INTERFACE TECNOLÓGICA

TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO INDUSTRIAL
Interface Tecnológica · v. 23, n. 1, 2026 · p. 392–400
ISSN on-line 2447-0864 · ISSN impresso 1807-3980
https://doi.org/10.31510/infa.v23i1.2474

APLICAÇÕES DA FIBRA DE CARBONO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA: desempenho, ciclo de vida e desafios de sustentabilidade

Applications of carbon fiber in the aerospace industry: performance, life cycle, and sustainability challenges

Giovanna Aparecida de Oliveira[1], **Ramílio Ramalho Reis Filho**[2]

AUTORIA

[1] **Giovanna Aparecida de Oliveira**
Fatec Taquaritinga – SP – Brasil
giovanna.oliveira13@aluno.cps.sp.gov.br
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1348-5842

[2] **Ramílio Ramalho Reis Filho**
Fatec Taquaritinga – SP – Brasil
ramilio.ramalho@hotmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4986-5158

HISTÓRICO

Recebido	27/04/2026
Aceito	04/06/2026
Publicado	30/06/2026

COMO CITAR

OLIVEIRA, G. A. de; REIS FILHO, R. R. Aplicações da fibra de carbono na indústria aeronáutica: desempenho, ciclo de vida e desafios de sustentabilidade. **Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 23, n. 1, p. 392-400, 2026. DOI: 10.31510/infa.v23i1.2474.

LICENÇA

Artigo de acesso aberto distribuído sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

cc BY 4.0

RESUMO

A busca por maior eficiência energética e redução de impactos ambientais tem direcionado a indústria aeronáutica ao uso de materiais mais leves e resistentes. Nesse contexto, os compósitos de fibra de carbono reforçados com polímero (CFRP) destacam-se por sua elevada relação resistência/peso, rigidez estrutural e resistência à corrosão, permitindo reduções significativas de massa em aeronaves modernas, como o Boeing 787 e o Airbus A350. Como consequência, observa-se diminuição no consumo de combustível e nas emissões de dióxido de carbono (CO_2) durante a operação. Entretanto, os benefícios obtidos em serviço contrastam com limitações relevantes ao longo do ciclo de vida do material. Entre os principais desafios, destacam-se a detecção e o reparo de danos por impacto pouco visíveis (BVID), os elevados custos de manutenção especializada e as restrições associadas à reciclagem de matrizes termofixas. Diante disso, este estudo apresenta uma revisão bibliográfica sobre as aplicações dos CFRP na indústria aeronáutica, abordando suas propriedades, processos produtivos, aplicações estruturais, vantagens operacionais e limitações. Os resultados evidenciam que, embora esses compósitos representem um avanço tecnológico significativo, sua consolidação como solução sustentável depende do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes de reciclagem e de uma abordagem integrada que considere todo o ciclo de vida do material.

Palavras-chave: Fibra de carbono. CFRP. Indústria aeronáutica. Ciclo de vida. Reciclagem.

ABSTRACT

The pursuit of greater energy efficiency and reduced environmental impact has driven the aeronautical industry toward the use of lighter and more resistant materials. In this context, carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composites stand out due to their high strength-to-weight ratio, structural stiffness, and corrosion resistance, enabling significant weight reduction in modern aircraft such as the Boeing 787 and Airbus A350. As a result, lower fuel consumption and reduced carbon dioxide (CO_2) emissions can be observed during operation. However, the benefits achieved in service are contrasted by relevant limitations throughout the material's life cycle. Among the main challenges are the detection and repair of barely visible impact damage (BVID), high maintenance costs, and limitations associated with the recycling of thermoset matrices. Therefore, this study presents a bibliographic review of CFRP applications in the aeronautical industry, addressing their properties, manufacturing processes, structural applications, operational advantages, and limitations. The findings indicate that, although these composites represent a significant technolo-

gical advancement, their full sustainability depends on the development of more efficient recycling technologies and a comprehensive life cycle approach.

Keywords: Carbon fiber. CFRP. Aeronautical industry. Life cycle. Recycling.

1 INTRODUÇÃO

O aumento contínuo da demanda por transporte aéreo, aliado às exigências ambientais cada vez mais rigorosas, tem impulsionado a indústria aeronáutica a buscar soluções estruturais mais eficientes. Nesse cenário, a redução de peso das aeronaves torna-se um fator determinante, uma vez que influencia diretamente o consumo de combustível e as emissões de dióxido de carbono (CO_2). Embora materiais metálicos tradicionais, como ligas de alumínio e titânio, ainda sejam amplamente utilizados, suas limitações relacionadas à densidade, suscetibilidade à corrosão e comportamento em fadiga evidenciam a necessidade de alternativas mais avançadas do ponto de vista tecnológico (GAY; HOA; TSAI, 2003; BAKER; DUTTON; KELLY, 2004; YANG; BOYD; WANG, 2022).

Diante dessas restrições, os compósitos de fibra de carbono reforçados com polímero (*Carbon Fiber Reinforced Polymers* – CFRP) consolidaram-se como uma das principais inovações tecnológicas das últimas décadas. Caracterizados pela elevada relação resistência/peso, rigidez superior e excelente durabilidade, os CFRP possibilitam reduções significativas de massa estrutural, resultando em menor consumo de combustível e emissões reduzidas durante a operação das aeronaves. Conforme demonstram Feraboli, Kedward e Rodriguez (2021), modelos modernos como o Boeing 787 Dreamliner e o Airbus A350 XWB ilustram essa transformação ao incorporar percentuais elevados de compósitos em suas estruturas primárias e secundárias (AIRBUS, 2022).

Entretanto, o sucesso operacional dos CFRP não é isento de desafios. Embora apresentem desempenho excepcional em voo, questões relacionadas à inspeção e reparo de danos por impacto pouco visíveis, conhecidos como *Barely Visible Impact Damage* (BVID), aos elevados custos de manutenção especializada e, principalmente, à limitada reciclabilidade ao final da vida útil configuram um desequilíbrio entre os benefícios obtidos durante a operação e as dificuldades associadas ao ciclo de vida completo do material. Conforme alertam Soutis (2005) e Gibson (2021), esse cenário evidencia que a adoção dos CFRP deve ser analisada não apenas sob a perspectiva do desempenho em voo, mas também considerando seus impactos ao longo de todo o ciclo de vida.

Nesse contexto, torna-se fundamental compreender as propriedades, aplicações, processos produtivos e desafios associados ao ciclo de vida dos compósitos de fibra de carbono. Assim, este estudo realiza uma revisão bibliográfica sobre o uso dos CFRP na indústria aeronáutica, com ênfase no equilíbrio entre eficiência operacional e sustentabilidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os compósitos de fibra de carbono são materiais estruturais desenvolvidos a partir da combinação de dois elementos com funções complementares: fibras de carbono, responsáveis pela resistência mecânica e rigidez, e uma matriz polimérica, geralmente de base epóxi, que atua na transferência de esforços e na proteção do reforço. Essa configuração permite que o material apresente desempenho superior quando comparado aos seus constituintes isolados, especialmente em aplicações que exigem elevada eficiência estrutural. Segundo Gay, Hoa e Tsai (2003) e Gibson (2021), os CFRP apresentam ainda comportamento anisotrópico, no qual suas propriedades variam conforme a orientação das fibras, possibilitando o direcionamento do material para atender condições específicas de carregamento.

O desenvolvimento dos CFRP intensificou-se na segunda metade do século XX em resposta às demandas aeroespaciais por estruturas mais leves e resistentes. Segundo Campbell (2006) e Zhang, Li e Zhou (2023), sua consolidação ocorreu a partir da década de 1960 com o uso do PAN como precursor. Do ponto de vista estrutural, as fibras de carbono consistem em átomos organizados em planos grafíticos alinhados ao longo do eixo da fibra, conferindo elevada resistência à tração e rigidez. Como observam Neto e Pardini (2021), a matriz polimérica complementa essa estrutura ao distribuir esforços e proteger o reforço, garantindo a integridade do material em diferentes condições de carregamento.

Essa combinação de propriedades, associada à baixa densidade (entre 1,5 e 1,8 g/cm^3), à elevada resistência à fadiga e à imunidade à corrosão, torna os CFRP particularmente adequados para a indústria aeronáutica. Em comparação com materiais metálicos tradicionais, como alumínio e titânio, esses compósitos permitem significativa redução de peso e maior durabilidade, embora apresentem modos de falha distintos, como delaminação entre camadas e danos por impacto pouco visíveis (BVID), que exigem técnicas avançadas de inspeção e estratégias específicas de projeto (SOUTIS, 2005; BAKER; DUTTON; KELLY, 2004).

Em síntese, as características dos CFRP atendem diretamente às demandas atuais da aviação por estruturas mais leves e eficientes. No entanto, a plena exploração dessas vantagens depende não apenas das propriedades do material, mas também da forma como ele é fabricado, mantido e, especialmente, reciclado ao final de sua vida útil, aspectos que serão explorados nas seções seguintes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa e analítica, desenvolvida com o objetivo de reunir, organizar e analisar criticamente a produção científica e técnica sobre as aplicações dos compósitos de fibra de carbono na indústria aeronáutica, com ênfase no desempenho, no ciclo de vida e nos desafios de sustentabilidade. A escolha por essa abordagem justifica-se pela necessidade de integrar resultados dispersos em diferentes fontes e de construir uma síntese capaz de evidenciar o equilíbrio entre os ganhos operacionais e as limitações associadas ao fim de vida útil do material.

A busca bibliográfica foi realizada entre os meses de fevereiro e abril de 2026, nas bases de dados científicas *Scopus, Web of Science e ScienceDirect,* complementadas por documentos técnicos e relatórios institucionais do setor aeronáutico, como publicações da Airbus e da Boeing. Essas bases foram selecionadas por sua relevância nas áreas de engenharia de materiais e tecnologias aeroespaciais. Para a localização das fontes, foram empregadas palavras-chave em português e em inglês, combinadas por meio dos operadores booleanos *and* e *or*. Entre as combinações utilizadas destacam-se: *carbon fiber reinforced Polymer aircraft*; *CFRP recycling*; *composite materials and life cycle*; e os correspondentes em português, como “fibra de carbono”, “indústria aeronáutica”, “compósitos” e “reciclagem”.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos científicos, livros técnicos, normas e relatórios institucionais que abordassem diretamente as propriedades, os processos de fabricação, as aplicações estruturais, as vantagens operacionais ou o ciclo de vida dos CFRP em aeronaves comerciais, redigidos em português ou inglês e com texto disponível na íntegra. Foram excluídos os trabalhos que tratavam exclusivamente de aplicações fora do setor aeronáutico, os estudos

sem relação direta com o tema central, os resumos não acompanhados do texto completo e as publicações duplicadas entre as bases consultadas.

O intervalo temporal priorizado para as publicações analisadas compreendeu os anos de 2003 a 2025, de modo a contemplar tanto as obras de referência consolidadas sobre o comportamento mecânico dos compósitos quanto os estudos mais recentes a respeito de reciclagem e sustentabilidade. Em situações específicas, foram mantidas referências clássicas anteriores a esse período, em razão de sua relevância para a fundamentação teórica do tema.

Após a aplicação dos critérios descritos, os materiais selecionados foram submetidos a uma leitura analítica e organizados por meio de categorização temática, agrupando-se as informações em eixos relacionados a propriedades e fundamentos dos materiais, processos produtivos, aplicações estruturais, vantagens operacionais e impactos econômicos, desafios no ciclo de vida e reciclagem ao fim de vida útil. A partir desse agrupamento, procedeu-se à análise comparativa entre os estudos, buscando identificar convergências, divergências e lacunas na literatura. Tal procedimento orientou a estruturação da seção de resultados e discussão e visou assegurar maior transparência metodológica, confiabilidade dos resultados e reprodutibilidade da pesquisa.

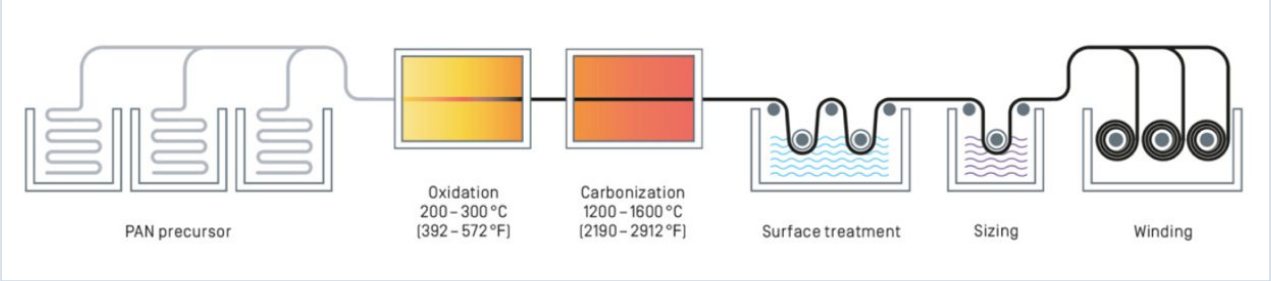
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise das fontes selecionadas, os resultados foram organizados em cinco eixos temáticos que percorrem o ciclo de vida dos compósitos de fibra de carbono na aviação: os processos produtivos empregados em sua fabricação; as aplicações estruturais nas aeronaves comerciais; as vantagens operacionais e os impactos econômicos decorrentes de seu uso; os desafios e limitações associados à manutenção e ao fim de vida útil; e, por fim, a reciclagem e a gestão de resíduos. Essa organização permite confrontar os benefícios obtidos durante a operação com as dificuldades observadas nas demais etapas, evidenciando o equilíbrio, ainda incompleto, entre desempenho e sustentabilidade.

4.1 Processos produtivos

O desempenho dos compósitos de fibra de carbono depende diretamente dos processos empregados em sua fabricação, que influenciam qualidade, custo e viabilidade econômica. O processo de fabricação das fibras de carbono inicia-se com o precursor poliacrilonitrila (PAN), que passa por etapas de oxidação, carbonização em altas temperaturas e tratamentos superficiais, resultando em fibras com elevada resistência mecânica e rigidez. A Figura 1 ilustra de forma simplificada essa sequência de transformações.

Figura 1 – Etapas do processo de fabricação da fibra de carbono a partir do PAN

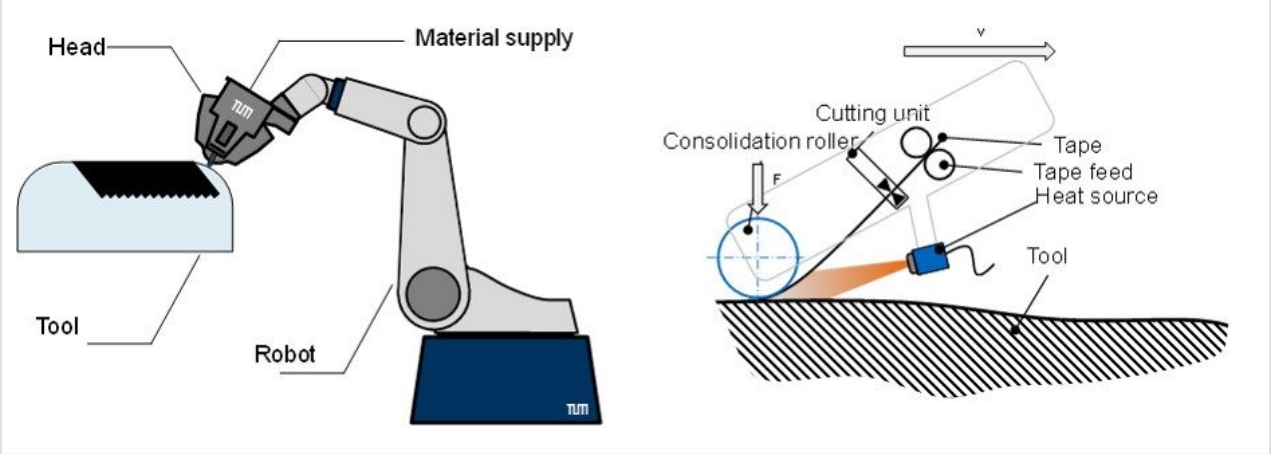


Fonte: TY Magnets (2023).

Entre os métodos mais utilizados na indústria aeronáutica destaca-se a cura em autoclave, que oferece alta qualidade, baixa porosidade e excelente consolidação do material. Como destaca Gibson (2021), no entanto, seu elevado consumo energético e custo operacional limitam sua aplicação em larga escala.

Como alternativas mais eficientes, ganham espaço a Moldagem por Transferência de Resina (RTM) e a Colocação Automatizada de Fibras (*Automated Fiber Placement* – AFP). A RTM permite maior repetibilidade e redução de custos em produção seriada, enquanto a AFP possibilita deposição precisa e automatizada de fibras, diminuindo desperdícios e melhorando a consistência estrutural em peças de grande porte (POTTER; KHAN; WISE, 2022; SOUTIS, 2005). A Figura 2 apresenta o processo de colocação automatizada de fibras em ação.

Figura 2 – **Processo de colocação automatizada de fibras (AFP) na fabricação de compósitos aeronáuticos**



Fonte: Technical University of Munich (2024).

Atualmente, os processos fora da autoclave (*Out-of-Autoclave* – OoA) representam uma tendência importante, pois reduzem significativamente os custos energéticos e de infraestrutura sem comprometer substancialmente a qualidade do componente. Para Feraboli, Kedward e Rodriguez (2021), essa evolução é fundamental para tornar o uso de CFRP mais econômico e sustentável na indústria aeronáutica.

4.2 Aplicações na indústria aeronáutica

A utilização dos compósitos de fibra de carbono reforçados com polímero tem promovido mudanças significativas na concepção estrutural das aeronaves. Em comparação com a construção tradicional baseada em componentes metálicos unidos por rebites e juntas, os compósitos permitem a fabricação de estruturas de grande dimensão com maior nível de integração, reduzindo descontinuidades e concentrações de tensão.

Essa aplicação é particularmente evidente em estruturas primárias, como fuselagem, asas e empenagem, responsáveis por suportar esforços críticos de operação. Em aeronaves modernas, como o Boeing 787 Dreamliner, aproximadamente 50% da massa estrutural e cerca de 80% do volume são compostos por materiais compósitos. De forma semelhante, o Airbus A350 XWB apresenta entre 52% e 54% de sua estrutura composta por CFRP. Além da redução de peso, a utilização de superfícies mais contínuas contribui para a diminuição do arrasto aerodinâmico e para a melhoria da eficiência em voo (BAKER; DUTTON; KELLY, 2004; AIRBUS, 2022).

Além das estruturas principais, os CFRP são empregados em carenagens, painéis internos, pisos e divisórias, contribuindo para a redução da massa total da aeronave. A possibilidade de orientar as fibras conforme as condições de carregamento permitem otimizar componentes e integrar funções estruturais, térmicas e acústicas, ampliando a liberdade de projeto e os ganhos de desempenho (FERABOLI; KEDWARD; RODRIGUEZ, 2021). Entretanto, a adoção crescente desses materiais exige elevado controle dos processos de fabricação e técnicas específicas de inspeção e reparo. Dessa forma, sua aplicação representa não apenas uma mudança de material, mas também uma transformação nos métodos de projeto, manufatura e manutenção adotados pela indústria aeronáutica.

4.3 Vantagens operacionais e impactos econômicos

Os compósitos de fibra de carbono proporcionam ganhos operacionais relevantes devido à redução de massa estrutural, refletindo em menor consumo de combustível e menores emissões de CO_2 ao longo da operação (AIRBUS, 2022). Sua elevada resistência à fadiga e à corrosão também reduz intervenções de manutenção e aumenta a disponibilidade das aeronaves. Sob a perspectiva econômica, embora o custo inicial seja superior ao dos materiais convencionais, parte desse investimento pode ser compensada pela economia operacional acumulada ao longo da vida útil. Entretanto, tais benefícios dependem do perfil de missão e da intensidade de utilização da frota (FERABOLI; KEDWARD; RODRIGUEZ, 2021).

Observa-se, entretanto, que os estudos analisados não convergem integralmente quanto à magnitude dos benefícios econômicos proporcionados pelos compósitos de fibra de carbono. Enquanto Airbus (2022) e Feraboli, Kedward e Rodriguez (2021) destacam reduções expressivas nos custos operacionais associadas à economia de combustível e à menor incidência de corrosão, outros trabalhos ressaltam que esses ganhos dependem fortemente do perfil operacional da aeronave, da frequência de utilização e dos custos relacionados à manutenção especializada. Essa divergência evidencia que a viabilidade econômica dos CFRP deve ser analisada sob uma perspectiva sistêmica, considerando todo o ciclo de vida da aeronave e não apenas os benefícios observados durante a operação.

4.4 Desafios e limitações no ciclo de vida

Apesar dos ganhos operacionais proporcionados pelos compósitos de fibra de carbono, sua utilização ainda impõe desafios relevantes nas etapas de manutenção, reparo e fim de vida útil. Um dos principais problemas é o *Barely Visible Impact Damage* (BVID), caracterizado por danos internos causados por impactos de baixa energia que podem não apresentar sinais externos evidentes. Esses defeitos incluem delaminações e fissuras na matriz polimérica, exigindo técnicas avançadas de inspeção, como ultrassom e termografia, que elevam os custos de manutenção e aumentam o tempo de indisponibilidade das aeronaves (SOUTIS, 2005; GIBSON, 2021).

Outro desafio significativo está relacionado à reciclagem dos CFRP termofixos. A presença da matriz epóxi dificulta a separação das fibras de carbono, enquanto os processos atualmente disponíveis ainda apresentam limitações de custo, escala e eficiência. Como consequência, parte do material recuperado é destinada a aplicações de menor valor agregado, reduzindo o potencial de circularidade desses compósitos (ZHANG; LI; ZHOU, 2023). Nesse contexto, observa-se uma contradição importante: enquanto os CFRP proporcionam elevada eficiência operacional durante a vida útil da aeronave, os processos de reparo, reaproveitamento e reciclagem evoluem em ritmo mais lento. Essa assimetria evidencia que os desafios atuais não se limitam ao desempenho estru-

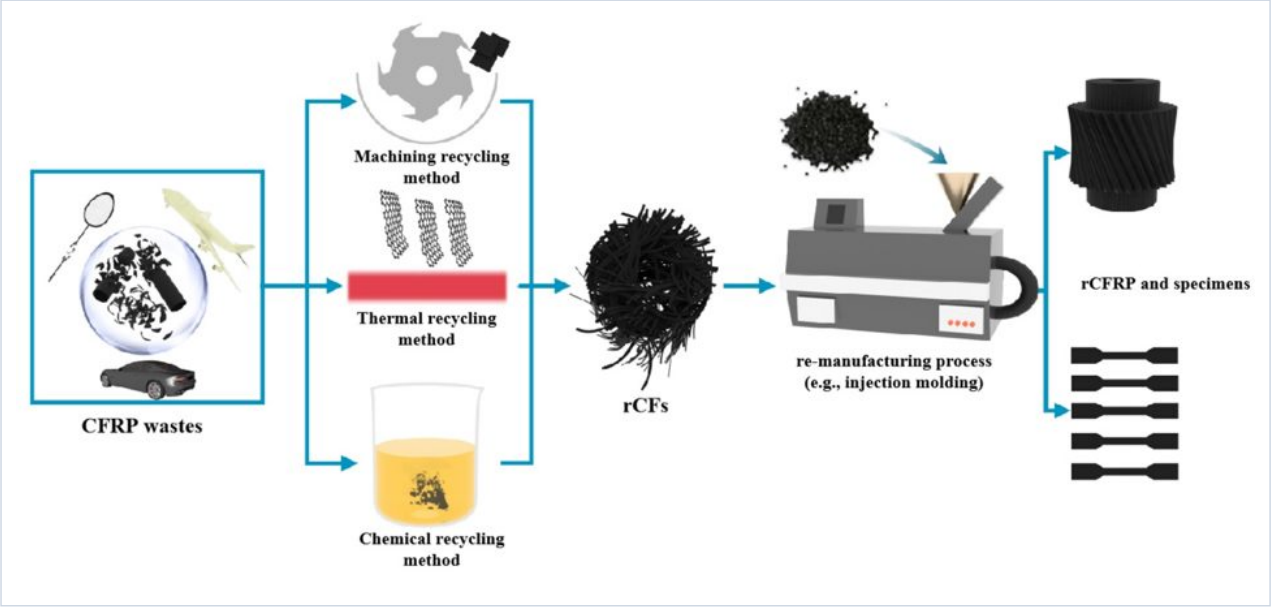
tural, mas envolvem a incorporação efetiva de princípios de economia circular e recuperação de materiais em escala industrial, condição necessária para que os benefícios obtidos durante a operação sejam sustentáveis ao longo de todo o ciclo de vida.

4.5 Reciclagem e gestão de resíduos de CFRP no fim de vida útil

A gestão adequada dos resíduos de compósitos de fibra de carbono ao final da vida útil das aeronaves constitui o elo mais crítico para que a sustentabilidade prometida por esses materiais se concretize de fato. Com o aumento da aposentadoria de aeronaves como o Boeing 787 e o Airbus A350, que contêm entre 50% e 54% de compósitos em sua estrutura, projeta-se que o setor aeronáutico gerará centenas de milhares de toneladas de resíduos de CFRP até 2050. Diferentemente dos metais, que podem ser facilmente fundidos e reutilizados, os CFRP termofixos apresentam uma matriz epóxi altamente reticulada que dificulta a separação das fibras de carbono, tornando o descarte correto um desafio técnico, econômico e ambiental. Segundo Meng et al. (2020) e Airbus (2025), o correto manejo exige desmontagem seletiva, segregação dos materiais e encaminhamento para processos certificados de reciclagem.

Na prática, os principais métodos de reciclagem disponíveis hoje são a reciclagem mecânica, a térmica (pirólise) e a química (*solvolysis*). A Figura 3 apresenta de forma esquemática essas rotas, evidenciando o fluxo desde os resíduos de CFRP até a recuperação das fibras e sua posterior remanufatura em novos produtos.

Figura 3 – Rotas de reciclagem e remanufatura de compósitos de fibra de carbono (CFRP)



Fonte: Latko-Durałek, Dyner e Kędziora (2023).

A reciclagem mecânica, por meio de moagem e trituração, é a mais simples e de menor custo energético, produzindo fibras curtas ou pó que podem ser reutilizadas como carga em novos compósitos ou materiais não estruturais. Conforme Witik et al. (2013) e Pires, Moreira e Silva (2022), estudos de Avaliação do Ciclo de Vida indicam redução de até 3,3 vezes no impacto climático em comparação com o aterro. A pirólise térmica, método dominante no setor aeroespacial, decompõe a resina em ausência de oxigênio e recupera fibras com 70% a 90% da resistência original. Já a *solvolysis* química permite recuperar fibras mais longas e limpas, com maior potencial para aplica-

ções de alto valor, embora ainda seja mais cara e energética (LATKO-DURAŁEK; DYNER; KĘDZIORA, 2023).

Apesar dos avanços, a reciclagem de CFRP na aviação enfrenta barreiras estruturais significativas. A contaminação por tintas, adesivos, metais e retardantes de chama reduz a pureza do material recuperado, frequentemente limitando-o ao *down-cycling*. O alto custo energético de alguns processos e a falta de uma cadeia logística madura para coleta e processamento de aeronaves descomissionadas levam muitos operadores a optarem por soluções menos sustentáveis. Programas como a parceria Airbus-Daher-Toray-TARMAC Aerosave e o projeto ReFrame demonstram a viabilidade de *loops* fechados, mas ainda dependem de incentivos regulatórios e investimentos em infraestrutura.

Cabe observar que, enquanto a literatura de base laboratorial tende a enfatizar os ganhos técnicos de cada rota de recuperação, as fontes de natureza institucional concentram-se na viabilidade econômica em escala industrial, o que ajuda a explicar por que resultados promissores em ambiente controlado ainda não se traduziram em soluções amplamente adotadas. No contexto brasileiro, onde a Embraer e o mercado de MRO crescem, o desenvolvimento de capacidades locais de reciclagem poderia transformar um passivo ambiental em oportunidade econômica, reduzindo a dependência de fibras virgens e alinhando o setor às metas de economia circular (AIRBUS, 2022; BOEING, 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão bibliográfica demonstrou que os compósitos de fibra de carbono consolidaram-se como um dos principais materiais da aviação contemporânea, permitindo avanços significativos na redução de massa estrutural, na eficiência operacional e no desempenho das aeronaves. Sua ampla aplicação em estruturas primárias e secundárias evidencia a relevância dos CFRP para atender às exigências atuais do setor aeronáutico em termos de desempenho, segurança e sustentabilidade.

Os estudos analisados indicam consenso quanto aos benefícios operacionais proporcionados pelos compósitos, especialmente em relação à economia de combustível e à redução das emissões associadas ao transporte aéreo. Entretanto, também evidenciam que tais vantagens devem ser avaliadas sob a perspectiva do ciclo de vida completo do material. Aspectos relacionados à inspeção, reparo e reciclagem ainda representam desafios relevantes, sobretudo diante do crescimento do número de aeronaves compostas por elevadas proporções de CFRP.

Observou-se ainda que os avanços obtidos no desenvolvimento e na aplicação desses materiais têm ocorrido em ritmo superior à evolução das tecnologias de recuperação e reaproveitamento ao final da vida útil. Dessa forma, a consolidação dos compósitos como solução efetivamente sustentável dependerá não apenas de melhorias em desempenho estrutural, mas também do fortalecimento de processos de economia circular, reciclagem e remanufatura em escala industrial.

Conclui-se, portanto, que os CFRP representam uma tecnologia estratégica para o futuro da indústria aeronáutica. Contudo, a plena materialização de seus benefícios exigirá a integração entre inovação em materiais, eficiência produtiva e gestão sustentável do ciclo de vida, permitindo que os ganhos obtidos durante a operação das aeronaves sejam compatíveis com as demandas ambientais e econômicas do setor.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. **A350 XWB aircraft characteristics**: airport and maintenance planning. Toulouse: Airbus, 2022.

AIRBUS. **Global Market Forecast 2025-2044**. Toulouse: Airbus, 2025.

BAKER, A.; DUTTON, S.; KELLY, D. **Composite materials for aircraft structures**. 2. ed. Reston: AIAA, 2004.

BOEING. **787 Dreamliner**. Chicago: Boeing, 2023.

CAMPBELL, F. C. **Manufacturing technology for aerospace structural materials**. Oxford: Elsevier, 2006.

FERABOLI, P.; KEDWARD, K.; RODRIGUEZ, E. Carbon fiber composites in the aircraft industry: current status and future trends. **Journal of Composite Materials**, v. 55, n. 12, p. 1587-1605, 2021.

GAY, D.; HOA, S. V.; TSAI, S. W. **Composite materials**: design and applications. Boca Raton: CRC Press, 2003.

GIBSON, R. F. **Principles of composite material mechanics**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2021.

LATKO-DURAŁEK, P.; DYNER, M.; KĘDZIORA, Ł. Recycling of carbon fiber reinforced polymers (CFRP): a review. **Polymers**, v. 15, n. 1, 170, 2023.

MENG, F.; MCILHAGGAR, A.; BROWNE, D. J.; CHANG, S. Recycling of carbon fibre reinforced composites: a review of current technologies and future opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, 2020.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos poliméricos**: ciência e tecnologia. São Paulo: Blucher, 2021.

PIRES, A.; MOREIRA, P.; SILVA, J. Recycling of carbon fiber reinforced polymers for aerospace applications. **Journal of Cleaner Production**, v. 330, 2022.

POTTER, K.; KHAN, B.; WISE, S. Out-of-autoclave processing of composites for aerospace applications. **Composites Part A**, v. 152, 2022.

SOUTIS, C. Fibre reinforced composites in aircraft construction. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 41, p. 143-151, 2005.

TECHNICAL UNIVERSITY OF MUNICH. **Automated Fiber Placement (AFP)**. 2024.

TY MAGNETS. **Introdução ao polímero reforçado com fibra de carbono (CFRP)**. 2023.

WITIK, R. A.; PAYET, J.; MICHAUD, V.; LUDWIG, C.; MÅNSON, J.-A. Economic and environmental assessment of composite materials for aircraft structures. **Composites Part A**, v. 49, p. 89-102, 2013.

YANG, Y.; BOYD, S. E.; WANG, X. Recycling and reuse of carbon fiber reinforced polymer composites: a review. **Composites Part B**, v. 230, 2022.

ZHANG, J.; LI, W.; ZHOU, K. Past, present and future prospective of global carbon fibre composites. **Composites Part B**, 2023.

Os conceitos e as opiniões expressos neste artigo são de responsabilidade exclusiva de seus autores.