,25\text{MPa}\cdot\text{dm}^3/\text{Kg}$.

As imagens das interfaces de cada material utilizado como agregado, obtida pelo MEV e lente de aumento, está apresentado na figura 5. O EVA obteve uma boa distribuição com uma interface bem definida em relação a matriz cimentícia, com visto na figura 5 (a), onde também é possível observar a partícula porosa do mesmo.

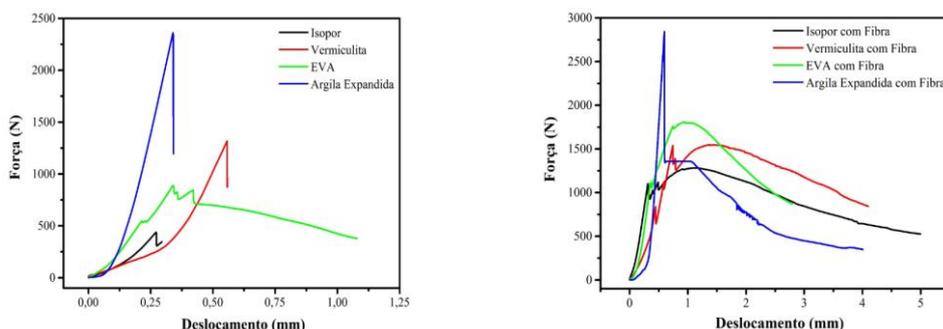
Figura 5 – Interação da matriz cimentícia com o agregado leve e as fibras.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Na figura 5 (b) podemos observar a interação entre a fibra de polipropileno e a matriz de cimento, onde vemos que estão ligadas mecanicamente apenas.

Gráfico 2 - Curvas características referentes ao concreto com e sem fibra.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

No gráfico 2 podemos observar a diferença do perfil médio das curvas principalmente dos deslocamentos após a ruptura dos corpos de prova.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento dessa pesquisa possibilitou a comparação do desempenho físico e mecânico entre o concreto leve produzido com o EVA, com e sem fibra de polipropileno. A padronização dos procedimentos empregados na produção dos concretos e nos ensaios evidenciou a influência das características das fibras nos resultados obtidos. Com isso, nos foi fornecido uma base para a compreensão de como as fibras afetam as propriedades na sua aplicação no concreto leve, e como o material comportam-se de maneira que a relação resistência e massa específica variam.

Diante de todo o exposto, e tomando como base os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados, é possível fazer as seguintes conclusões: o compósito composto apenas por cimento portland e a borracha teve valores menores tanto de resistência a compressão (RC) quanto na resistência a tração na flexão (RTF), os valores referentes a densidade para o concreto sem e com o acréscimo de fibra foi de $1,50 \text{ g/cm}^3$ e $1,57 \text{ g/cm}^3$ respectivamente, o que nos dá uma diferença mínima entre eles.

O perfil das curvas de deformação muda com o acréscimo de fibra, porém o perfil nos mostra uma tenacidade aparente nos dois casos com mudança apenas na forma e comportamento entre eles. A interface agregado-cimento foi vista e percebemos uma interação boa entre eles, apesar da presença de porosidade no interior do agregado.

Para o aprofundamento do tema abordado nesta monografia, são sugeridos os estudos da variação de comprimento das fibras; do posicionamento das fibras em regiões da peça submetidas a solicitações mais intensas, no ensaio de flexão; da variação do teor de água e volume de fibra para conhecimento do volume crítico relacionado à propriedade que se deseja melhorar e da variação de argamassa nos traços.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, V. H. de O. **Estudo da influência da utilização de fibra sobre o comportamento físico e mecânico de um concreto leve.** Monografia (graduação em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

CTCCA, **Cartilha do EVA.** Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins, Novo Hamburgo, RS, 1993.

FALÇÃO, L.A. B. **Materiais de Construção: Novos materiais para construção civil.** Volume 1. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC 2010.

GENCEL, O.; OZEL, C.; BROSTOW, W.; MARTINEZ-BARRERA, G. Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres. **Materials Research Innovations**, v. 15, p. 216 – 225, 2011.

LUCENA, J.C.T. **Concreto reforçado com fibra de polipropileno: estudo de caso para aplicação alveolar de parede fina**. 28p Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOGRE, R.P.; PARBAT, D.K. Behavior of polypropylene fibre reinforced concrete with artificial sand. **International Refereed Journal of Engineering and Science**, v. 1, issue 2, p. 37 – 40, 2012.

TRIUNFO, P. S. A. **Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) – Características e Informações gerais**. Folheto da Petroquímica de Triunfo, RS, 1994.