



DESENVOLVIMENTO DE CONCRETOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS SINTÉTICAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.

Daniel Vianna Goes Araujo¹; Joyce Batista Azevedo²; Josiane Dantas Viana Barbosa¹

¹SENAI CIMATEC - Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã; Salvador - BA; dvianna.eng@gmail.com

²UFRB - Av. Centenário, 697 – SIM; Feira de Santana - BA; Cidade/Estado

Resumo: Este artigo apresenta uma revisão sistemática sobre o uso de concreto polimérico reforçado com fibras sintéticas na construção civil, com intuito de aprimorar o conhecimento sobre o tema e fomentar futuras pesquisas. Definidas as perguntas norteadoras do trabalho, deu-se início ao processo de busca por meio da criação de filtros, estratégias de coleta e critérios de exclusão pré-estabelecidos. Os resultados apontaram escassez de estudos relacionados com a aplicação de fibras sintéticas em Concretos Poliméricos. As matrizes poliméricas compostas por resinas epóxi e os reforços sintéticos de fibras de vidro foram os materiais mais empregados no desenvolvimento de pesquisas. A Coreia do Sul juntamente com a China e Portugal, foram os países que apresentaram maior número de pesquisas. O emprego no reparo de rodovias e a eficiência no combate de vibrações sísmicas, foram os assuntos mais comumente estudados pelos pesquisadores. O artigo sugere realização de estudos que empreguem resíduos industriais como reforços sintéticos com objetivo de diminuir custos produtivos e viabilidade no emprego do material em maior escala, além de futuros trabalhos envolvendo Prospecções Tecnológicas.

Palavras-Chave: concreto polimérico; fibras sintéticas; resinas termofixas

DEVELOPMENT OF POLYMER CONCRETES ENHANCED WITH SYNTHETIC FIBERS: A SYSTEMATIC REVIEW.

Abstract: This paper presents a systematic review on the use of synthetic fiber reinforced polymer concrete in civil construction, in order to improve the knowledge on the subject and foster future research. Defined the guiding questions of the work, the search process began by creating filters, collection strategies and pre-established exclusion criteria. The results pointed to the scarcity of studies related to the application of synthetic fibers in polymeric concretes. Polymeric matrices composed of epoxy resins and synthetic fiberglass reinforcements were the most used materials in the development of research. South Korea, together with China and Portugal, were the countries with the highest number of surveys. The use in highway repair and the efficiency in combating seismic vibrations were the subjects most commonly studied by the researchers. The article suggests studies that use industrial waste as synthetic reinforcements in order to reduce production costs and viability in the use of the material on a larger scale, as well as future work involving Technological Prospecting.

Keywords: polymer concrete; synthetic fibers; thermosetting resins.



1. INTRODUÇÃO

Um estudo publicado por cientistas noruegueses, sobre a coleta de dados da emissão global de CO₂ no período de 1928 a 2017, revelou que as emissões antropogênicas de dióxido de carbono para a atmosfera vêm de três fontes principais: combustíveis fósseis, desmatamento/mudanças no uso da terra e decomposição de carbonatos. A fabricação do Cimento Portland é a maior fonte de emissão por decomposição de carbonatos do planeta e teve sua produção aumentada em mais de 30 vezes desde o ano de 1950, com destaque para China, que a partir de 1990 teve sua produção nacional aumentada em mais de 11 vezes e com um volume 75% superior à média global [1].

O Concreto Polimérico (CP) é um material compósito feito de agregados minerais como areia e cascalho em combinação com um polímero que detém a função de substituir total ou parcialmente o aglutinante tradicional de Cimento Portland na mistura [2-6]. O CP pode ter suas características mecânicas aprimoradas com a adição de *nanofillers* ou utilização de fibras (sintéticas ou naturais), nesse caso, recebe o nome de Concreto Polimérico Fibro-Reforçado (CPFR) [3,6,7-12]. A alta permeabilidade, baixa resistência à abrasão, baixa resistência ao ciclo gelo degelo, longo tempo de cura e fenômenos como carbonatação e ataque por íons de cloro, são algumas das desvantagens apresentadas pelo concreto tradicional [13-15]. Entretanto, nos CPs todas essas fraquezas são reduzidas consideravelmente, mostrando-se um material promissor em ambientes extremos [4]. Os concretos poliméricos possuem desempenho consideravelmente superior, em comparação ao concreto comum, apontando resultados de resistência à compressão de 2 a 4 vezes superior e um aumento na resistência à tração de 3 a 6 vezes [16,17]. Polímeros como o látex, borrachas naturais e termoplásticos são empregados na fabricação, porém as resinas termofixas, como o poliéster, metil metacrilato, epóxi e poliuretano são as mais utilizadas devido a suas elevadas resistências mecânicas [4,15]. Com essas características refinadas, o concreto polimérico tem ganhado aplicabilidade em situações como: reparos de rodovias e pistas de aeroportos, revestimentos de pontes, pavimentos de alta performance, sistemas de esgoto e reparos estruturais [5,6,12,17,18]. O alto custo dos materiais, restrição no uso em ambientes com temperaturas elevadas e difícil produção pela não solubilidade em água das resinas envolvidas, são desvantagens apresentadas pelo CP que ainda restringem a sua utilização [2,19,20].

O artigo publicado neste ano pela revista *Progress in Materials Science* em reconhecimento ao 50º aniversário do primeiro pouso lunar tripulado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), ressalta a potencialidade do concreto polimérico como alternativa para construções lunares. O CP atinge 70 a 75% de sua resistência após um dia de cura em temperatura ambiente, enquanto o concreto convencional de 10 a 20%, porém uma das suas principais limitações é a sensibilidade ao aumento de temperatura e este aspecto é mais evidente no uso de resinas epóxi que nas de poliéster [19]. Lee, *et al.* [21] investigaram a fabricação de Concreto Polimérico sob ambiente lunar simulado com o uso de mistura composta por 90% de KOHLS-1 (*Korea Hanyang Lunar Simulant-1*) e 10% de polietileno. O compósito atingiu uma resistência à compressão de 5,7 MPa que é adequada para a construção de um assentamento lunar.



Diante deste contexto, diferentes grupos de pesquisa vêm buscando desenvolver CPFR utilizando fibras sintéticas. Assim, este estudo de revisão sistemática objetivou identificar em artigos nacionais e internacionais os principais métodos adotados pelos pesquisadores para o desenvolvimento do material. Este trabalho busca não só o entendimento sobre questões relacionadas ao tema, mas também sugere realização de estudos que empreguem resíduos industriais como reforços sintéticos com objetivo de diminuir custos produtivos e de viabilizar o emprego do material em maior escala, além de futuros trabalhos sobre o quantitativo de patentes relacionadas a CPFR para realização de pesquisas envolvendo Prospecções Tecnológicas.

2. METODOLOGIA

O primeiro passo em uma revisão sistemática consiste na sistematização de perguntas que irão direcionar o levantamento das publicações relevantes. O presente estudo foi guiado pelas seguintes questões norteadoras:

P1: Existem estudos sobre a aplicação de fibras sintéticas em concretos poliméricos?

P2: Quais são os tipos de matrizes poliméricas e fibras sintéticas mais utilizadas?

P3: Quais os países que mais publicaram sobre o tema?

Definidas as perguntas, deu-se início ao processo de busca através do portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), por meio da criação de filtros e estratégias de coleta (Figura 1).

Figura 1. Primeira e segunda fase do fluxo do processo de revisão sistemática do tema.

Fonte: autor

Fase 1 Identificação	Total de estudo identificados nas bases de dados: (n = 526) Filtros: <ul style="list-style-type: none">* Artigos científicos* Palavras-chave: "polymer concrete" e "fiber-reinforced"* Data de publicação: 1990 a 2019'* Idiomas: Português e Inglês
Fase 2 Seleção	Total de estudos não selecionados: (n = 477) CrITÉrios exclusão primária: <ul style="list-style-type: none">* Artigos não revisados por pares: 12* Artigos duplicados: 26* Artigos não disponibilizados gratuitamente na íntegra: 2* Artigos não relacionados com o tema: 437

Após a seleção dos artigos por meio de critérios de exclusão primária pré-estabelecidos, os mesmos seguiram para fase de elegibilidade. Na terceira fase do processo, os artigos foram lidos na íntegra e eleitos seguindo 3 critérios de exclusão secundária (Figura 2).

Figura 2. Terceira e quarta fase do fluxo de processo de revisão sistemática do tema.



Fonte: autor

Fase 3 Elegibilidade	<p>Textos completos para avaliação de elegibilidade: (n = 49)</p> <p>Critérios de exclusão secundária:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Não utilização de reforço com fibras. * Utilização de fibras naturais. * Utilização apenas como revestimento para estrutura de concreto convencional pré-existente
Fase 4 Inclusão	<p>Artigos incluídos no estudo: (n = 16)</p>

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As publicações selecionadas para a identificação dos principais métodos utilizados para o desenvolvimento de Concreto Polimérico Fibro-Reforçado estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos artigos científicos incluídos no estudo. Fonte: autor

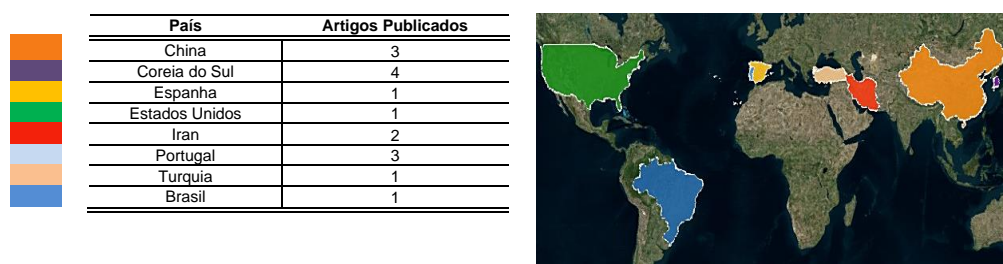
Artigo	Título	Periódico	País	Ano	Aglutinante (Matriz)	Agregado	Fibra
A1	Experimental study on seismic behavior of shear wall with fiber reinforced polymer concrete	MATEC Web of Conferences	China	2019	Cimento e Emulsão Estireno-Acrílica e Látex de Estireno-Butadieno Carboxilada	Cascalho e Areia	Fibra de polipropileno
A2	Epoxy resin and ground tyre rubber replacement for cement in concrete: Compressive behaviour and durability properties	Construction and Building Materials	Espanha	2018	Resina Epóxi	Cascalho e Areia	Borracha de Pneu
A3	Experimental study on the mechanical and thermal properties of basalt fiber and nanoclay reinforced polymer concrete	Composite Structures	Iran	2018	Resina Epóxi	Basalto e Areia	Fibra de Basalto
A4	Identification of stiffness distribution of fatigue loaded stiffmer concrete through vibration measurements	Composite Structures	Coreia do Sul	2016	Resina Epóxi	Areia	Fibra de Carbono
A5	A Novel Polymer Concrete Made From Fine Silica Sand and Polyester	Mechanics of Composite Materials	Iran	2015	Resina de Poliéster e Epóxi	Areia	Fibra de Vidro
A6	Development and performance evaluation of epoxy asphalt concrete modified with mineral fiber	Construction and Building Materials	China	2015	Resina Epóxi	Asfalto	Fibra Mineral
A7	Thermal behavior and performance evaluation of epoxy-based polymerconcretes containing silicone rubber for use as runway repair materials	Composite Structures	Coreia do Sul	2015	Resina Epóxi	Areia	Borracha de Silicone
A8	Characterization of compliant polymer concretes for rapid repair of runways	Construction and Building Materials	Coreia do Sul	2015	Resina Epóxi	Areia	Borracha de Pneu e Silicone Líquido
A9	Investigation of mechanical/dynamic properties of carbon fiber reinforced polymer concrete for low noise railway slab	Composite Structures	Coreia do Sul	2015	Resina Epóxi	Areia	Fibra de Carbono
A10	Forming process and damping properties of carbon fiber-reinforced polymer concrete	Journal of Reinforced Plastics and Composites	China	2014	Resina Epóxi	Cascalho e Areia	Fibra de Carbono



A11	Mechanical characterization of fiber reinforced polymer concrete	Materials Research	Brasil	2005	Resina Epóxi	Areia	Fibra de Vidro e Fibra de Carbono
A12	Mixed-mode fracture behavior of glass fiber reinforced polymer concrete	Cement and Concrete Research	Turquia	2005	Resina de Poliéster	Areia	Fibra de Vidro
A13	Assessment of fracture properties of epoxy polymer concrete reinforced with short carbono and glass fibers	Construction and Building Materials	Portugal	2004	Resina Epóxi	Areia	Fibra de Vidro e Fibra de Carbono
A14	Fracture behavior of glass fiber reinforced polymer concrete	Polymer Testing	Portugal	2003	Resina Epóxi	Areia	Fibra de Vidro
A15	A NDT assessment of fracture mechanics properties of fiber reinforced polymer concrete	Polymer Testing	Portugal	2003	Resina de Epóxi e Poliéster	Areia	Fibra de Vidro
A16	Compressive Behavior of Glass-Fiber Reinforced Polymer Concrete	Journal of Materials in Civil Engineering	Estados Unidos	1992	Resina de Poliéster	Areia	Fibra de Vidro

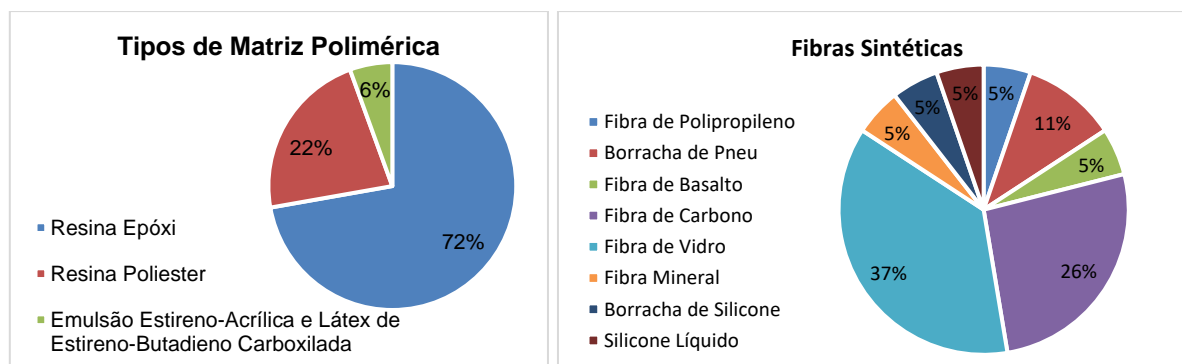
Sobre a origem dos estudos incluídos no trabalho, evidenciou-se a seguinte distribuição: China 19% (03); Coreia do Sul, 25% (04); Espanha, 6% (01); Estados Unidos, 6% (01); Iran, 13% (02); Portugal, 19% (03); Turquia, 6% (01); Brasil, 6% (01), conforme pode ser observado no mapa de distribuição da Figura 3.

Figura 3. Mapa com a dispersão mundial dos estudos incluídos no trabalho. Fonte: autor



Em relação aos polímeros utilizados como matriz, encontrou-se uma prevalência na utilização da Resina Epóxi (69%) por parte dos autores, seguida da Resina de Poliéster (25%) e Emulsão Estireno-Acrílica e Látex de Estireno-Butadieno Carboxilada (6%). Já em relação às fibras incorporadas, a Fibra de Vidro foi a mais utilizada (37%), seguida da Fibra de Carbono (26%), Borracha de Pneu (11%) e as fibras de Polipropileno, Basalto, Mineral, Borracha de Silicone e Silicone Líquido com 5% cada.

Figura 4. a) Gráfico com as porcentagens das matrizes utilizadas pelos autores; b) Gráfico com as porcentagens das fibras empregadas nos estudos. Fonte: autor





Em três trabalhos analisados, os autores investigaram a aplicabilidade do CPFR em reparos de rodovias, onde o objetivo foi comparar o comportamento térmico (verão e inverno) e propriedades mecânicas com o concreto tradicional. Os autores concluíram que o compósito obteve resultados superiores ao grupo controle, mostrando-se ideal no reparo de pistas, além de reduzir substancialmente o tempo de serviço [9, 17, 18]. Outro experimento investigou a aplicação do compósito na redução dos problemas com vibração / ruído em dormentes de trilhos ferroviários e constatou-se que o nível de ruído na ferrovia com o uso do CPFR diminuiu 4dB [12].

A fim melhorar a performance sísmica de paredes feitas em concreto armado, foi realizado estudo com o desenvolvimento e uma parede composta por CPFR. Os resultados mostraram que os desempenhos sísmicos dos protótipos foram significativamente superiores. Houve um aumento na capacidade de deformação e dissipação de energia, o que garante melhor estabilidade da estrutura [11]. Fernández-Ruiz, *et al.* [15] demonstraram o ótimo desempenho mecânico do CPFR e reforçaram sua utilidade na engenharia de terremotos.

Em outro estudo, foi desenvolvido um Concreto Polimérico usando fibras de basalto e nanopartículas de argila. Neste trabalho verificou-se o efeito das fibras de basalto na resistência à compressão, flexão, limite de ruptura e tração, bem como o comportamento em diferentes temperaturas (até 250°C). As nanopartículas aumentaram a estabilidade térmica e todas as propriedades mecânicas do compósito, com exceção da resistência a tração [8].

Pesquisadores desenvolveram estudos com o objetivo de avaliar a redução na rigidez do CP com o uso de fibras de carbono e concluíram que o concreto polimérico reforçado com fibras de carbono tem boa propriedade de amortecimento, propriedade que pode ser usada para reduzir a vibração de edifícios em casos de terremotos ou trens passando, produzir leitos de máquinas, caixas de eixo, e alguns outros componentes mecânicos básicos que exijam usinagem de alta precisão [7, 10,22,23].

Em alguns estudos, a resina de poliéster foi empregada no intuito de melhorar as propriedades mecânicas do compósito e diminuir os custos de fabricação do CPFR com fibras de vidro. Nestes estudos, verificou-se que a adição de fibras aumentou a tenacidade do material e a tensão de falha, porem houve diminuição do módulo de compressão e coeficiente inicial de Poisson. As fibras atuam confinando o material e prolongando a propagação das trincas [2,4,22,23]. Outro autor destacou que existe uma maior fragilidade do CPFR com fibras de vidro utilizando poliéster em comparação ao emprego de resina epóxi como matriz [6]. Em geral, a adição de fibras de vidro aumenta a resistência à flexão e promove melhorias nas propriedades de fratura do concreto polimérico. O módulo de elasticidade do CPFR com fibra de vidro pode aumentar em até 39% [5].

4. CONCLUSÃO

O trabalho apontou a escassez de estudos relacionados com a aplicação de fibras sintéticas em Concretos Poliméricos. As matrizes poliméricas compostas por resinas epóxi e os reforços sintéticos de fibras de vidro, foram os materiais mais empregados no desenvolvimento de pesquisas. A Coreia do Sul juntamente com a



China e Portugal, foram os países que mais apresentaram pesquisas no desenvolvimento de CPFR. A melhora de propriedades mecânicas, emprego no reparo de rodovias e a eficiência no combate de vibrações sísmicas, foram os assuntos mais comumente estudados pelos pesquisadores.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ANDREW, R. M. Global CO₂ emissions from cement production, 1928–2017. **Earth System Science Data**, v. 10, p. 2213–2239, 2018.
- ²SHOKRIEH, M. M; REZVANI S; MOSALMANI, R. A Novel Polymer Concrete Made From Fine Silica Sand and Polyester. **Mechanics of Composite Materials**, v. 51, n. 5, p. 571-580, 2015.
- ³REIS, J. M. L; DE OLIVEIRA R; FERREIRA, A. J M; MARQUES, A. T. A NDT assessment of fracture mechanics properties of fiber reinforced polymer concrete. **Polymer Testing**, v. 22, p. 395–401, 2003.
- ⁴S. MEBARKIA, S; VINPULANANDAN, C. Compressive Behavior of Glass-Fiber-Reinforced Polymer Concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 4, n. 1, p. 91-105, 1992.
- ⁵REIS, J. M. L; FERREIRA, A. J. M. Fracture Behavior of Glass Fiber Reinforced Polymer Concrete. **Polymer Testing**, v. 22, p. 149-153, 2003.
- ⁶AVCI, A; AKDEMIR, A; ARIKAN, H. Mixed-Mode Fracture Behavior of Glass Fiber Reinforced Polymer Concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 243-247, 2005.
- ⁷WANG, T; ZANG, J; ZHANG, Y. Forming Process and Damping Properties of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Concrete. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 33, n. 1, p. 93-100, 2014.
- ⁸HASSANI NIAKI, M; FERREDOON, A; GHORBANZADEH AHANGARI. Experimental study on the mechanical and thermal properties of basalt fiber and nanoclay reinforced polymer concrete. **Composite Structures**, v. 191, p. 231-238, 2018.
- ⁹YONGCHAO, X; ZHENDONG, Q. Development and performance evaluation of epoxy asphalt concrete modified with mineral fiber. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 378-383, 2016.
- ¹⁰SANGKEUN, A; EUN-BEOM, J; HYO-IN, K; HAK-SUNG, K; JUNHONG, P. Identification of stiffness distribution of fatigue loaded polymer concrete through vibration measurements. **Composite Structures**, v. 136, p. 11-15, 2016.
- ¹¹SONG, X. Y; HOU, Q; CHEN, L. Experimental Study on Seismic Behavior of Shear Wall with Fiber Reinforced Polymer Concrete. **MATEC Web of Conferences**, v. 275, p. 1-5, 2019.
- ¹²JEON, E. B; AHN, S. K; LEE, I, G; KOH, H. I; PARK, J; KIM, H. S. Investigation of Mechanical/Dynamic Properties of Carbon Fiber Reinforced Polymer Concrete for Low Noise Railway Slab. **Composite Structures**, v. 134, p. 27-35, 2015.



- ¹³TOUFIGH, V; HOSSEINALI, M; SHIRKHORSHIDI, S. M. Experimental study and constitutive modeling of polymer concrete's behavior in compression. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 183-190, 2016.
- ¹⁴DU, J; BU, Y; SHEN, Z. Interfacial properties and nanostructural characteristics of epoxy resin in cement matrix. **Construction and Building Materials**, v. 164, p. 103-112, 2018.
- ¹⁵FERNÁNDEZ-RUIZ, M. A; GIL-MARTÍN, L. M; CARBONELL-MÁRQUEZ J. F; HERNÁNDEZ-MONTES E. Epoxy resin and ground tyre rubber replacement for cement in concrete: Compressive behaviour and durability properties. **Construction and Building Materials**, v. 173, p. 49-57, 2018.
- ¹⁶MANI, P; GUPTA, A. K; KRISHNAMOORTHY, S. Comparative study of epoxy and polyester resin-based polymer concretes. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 7, n. 3, p. 157-163, 1987
- ¹⁷IN-TAEK, R; KYUNG-CHAE J; SEUNG-HWAN, C; YOON-HO, C. Characterization of compliant polymer concretes for rapid repair of runways. **Construction and Building Materials**, v. 78, p. 77-84, 2015.
- ¹⁸JUNG, K. C; ROH, I, T; CHANG, S. H. Thermal Behavior and Performance Evaluation of Epoxy-Based Polymer Concretes Containing Silicone Rubber for use as Runway Repair Materials. **Composite Structures**, v. 119, p. 195-205, 2015.
- ¹⁹NASER, M. Z. Extraterrestrial construction materials. **Progress in Materials Science**, v. 105, 2019.
- ²⁰ELALAOUI, O; GHORBEL, E; OUEZDOU, M B. Influence of flame retardant addition on the durability of epoxy based polymer concrete after exposition to elevated temperature. **Construction and Building Materials**, v. 192, p. 233-239, 2018.
- ²¹LEE, J; ANN, K. Y; LEE, T. S; MITIKIE, B. B. Bottom-up Heating Method for Producing Polyethylene Lunar Concrete in Lunar Environment. **Advances in Space Research**, v. 62, p. 164-73, 2018.
- ²²REIS, J. M. L; FERREIRA, A. J. M. Assessment of fracture properties of epoxy polymer concrete reinforced with short carbon and glass fibers. **Construction and Building Materials**, v. 18, p. 523-528, 2004.
- ²³REIS, J. M. L. Mechanical characterization of fiber reinforced Polymer Concrete. **Materials Research**, v. 8, p. 557-560, 2005.