



## **ENSAIO DE ABRASÃO DO VERGALHÃO DE FIBRA DE VIDRO: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E COMPORTAMENTO QUÍMICO DIANTE DA CHUVA ÁCIDA E ÁGUA DO MAR**

Anilton Rosário de Paula<sup>1</sup>  
Maria Cleide de Almeida<sup>2</sup>  
Carlos Vítor de Alencar Carvalho<sup>3</sup>  
Marco Antônio Pereira Araújo<sup>4</sup>

### **Grupo 01: Tecnologia Ambiental**

#### **Resumo**

Em muitas cidades no Brasil, há o fenômeno da chuva ácida, principalmente nas regiões de grande concentração industrial, com pH pluvial abaixo de 5,7. Nas cidades costeiras, vemos a ação da água do mar com grande concentração de NaCl. As águas provenientes destes meios e o próprio oxigênio do ar podem entrar em contato com o interior das fundações em concreto armado de edificações através de patologias existentes no concreto, como fissuras, trincas e rachaduras. Uma vez que a camada passivadora onde estão inseridas dentro do concreto armado as armaduras de aço são atingidas, inicia-se o processo da corrosão, destruindo assim o elemento responsável pela força de tração tão importante para a sustentação da edificação: o vergalhão de aço. Há a necessidade de se obter alternativas industriais, que sejam capazes de manter as construções de concreto armado bem estruturadas, porém melhor protegidas contra a corrosão. Alinhado a isso, manter a preocupação com o meio ambiente e a sustentabilidade. Uma destas alternativas será destacada neste trabalho, a saber, o vergalhão de Fibras de Vidro ou Vergalhão polimérico. Ele poderá trazer mudanças satisfatórias como material compósito para a construção civil sendo capaz de substituir o vergalhão de aço. Serão destacados neste trabalho algumas características físicas próprias deste material e o resultado de um ensaio químico em laboratório que demonstra de maneira simples, porém eficiente, o comportamento deste compósito diante da ação de substâncias ácidas e de grande salinidade.

**Palavras-chave:** Vergalhões poliméricos; Chuva ácida; Sustentabilidade; Patologias nas edificações; Química Ambiental

<sup>1</sup>Aluno do Mestrado Profissional em Ciências Ambientais: Anilton Rosário de Paula, Universidade de Vassouras, [aniltonpaula@gmail.com](mailto:aniltonpaula@gmail.com).

<sup>2</sup>Aluna do Mestrado Profissional em Ciências Ambientais: Maria Cleide de Almeida, Universidade de Vassouras, [mcleidealmeida@gmail.com](mailto:mcleidealmeida@gmail.com).

<sup>3</sup>Prof. Dr. Carlos Vítor de Alencar Carvalho, Universidade de Vassouras – Mestrado Profissional em Ciências Ambientais, (UERJ) Universidade Estadual do Rio de Janeiro, [cvtorc@gmail.com](mailto:cvtorc@gmail.com).

<sup>4</sup>Prof. Dr. Marco Antônio Pereira Araújo, Universidade de Vassouras – Mestrado Profissional em Ciências Ambientais, [marcoaparaujo@gmail.com](mailto:marcoaparaujo@gmail.com).

#### **Realização**



## INTRODUÇÃO

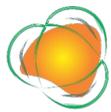
Segundo o IBGE (2011), a região costeira do nosso país possui 17.4 milhões de domicílios. Esta constatação preocupa, pois a maioria destas edificações são construídas estruturalmente em concreto armado, ou seja, utilizam vergalhões de aço como armadura para sua sustentação. Muitas patologias do concreto armado culminam com o aparecimento de fissuras, trincas ou rachaduras nestas estruturas que podem permitir a entrada de ar mais água ou substâncias ácidas ou salinas na armadura em aço da fundação destas edificações iniciando assim o processo destrutivo da corrosão.

Conforme FORNARO (2006), em algumas cidades do Brasil foram pesquisadas a constituição química das chuvas nestas cidades, como por exemplo: Piracicaba(SP), Rio de Janeiro(RJ), Belo Horizonte (MG), Vila Parisi (Cubatão – SP) dentre outras. Nesta pesquisa constatou-se que o pH pluvial variou em torno de 4,7 a 5,5 caracterizando a natureza ácida destas chuvas.

Como é sabido, as edificações são construídas sobre sua fundação e estas fundações são constituídas na maior parte por concreto armado, ou seja, armadura interna contendo vergalhões de aço envoltas em concreto. Os vergalhões tradicionais por serem de aço, neste caso uma liga de aço com carbono, em contato com soluções salinas ou ácidas sofrem um processo de oxirredução, conhecido como corrosão. Tal processo uma vez iniciado e não sofrendo intervenção, culmina com a destruição total da armadura, trazendo grande prejuízo com o colapso parcial ou total da edificação.

Com base nessa premissa, pesquisou-se para este trabalho, alternativas relacionadas a materiais compósitos na construção civil, que possam ser capazes de atuar de modo eficaz mesmo sob influência de propriedades agressivas do meio ambiente. A de escolha foi o Vergalhão Polimérico ou Vergalhão de Fibras de Vidro ou ainda Polímero Resistente com Fibras de Vidro (PRFV). Este vergalhão é constituído por fibras de vidro no seu interior e coberto por uma matriz polimérica. Esta matriz é, basicamente, uma resina aditivada que mantém os esforços coesos, proporcionando a devida rigidez ao sistema. A orientação das fibras de vidro existentes dentro do vergalhão, bem como a sua constituição tenaz, aliada a esta proteção polimérica que a envolve, formam um compósito muito forte. Esta união é que confere ao vergalhão polimérico uma maior resistência à força de tração em relação

Realização



ao vergalhão de aço. No entanto, uma análise sobre o comportamento químico desta resina protetora frente a ambientes abrasivos faz-se necessário, visto que os vergalhões tradicionais de aço têm uma performance prejudicada devido a sua oxidação. É importante também destacar algumas propriedades físicas analisadas e demonstradas por outros pesquisadores. No Brasil ainda há um desconhecimento generalizado sobre este vergalhão. Este fato pode ser demonstrado pela não existência de uma NBR criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que descreva e mensure por meio de orientações técnicas como os profissionais da construção civil responsáveis pelo dimensionamento dos projetos estruturais devam utilizá-los nos seus cálculos. A guia de exemplo, para o dimensionamento das estruturas em concreto armado, a NBR 6118:2014, aborda de maneira ampla a utilização do vergalhão de aço no processo construtivo.

Em relação à agressão ao meio ambiente, a produção industrial dos vergalhões tradicionais em aço-carbono agride de forma direta a natureza. Há a captação de solo bruto onde são detectadas jazidas de ferro. Este solo é transportado em vagões de trem até as mineradoras. Nas mineradoras é realizado o processo de separação do ferro existente dentro das enormes quantidades de solos retiradas da natureza. Os resíduos deste processo são depositados em locais próprios onde ficam ali por muito tempo. Pode-se citar os depósitos de Mariana(MG) e Brumadinho(MG), dentre outros. Em relação ao vergalhão de fibra de vidro (Figura 01), por se tratar de um compósito, os seus resíduos podem ser reaproveitados.



Figura 01: Montagem de armadura com vergalhões de Fibra de vidro

Como vantagem competitiva, este vergalhão é mais resistente aos esforços de tração quando comparado a outros materiais, não conduz eletricidade, não sofre o processo de corrosão, não interage com ondas eletromagnéticas, é aproximadamente

Realização



quatro vezes mais leve que o vergalhão tradicional de aço, é de fácil manuseio e pode ser adquirido com facilidade por meio de contato via internet ou telefônico.

Objetiva-se com este trabalho apresentar à comunidade acadêmica e, posteriormente à comunidade empresarial, o vergalhão polimérico como uma importante alternativa dentro do meio da construção civil. Salientar sua importância como um composto promissor que, além de atingir o seu objetivo como material de construção eficiente, ainda garanta uma melhor interação com o meio ambiente. Esta tarefa será feita mediante uma análise estatística comparativa de um ensaio de tração/deformação entre os vergalhões de aço e o de fibra de vidro, bem como um ensaio qualitativo em laboratório que analisará a resistência química da matriz que reveste o vergalhão polimérico, onde foram utilizadas substâncias ácidas e salinas.

## METODOLOGIA

### Referencial Teórico

Deste modo, foi realizada uma revisão da literatura técnica onde foi inserida uma *string* de busca na base de dados Google Acadêmico, composta a partir dos critérios desta revisão, de modo a obter resultados pertinentes que localiza assuntos relacionados ao tema de modo mais pontual possível. A pesquisa iniciou-se buscando temas relacionados à:

(“vergalhões de fibra de vidro” OR “vergalhões poliméricos”) AND “construção civil” AND edificações.

Esta *string* de busca rendeu 115 trabalhos, que foram selecionados em três etapas: leitura dos títulos, leitura dos resumos, leitura das introduções e conclusões e finalmente, uma leitura mais específica dos trabalhos.

Após este refinamento, foram selecionados 08 trabalhos de onde foram retirados dados alinhados ao objeto de pesquisa relacionados às características físicas e testes mecânicos do vergalhão polimérico, a saber:

- 1) Estudo Comparativo Entre os Vergalhões de Aço e Polímero Reforçado com Fibra de Vidro.
- 2) Pesquisa qualitativa sobre barras poliméricas reforçadas com fibra de vidro (GFRP) na construção civil.

#### Realização



- 3) Armadura de fibra de vidro em estruturas de concreto armado.
- 4) Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de fibra de vidro em seções de vigas de concreto armado submetidas à flexão.
- 5) Análise da durabilidade de armaduras poliméricas reforçadas com fibras de vidro submetidas ao ambiente alcalino e a elevadas temperaturas.
- 6) Estudo comparativo da aderência de vergalhões de aço e de materiais compósitos ao concreto com alta salinidade, utilizando técnicas de imagem por raios x coletadas in situ.
- 7) Caracterização do vergalhão polimérico.
- 8) Comparativo entre o uso de barras de aço e barras de polímero reforçado com fibra de vidro em estruturas de concreto armado.

Após uma análise detalhada dos trabalhos acima citados proporcionou um esclarecimento mais pormenorizado sobre as propriedades e aplicações do vergalhão polimérico. Em relação à ferramenta em Estatística, foram inseridas na sua base de dados, informações numéricas pertinentes ao comportamento mecânico, demonstrado por um ensaio de tração e deformação, dos vergalhões de fibra de vidro e do vergalhão de aço. Esta ferramenta produziu gráficos e parâmetros diversos onde foi possível observar o desempenho das amostras quando submetidas à esforço de tracionamento numa máquina de esforços uniaxial. O resultado será abordado nas discussões deste trabalho.

#### **Ensaio em Laboratório: Solução Ácida e Solução Salina**

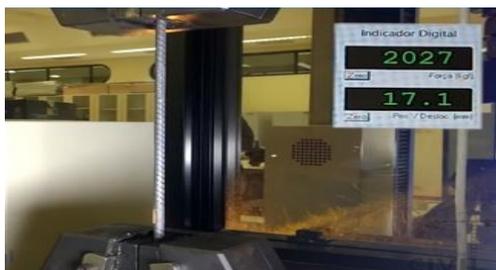
Foi realizado em laboratório de Química um ensaio (Qualitativo) utilizando amostras do vergalhão polimérico e vergalhão de aço como comparativo. Neste ensaio foram preparadas soluções de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5M) e de NaCl (0,5M). Foram separados 04 recipientes para os testes. Dois com soluções ácidas e dois com soluções salinas. Foram utilizadas 04 amostras de vergalhões, 02 do polimérico e 02 de aço. As amostras tinham um comprimento de 20cm e bitola de 6,3mm a polimérica e 6,0mm a de aço. Estas amostras ficaram submersas nestas soluções por 10 dias. Após este prazo foram analisadas quanto à presença ou não de desgaste químico no vergalhão polimérico e o vergalhão de aço foi utilizado como validação do processo quanto à autenticidade das soluções. Houve também a pesagem das amostras.

#### **Ensaio em Laboratório: Tensão(MPa) X Deformação (mm)**

Realização



Foi utilizado como parâmetro para a análise da resistência à tensão/deformação um trabalho acadêmico orientado Frias (2017), conforme as figuras 02 e 03 demonstram.



Figuras 02: Amostra do vergalhão PRFV



Figura 03: Amostra do vergalhão em Aço.

Para este teste foram disponibilizadas duas amostras de vergalhões, uma de PRFV e outra de aço. Ambas com bitolas equivalentes e comprimento de 30 cm. Após terem as suas extremidades presas nas junções da máquina uniaxial, uma peça por vez, uma força orientada no sentido de tracionar as peças ao máximo, ou seja, em sentidos diferentes, foi acionada e com um marcador tensão/deformação da própria máquina registrou-se gradativamente o comportamento mecânico até a ruptura de ambos. O ensaio foi totalmente gravado com finalidade de estudos posteriores e ser disponibilizado na internet para conhecimento da comunidade acadêmica e profissional. Após o ensaio as amostras foram descartadas segundo as Boas Práticas para Laboratório.

As amostras ficaram imersas nas suas respectivas soluções sob observação durante 10 dias. No início do teste, a solução ácida atacou o vergalhão de aço, sendo demonstrado pelo aparecimento de desprendimento de gás na superfície do líquido e de bolhas transparentes de forma vigorosa, deslocando-se das laterais da barra de aço imersa na solução. No fundo do recipiente havia o aparecimento de partículas de coloração escura demonstrando serem resíduos de Ferro. Porém, o líquido permanecia transparente. Na região limite seca do vergalhão, que não estava imersa na solução, foi observado o

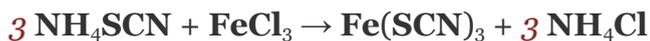
#### Realização



aparecimento de uma estrutura sólida, de coloração esverdeada clara, sem uma forma definida, aderida a superfície, indicando que ela havia sido formada pelas gotículas de gás que se desprendiam da superfície da solução. Na solução de NaCl, observou-se uma mudança brusca na coloração da solução de inicial que era transparente, para vermelha clara ou tijolo e que com o passar dos dias se tornava intensamente avermelhada.

Observou-se que o vergalhão de fibras de vidro permaneceu intacto frente a solução ácida e salina até o final do teste, sem alterar a coloração da solução. Esta constatação deu-se após a sua retirada da solução e observação com uma lupa na procura de sinais de degradação do material ou mesmo das partículas de aderências localizadas por toda parte externa. Neste caso não ocorreu alteração na coloração da solução.

Para validarem os testes, foi realizada a identificação do tipo de Ferro encontrado como sedimento na solução ácida onde o vergalhão de aço ficou imerso. Utilizou-se o Tiocianato de Potássio (KSCN), como um indicador. Coletou-se uma alíquota do sobrenadante desta solução e em seguida foi transferida para um vidro de relógio. Colocou-se uma pequena quantidade do Tiocianato de Potássio junto a amostra da solução, ambas incolores. Após serem misturadas com o auxílio de um bastão de vidro, observou-se conforme a figura 4, o aparecimento de precipitado com coloração vermelha clara ou tijolo, indicando assim a existência de Fe<sup>3+</sup>, a forma mais agressiva corrosiva do ferro, nos demonstrando que o meio nos quais as amostras foram inseridas, eram intensamente abrasivos e seguiram os padrões de qualidade. Segue abaixo a equação química de reação:



Em relação ao material aderido no aço, foi coletada uma pequena quantidade deste sólido, que ao ser colocado em contato com a solução de Tiocianato de Potássio, não reagiu de forma a provocar nenhuma mudança na coloração. Este fenômeno indica a existência do Ferro 2+ que é uma forma menos agressiva de corrosão do ferro. Mostrando assim novamente a validação dos testes e da solução utilizada.

#### Realização



Figura 04: Validação do teste químico em laboratório

Na pesagem, a amostra do vergalhão de aço teve como resultado 121,39g e o polimérico 33,14g, uma proporção de aproximadamente 4/1 (figuras 5 e 6).



Figuras 05 e 06: Amostra dos vergalhões de AÇO e PRFV

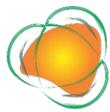
Esta propriedade dos vergalhões poliméricos confere a ele um manuseio mais facilitado por parte dos profissionais da construção civil uma vez que são mais leves e menos rígidos. Além disso, economicamente os valores dos fretes para longas distâncias são menores, vistos o cálculo principal para o preço dos fretes é o peso da carga.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados estatísticos e o ensaio laboratorial foram realizados nos laboratórios de uma universidade pública. Foram utilizados os Equipamentos de Proteção Individuais e respeitadas as Boas Práticas de Laboratórios em Biossegurança. Foi utilizada a ferramenta Estatística Minitab para análise dos dados. A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas do conjunto de dados e a Figura 7 apresenta *oboxplot*, ou diagrama de caixa, que é uma disposição gráfica comparativa que permite visualizar a distribuição e valores discrepantes (outliers) dos dados, fornecendo assim um meio complementar para desenvolver uma perspectiva sobre o caráter dos dados.

Tabela 1: estatística descritiva a partir das amostras analisadas.

### Realização



Variável	MATERIAL	N	Média	EP Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Tensão (Mpa)	AÇO	10	1036	177	663	0	440	1040	1640	2027
	PRFV	10	1678	289	1080	0	710	1677	2645	3362

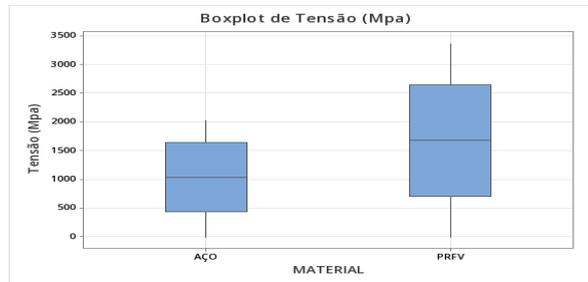


Figura 7. BoxPlot de Tensão (MPa) das amostras

Para uma efetiva análise dos dados, deve-se proceder com um conjunto de métodos estatísticos. O primeiro passo refere-se a determinar que tipo de teste deve ser utilizado para a comparação das médias, paramétrico ou não paramétrico. A determinação do tipo de teste a ser utilizado depende de análises de normalidade e homoscedasticidade (igualdade de variâncias).

Para testar a normalidade dos dados quantitativos relativos à coleta de RSU, utilizou-se o teste de *Shapiro-Wilk*, haja vista que se tem menos de 50 elementos na amostra.

Adotou-se para o Teste de Hipótese:

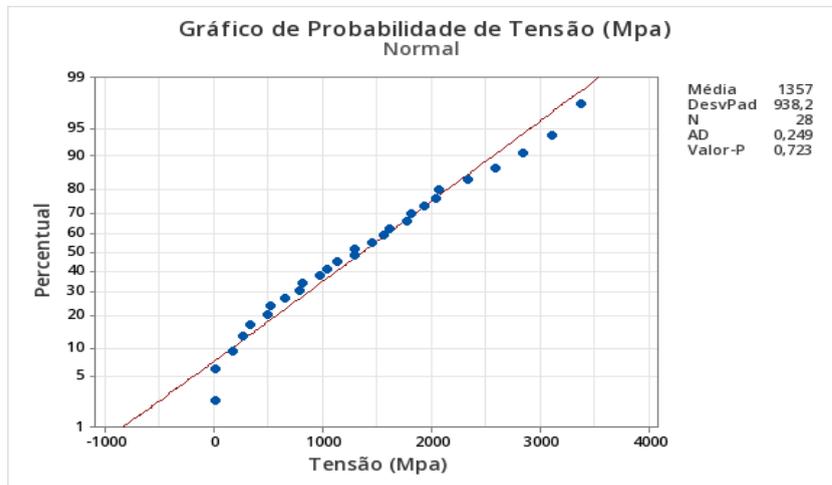
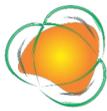
H0: Dados possuem distribuição normal

H1: Dados não possuem distribuição normal

Significância = 5%

Assim, na Figura 08 está representado o Gráfico do Teste de Normalidade.

Figura8: Teste de Normalidade



Como p-value (ou valor-p) = 0,723 é superior ao nível de significância estabelecido de 5% (0,05) então aceita-se a hipótese nula de que os dados possuem distribuição normal.

Desta forma, deve-se proceder com o teste de homoscedasticidade (igualdade de variâncias), estabelecendo-se um novo teste de hipóteses.

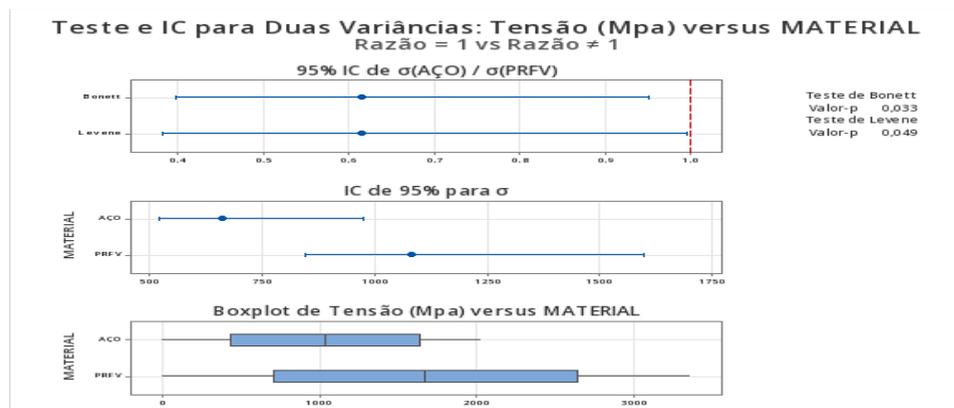
H0: Dados possuem variâncias iguais (homocedásticos)

H1: Dados não possuem variâncias iguais (não homocedásticos)

Nível de significância = 5%

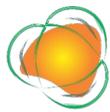
A Figura 9 apresenta o resultado do teste de homoscedasticidade.

Figura 9. Teste de Homocedasticidade (Igualdade de Variâncias)



Como p-value < 0,049 é inferior ao nível de significância estabelecido de 5% (=0,05), apesar de muito próximo, aceita-se a hipótese alternativa de que os dados

Realização



possuem distribuição normal.

Assim, para comparação de dois grupos, utiliza-se o teste não-paramétrico de Mann-Whitney, estabelecendo novo teste de hipóteses.

H<sub>0</sub>: Grupos não possuem diferença significativa entre as médias

H<sub>1</sub>: Grupos não possuem diferença significativa entre as médias

Nível de significância = 5%

A Figura 10 apresenta o resultado do teste de comparação das médias.

Figura 10. Teste de Comparação das médias

## Teste

Hipótese nula  $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótese alternativa  $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

<b>Método</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor-</b>
Não ajustado para empates	167,50	0,108
Ajustado para empates	167,50	0,108

Como p-valeu = 0,108 é superior ao nível de significância estabelecido de 5% (=0,05), aceita-se a hipótese nula de que os dados não possuem diferença significativa entre as médias de tensão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os dados mostraram, quando analisados o comportamento mecânico comparativo dos vergalhões poliméricos e de aço, observa-se uma maior resistência à força uniaxial de tração nos vergalhões poliméricos. Este aspecto os coloca como uma alternativa a métodos construtivos que demandam maior resistência e menor peso, visto que estes pesam aproximadamente 25% do peso dos de aço. Em relação ao escoamento plástico do vergalhão de aço observa-se uma maior capacidade, ou seja, a probabilidade de um colapso iminente é mais reduzida em relação ao vergalhão polimérico. Porém, pelo fato de o vergalhão polimérico ser mais resistente à tração este detalhe perde a

Realização



importância, pois por exemplo com 2027 (MPa) o vergalhão de aço começa a deformar e caminha para o colapso. Isto só acontece com o vergalhão polimérico a partir de 3370 (MPa).

Já em relação aos testes químicos, a resina que forma a matriz polimérica do vergalhão de fibras de vidro, mostrou-se eficiente em relação a proteção sob ataques químicos nas soluções de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e NaCl. Demonstrando assim o seu comportamento não degradativo frente à chuva ácida e à água do mar. Podendo beneficiar as edificações construídas em grandes metrópoles e áreas litorâneas.

O vergalhão Polimérico pesa cerca de quatro vezes menos que o de aço, conforme as apresentado. Desta forma, pode-se ter uma vantagem econômica nos transportes fretados e na sua manipulação pelos profissionais da construção civil.

Por se tratar de um material mais leve, não corrosivo, de considerável resistência e de fácil aplicabilidade, é viável sua utilização nas construções em concreto.

Vale à pena intensificar os estudos sobre a aplicabilidade destes vergalhões poliméricos, tanto no meio acadêmico como no meio profissional. Pois isto propiciaria uma queda no seu preço, aumentando assim o seu poder de venda e beneficiando mais pessoas.

Há a necessidade de se construir uma normatização técnica brasileira para os dimensionamentos dos vergalhões de fibra de vidro.

Por se tratar de um compósito, para se produzir estes vergalhões não há necessidade de se construir barragens de rejeitos, como por exemplo as de Mariana (MG) e Brumadinho (MG), que se colapsaram. Desta forma, há um maior compromisso com a preservação ambiental e a sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

MICALI, R.M. **Análise teórica de vigas pré-moldadas de concreto com armadura de aço e de polímeros com fibras de vidro em meio altamente agressivo.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, escola de engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Mecânica, 2010.

Realização



SHACKELFORD, J.F. **Introdução à Ciências dos Materiais para Engenheiros**. São Paulo: Pearson, 6ª Edição, caps 13 e 14, 2011.

PASSATORE, C.R – Química dos polímeros. 2013. Plano de aula – Escola Técnica Estadual Tiquararira. São Paulo, p. 84.

FORNARO, A. **Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?** Revista USP, São Paulo, n70, p.78-87, junho/agosto 2006.

NUNES, R.A.X. **Abrasão, desgaste e atrito sob deslizamento de recobrimento preparados por aspersão térmica a partir de PET pós consumo**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, p.47-49, 2008. [www.leroymerlin.com.br](http://www.leroymerlin.com.br) – visitado em 10/11/2018.

Realização