



ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA (FRP) E FIBRA DE COCO COMO REFORÇOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: DURABILIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA. UMA PROPOSTA DE ESTUDO DE CASO SUSTENTÁVEL PARA A RECONSTRUÇÃO DO FAROLETE ITAPACIS, NA BAÍA DE GUANABARA-RJ

Capitão-Tenente (T) Mariana de Castro Michimoto¹
Prof. Dr. Newton Narciso Pereira²

RESUMO

A análise visa verificar uma forma mais sustentável e com durabilidade para substituir o Farolete (Fte) Itapacis, que se localiza nas proximidades da Ilha de Paquetá, ao norte da Baía de Guanabara-RJ. A manutenção desse sinal de alvenaria é necessária, uma vez que esse auxílio à navegação (**AtoN**) importante defende uma região de pedras, as quais podem causar acidente à navegação como colisão ou encalhe de embarcações que trafegam na região. Cabe ressaltar que o Fte Itapacis não está destruído, mas sua manutenção constante promove custos elevados. Este estudo analisou a durabilidade e a viabilidade econômica do uso de polímeros reforçados com fibra (FRP) em comparação com a fibra de coco em estruturas de concreto armado, que podem ser alternativas mais econômicas para a Autoridade Marítima Brasileira (AMB).

Palavras-Chave: Polímeros Reforçados com Fibra (FRP); auxílios à navegação; fibra de coco; durabilidade.

¹ Oficial do Quadro Técnico graduada em Ciências Náuticas (EFOMM-RJ). Mestrado em Hidrografia (UFF-RJ), servindo presentemente no Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego (CAMR). Email: mariana.michimoto@marinha.mil.br

² Professor Adjunto da Universidade Federal Fluminense (UFF), lotado na Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da UFF. E-mail: newtonpereira@id.uff.br

ABSTRACT

The analysis aims to verify a more sustainable and durable way to replacement the Itapacis Lighthouse (Fte), which is located near Paquetá Island, north of Guanabara Bay-RJ. The maintenance of this masonry signal is necessary, since this important navigation aid (AtoN) defends a region of rocks, which can cause navigation accidents such as collision or grounding of vessels traveling in the region. It is worth noting that Fte Itapacis has not been destroyed, but its constant maintenance results in high costs.

This study analyzed the durability and economic viability of using fiber-reinforced polymers (FRP) compared to coconut fiber in reinforced concrete structures, which can be cheaper alternatives for the Brazilian Maritime Authority.

Keywords: fiber-reinforced polymers (FRP); Aids to Navigation; coconut fiber; durability.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a MARINHA DO BRASIL, (2023), entende-se por auxílio à navegação: “um dispositivo, sistema ou serviço externo

à embarcação, estabelecidos para auxiliar o navegante a determinar sua posição e rumo, alertar sobre os eventuais perigos à navegação existentes na sua derrota e demarcar os limites dos canais de navegação.” Nesse contexto se inserem os auxílios à navegação visuais como os Faróis e Faroletes. As Normas da Autoridade Marítima para os Auxílios à Navegação (NORMAM-601/DHN) indicam que o faroleta é um Auxílio à navegação, constituído por uma estrutura fixa, de forma e cores distintas, apresentando ou não marca de tope, montado em um ponto de coordenadas geográficas conhecidas, na costa ou em ilhas oceânicas, bancos, rochedos, recifes, margem de rios, margem de canais, molhes ou trapiches, com alcance luminoso noturno igual ou inferior a dez milhas náuticas. O estudo em lide tende a apresentar possibilidades para avaliação da Autoridade Marítima para reconstrução de um faroleta de alvenaria hoje que carece de manutenções constantes, que devido à exposição às condições climatológicas reinantes, tiveram suas estruturas degradadas ao longo dos anos e estão localizados ao Norte da Baía de Guanabara, nas proximidades da Ilha de Paquetá, no Rio de Janeiro-RJ

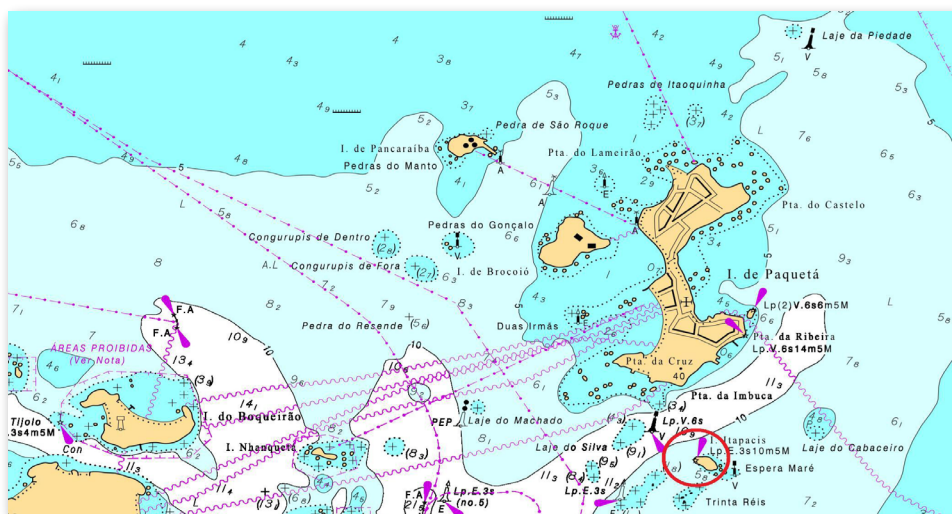


Figura 1- Extrato da carta náutica nº1501, circulado em vermelho a posição do Fte Itapacis. Fonte: MARINHA DO BRASIL, 2024. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster.fild_numero_raster_value=1501&title= Acessoado em: 22/11/2024.



O Fte Itapacis é uma estrutura de alvenaria, composta por uma torre cilíndrica de concreto armado, na cor encarnada, estando posicionado na altitude de 10 metros, com altura de sua estrutura de 7

metros (Figura 2). Na Figura 3, enviada por militar do Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego (CAMR) é possível visualizar características de como está hoje sua estrutura, bem como sua base.



Figura 2- Extrato da Lista de Faróis (2024) Fte Itapacis é uma estrutura de alvenaria, composta por uma torre cilíndrica de concreto armado, na cor encarnada, estando posicionado na altitude de 10 metros, com altura de sua estrutura de 7 metros.

2520 G 0396	Itapacis 1501	22 46,62 43 06,42	L.p. E. 3s E. 0,3 – Ecl. 2,7 36	10	5 10	Torre cilíndrica de concreto armado, encarnada 7
----------------	------------------	----------------------	--	----	---------	---

Figura 3- Extrato da Lista de Faróis (2024).

Com o aumento da demanda por materiais duráveis e econômicos na construção civil, os engenheiros têm explorado alternativas aos materiais tradicionais, buscando maior resistência e menor impacto ambiental. O uso de reforços em estruturas de concreto armado é essencial para garantir a integridade e a durabilidade das construções. Um material com elevada durabilidade vai proporcionar aos auxílios à navegação manterem-se 95% do tempo operacionais (MARINHA DO BRASIL, 2023). Nos últimos anos, o FRP emergiu como um material de destaque, enquanto a fibra de coco é uma opção renovável e de baixo custo. Esta revisão da literatura busca avaliar se o FRP é uma escolha mais econômica e durável em comparação com a fibra de coco para estruturas de concreto armado.

O FRP têm se destacado como materiais avançados na engenharia devido à sua elevada resistência mecânica e baixa densidade, sendo amplamente utilizados em reforço estrutural, aeronáutica e indústria automotiva. Esses compósitos são constituídos por fibras (como carbono, vidro ou aramida) embebidas em uma matriz polimérica, geralmente epóxi ou poliéster, proporcionando alta durabilidade e resistência à corrosão (BANK, 2006). Sua aplicação em estruturas de concreto, por exemplo, permite a recuperação de vigas e pilares sem aumentar significativamente o peso, diferentemente de métodos tradicionais como chapas de aço (ACI 440.2R-17, 2017).

Apesar das vantagens, os FRPs apresentam desafios, como o custo elevado, especialmente no caso das fibras de carbono (CFRP), e a dificuldade de reciclagem devido à natureza termorrígida das resinas (MALLICK, 2007). Além disso, sua resistência ao impacto pode ser inferior à de metais, exigindo cuidados no projeto de componentes sujeitos a cargas dinâmicas. No entanto, pesquisas recentes têm explorado novas matrizes termoplásticas e técnicas de fabricação para superar essas limitações, ampliando as possibilidades de aplicação (GAY; HOA, 2015).

Fibras de coco têm ganhado destaque como material sustentável devido à sua origem renovável e aplicações versáteis em compósitos, artesanato e indústria têxtil. Extraídas do mesocarpo do coco, essas fibras apresentam propriedades como alta resistência à tração, biodegradabilidade e baixo custo, sendo uma alternativa ecológica a fibras sintéticas (SATYANARAYANA et al., 2007). Sua utilização em compósitos poliméricos reforçados tem sido estudada para aplicações em peças automotivas e materiais de construção, contribuindo para a redução do impacto ambiental (MONTALVÃO et al., 2016).

Além das aplicações técnicas, as fibras de coco são amplamente empregadas na fabricação de estofados, tapetes e substratos agrícolas, graças à sua durabilidade e capacidade de retenção de umidade (CARVALHO et al., 2018). No



entanto, desafios como a variabilidade das propriedades mecânicas e a necessidade de tratamentos superficiais para melhorar a adesão em matrizes poliméricas ainda limitam seu uso em larga escala (TOMÉ et al., 2021). Pesquisas recentes focam em métodos de tratamento químico e físico para otimizar o desempenho dessas fibras em aplicações de engenharia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise comparativa foi feita com base em uma revisão sistemática da literatura, considerando artigos científicos. Foram selecionados estudos com resultados experimentais sobre durabilidade, resistência à tração, resistência à corrosão e custos de implementação do FRP e da fibra de coco como reforços em concreto armado. O presente trabalho buscou outras soluções diferentes das usuais para uma possível reconstrução de um farolete, analisou a carta náutica nº1501, elaborada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e se verificou a importância de substituir esse farolete. As ideias aqui descritas teriam o fito de um protótipo, pela facilidade logística deste auxílio à navegação, uma vez que está localizado na Baía de Guanabara-RJ, para servir de proposta de novos materiais que podem ser empregados em substituição da alvenaria padrão, mercê dessas e outras soluções mais sustentáveis empregadas na engenharia civil.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Intenciona-se discutir formas alternativas de substituir faroletes e faróis, com baixo custo para a Autoridade Marítima ou Entidades Extra-MB, especialmente, para o Fte Itapacis. Esse Fte se localiza ao Norte da Baía de Guanabara, de responsabilidade da Marinha do Brasil, especificamente, ao

Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego (CAMR), e poderia servir de protótipo, pela proximidade do referido Centro no que tange questões logísticas de pessoal e material; com a verificação da eficácia de construção com uso de outros materiais diferentes dos usuais. Pretende-se discutir possibilidades relacionadas ao desempenho estrutural, à durabilidade e ao custo de aplicação do FRP e da fibra de coco em concreto armado.

Segundo a INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR MARINE AIDS TO NAVIGATION - IALA (2021), o projeto de engenharia estrutural de um novo (ou avaliação de um existente) AtoN inclui considerar suas características incluindo função, durabilidade, sustentabilidade, segurança e qualidade. É importante o projetista ou responsável pelo AtoN discutir com fornecedores, consultores e contratados para garantir que uma abordagem de projeto sustentável seja adotada.

A IALA preconiza que existem elementos comuns para os quais o projeto estrutural e a especificação são realizados, independentemente da localização geográfica do AtoN. A diretriz da IALA G1165 aponta os elementos importantes que contribuem para realização de um Projeto Estrutural Sustentável de Auxílios Marítimos à Navegação, a saber:

- Elementos de aço, incluindo área da seção transversal da seção, dimensões e fabricação.
- Elementos de concreto, incluindo dimensões, resistência, durabilidade do concreto e reforço.
- Elementos de madeira, incluindo dimensões, resistência e teor de umidade.
- Conexões entre elementos, incluindo soldas e conexões aparafusadas.
- Fundações, onde o projetista considera as propriedades subjacentes do solo e as maneiras pelas quais a fundação combinada e a estrutura do solo podem erodir.

Além disso, a publicação supracitada, expõe uso de plástico; borracha; cobertura e sistemas de proteção; como pintura, proteção catódica e cobertura galvanizada; e plástico reforçado com fibra de vidro, em inglês, Glass fiber reinforced plastic (GRP). O GRP pode ser empregado em equipamentos modulares; grades para servirem deslocamento de pessoas para manutenção, uma vez que se trata de um trabalho em altura; e Faróis e Faroletes. Segundo a IALA (2021), GRP oferece espessura; resistência e estabilidade UV (ultra violeta) para manutenção da coloração da estrutura, essa que deve oferecer conspicuidade para que o navegante ao avistar o Farol ou Farolete não tenha dúvidas da ação a empreender no mar, contribuindo para a segurança da navegação.

A altura do AtoN determina o alcance geométrico máximo atingível e é um parâmetro de projeto essencial que influencia o projeto dos elementos estruturais do AtoN.

Com relação à altura, REGO (2005) informa que na prática, as elevações do foco da maioria dos grandes faróis do mundo estão entre 40 e 70 metros. Acrescenta ainda que no Brasil, adota-se a altura padrão de 5 metros para o cálculo do Alcance Geográfico, onde 5 metros é a altura de observação sobre o nível do mar.

Neste presente trabalho, que pretende propor materiais mais sustentáveis que o usual, apresentará uma proposta para que a Autoridade Marítima Brasileira e entidades Extra-MB possam verificar a possibilidade de emprego em seus Faróis e Faroletes a serem reconstruídos ou até mesmo construídos, em seu estado inicial. Esse compromisso com a segurança da navegação no que tange aos AtoN se dá em virtude da Convenção SOLAS (1974), a qual prevê que sempre que houver fluxo elevado e grau de risco, em uma via navegável, devem ser empregados auxílios à navegação.

3.1 POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA (FRP)

Os polímeros reforçados com fibra (FRP) são materiais compostos de resinas poliméricas e fibras sintéticas, como fibra de vidro, aramida e carbono. Esses materiais têm ganhado popularidade em projetos de construção devido à sua alta resistência mecânica e resistência à corrosão. Estudos mostram que o FRP pode manter a integridade estrutural mesmo em ambientes com alta umidade e exposição a agentes corrosivos (ALMUSALLAM, 2001; MEIER, 1995).

Além disso, o FRP possui uma densidade menor do que os materiais tradicionais de reforço, o que reduz o peso total da estrutura e facilita a aplicação em estruturas de grandes dimensões (MEHTA & MONTEIRO, 2006).

No contexto brasileiro, sua aplicação tem sido particularmente relevante em estruturas expostas a ambientes agressivos, como regiões litorâneas, onde a degradação por cloretos é um desafio constante (SILVEIRA; FONSECA, 2021). Estudos recentes também destacam o uso do FRP em pontes e viadutos, onde a necessidade de intervenções rápidas e pouco intrusivas torna esse material especialmente vantajoso (MACHADO et al., 2022). Apesar do custo mais elevado em comparação a materiais tradicionais, a durabilidade e a redução de manutenção compensam o investimento inicial, posicionando o FRP como uma solução tecnológica promissora para a infraestrutura nacional.

3.2 FIBRA DE COCO

A fibra de coco é um recurso natural e renovável amplamente disponível em regiões tropicais. O uso desse material na construção tem sido explorado devido



ao seu custo acessível e baixa pegada ambiental. No entanto, como fibra orgânica, a fibra de coco é susceptível a fatores como umidade e ataques biológicos, o que reduz sua durabilidade em longo prazo quando comparada ao FRP (CARVALHO et al., 2020; VIJAY et al., 2021).

A fibra de coco tem sido cada vez mais empregada na engenharia civil brasileira como um material alternativo e sustentável, especialmente em composições com matrizes cimentícias e polímeros. Estudos demonstram que sua utilização em argamassas e concretos pode melhorar propriedades como resistência à fissuração, absorção de impactos e isolamento térmico, além de reduzir o peso das estruturas (CARVALHO et al., 2020). Sua viabilidade é reforçada pela abundância do material no país, uma vez que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de coco, gerando resíduos que podem ser reaproveitados na construção civil (SANTOS; LIMA, 2021).

Pesquisas recentes também destacam que a fibra de coco, quando tratada adequadamente, apresenta boa durabilidade e compatibilidade com matrizes de cimento, tornando-se uma opção economicamente vantajosa para aplicações em painéis, blocos e reforços de solos (GONÇALVES et al., 2022). A adoção desse material contribui não apenas para a redução de custos, mas também para a diminuição do impacto ambiental, alinhando-se às práticas de construção sustentável.

3.3 COMPARAÇÃO DOS CUSTOS E BENEFÍCIOS

Estudos mostram que o custo inicial da fibra de coco é cerca de 50% menor em comparação com o FRP, o que a torna uma opção atraente para projetos de baixo orçamento (Vijay et al., 2021). Entretanto, considerando a necessidade de manutenção

e substituição, o custo total ao longo da vida útil da estrutura tende a ser maior no caso da fibra de coco, devido à sua menor durabilidade (MEHTA & MONTEIRO, 2006).

O custo do FRP (Polímero Reforçado com Fibras) pode variar consideravelmente, dependendo de vários fatores como o tipo de fibra (carbono, vidro, aramida), a aplicação (construção civil, aeroespacial, etc.), a quantidade adquirida, e as tecnologias envolvidas no processo de fabricação.

TAVAKKOLIZADEH E SAADATMANESH (2001) discutiram a eficiência econômica do uso de FRP no reforço de estruturas de concreto. Segundo este estudo, o custo de fibra de carbono para reforço de concreto pode variar entre US\$ 50 a US\$ 120 por metro quadrado, dependendo da espessura das camadas e do tipo de aplicação.

Um estudo realizado por AREZOO E FADAEI (2017) abordou o custo de FRP utilizando fibra de vidro para aplicações estruturais. Eles mencionam que o custo pode variar entre US\$ 5 a US\$ 15 por metro quadrado, considerando as camadas de resina e o processo de impregnação.

Segundo uma pesquisa de NANNI et al. (1993), que explorou a aplicação de FRP em pontes e outras infraestruturas, o custo para reforçar estruturas de concreto com fibra de carbono pode ser em torno de US\$ 60 a US\$ 80 por metro quadrado. Este estudo mostrou que, apesar do custo inicial elevado, o uso de FRP pode ser mais econômico a longo prazo devido à durabilidade e resistência superior.

A Fibra de Carbono tem custo varia de US\$ 15 a US\$ 35 por metro quadrado. Já a Fibra de Vidro, o custo é mais baixo, entre US\$ 5 e US\$ 20 por metro quadrado. A Fibra de Aramida (Kevlar) possui o preço mais alto, variando entre US\$ 30 e US\$ 50 por metro quadrado, devido à alta resistência à abrasão e propriedades específicas.

Esses valores e referências fornecem uma base sólida para entender a variação de

custos dos FRPs em diferentes aplicações. O custo pode ser mais alto no início devido aos materiais e processos envolvidos, mas pode ser mais vantajoso a longo prazo, considerando a durabilidade e a eficiência.

Em termos de durabilidade a longo prazo, o FRP apresenta melhor estabilidade dimensional e resistência à fadiga, sendo amplamente utilizado em reforços sísmicos e reparos estruturais onde a confiabilidade é crítica (MALLICK, 2007). Já as fibras de coco, apesar de serem uma alternativa ecológica e de baixo custo, exigem tratamentos superficiais e proteção adicional para evitar deterioração, o que aumenta a complexidade de sua aplicação (TOMÉ et al., 2021). Portanto, em construções de alvenaria que demandam alta eficiência estrutural e vida útil prolongada, o FRP é comprovadamente mais eficiente, enquanto as fibras de coco são mais adequadas para aplicações não estruturais ou de menor exigência mecânica.

Trabalhos recentes demonstram que a fibra de coco apresenta vantagens econômicas significativas em comparação ao Fiber Reinforced Polymer (FRP) no contexto brasileiro, principalmente devido à sua abundância como resíduo agrícola e aos baixos custos de produção (SILVA et al., 2021). Enquanto o FRP, composto por fibras sintéticas como carbono ou vidro, possui um elevado custo de importação e fabricação, a fibra de coco surge como uma alternativa sustentável e de menor impacto financeiro, especialmente em aplicações não estruturais ou em reforços de baixa exigência mecânica (ALMEIDA; SOUZA, 2020). Além disso, a utilização desse material contribui para a economia circular, reduzindo custos logísticos e ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos (ARAÚJO et al., 2019).

Por outro lado, o FRP ainda é preferido em projetos de alta performance devido à sua superior resistência mecânica

e durabilidade, justificando seu custo mais elevado (MELO; FONSECA, 2022). Contudo, análises de custo-benefício indicam que, em aplicações onde a resistência extrema não é essencial, a fibra de coco pode reduzir em até 40% os gastos com materiais, sem comprometer significativamente a qualidade da obra (PEREIRA et al., 2023). Portanto, a escolha entre os dois materiais deve considerar não apenas fatores técnicos, mas também a viabilidade orçamentária e a sustentabilidade, destacando a fibra de coco como uma opção economicamente atrativa para o mercado brasileiro.

3.4 RESISTÊNCIA E DURABILIDADE

O FRP apresentou maior resistência à tração e maior durabilidade em ambientes agressivos, como áreas expostas a sais e umidade. Estudos apontam que o FRP possui resistência superior à corrosão e à degradação química, tornando-o uma opção vantajosa para estruturas em áreas costeiras e industriais (ALMUSALLAM, 2001; MEIER, 1995).

Em contrapartida, a fibra de coco mostrou-se eficaz em ambientes mais secos e menos agressivos, mas seu desempenho decai em ambientes com alta umidade e alcalinidade, típicos de estruturas de concreto. Estudos de Carvalho et al. (2020) indicam que, após 5 anos de exposição em ambientes úmidos, a fibra de coco perde cerca de 30% de sua resistência inicial, enquanto o FRP mantém sua integridade.

A análise dos custos indica que, embora o investimento inicial para o FRP seja maior, o custo ao longo de 50 anos é reduzido em cerca de 30% em comparação com a fibra de coco devido à menor necessidade de manutenção e substituição (Mehta & Monteiro, 2006).

A fibra de coco é uma opção ambientalmente sustentável, pois é



biodegradável e utiliza menos energia em sua produção. Já o FRP, por ser composto de materiais sintéticos, apresenta uma pegada de carbono maior. No entanto, a durabilidade superior do FRP pode compensar seu impacto ambiental, pois reduz a necessidade de substituições e descartes ao longo do tempo (Vijay et al., 2021).

4. CONCLUSÃO

Com base nas informações bibliográficas coletadas, conclui-se que o FRP é mais adequado para projetos que exigem alta durabilidade e baixa manutenção, enquanto a fibra de coco é viável para projetos de curto prazo e de baixo custo, onde o impacto ambiental e o custo inicial são considerados prioritários. A fibra de coco, embora sustentável e de baixo custo inicial, possui durabilidade limitada em ambientes agressivos, o que reduz sua viabilidade para aplicações estruturais duradouras. Em suma, a escolha entre FRP e fibra de coco deve considerar as condições ambientais, a vida útil desejada

e o orçamento do projeto. Portanto, no caso do Fte Itapacis, é salutar que a Autoridade Marítima possa sempre verificar metodologias de baixo custo e com maior durabilidade para a reconstrução deste sinal, uma vez que existe a necessidade da manutenção do Índice de Eficácia acima de 95%, que é mínimo de tempo que um auxílio à navegação deverá estar operacional, de acordo com os padrões internacionais preconizados pela IALA.

O FRP apresenta melhor estabilidade dimensional e resistência à fadiga, sendo amplamente utilizado em reforços sísmicos e reparos estruturais onde a confiabilidade é crítica. As fibras de coco, apesar de serem uma alternativa ecológica e de baixo custo, exigem incremento na proteção para evitar deterioração, o que aumenta a complexidade de sua aplicação (TOMÉ et al., 2021). Portanto, em construções de alvenaria que demandam alta eficiência estrutural e vida útil prolongada, o FRP é comprovadamente mais eficiente, enquanto as fibras de coco são mais adequadas para aplicações não estruturais ou de menor exigência mecânica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. S.; SOUZA, L. P. Materiais compósitos na construção civil: uma análise comparativa entre fibras naturais e sintéticas. São Paulo: Ed. Técnica, 2020.

ALMUSALLAM, T. H. Durability of GFRP Reinforcement in Concrete Structures. *Construction and Building Materials*, v. 15, n. 7-8, p. 437-446, 2001. Disponível em: <https://quakewrap.com/frp%20papers/DurabilityofGFRPReinforcedConcreteFieldStructures.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI 440.2R-17: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. Farmington Hills, MI: ACI, 2017.

ARAÚJO, J. M. et al. Aproveitamento de resíduos agrícolas na produção de materiais sustentáveis. *Revista Brasileira de Engenharia Sustentável*, v. 5, n. 2, p. 45-60, 2019.

AREZOO, K., & FADAEE, M. Experimental and numerical study of the cost and efficiency of fiber-reinforced polymer (FRP) composites for structural applications. *Composites Part B: Engineering*, 2017.

BANK, L. C. *Composites for Construction: structural design with FRP materials*. Hoboken: Wiley, 2006.

CARVALHO, A. B. et al. Aplicação de fibras naturais em compósitos cimentícios: desempenho mecânico e sustentabilidade. *Revista Matéria*, v. 25, n. 3, p. 1-15, 2020.

CARVALHO, A. F., SILVA, R. F.; LIMA, P. R. L. Durability of natural fiber reinforced concrete in humid environments. *Journal of Natural Fibers*, v. 17, n. 8, p. 1113-1127, 2020.

CARVALHO, K. C. C. et al. Aproveitamento de fibras de coco verde na fabricação de substratos agrícolas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 356-361, 2018.

GAY, D.; HOA, S. V. *Composite Materials: design and applications*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

GONÇALVES, M. S. et al. Tratamento superficial de fibras de coco para uso em materiais de construção. *Engenharia e Sustentabilidade*, v. 10, n. 2, p. 34-48, 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR MARINE AIDS TO NAVIGATION (IALA). Sustainable structural design of marine aids to navigation. 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/04041135/Downloads/G1165-Ed1.2-Sustainable-Structural-Design-of-Marine-Aids-to-Navigation-December-2021.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2025.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. International Convention for the Safety of Life at Sea (IMO). 1974. Disponível em: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx). Acesso em: 10 abr. 2025.

MACHADO, R. P. et al. Aplicações de FRP em infraestruturas de transporte: estudos de caso no Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 14, n. 4, p. 112-125, 2022.

MALLICK, P. K. *Fiber-Reinforced Composites: materials, manufacturing, and design*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.

MELO, C. D.; FONSECA, A. B. *FRP em estruturas de concreto: desempenho e custos*. Rio de Janeiro: Editora Construção Moderna, 2022.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. NORMAM-601/DHN: Normas da Autoridade Marítima para auxílios à navegação. 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br.dhn/files/normam/NORMAM-601.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2025.



MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: microstructure, properties, and materials. McGraw-Hill Education. 2006.

MEIER, U. Strengthening of Structures Using Carbon Fibre/Epoxy Composites. Construction and Building Materials, 341-351. 1995.

MONTALVÃO, D. et al. Estudo das propriedades mecânicas de compósitos reforçados com fibras naturais de coco. Matéria, v. 21, n. 2, p. 487-499, 2016.

NANNI, A., et al. Reinforcement of Concrete Structures with FRP Materials. ACI Structural Journal, v. 90, n.3, p. 235-243, 1993.

OLIVEIRA, J. M. et al. Materiais compósitos FRP na reabilitação de estruturas de concreto. São Paulo: Ed. TecCon, 2019.

PEREIRA, T. R. et al. Viabilidade econômica de fibras naturais na indústria da construção. Engenharia e Inovação, v. 12, n. 3, p. 78-92, 2023.

REGO, P. M. B. A. Manual de Sinalização Náutica. 2005. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/camr/sites/www.marinha.mil.br/camr/files/MANUAL-SN-Vol-1-Aprovado-CT-DHN.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2025.

SANTOS, P. R.; LIMA, R. C. Resíduos agrícolas na construção civil: potencial da fibra de coco no Brasil. São Paulo: Ed. Sustentech, 2021.

SATYANARAYANA, K. G. et al. Characteristics and potential of coconut fiber as eco-friendly material. Journal of Natural Fibers, v. 4, n. 3, p. 1-22, 2007.

SILVA, E. F. et al. Fibra de coco como material alternativo em compósitos poliméricos. Belo Horizonte: Editora Sustentare, 2021.

SILVEIRA, A. L.; FONSECA, B. R. Corrosão em estruturas costeiras: o papel do FRP como solução preventiva. Engenharia e Tecnologia, v. 8, n. 1, p. 56-70, 2021.

TAVAKKOLIZADEH, M.; SAADATMANESH, H. Cost-effective application of fiber-reinforced polymer composites for strengthening concrete structures. Journal of Composites for Construction, v.5, n.1, p. 17-23, 2001. Acesso em: 10 mar. 2025.

TOMÉ, A. S. et al. Modificação superficial de fibras de coco para aplicação em compósitos poliméricos. Polímeros, v. 31, n. 1, p. 1-12, 2021.

VIJAY, P. V.; GOWDA, B. R.; RAGHAVENDRA, T. Performance Analysis of Coconut Fiber as Reinforcement in Concrete Structures. Materials Today: Proceedings, n. 45, p. 2374-2380, 2021.