Análise do Uso de Barras de FRP Recicladas como Agregado Graúdo no Desempenho Mecânico do Concreto Reciclado

Yasmin Bolelli de Souza[1], Luiz Octavio de S. B. Oliveira[2], Kissila Botelho Goliath[3]

[1] Universidade do Estado do Rio de Janeiro / Departamento de Construção Civil e Transportes / boleliyasmin@outlook.com

[2] Universidade do Estado do Rio de Janeiro / Departamento de Construção Civil e Transportes / luiz.oliveira@eng.uerj.br

[3] Universidade do Estado do Rio de Janeiro / Departamento de Construção Civil e Transportes / kissila.goliath@eng.uerj.br

Resumo

O crescimento populacional e a consequente demanda por novas obras têm gerado um grande volume de resíduos da construção civil (RCC). A incorporação desses materiais na indústria da construção já é uma alternativa conhecida por muitos pesquisadores e profissionais da área. Outra inovação tecnológica no setor é a utilização de armaduras não metálicas, que, por diversos motivos, vêm ganhando espaço nos últimos anos. As barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destacam-se como uma solução promissora devido a propriedades atraentes, como leveza, resistência à tração e durabilidade em ambientes agressivos. Entretanto, quando estruturas contendo essas armaduras são descartadas, também geram resíduos que, por serem de difícil reciclagem, podem causar um impacto ambiental maior do que o aço. Ainda assim, os resíduos provenientes da demolição dessas estruturas podem ser reaproveitados, ao menos parcialmente, na substituição do agregado graúdo convencional na produção de concreto novo. Isso é vantajoso, pois a demanda por esse material é elevada em comparação com outros insumos no concreto. Além disso, essa estratégia contribui para a redução da extração de recursos naturais não renováveis, minimizando a necessidade de desmonte de pedreiras e evitando o descarte inadequado de resíduos. Assim, este trabalho apresenta um estudo sobre o uso de entulho proveniente de estruturas reforçadas com armaduras de fibra de vidro (GFRP) como substituto parcial do agregado graúdo.

Palavras-chave

Resíduos da Construção Civil; Agregado Graúdo; FRP; Armadura não Metálica; Agregado Reciclado.

Introdução

A massa total de resíduos da construção e demolição estimada para o ano de 2022 foi de 120 milhões de toneladas (ABRECON, 2023), reflexo do grande crescimento populacional e consequente necessidade de novas obras e reformas. Este número gera grande preocupação ambiental, e expõe a falta de conhecimento adequado da população com o descarte correto dos resíduos de construção civil (RCC), cuja degradação pelo meio-ambiente é dificultosa ou impossível, o que torna sua disposição no solo complexa, pois tendem a ter grandes volumes, esgotando assim o espaço de armazenamento mais rápido se não reutilizado e reciclado adequadamente.

Por outro lado, a reutilização desses resíduos como agregado para o concreto é proveitosa, pois na produção de concreto utiliza-se grande quantidade de agregado graúdo, para o qual normalmente se utiliza pedra britada, mas que pode ser substituída por RCC britado, diminuindo o volume descartado no solo e auxiliando na redução da extração de pedras de pedreiras e poupando mares e rios dos descartes incorretos desses entulhos. Os agregados são materiais granulares, como areia, cascalho, pedra britada e escória de alto-forno, entre outros, que são utilizados na construção civil para compor as argamassas e o concreto. Eles desempenham um papel fundamental ao influenciar a absorção de água, porosidade e a resistência à compressão do material. Durante a mistura, esses agregados são incorporados ao cimento para aprimorar as propriedades mecânicas, físicas e a trabalhabilidade do concreto, garantindo um melhor desempenho na aplicação final.

A indústria da construção civil vem se renovando com diversos materiais, possibilitando assim maior desempenho, produtividade e durabilidade quando aplicados nos sistemas construtivos. O concreto armado tradicional – isto é, com aço - se tornou uma técnica habitual pela sua praticidade, economia e grande conhecimento dos materiais e suas características, entretanto, está sujeito a uma manifestação patológica grave que é a corrosão das armaduras ao longo do tempo, podendo reduzir a rigidez e resistência do aço, afetando a segurança estrutural. Para minimizar a degradação das estruturas de concreto armado, além da redução do impacto econômico resultante de manutenções constantes e reabilitação das estruturas, as armaduras não metálicas, constituídas de polímero reforçado com fibras (FRP) se tornam uma alternativa em estudo, devido a algumas de suas propriedades atraentes, destacando-se sua leveza, resistência à tração e durabilidade em ambientes agressivos.

Com o crescente uso de armaduras de FRP em estruturas e o avanço nos estudos sobre o comportamento dessas barras, Liu *et al*. (2017) estimou que, até 2050, cerca de 400 milhões de toneladas de resíduos de FRP serão descartadas em todo o mundo. A maior parte desses resíduos tem origem na indústria de energia eólica. Uma das principais preocupações, está no descarte desses materiais, que, na maioria dos casos, são destinados a aterros sanitários. No entanto, de acordo com o estudo de Lichtenegger *et al*. (2020) alguns países da Europa já implementaram impostos sobre materiais compósitos descartados em aterros, como forma de estimular alternativas mais sustentáveis.

Diante desse cenário, esta pesquisa busca avaliar a viabilidade da reutilização desses materiais na construção civil.

Caracterização e Propriedades dos Agregados de FRP

Além de seu uso na construção civil como armadura para concreto, os polímeros reforçados com fibra (FRP) têm sido amplamente utilizados em diversos setores, como a indústria aeroespacial, o setor naval e, especialmente, na indústria de energia eólica. Nesse contexto, são empregados principalmente na fabricação das pás das turbinas, que precisam ser feitas de materiais leves e rígidos para resistir a intensas cargas aerodinâmicas, giroscópicas e de inércia causadas pela alta velocidade, além de possuir uma vida média de vinte anos. Por essas razões, o polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP) se tornou o material mais comum na construção das pás eólicas (RATHORE *et al.*, 2022). Mas, uma grande preocupação, é da quantidade de resíduos de FRP que gerará no final da vida útil dessas pás. Quando estruturas com tais polímeros reforçados com fibra (FRP) são descartadas, também geram resíduos e, uma vez que elas possuem maior dificuldade de serem recicladas, tornam-se mais danosas ao ambiente do que o aço, cuja reciclagem é corriqueira e comum.

Reciclagem da fibra de vidro:

A reciclagem de FRP apresenta um grande desafio devido à sua composição complexa e à dificuldade de separação dos materiais. No entanto, diversas abordagens têm sido estudadas para minimizar o impacto ambiental desses resíduos (BARROS, 2019), como a Reciclagem mecânica, que envolve a trituração e ou moagem das peças em partículas menores, possuindo a separação do material triturado para a obtenção de fibras e resinas reutilizáveis que são utilizados em novas aplicações, possuindo com sua principal vantagem a não utilização de produtos tóxicos durante o seu processamento, a reciclagem térmica que visa à degradação da matriz polimérica pelo processo de pirólise, em que se aquece o material em local sem oxigênio, fazendo a decomposição da resina, permitindo a recuperação das fibras. Esse processo necessita de um bom monitoramento, pois, em condições mais agressivas, pode resultar na degradação das propriedades mecânicas das fibras recuperadas. Já a reciclagem química, envolve a despolimerização e/ou decomposição da matriz polimérica, por procedimentos que envolvem a utilização de produtos químicos, visando a recuperar as fibras sem danificá-las, possuindo um alto custo no seu processo (BARROS, 2019).

Com o aumento da procura de materiais compósitos de polímero reforçado em fibra, uma grande quantidade de resíduos seria descartada em aterros sanitários ou incinerados. O reaproveitamento de FRP em concreto vem sendo estudados de diversas maneiras para minimizar o uso de recursos naturais. Dentre essas maneiras, a utilização de barras de FRP (GFRP), como substituto parcial para agregado graúdo, vem crescendo. Conforme apresentado Chen *et al*. (2019), tem-se observado aumento no interesse de pesquisas acadêmicas de concreto com agregado reciclado proveniente de FRP.

A incorporação de resíduos de FRP no concreto tem sido estudada sob diferentes abordagens, evidenciando impactos nas propriedades mecânicas do material. A substituição gradual do agregado graúdo natural por resíduos de barras de FRP cortadas em dimensões equivalentes, analisada por Yazdanbakhsh *et al*. (2016),

resultou em redução da resistência à compressão do concreto. Zhou *et al.* (2022) também exploraram a fragmentação do resíduo de FRP como agregado graúdo, verificando alterações no padrão de ruptura e no comportamento pós-pico no ensaio de compressão, além de observar maior expansão lateral associada ao coeficiente de Poisson. Os autores deste último trabalho indicaram, ainda, que os modelos constitutivos disponíveis podem não ser adequados para esse tipo de concreto.

Outra abordagem foi investigada por Revilla-Cuesta *et al.* (2024), que analisaram o uso de resíduos de GFRP provenientes de turbinas eólicas como fibras dispersas no concreto. Os resultados apontaram uma redução na massa específica, uma leve perda de trabalhabilidade, módulo de elasticidade e resistência, características já esperadas. No entanto, os autores destacam que esse material ainda pode ser viável para a produção de concreto, contribuindo para a redução da pegada de carbono e favorecendo a sustentabilidade.

Já Baturkin *et al.* (2021) estudaram a aplicação desse mesmo resíduo de turbinas eólicas, mas na forma de agregado graúdo. Embora tenha sido constatada uma perda de resistência em comparação ao concreto sem agregado reciclado, essa redução foi menor do que a observada quando o resíduo foi utilizado como fibra dispersa ou como agregado miúdo.

Como descrito na literatura técnica, a utilização de resíduo de FRP no concreto é possível, ainda que haja prejuízo nas propriedades mecânicas do novo material produzido. Entretanto, a maior parte dos estudos utiliza como fonte de resíduo elementos inteiramente constituídos de FRP, tais como turbinas eólicas. Por outro lado, existe ainda uma lacuna sobre a utilização de agregado reciclado produzido a partir de resíduo de concreto estrutural com armadura não metálica, foco experimental desta pesquisa.

Utilização do agregado reciclado no concreto

Devido às piores propriedades do agregado reciclado em comparação com o agregado natural, as regulamentações de projeto costumam impor restrições ao uso do concreto produzido com os primeiros. A NBR 15116 (ABNT, 2021), por exemplo, recomenda que na produção de concretos para fins estruturais, seja utilizada somente agregado proveniente da demolição de concreto, com substituição máxima de 20% em relação à massa de agregados totais e que sejam produzidos concretos que atendam somente às classes de agressividade ambiental (CAA) I e II das normas NBR 6118 (ABNT, 2024) e NBR 12655 (ABNT, 2022), portanto, com resistência à compressão característica de até 25 MPa.

O concreto produzido com agregado reciclado tende a ser menos resistente do que aquele produzido com agregado natural. Isso acontece porque os agregados reciclados possuem maior porosidade, o que aumenta sua capacidade de absorção de água, interferindo diretamente nas propriedades mecânicas do concreto, comprometendo a sua durabilidade e resistência (FELIX *et al.*, 2021).

A zona de transição interfacial (ITZ) é caracterizada como uma região de fraqueza na microestrutura do concreto. Isso ocorre porque, no concreto, a zona de transição entre o agregado e a pasta funciona como uma ponte entre esses componentes, mas, ao mesmo tempo, pode apresentar vazios e fissuras, tornando-se, portanto, o "elo mais fraco".

Em um estudo experimental realizado por Salgado e Andrade (2021), foram obtidas, dentre outras propriedades, que o agregado reciclado, possui uma alta absorção de água, o que prejudica a trabalhabilidade do concreto, além de ser mais poroso, ocasionando fissuras pré-existentes. Na Tabela 1 apresenta-se comparativo dessas propriedades entre o agregado natural e o agregado reciclado.

Tabela 1

Propriedade	Agregado natural	Agregado reciclado de concreto
Massa específica na condição Saturada com superfície seca (kg/m³)	2601+/-6	2396+/-10
Massa específica na condição seca (kg/m³)	2570+/-10	2253+/-13
Massa unitária (kg/m³)	1424+/-4	1315+/-5
Absorção de água (kg/m³)	1,2+/-0,2%	6,4+/-0,2%

Programa experimental em andamento

O programa experimental deste trabalho visa à utilização de agregado de concreto reciclado obtido a partir de elementos estruturais armados com barras de GFRP. Para tanto, foram aproveitados dois pilares remanescentes de trabalhos acadêmicos anteriores, realizados na UERJ (SOARES; VON ARCOSY, 2024).
Os pilares continham armadura longitudinal em GFRP (4Ø12 mm). Um daqueles modelos não continha armadura transversal – exceto uma armadura de Aço CA-50 de fretamento nas extremidades (Figura 1) – e o outro continha estribos em GFRP (8Ø8 mm), também com armadura de aço nas extremidades (Figura 2). De ambos os modelos, a porção com armadura de aço não foi utilizada neste estudo.

Figura 1 – Armadura do pilar P2

Figura 2 – Armadura do pilar P3

Para a obtenção dos agregados reciclados com FRP, foi utilizado um reciclador de entulho (Queixada - 200RI - VEGEDRY). Na primeira etapa, foi necessário remover os estribos metálicos localizados nas extremidades dos pilares, como mostrado na Figura 3. Para isso, utilizaram-se serra e martelete para cortar e retirar toda a extremidade contendo os estribos metálicos.
Sabe-se que a aderência das barras de FRP ao concreto é mais baixa, se comparada com a armadura tradicional de aço (CUNHA, 2019). Segundo Tepfers e Delorenzis (2003), a aderência da armadura de FRP depende de diversos fatores. Sendo a adesão um dos mecanismos de aderência existente mesmo sem a mobilização de tensões, observa-se que a superfície do FRP é lisa, sendo ainda menos resistente do que as armaduras metálicas, prejudicando, portanto, a adesão ao concreto, o que pode ser explicado pela existência de uma zona de transição interfacial (IZT) fraca entre a armadura de FRP e o concreto.
Por isto, durante a remoção da armadura de aço nas extremidades dos pilares, com o objetivo de deixar apenas as armaduras de polímeros reforçados com fibra de vidro e o concreto ao redor, verificou-se que, ao utilizar o martelo, parte do concreto se desagregou com facilidade da armadura de FRP, conforme apresentado na Figura 3. Esse comportamento indicou que, nessas condições, a armadura de FRP não apresentava uma boa adesão ao concreto.

Figura 3 – Retirada das extremidades não metálicas

Após a remoção dos estribos de aço, foi utilizado o reciclador de entulho, que é projetado para processar resíduos da construção civil. A ideia inicial era a de colocar os pilares completos (concreto com armadura de FRP) no reciclador e obter agregados reciclados com vestígios da armadura de FRP, o que seria vantajoso quando comparado com a reciclagem do concreto armado tradicional, em que a retirada do aço é uma etapa custosa e que dificulta o trabalho. Mas, pela baixa adesão da armadura de FRP ao substrato e pelas características da máquina, a armadura de FRP foi separada do concreto, ficando assim, inteira.
Para poder incorporar então a armadura ao agregado produzido, foi fragmentada posteriormente a armadura de FRP expelida pelo reciclado de entulho (Figura 4), com granulometria equivalente à da brita de zona granulométrica 9,5/25 conforme NBR 7211 (ABNT, 2022).

Figura 4 – Agregado reciclado produzido, armadura fragmentada e comparação da dimensão do agregado produzido e da armadura fragmentada

Foi realizada uma campanha preliminar, considerando uma dosagem baseada no trabalho de Salgado e Andrade (2021), sendo produzidos três traços distintos, como será mostrado em sequência. Para todos os traços, foi utilizado cimento tipo CPII F32-RS, agregado miúdo natural, água e superplastificante. O tipo de agregado graúdo foi o parâmetro variado, segundo cada traço produzido.
O primeiro traço, denominado de NA (“Agregado Natural”), foi feito apenas com agregados graúdo natural, possuindo um traço unitário de 1:2,02:3,03:0,56. Além desse primeiro traço, foram desenvolvidos mais dois, sendo o segundo traço, chamado de ARC (“Agregado reciclado de concreto”), possuindo a substituição de parte da brita natural por brita reciclada proveniente dos pilares reciclados do experimento. Conforme a ABNT 15116 (ABNT, 2021), foi adotada uma substituição máxima de 20% da brita natural por brita reciclada. Para o terceiro traço, nomeado de ARC+FRP (“Agregado reciclado de concreto com FRP”), além da substituição de brita natural por brita reciclada, foi utilizado o FRP triturado (conforme Figura 4), na proporção da taxa volumétrica de armadura presente nos pilares que foram reaproveitados. Na Tabela 2 encontra-se a proporção utilizada para a moldagem de cada CP.

Tabela 2 – Materiais utilizados para confecção do concreto

Insumos	Série		
	AN	ARC	ARC+FRP
Cimento (kg/m³)	360	360	360
Areia (kg/m³)	727	727	727
Brita natural (kg/m³)	1091	872,8	872,8
Agregado graúdo reciclado (kg/m³)	-	218,2	214,19
GFRP triturado (kg/m³)	-	-	4,01
Água (kg/m³)	201,6	201,6	201,6
Superplastificante (kg/m³)	1,08	1,08	1,08

Os CP foram moldados em uma forma cilíndrica, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, após sua moldagem, foram armazenados em ambiente com temperatura e umidade controladas. Esses corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão (Figura 5) aos sete dias, conforme as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018) sendo obtidos os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado

Série	Amostra	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência à compressão média (MPa)	Desvio Padrão Amostral (MPa)
NA	NA 1	21,17	21,78	1,54
	NA 2	20,64		
	NA 3	23,53		
ARC	ARC 1	20,37	21,06	2,2
	ARC 2	23,52		
	ARC 3	19,29		
ARC + FRP	ARC + FRP 1	27,43	24,51	4,3
	ARC + FRP 2	26,53		
	ARC + FRP 3	19,57		

Figura 5 – Corpos de prova ensaiados, NA, ARC, ARC+FRP respectivamente.

As amostras ensaiadas mostraram que o concreto confeccionado com agregados reciclados ou com agregados reciclados com fragmentos de armadura de GFRP apresentaram a mesma ordem de grandeza do concreto confeccionado com agregados naturais, o que poderia ser explicado pelo fato de que o percentual de substituição dos agregados foi relativamente baixo.

Ainda que fossem esperadas menores resistências à compressão dos espécimes de concreto elaborados com FRP, os resultados apresentaram um aumento de resistência em relação às demais amostras. Contudo, deve-se atentar também para o desvio padrão amostral maior obtido para esta série.

Conclusões

A reutilização de RCC como agregado para o concreto é uma alternativa viável que permite redução de consumo de recursos naturais além de mitigar o descarte destes resíduos em locais inapropriados. Relativamente à incorporação de resíduos de FRP no concreto, observa-se que existe, normalmente, uma piora nas propriedades mecânicas do concreto produzido, ainda que o resultado possa encontrar uso em aplicações de menor exigência técnica.

O estudo experimental encontra-se em andamento, onde o início dos resultados experimentais preliminares foram apresentados no presente trabalho. Contudo, mostrou-se que no caso de utilização de agregados reciclados provenientes de estruturas de concreto armadas com barras de GFRP é possível e que, sendo a taxa volumétrica de armadura de GFRP baixa, não foi observado impacto na resistência à compressão do concreto produzido. Deve-se salientar que foram realizados até o momento poucos ensaios e que um programa experimental com maior número de amostras encontra-se em andamento, para melhor calibrar os dados obtidos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Requisitos. Quarta ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Segunda ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland- Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Quarta ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Terceira ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Quarta ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 242 p.

BARROS, Liana de Holanda Viana. Reciclagem de resíduos de plástico reforçado com fibras de vidro na indústria de piscinas. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências Ambientais., Nstituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

BATURKIN, Dmitry et al. Valorization of recycled FRP materials from wind turbine blades in concrete. Resources, Conservation And Recycling, [S.L.], v. 174, p. 105807, nov. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105807.

CHEN, Wei et al. Adopting recycled aggregates as sustainable construction materials: a review of the scientific literature. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 218, p. 483-496, set. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.130.

CUNHA, Déborah Rebouças da et al. Estudo da aderência de barras poliméricas reforçadas com fibras de vidro (GFRP) ao concreto. 2019. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Fen, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

FELIX, Emerson Felipe et al. A New Formulation to Estimate the Elastic Modulus of Recycled Concrete Based on Regression and ANN. Sustainability, [S.L.], v. 13, n. 15, p. 8561, 31 jul. 2021. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su13158561.

KHODADADI, Nima et al. Fiber-reinforced polymer (FRP) in concrete: a comprehensive survey. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 432, p. 136634, jun. 2024. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136634.

LICHTENEGGER, Georg et al. Offshore and onshore wind turbine blade waste material forecast at a regional level in Europe until 2050. Waste Management, [S.L.], v. 106, p. 120-131, abr. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.018.

LIU, Pu et al. Wind turbine blade waste in 2050. Waste Management, [S.L.], v. 62, p. 229-240, abr. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.007

QUININO, Uziel Cavalcanti de Medeiros et al. Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibra. 2015. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RATHORE, Neelam et al. Environmental impact and waste recycling technologies for modern wind turbines: an overview. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, [S.L.], v. 41, n. 4, p. 744-759, 16 nov. 2022. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/0734242x221135527.

REICHENBACH, Sara et al. A review on embedded fibre-reinforced polymer reinforcement in structural concrete in Europe. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 307, p. 124946, nov. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124946.

REVILLA-CUESTA, Víctor et al. Mechanical and environmental advantages of the revaluation of raw-crushed wind-turbine blades as a concrete component. Journal Of Building Engineering, [S.L.], v. 82, p. 108383, abr. 2024. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108383.

SALGADO, Fernanda de Andrade; SILVA, Flávio de Andrade. Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: a review. Journal Of Building Engineering, [S.L.], v. 52, p. 104452, jul. 2022. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104452.

SALGADO, Fernanda de Andrade et al. Properties of recycled aggregates from different composition and its influence on concrete strength. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 1-16, 01 mar. 2021. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952021000600005.

SHIINO, Marcos Yutaka et al. Materiais compósitos: desafios da reciclagem e reúso. São Paulo: Unesp, 2020. 25 p. (7). Disponível em: https://books.scielo.org/id/7cnwy/pdf/vilanova-9786557140093-08.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.

SOARES, Camila Romar; VON ARCOSY, Letícia Wolf. Comportamento de pilares de concreto com armadura de polímero reforçado com fibra de vidro. 2024. 143 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Fen, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

TEPFERS, R. et al. Bond of FRP Reinforcement in Concrete - a Challenge. Mechanics Of Composite Materials, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 315-328, jul. 2003. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1023/a:1025642411103.

TORRES, Levi. 70% do entulho no Brasil é descartado incorretamente. ABRECON, São Paulo, 03 de jun. de 2023. nível em: < https://abrecon.org.br/artigos/70-do-entulho-no-brasil-e-descartado-incorretamente#:~:text=A%20massa%20total%20de%20res%C3%ADduos,baldios%20e%20at%C3%A9%20na%20rua.>. Acesso em: 07 de jun. de 2024.

YAZDANBAKHSH, Ardavan et al. Use of recycled FRP reinforcing bar in concrete as coarse aggregate and its impact on the mechanical properties of concrete. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 121, p. 278-284, set. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.165.

ZHOU, Yingwu et al. Recycled GFRP Aggregate Concrete Considering Aggregate Grading: compressive behavior and stress⁚strain modeling. Polymers, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 581, 31 jan. 2022. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/polym14030581.