Insper

Trabalho de Conclusão de Curso

Relatório do Projeto Final - Capstone

Eduardo Antoniazzi Zetone

Enzo Martins Barroso Del Manto

Guido Lacerda Soares do Couto Rosa

Pedro Henrique Cardoso Peretto

Utilização de compósitos no mercado automotivo pesado e agrícola

São Paulo

2025

Eduardo Antoniazzi Zetone

Enzo Martins Barroso Del Manto

Guido Lacerda Soares do Couto Rosa

Pedro Henrique Cardoso Peretto

Utilização de compósitos no mercado automotivo pesado e agrícola

Relatório apresentado aos respectivos cursos de Graduação em Engenharia Mecânica e Mecatrônica, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no respectivo curso.

Orientador: Prof. Israel Ferreira Alves

Mentor: Raphael Barbosa C. de Lima

Coordenador Capstone: Prof. Dr. Luciano P. Soares

São Paulo

2025

Eduardo Antoniazzi Zetone

Enzo Martins Barroso Del Manto

Guido Lacerda Soares do Couto Rosa

Pedro Henrique Cardoso Peretto

Utilização de compósitos no mercado automotivo pesado e agrícola

Relatório apresentado aos respectivos cursos de Graduação em Engenharia Mecânica e Mecatrônica, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no respectivo curso.

Orientador: Prof. Israel Ferreira Alves

Banca Examinadora

Israel Ferreira Alves

Insper

Joice Miagava

Insper

Gustavo Pollettini Marcos

Insper

Resumo

Este projeto tem como objetivo analisar a viabilidade da aplicação de materiais compósitos no mercado automotivo pesado e agrícola, com foco principal em componentes estruturais. A pesquisa foi conduzida em parceria com a empresa Maxion Structural Components, que pretende iniciar nesse mercado. A partir de análises de mercado e estudos sobre materiais e processos, o projeto buscou identificar as principais empresas desse setor, quais peças elas fabricam em compósito, estimar o tamanho do mercado por meio das métricas TAM, SAM e SOM, e entender os fatores que impulsionam a substituição de materiais tradicionais por compósitos, assim como as desvantagens do uso de compósitos. Por fim, foram estudados os processos de fabricação de peças em compósito e suas características, como vantagens, limitações e parâmetros de fabricação. O estudo resultou no desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio à decisão, capaz de definir qual o melhor processo de fabricação para peças em compósitos.

Palavras-chave: Compósitos, Veículos Pesados, Máquinas Agrícolas, Processos, Inovação de Materiais.

Abstract

This project aims to assess the feasibility of applying composite materials in the heavy-duty and agricultural automotive markets, with a primary focus on structural components. The research was conducted in partnership with the company Maxion Structural Components, which intends to enter this market. Through market analysis and studies on materials and manufacturing processes, the project sought to identify the main companies in the sector, the parts they produce using composites, estimate market size using the TAM, SAM, and SOM metrics, and understand the drivers behind the replacement of traditional materials with composites, as well as the disadvantages of using them. Finally, the manufacturing processes of composite parts and their characteristics were evaluated, along with their advantages, limitations, and manufacturing parameters. The study resulted in the development of a decision-support tool capable of determining the most suitable manufacturing process for composite components.

Keywords: Composites, Heavy-Duty Vehicles, Agricultural Machinery, Processes, Materials Innovation.

1 PLANEJAMENTO E FUNDAMENTAÇÃO DO PROJETO 8

1.1 PROPOSTA DO PROJETO 8

1.2 ORIGEM DO DESAFIO 8

1.3 ESCOPO DO PROJETO 9

1.4 QUESTÕES ÉTICAS E PROFISSIONAIS 10

1.5 NORMAS TÉCNICAS 10

1.6 RISCOS ENVOLVIDOS 10

1.7 RECURSOS NECESSÁRIOS 11

1.8 CRONOGRAMA 11

1.9 GESTÃO DO PROJETO 13

1.10 MAPEAMENTO DOS STAKEHOLDERS 13

2 METODOLOGIA 14

2.1 COLETA DE DADOS SOBRE O PROJETO 14

2.2 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS 15

3 DESENVOLVIMENTO 15

3.1 VISÃO GERAL DOS MATERIAIS COMPÓSITOS 15

3.2 VANTAGENS DO USO DE MATERIAIS COMPÓSITOS 15

3.3 DESVANTAGENS DO USO DE MATERIAIS COMPÓSITOS 16

3.4 TIPOS DE FIBRAS E RESINAS UTILIZADAS 17

3.5 EMPRESAS CONSOLIDADAS NO MERCADO 18

3.6 TAMANHO DO MERCADO 22

4 TAM, SAM, SOM 23

4.1 ANÁLISE ESTADUAL (SP) 25

4.2 ANÁLISE NACIONAL (BRASIL) 26

4.3 ANÁLISE POR CONTINENTE 26

5 MERCADO AGRÍCOLA 27

5.1 EMPRESAS CONSOLIDADAS 28

5.2 PEÇAS DESENVOLVIDAS 30

5.3 TAMANHO DE MERCADO 33

6 PROCESSOS 35

6.1 DEPOSIÇÃO AUTOMÁTICA 35

6.1.1 Posicionamento automático de fita 35

6.1.2 Enrolamento de filamento 36

6.2 MOLDAGEM POR COMPRESSÃO 37

6.2.1 Moldagem BMC 37

6.2.2 Moldagem por prensagem a frio 38

6.2.3 Moldagem SMC 39

6.2.4 Moldagem de compósito termoplástico 40

6.2.5 Moldagem por prensagem úmida 41

6.3 PROCESSOS CONTÍNUOS 42

6.3.1 Laminação Contínua 42

6.3.2 Pultrusão 43

6.4 LAMINAÇÃO MANUAL 44

6.4.1 Moldagem em autoclave 44

6.4.2 Laminação manual 45

6.4.3 Ensacamento a vácuo/pressão 46

6.5 TRANSFERÊNCIA DE RESINA 47

6.5.1 Moldagem por transferência de resina de alta pressão (HP-RTM) 47

6.5.2 Infusão de filme em resina 48

6.5.3 Moldagem por transferência de resina (RTM) 49

6.5.4 Moldagem por transferência de resina assistida por vácuo (VARTM) 50

6.6 PULVERIZAÇÃO 51

6.6.1 Moldagem centrífuga 51

6.6.2 Spray-up 52

6.7 TABELA COMPARATIVA 53

7 DISCUSSÃO DE RESULTADOS 60

7.1 FLUXOGRAMA 60

7.2 ESCOLHA DO PROCESSO 62

7.3 EXEMPLO PRÁTICO 66

8 CONCLUSÃO SOBRE A FERRAMENTA: PONTOS CRÍTICOS, LIMITAÇÕES E PONTOS POSITÍVOS 70

9 REFERENCIAS 71

1. RTM COMPOSITES. VACUUM-ASSISTED RESIN TRANSFER MOLDING (VARTM). 2024. DISPONÍVEL EM: HTTPS://WWW.RTMCOMPOSITES.COM/PROCESS/VACUUM-ASSISTED-RESIN-TRANSFER-MOLDING-VARTM. ACESSO EM: 24 MAR. 2025 75

1 Planejamento e Fundamentação do Projeto

1.1 Proposta do projeto

A proposta consiste na realização de uma pesquisa detalhada sobre o mercado de automóveis pesados e agrícolas, com foco na inovação dos materiais utilizados na indústria. O objetivo principal é analisar a viabilidade da aplicação de materiais compósitos nesse setor, especialmente na frota pesada, assim como os principais fabricantes de componentes estruturais que estão fazendo uso desta tecnologia. Para isso, será feito um mapeamento dos materiais atualmente utilizados e uma investigação das possibilidades de substituição por compósitos, levando em consideração aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Além disso, também será estudado o funcionamento dos processos de fabricação desses materiais, a fim de entender por que essa substituição faz sentido para os produtores de peças, avaliando as principais vantagens e desvantagens envolvidas. Além disso, a pesquisa buscará identificar as barreiras de entrada da Maxion nesse mercado e os benefícios que a adoção de compósitos pode trazer, como ganhos em performance, redução de peso, maior eficiência energética e outros aspectos relevantes.

Por fim, como resultado prático, será proposta uma ferramenta de identificação e classificação de materiais e processos, que apoiará a análise e a tomada de decisão quanto à substituição de peças. Essa ferramenta permitirá priorizar os componentes com maior facilidade de conversão para compósitos e quantificar os ganhos potenciais. O projeto, portanto, visa não apenas oferecer uma base técnica sólida, mas também propor soluções estratégicas para enfrentar os desafios da introdução de novos materiais no setor.

1.2 Origem do Desafio

O desafio do projeto surgiu em parceria com a Maxion Structural Components, uma empresa global líder na fabricação de rodas e estruturas automotivas. Com forte atuação no setor de transporte, a Maxion busca constantemente inovação para aprimorar seus produtos e processos. Seu principal interesse neste projeto é compreender melhor o mercado atual e suas tendências

para o futuro. A empresa deseja identificar os critérios que levam outras companhias a escolherem determinados materiais, especialmente compósitos, e, a partir dessa análise, definir sua estratégia para os próximos anos.

Logo, o desafio é elaborar uma pesquisa detalhada sobre o uso de compósitos na fabricação de componentes estruturais para veículos pesados, buscando entender se sua aplicação se dá principalmente por razões financeiras ou pelo aprimoramento do produto, considerando fatores como vida útil e qualidade das peças. Esse relatório servirá como apoio para a Maxion para decisões no mercado de compósito tanto de automóveis pesados quanto para o setor agrícola.

1.3 Escopo do projeto

Antes de definir o escopo do projeto é necessário definir o significado de alguns termos que serão muito utilizados ao longo do relatório, seguem suas definições:

- Compósito: É formado pela combinação de 2 ou mais materiais que possuam diferentes propriedades e juntos têm características aprimoradas de cada um dos contribuintes.

- Processos: O processo de fabricação de materiais compósitos é o conjunto de técnicas e operações utilizadas para combinar uma fase de reforço (como fibras de vidro, carbono ou aramida) com uma fase de matriz (geralmente polímeros termoendurecíveis ou termoplásticos), de forma a formar uma estrutura coesa e funcional, com propriedades superiores às das fases isoladas. Estruturas: São os resultados dos processos. Dentre elas se encontram: cabine, para-choques, chassi, capô, molas de suspensão etc.

- Veículos pesados: Após a fabricação das estruturas são montados veículos, dentro desse grupo alguns são pesados como Pick-Ups (caminhonetes), Caminhões, tratores, Ônibus e alguns maquinários agrícolas.

Com esses termos em vista o desafio proposto pela empresa é uma pesquisa que consolide os principais *players* do mercado automotivo pesado, fazer uma estimativa do tamanho de mercado e onde a empresa se encaixa, definir as principais inovações em termos de materiais

utilizados pelos players, quais peças são fabricadas com estes compósitos e quais processos são utilizados para fabricar as estruturas feitas de compósitos.

1.4 Questões Éticas e Profissionais

O desenvolvimento deste projeto juntamente com a Maxion traz várias responsabilidades éticas e profissionais, especialmente em matéria de transparência na pesquisa de mercado, o impacto ambiental dos materiais estudados e a decisão com base em critérios técnicos, sustentáveis, financeiros e de melhoria do produto. No que diz respeito à transparência e à integridade da pesquisa, a análise do mercado de compósitos exige que os dados coletados sejam exatos, confiáveis e obtidos eticamente, ou seja, deve-se sempre mencionar qualquer fonte utilizada na pesquisa. Além da credibilidade dos dados utilizados, as preocupações éticas neste projeto envolvem também a forma como as informações são obtidas, tratadas e aplicadas. É fundamental garantir que qualquer dado utilizado, especialmente os provenientes de fontes internas da empresa ou de mercado, seja manuseado com responsabilidade, respeitando a confidencialidade e a propriedade intelectual dela.

A utilização de compósitos pode levar a uma redução de peso do veículo, o que pode reduzir o consumo de combustível e das emissões de CO_2, sendo necessária também a consideração do ciclo de vida destes materiais, desde o seu consumo até a reciclagem e o descarte adequado deles.

1.5 Normas Técnicas

Durante o desenvolvimento deste projeto, não foram identificadas normas técnicas específicas que se aplicassem diretamente ao escopo da pesquisa, especialmente referente à análise de mercado e à avaliação do uso de materiais compósitos. Por esse motivo, não houve a aplicação direta de normas técnicas ao longo do trabalho.

1.6 Riscos Envolvidos

O principal risco envolvido no projeto é a escassez de informações que podem ser encontradas em livros, artigos, vídeos e outros tipos de fontes. Não é um tema que se tem um

fácil acesso a dados, visto que é um mercado competitivo e complexo, sendo assim é necessário um apoio por parte da empresa em disponibilidades de materiais internos e do *know-how* do mercado.

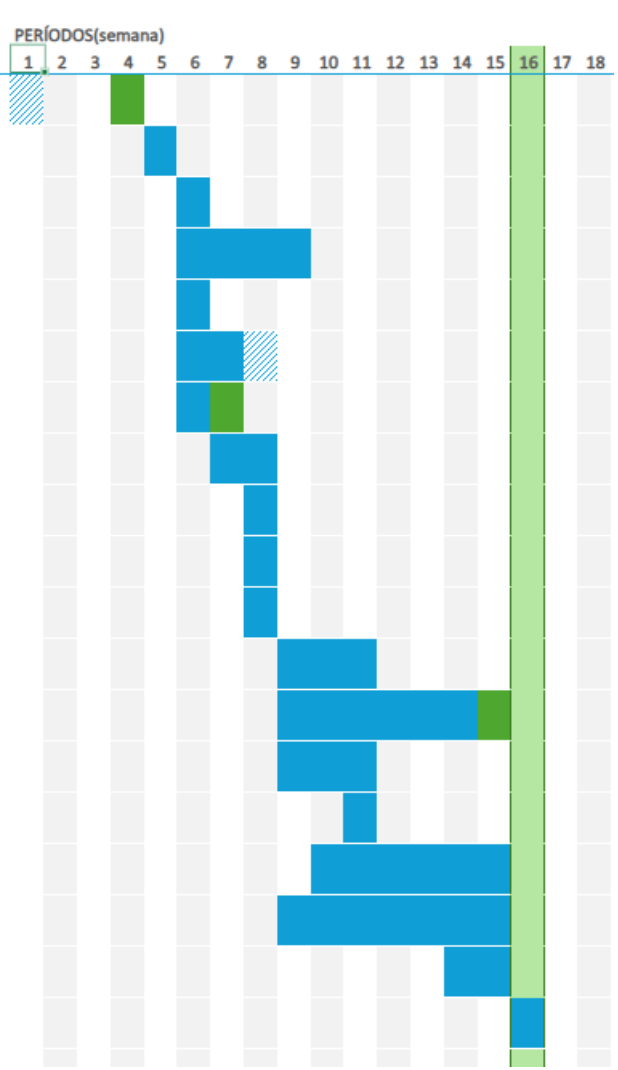
1.7 Recursos Necessários

As fontes de dados serão os principais recursos necessários para o andamento do projeto, com elas e muita pesquisa e detalhamento será construída a base do relatório e do projeto.

Outro recurso que os integrantes podem e estão utilizando são seus contatos com os *players* desse mercado. Cada integrante do grupo tem pelo menos um conhecido, ou tem algum parente, que atua nesse mercado.

1.8 Cronograma

ATIVIDADE	INÍCIO DO PLANO	DURAÇÃO DO PLANO	INÍCIO REAL	DURAÇÃO REAL	PORCENTAGEM CONCLUÍDA
Apresentação inicial	1	1	4	1	100%
Apresentação de escala tecnologica	5	1	5	1	100%
Reunião proposta do projeto	6	1	6	1	100%
Pesquisa de mercado	6	4	6	4	100%
Topico 1 - Players	6	1	6	1	100%
Topico 2 - Tamanho de mercado	6	3	6	2	100%
Topico 3 - desenvolvido	6	1	6	2	100%
Topico 4 - processos	7	2	7	2	100%
Relatorio Intermediario	8	1	8	1	100%
Relatorio individual	8	1	8	1	100%
Apresentação da banca intermediaria	8	1	8	1	100%
Correção do relatorio	9	3	9	3	100%
Pesquisa de veiculos agriculos	9	6	9	7	100%
Fluxograma	9	3	9	3	100%
Tabela comparativa de processos	11	1	11	1	100%
Excel de indentificação de processos	10	6	10	6	100%
Relatorio final	9	7	9	7	100%
Apresentação final	14	2	14	2	100%
Relatorio individual	16	1	16	1	100%



1.9 Gestão do Projeto

O grupo optou pela divisão de tarefas entre os membros, mas ainda assim um auxiliou o outro quando necessário, dessa forma cada um tem conhecimento do projeto como um todo.

1.10 Mapeamento dos stakeholders

As principais pessoas envolvidas no projeto foram mapeadas e inseridas na tabela a seguir:

Tabela 1 - Tabela de Mapeamento dos Stakeholders. Maxion (2025)

Stakeholder	Posição	Papel no Projeto	Expectativas
Joice Miagava	Professora do INSPER	Auxiliar nas pesquisas	Um projeto que não tenha nenhum dado significativo errado.
Raphael Lima	Head da área de inovação da MAXION	Contratante	Um projeto que entregue as expectativas da empresa.
Alberto Oliveira	Gerente da área de inovação da MAXION	Contratante	Um projeto que entregue as expectativas da empresa.
Israel Ferreira	Orientador do Projeto - INSPER	Auxiliar na condução do desenvolvimento do projeto	Garantir que o grupo realize um trabalho da maneira correta.
Luciano P. Soares	Coordenador Capstone	Contenção: caso ocorra algum	Garantir que o projeto seja entregue

		problema mais grave, o grupo deve acioná-lo	dentro dos prazos estabelecidos.
Pedro Peretto Guido Rosa Eduardo Zetone Enzo Martins	Alunos responsáveis pelo projeto	Realizar um projeto dentro de tudo que foi proposto	Pesquisa que atenda as demandas provenientes da empresa.
Insper	Instituto de ensino e pesquisa	Fornecer uma estrutura que possibilite o grupo de entregar um projeto bem-feito	Desenvolvimento intelectual dos alunos e networking com a empresa do projeto.

2 Metodologia

Para a obtenção de informações relevantes ao projeto, foram realizadas pesquisas na internet em sites de fabricantes de peças em compósitos, permitindo a coleta de dados técnicos sobre materiais e processos produtivos. Além disso, a plataforma Statista foi utilizada para levantar estatísticas sobre o tamanho do mercado e a produção de veículos, fornecendo uma base quantitativa para a análise. Após a identificação dos processos, o *software* Granta foi empregado para comparação dos processos de fabricação de compósitos.

2.1 Coleta de dados sobre o projeto

Os dados de mercado utilizados neste relatório foram obtidos por meio da plataforma Statista, garantindo acesso a informações atualizadas e confiáveis sobre tendências e estatísticas do setor. Já a pesquisa sobre os processos de formação de compósitos foi conduzida utilizando o

software Granta, que permitiu uma avaliação criteriosa das propriedades e aplicações dos materiais, assegurando embasamento técnico para as decisões tomadas.

2.2 Análise dos Dados Coletados

Com os dados coletados, o grupo fez uma análise estatística utilizando a ferramenta do Excel para fins de identificação de curvas de tendências de cada dado coletado. Além disso a foram feitas análises como, por exemplo, Mercado total disponível (TAM), Mercado útil disponível (SAM) e Mercado útil acessível (SOM).

3 Desenvolvimento

3.1 Visão Geral dos Materiais Compósitos

Os materiais compósitos são formados pela combinação de dois ou mais componentes distintos, normalmente de uma matriz polimérica e um material de reforço na morfologia de fibra, resultando em um material heterogêneo com propriedades de cada um de seus componentes. A matriz (geralmente um polímero termofixo como poliéster, epóxi ou viniléster, ou um termoplástico) envolve e liga as fibras de reforço, transferindo a tensão para elas, enquanto as fibras de reforço (como vidro, carbono ou aramida) fornecem a maior parte da resistência e rigidez do compósito. A adesão eficiente fibra-matriz é crucial para o desempenho mecânico, garantindo que as cargas se distribuam adequadamente no material.

FANTR. Material composto: características, tipos e aplicações. Disponível em: https://fantr.com/blog/material-composto-172/ Acesso em: 15 maio 2025.

3.2 Vantagens do uso de materiais compósitos

Alguns compósitos destacam-se pela razão entra a resistência e o peso, que permite estruturas muito mais leves que as metálicas com uma resistência similar. Essas características permitem reduzir significativamente a massa dos componentes, melhorando a eficiência energética (menor consumo de combustível ou energia) e aumentando a capacidade de carga útil em veículos. Além disso, compósitos apresentam resistência superior à fadiga e à corrosão,

grande absorção de energia de impacto e estabilidade dimensional (com dilatação térmica próxima de zero).

Especificamente para a aplicação da Maxion, que é para componentes estruturais de veículos pesados e agrícolas, além das vantagens acima, a redução do peso também reduz o desgaste em pneus e eixos dos veículos. Além disso, compósitos não sofrem corrosão, sendo ideais para equipamentos expostos a condições climáticas adversas e a agentes químicos (sal, fertilizantes etc.).

OMNIS KOMPOZIT. *O papel dos materiais compósitos na indústria automotiva*. 2025. Disponível em: https://omniskompozit.com/en/news/composite-materials-in-automotive-industry/. Acesso em: 15 maio 2025.

FRAS-LE MOBILITY. Materiais compósitos estruturais e componentes para veículos 2024. Disponível em: https://www.fraslemobility.com/noticias/materiais-compositos-estruturais-e-componentes-para-veiculos-eletricos-sao-as-estrelas-da-frasle-mobility-na-fenatran-2024. Acesso em: 15 maio 2025.

3.3 Desvantagens do uso de materiais compósitos

Apesar das vantagens, os materiais compósitos também apresentam desvantagens no uso automotivo pesado, que é o setor de foco do projeto, como:

- Custo elevado: São geralmente mais caros que materiais metálicos, principalmente pelos seus processos de fabricação.

- Dificuldade de reparo: Ao contrário do metal, que pode ser facilmente soldado ou forjado, compósitos exigem técnicas específicas e complexas de reparo.

- Baixa resistência ao impacto localizado: Podem trincar ou delaminar (ocorrer uma separação das camadas) sob impacto forte e concentrado.

- Reciclabilidade limitada: Compósitos termofixos (os mais utilizados) são difíceis de reciclar, o que impacta a sustentabilidade e o descarte.

- Produção mais lenta: Em comparação com chapas metálicas estampadas, o tempo de formação dos compósitos é mais longo, diminuindo o ritmo de produção em larga escala.

Ainda assim, a busca por maior eficiência energética e desempenho tem impulsionado a adoção crescente de compósitos no setor automotivo nos últimos anos.

AUTOMOTIVE MANUFACTURING SOLUTIONS. Compósitos: Em boa forma. Disponível em: https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/compositos-em-boa-forma/33896.article. Acesso em: 15 maio 2025.

3.4 Tipos de fibras e resinas utilizadas

As fibras de vidro são as mais utilizadas nos compósitos devido ao baixo custo e boa resistência. Fibras de carbono oferecem rigidez e resistência excepcionais com peso muito baixo, porém custam bem mais que a fibra de vidro. Fibras de aramida destacam-se pela alta tenacidade e baixo peso, sendo usadas quando é desejada alta resistência ao impacto. Na matriz, polímeros termofixos como resinas poliéster e epóxi são comuns, com a poliéster apresentando custo menor e sendo amplamente usada em compósitos de fibra de vidro, enquanto epóxis proporcionam melhor adesão e propriedades mecânicas, essenciais em compósitos de alto desempenho (porém com maior custo). Termoplásticos reforçados também ganham espaço em aplicações automotivas de alto volume, permitindo ciclos rápidos de moldagem e potencial de reciclagem. Em todos os casos, o compósito resultante é altamente personalizável, podendo ser projetado para ser condutor ou isolante térmico/elétrico, absorver vibração ou resistir a chamas, conforme os requisitos do projeto.

Tymagnets. Introdução completa ao polímero reforçado com fibra de carbono (CFRP). Disponível em: https://tymagnets.com/pt/introdu%C3%A7%C3%A3o-de-pol%C3%ADmero-refor%C3%A7ado-com-fibra-de-carbono-cfrp/. Acesso em: 15 maio 2025.

Impacto Fibers. Características dos materiais compostos de fibra de aramida. Disponível em: https://pt.impact-fibers.com/info/characteristics-of-aramid-fiber-composite-mate-17136644919075840.html. Acesso em: 15 maio 2025.

3.5 Empresas Consolidadas no Mercado

O ecossistema de compósitos para veículos pesados envolve diversos fabricantes de materiais e peças especializadas. A seguir estão listadas algumas das principais empresas, nacionais e internacionais, que se destacam nesse setor:

- **MVC Soluções em Plásticos (Brasil):** A MVC, pertencente aos grupos Artecola e Marcopolo, é reconhecida como líder brasileira em desenvolvimento de produtos e soluções em plásticos de engenharia e compósitos. Inovou com o processo RTM-S, patenteado no Brasil, que permite peças com ótimo acabamento sem pintura, usando uma película termoplástica na moldagem. Portanto, a MVC é referência em alta qualidade superficial em peças de compósito tanto para veículos leves quanto para veículos pesados. A MVC produz, por exemplo, o capô interno do motor para os micro-ônibus Volare (4 mil peças/ano), portas de baú frigorífico para a Randon e colarinhos frontais para caminhões Iveco (4 mil peças/ano) em seu processo patenteado RTM-S.

MVC SOLUÇÕES EM PLÁSTICOS. Sobre. *MVC Soluções em Plásticos*, 2025. Disponível em: https://sitepmvc.wordpress.com/about/#:~:text=A%20MVC%20Solu%C3%A7%C3%B5es%20em%20Pl%C3%A1sticos,engenharia%20para%20a%20ind%C3%BAstria%20automotiva. Acesso em: 26 maio 2025.

- **Marcopolo / Apolo (Brasil):** A divisão Apolo da encarroçadora Marcopolo, com foco em tecnologia em polímeros, investiu em uma nova fábrica para produção de peças poliméricas

e compósitos avançados no Rio Grande do Sul, focada em objetivos como sustentabilidade e inovação. A Apolo produz tetos, frentes e componentes de interiores em PRFV (plástico reforçado com fibra de vidro) para o ônibus Marcopolo e fornece a terceiros. Sendo uma montadora de ônibus que verticalizou a tecnologia de compósitos, consolidando-se também como fornecedora.

MARCOPOLO. Home. *Marcopolo*, 2025. Disponível em: https://www.marcopolo.com.br/. Acesso em: 26 maio 2025.

- **GATRON (Brasil):** Empresa fundada em 1987, atualmente sendo uma das maiores transformadoras de compósitos da América Latina. É conhecida pelo seu amplo portfólio de processos: hand lay-up, RTM leve, infusão, laminação contínua, pultrusão e vacuum forming. Tendo seu próprio laboratório e parceria tecnológica internacional com a Pôle de Plasturgie de l'Est da França, a Gatron é fornecedora de soluções em compósitos para o setor de transporte. Clientes incluem Volvo, Scania, e implementos rodoviários diversos. A GATRON peças para caminhões, ônibus e máquinas agrícolas, como para-choques, capôs de motor, carcaças de ar-condicionado e tetos de ônibus (via RTM Light), revestimentos internos de caminhões e cabines agrícolas, para-choques de pickups e vans (via vacuum forming de termoplásticos), painéis de baú e paredes de carrocerias de caminhão (laminação contínua).

  GATRON. Home. *Gatron*, 2025. Disponível em: https://www.gatron.com.br/. Acesso em: 26 maio 2025.

- **Fras-le Mobility (Brasil)**: Tradicional fabricante de materiais de fricção do grupo Randon, a Fras-le criou recentemente uma unidade de compósitos estruturais, chmada Composs. Essa divisão foca em substituir componentes metálicos por compósitos em veículos. Em 2024 anunciaram sucesso no desenvolvimento de suportes estruturais compósitos para caminhões (peças já homologadas na Iveco e Randon). Com apoio do Instituto Hercílio Randon, a empresa investe em P&D para oferecer projetos customizados às montadoras, destacando benefícios como redução de massa, resistência a fadiga e possibilidade de reciclagem dos compósitos. A Fras-le produz para-lamas, suportes de lanterna e painéis estruturais em compósitos para caminhões.

FRAS-LE. Home. ***Fras-le***, 2025. Disponível em: https://www.fras-le.com.br/. Acesso em: 26 maio 2025.

COMPOSS. Home. ***Composs***, 2025. Disponível em: https://www.composs.com/. Acesso em: 26 maio 2025.

- **Tupy (Brasil)**: Tradicionalmente focada na fundição de ferro, está se adaptando às novas demandas de materiais leves e investindo no desenvolvimento de componentes estruturais utilizando compósitos. Realiza pesquisa e desenvolvimento de componentes híbridos para chassis e estruturas metálico-compósito.

TUPY. Inovação e tecnologia. *Tupy*, 2025. Disponível em: https://www.tupy.com.br/inovacao-e-tecnologia/. Acesso em: 15 jun. 2025.

- **Rassini (México)**: Empresa mexicana líder no desenvolvimento e fabricação de componentes de suspensão e freios para veículos pesados. Investe no uso de compósitos para reduzir peso e melhorar a eficiência dos sistemas de suspensão, fornecendo soluções inovadoras para montadoras como Ford, GM, Nissan e Toyota. A Rassini fabrica sistemas de suspensão traseira em fibra de carbono (aplicados na Ford F-150) e molas parabólicas híbridas, que combinam aço e materiais compósitos para oferecer resistência mecânica com menor peso.

KORTH FIBER. Compósitos na indústria automotiva. *Korth Fiber*, 2025. Disponível em: https://korthfiber.com/compositos-na-industria-automotiva/. Acesso em: 26 maio 2025.

- **Teijin Automotive Technologies (Global):** Antiga Continental Structural Plastics, líder norte-americana em compósitos automotivos, hoje parte do grupo japonês Teijin. Fornece grande parte dos painéis SMC para montadoras de caminhões nos EUA. No Brasil, a Teijin possui a Inapal (Portugal) e tinha acordo com a Artecola, mas não operação direta. Porém suas tecnologias certamente equipam caminhões importados. A Teijin destaca-se por dominar grandes volumes: forneceu em 2006 cerca de 50 mil toneladas de SMC por ano para a indústria automotiva. A empresa produz capôs e módulos front-end para caminhões Freightliner, capôs de médio porte para Navistar, além de inúmeras peças para picapes e SUVs. Também fabrica rodas de compósito (desenvolveu uma roda de pick-up em PRFV em 2018.

TEIJIN AUTOMOTIVE. Materials. *Teijin Automotive*, 2025. Disponível em: https://www.teijinautomotive.com/materials/. Acesso em: 26 maio 2025.

- **Magna International (Global)**: A empresa canadense de autopeças possui um segmento de estruturas em compósito. Com capacidade global, a Magna é uma fornecedora-chave quando montadoras de veículos pesados buscam terceirizar módulos completos em compósito. A Magna desenvolveu um subchassi em fibra de carbono (em parceria com a Ford Europe) que substitui uma estrutura de aço de 45 kg por uma de 30 kg, combinando moldagem de compósito e nós sobremoldados. A Magna produz painéis em SMC para caminhões e recentemente anunciou fornecimento de painéis exteriores em compósito para o novo caminhão elétrico da Volta Trucks. Também fabrica componentes para ônibus elétricos.

  MAGNA INTERNATIONAL INC. Home. *Magna*, 2025. Disponível em: https://www.magna.com/. Acesso em: 26 maio 2025.

- **Röchling Automotive (Global):** Multinacional alemã de plásticos, possui linha de compósitos automotivos focada em aerodinâmica e gerenciamento térmico. Com planta no Brasil, pode atender o mercado local em breve com essas tecnologias. A empresa fornece componentes para chassis e motores de caminhões, como cárteres de óleo e coletores em compósito, além de sistemas de gerenciamento de ar. Desenvolveu e fabrica soluções de compósitos para alojamentos de baterias e estruturas leves. Além disso, desenvolve defletores de ar ativos em compósito para caminhões, que ajustam a aerodinâmica conforme a velocidade, reduzindo consumo.

  ROECHLING AUTOMOTIVE. Structural Lightweight. *Roechling*, 2025. Disponível em: https://www.roechling.com/automotive/products-solutions/structural-lightweight. Acesso em: 26 maio 2025.

- **SGL Carbon & Bertrandt (Global)**: Desenvolveram um novo conceito chamado Carbon Carrier, uma estrutura leve baseada em fibra de carbono para chassis para reduzir peso e melhorar a resistência de estruturas automotivas.

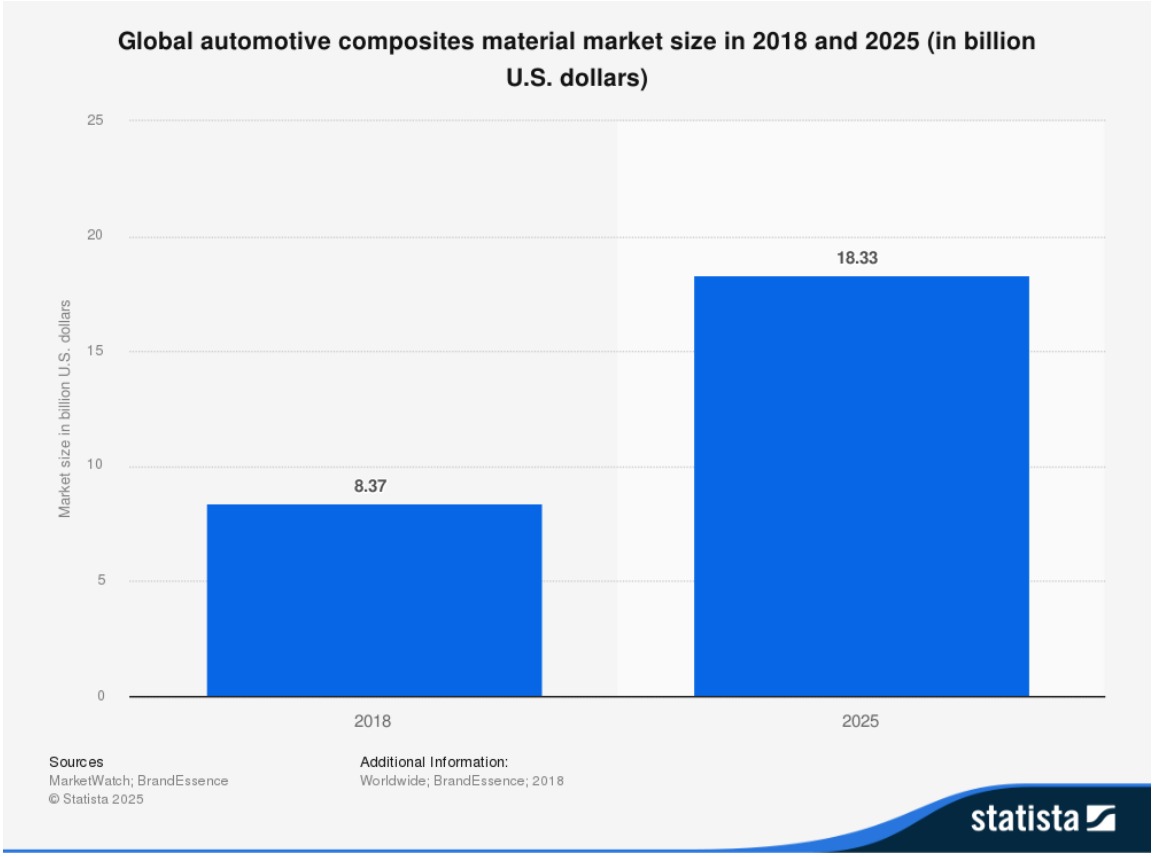
  SGL CARBON. Home. *SGL Carbon*, 2025. Disponível em: https://www.sglcarbon.com/. Acesso em: 26 maio 2025.

3.6 Tamanho do Mercado

Nos próximos anos, o mercado automotivo de veículos pesados que utilizam compósitos tem grande potencial de crescimento, impulsionado pela demanda crescente por veículos mais leves e eficientes, especialmente com o avanço dos veículos elétricos e híbridos. O uso de compósitos ajuda a reduzir o peso, aumentando a autonomia e a eficiência energética. Além disso, incentivos regulatórios e governamentais voltados para a sustentabilidade, também devem favorecer a adoção de materiais mais leves e ecológicos, tornando os compósitos uma escolha cada vez mais viável na construção de veículos pesados. Sendo assim, o tamanho de mercado é um dos pontos focais do trabalho, visto que com a estimativa prova-se o interesse da Maxion em se inserir no mercado, podendo ser considerado uma oportunidade de investida para inovação no mercado automotivo como um todo.

Para a análise do tamanho de mercado foi adotada uma estimativa com base nos dados reais do mercado automotivo como um todo e veículos que utilizam peças de compósitos em sua construção, visto que esse é o dado mundial e foi repassado para análises internacionais, nacionais e estaduais, mantendo essa porcentagem para cada grupo de carro, como foi separado posteriormente na análise.

Figura 1 - Mercado de Compósitos Automotivos Global: Avaliado em US$ 18,33 bilhões em 2025



Fonte: https://www-statista-com.us1.proxy.openathens.net/statistics/658766/size-of-the-global-automotive-composites-market/ **(2025)**

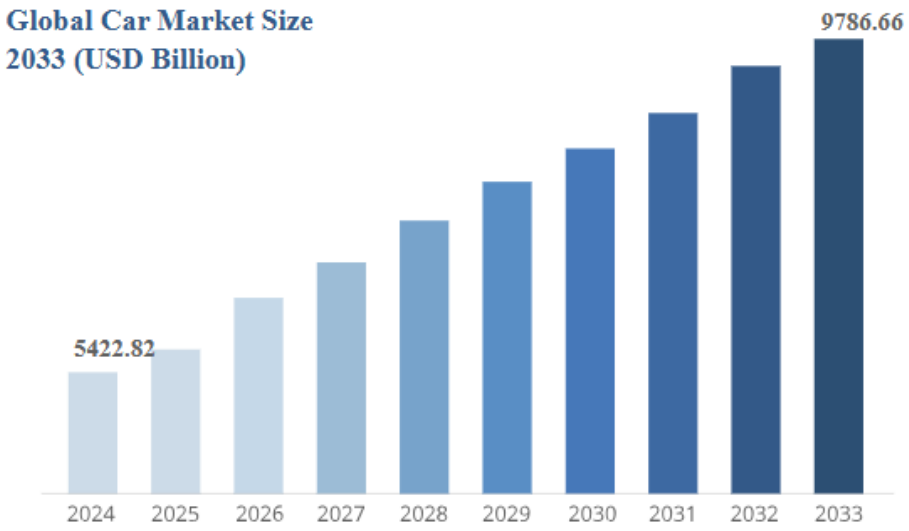
4 TAM, SAM, SOM

O TAM, SAM SOM, é uma maneira de estimar o tamanho do mercado. Tendo em vista uma análise que informa o número de veículos pesados e a quantidade de compósitos média utilizada em cada veículo. A partir dos dados obtidos através do site do Detran e do Statista conseguimos fazer uma análise contendo o Mercado total disponível (TAM), Mercado útil disponível (SAM) e o Mercado útil acessível (SOM).

No caso desse projeto, foi utilizada como unidade para o TAM, SAM, SOM um veículo, seja ele caminhonete, caminhão ou ônibus, em alguns casos foi usada abertura por tipo de veículo e em outros foi usada abertura por área geográfica, dependendo do dado encontrado.

Além disso, o método utilizado para estimar a quantidade de veículos que utilizam compósitos foi a partir do tamanho de mercado em bilhões de dólares, tendo como base a pesquisa no Statista, Figura 1, na seção 3.6 que tem o tamanho do mercado de compósitos e do site Business Research Insights que estimou um crescimento anual de 6,78% para o mercado até 2033, como é mostrado no gráfico a seguir:

Figura 2: Estimativa do crescimento do mercado automotivo global entre 2024 e 2033.

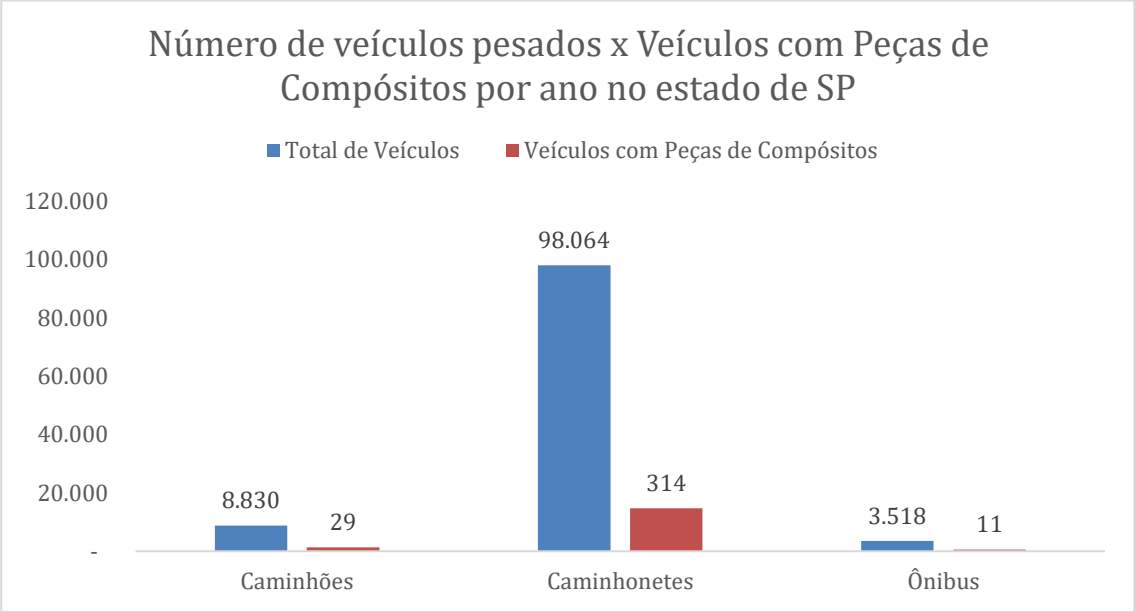


Fonte:https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/car-market-109484 (2024)

Tendo esses dados em vista, chega-se no valor do mercado total de compósitos de $18,33Bi e o mercado automotivo total é de $5790,49Bi, considerando o dado de 2024 com crescimento de 6,78%, com base nisso pode-se concluir que o mercado de compósitos significa 0,32% do mercado total de automóveis.

4.1 Análise Estadual (SP)

Gráfico 1: Quantidade de veículos no estado de SP separados por tipo (Detran)



Fonte: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024 **(2024)**

Com base em dados encontrados no DETRAN foram extraídos dados do mercado automotivo pesado a nível estadual e esses foram usados como base para fazer a análise via TAM, SAM, SOM para o estado de SP visto que é o estado com mais veículos no Brasil.

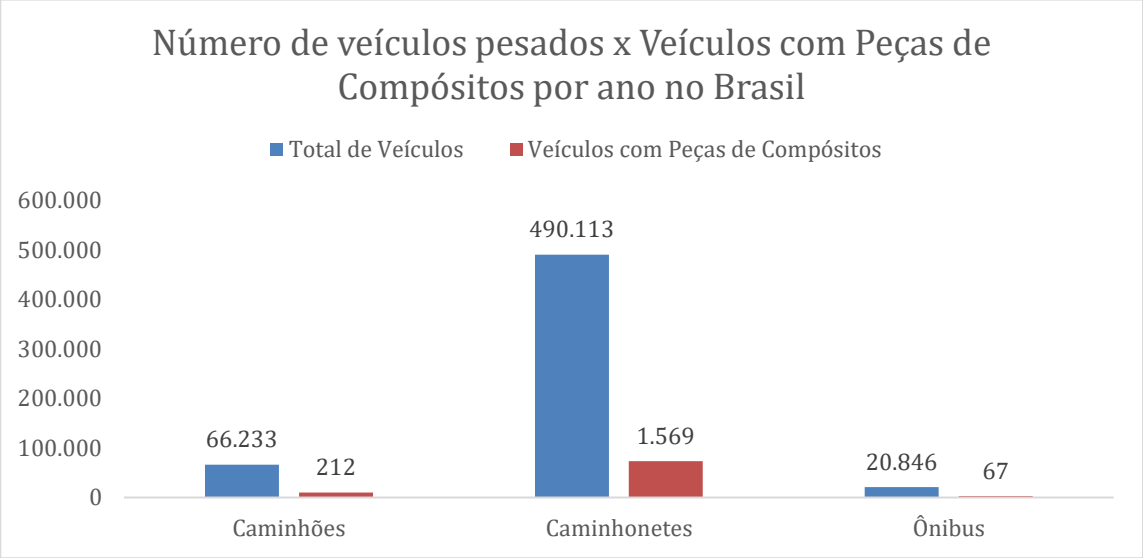
Estimativa do tamanho de mercado estadual:

Um total de 110.412 veículos pesados são emplacados no ano no estado de São Paulo, sendo que 354 destes utilizam compósitos.

4.2 Análise Nacional (Brasil)

Com base em dados encontrados no DETRAN foram extraídos dados do mercado automotivo pesado a nível Brasil e esses foram usados como base para fazer a análise via TAM, SAM, SOM, visto que a Maxion é uma empresa brasileira.

Gráfico 2: Quantidade de veículos no Brasil quebrado por tipo.



Fonte: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024

Estimativa do tamanho de mercado nacional:

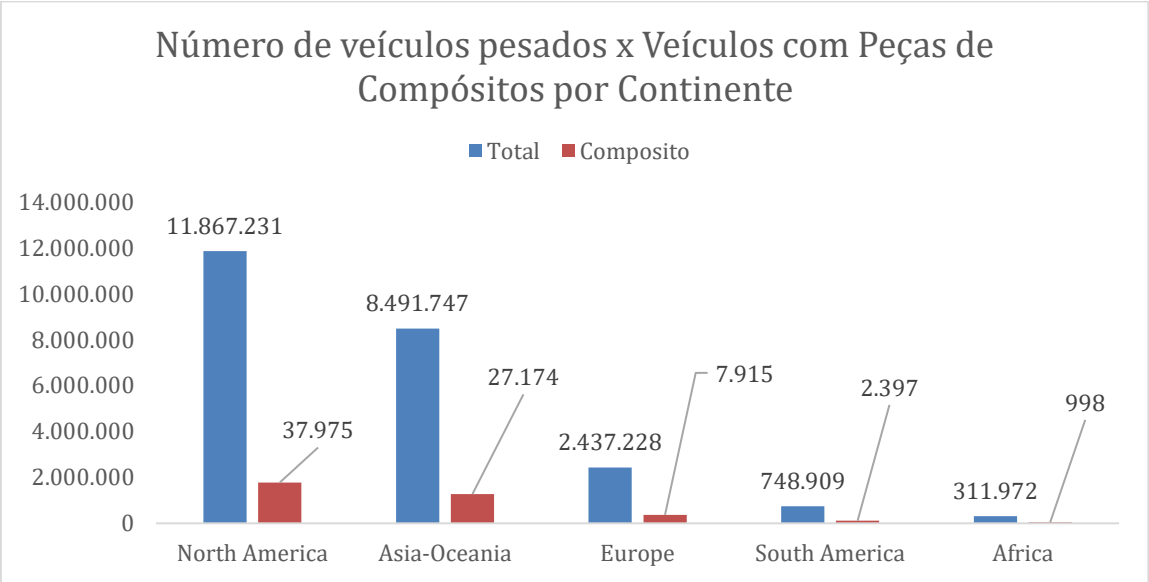
Um total de 577.192 veículos pesados são emplacados por ano no Brasil, sendo que 86.579 1.848 destes utilizam compósitos.

4.3 Análise por Continente

Com dados obtidos no Statista foi feita uma abertura mundial com abertura por continentes e nessa visão tem-se *insights* sobre qual maior mercado de automóveis pesados no mundo e por

consequência a maior oportunidade de crescimento para a empresa, caso tenha uma baixa atuação na área em questão.

Gráfico 3: Quantidade de veículos no mundo quebrado por continente.



Fonte: Statista (2024)

Estimativa do tamanho de mercado mundial:

Um total de 23.857.087 veículos pesados são fabricados por ano mundialmente, sendo que 76.459 destes utilizam compósitos. A maioria desses veículos se situam na América do Norte e na Ásia, que são os maiores mercados de automóveis pesados do mundo e por consequência as maiores oportunidades de possíveis investimentos por parte da Maxion, auxiliado pela crescente demanda por materiais mais leves, de modo a aumentar a eficiência dos veículos.

5 Mercado Agrícola

A introdução de materiais compósitos tem crescido muito nas máquinas agrícolas por conta de dois fatores: a necessidade de redução do peso dos equipamentos, pois isso melhora o desempenho em terreno e reduz a compactação do solo e existe a busca por maior resistência à

corrosão e condições climáticas adversas, visto que máquinas agrícolas operam expostas ao ar livre e a químicos agressivos.

Nos últimos anos, fabricantes de tratores, colheitadeiras e implementos passaram a incorporar componentes em compósito substituindo diversos materiais como: aço, ferro fundido ou mesmo plástico comum.

Nesse capítulo serão detalhadas algumas empresas do mercado, as principais aplicações, as peças agrícolas desenvolvidas com compósitos, tamanho de mercado.

5.1 Empresas Consolidadas

Diversos fabricantes de máquinas agrícolas e fornecedores de componentes vêm consolidando o uso de compósitos em seus produtos.

Nesta seção, estão destacadas empresas e casos notórios, tanto multinacionais quanto brasileiros, que ilustram essa consolidação. Seguem abaixo as empresas e detalhamentos sobre elas e seus produtos:

John Deere (Global): Maior fabricante mundial de tratores e colheitadeiras, a John Deere foi pioneira em adotar compósitos estruturalmente significativos em pulverizadores. Em 2015, fechou parceria com a King Agro para desenvolver barras de pulverização de fibra de carbono e lançou em 2016 na América do Sul sua série de pulverizadores 4730 com opção de barras de carbono de 36 m. Em 2018, a Deere adquiriu a King Agro, indicando compromisso com a tecnologia. Hoje, pulverizadores JD Série 4000 vendidas no Brasil e exterior podem vir com barras de 30m (aço) ou 36/40m (fibra de carbono). Além disso, a Deere utiliza capôs SMC em tratores (fabricados por terceiros como citado) e painéis compósitos em colheitadeiras.

JOHN DEERE; KING AGRO. John Deere, King Agro reach deal on carbon fiber booms. *Farm Progress*, 2017. Disponível em: https://www.farmprogress.com/farm-business/john-deere-king-agro-reach-deal-on-carbon-fiber-booms. Acesso em: 26 maio 2025.

A empresa inclusive tem centros de pesquisa em materiais, e seu VP Aaron Wetzel declarou que a colaboração com a King Agro demonstra o comprometimento da Deere com essa tecnologia inovadora para aumentar produtividade dos agricultores.

AGCO (Global, marcas Massey Ferguson, Fendt, Valtra): A AGCO tem incorporado compósitos especialmente nas marcas de alta tecnologia. A Fendt utiliza um dos primeiros abas de roda (para-lamas) de trator em compósito e experimenta componentes estruturais. A Massey Ferguson, via sua linha de pulverizadores (fabricados no Brasil, exemplo MF 9330), oferece versões com barras de carbono fornecidas pela BK Comp, tornando-se uma das primeiras a adotar essa inovação localmente tem um pulverizador MF com barra BK40 foi divulgado em 2024 como caso de sucesso. A Valtra (AGCO) no Brasil produz tetos de tratores em fibra de vidro ao invés de plásticos por exemplo. A AGCO também possui a Challenge Implements (na Austrália), que produziu protótipos de braços de levantador frontal em compósito.

AGCO CORPORATION. Home. *AGCO*, 2025. Disponível em: https://www.agcocorp.com/int/en/home/. Acesso em: 26 maio 2025.

CNH Industrial (Global, marcas Case IH e New Holland): A CNH tem adotado compósitos em vários produtos. Colheitadeiras Case Axial-Flow e New Holland CR têm painéis laterais e tampas de motor em PRFV, que melhora design e leveza. A Case IH lançou uma linha de pulverizadores patriota nos EUA com barras de fibra de carbono, fornecidas pela Raven, que adquiriu parte da *startup* venture.

CNH INDUSTRIAL. Our Brands. *CNH*, 2025. Disponível em: https://www.cnh.com/en-US/Our-Company/Our-Brands. Acesso em: 26 maio 2025.

Jacto (Brasil): Empresa brasileira de pulverizadores de renome internacional, a Jacto foi pioneira décadas atrás ao usar tanques em PRFV nos pulverizadores tratorizados. Mais recentemente, lançou pulverizadores autopropelidos como o Uniport 3030 com opção de barras de carbono de 36m (antes fornecidas pela King Agro, quando esta era independente). A Jacto investiu também em tecnologias de fibra de vidro para carenagens e capôs de suas máquinas, visando resistência química.

JACTO. Jacto Parts. *Jacto*, 2025. Disponível em: https://jactoparts.jacto.com.br/. Acesso em: 26 maio 2025.

Stara (Brasil): A Stara, de Não-Me-Toque/RS, fabricante de pulverizadores e implementos, posicionou-se na vanguarda ao apresentar o pulverizador Imperador 4000 com barras híbridas de 54 metros (segmentos internos aço, externos fibra de carbono). Essa barra extrema foi desenvolvida em cooperação com a Vant Boom (BK Comp). Além disso, a Stara utiliza bastante PRFV em capôs e painéis de seus equipamentos. O case da barra 54m é notável apresentada na Agrishow 2022, ela é a maior do mundo combinando compósito, mostrando a capacidade de inovação nacional.

STARA. Produtos e serviços. *Stara*, 2025. Disponível em: https://www.stara.com.br/produtos-servicos. Acesso em: 26 maio 2025.

BK Composites (Brasil/Argentina): É a fornecedora líder de compósitos para o setor agrícola e não a produtora final das máquinas. A BK (com base na Argentina e operação no Brasil) desenvolve e fabrica as barras de pulverizador, construída em fibra de carbono citadas, como a BK36 e BK40. Em poucos anos, instalou dezenas de conjuntos em pulverizadores Massey, John Deere (pós-venda) e Stara, acumulando milhões de hectares trabalhados. Seu sucesso mostra a consolidação da demanda, já economizaram coletivamente mais de 66 mil kg de CO_2 pela economia de combustível, segundo seus dados. Assim, a BK (e outros como King Agro) consolidaram o fornecimento especializado de compósitos para grandes empresas agrícolas.

BK COMPOSITES. Products Line-Up. *BK Composites*, 2025. Disponível em: https://bk-comp.com/#products-line-up. Acesso em: 26 maio 2025.

5.2 Peças Desenvolvidas

Nessa seção serão descritas as principais peças do mercado agrícola que podem ser feitas com compósitos e, além disso, trazer quais empresas produzem cada um desses tipos de peças.

Capôs e carenagens de tratores: Foi uma das aplicações pioneiras de compósitos no setor agrícola. Desde a década de 1990, alguns tratores nacionais e importados adotaram capôs em fibra de vidro (processos SMC ou hand lay-up) para obter formas arredondadas e facilitar abertura, reduzindo peso sobre as dobradiças. Por exemplo, havia no Brasil empresas que retrofitavam tratores antigos com capôs de fibra para modernizar o visual, a Macro Jet, no PR, oferecia nos anos 2000 um kit com capô especial em fibra de vidro para tratores, integrando também uma cabine pressurizada, visando reduzir peso e melhorar a proteção do operador.

Hoje, praticamente todos os grandes fabricantes globais utilizam capôs de compósito em seus tratores de média e alta potência. A John Deere, CNH (Case/New Holland), AGCO (Massey Ferguson, Fendt) especificam capôs, painéis laterais e às vezes tetos de cabine feitos através de compressão SMC. De fato, moldes de SMC para capôs de trator são fornecidos por fabricantes como a chinesa MDC, que cita clientes como CAT, John Deere, CNH e AGCO.

Isso indica que as séries de tratores atuais dessas marcas empregam SMC nos capôs, devido à robustez e acabamento. As vantagens notadas: o compósito não amassa com pequenos impactos de galhos ou pedras, é mais leve o que facilita a abertura do capô basculante, além disso reduz o esforço do pistão de levantamento e permite integrar curvas aerodinâmicas e dutos.

Estruturas de cabine de máquinas agrícolas: As cabines de tratores e colheitadeiras tradicionalmente são estruturas metálicas para atender normas de proteção (ROPS – Roll Over Protection Structure). Entretanto, há esforços para incorporar compósitos nesses habitáculos. Alguns tratores possuem teto da cabine em compósito por ser uma peça larga, mas não estrutural, ela oferece melhor isolamento térmico e diminui o calor interno. Empresas como a Mar-Bal destacam que cabines de equipamentos agrícolas hoje frequentemente incluem painéis compósitos. Itens como forros estruturais, carcaças de ar-condicionado e mesmo pilares podem ser de compósito contanto que um quadro de aço forneça a resistência ROPS principal. Algumas colheitadeiras modernas usam compósitos em portas da cabine ou capôs traseiros, que servem para cobrir o motor e radiador. As cabines modulares pré-montadas poderiam se beneficiar de

compósitos pelo isolamento acústico inerente visto que compósitos amortecem vibrações melhor que chapas de aço.

SUPERIOR TUBE PRODUCTS. ROPS Fabrication. *Superior Tube Products*, 2025. Disponível em: https://www.superiortubeproducts.com/rops-fabrication/. Acesso em: 15 jun. 2025.

Painéis e coberturas em colheitadeiras: Colheitadeiras de grãos e forrageiras possuem muitas tampas e painéis de acesso que cobrem motores, transmissões etc. Tradicionalmente metálicos, diversos desses painéis passaram a ser PRFV. A Case IH e a John Deere nos anos 2000 adotaram painéis de SMC e termoplástico reforçado nas laterais e topo das colheitadeiras, permitindo design mais arredondado (para guiar melhor os resíduos vegetais) e leveza para remoção manual.

Plataformas de colheita e componentes de implementos: São utilizados compósitos em alguns implementos acoplados, como plataformas de colheita de milho. Os "capôs" individuais de linha de colheita, que cobrem o mecanismo arrancador, às vezes são de PRFV para resistir a impactos e reduzir peso sustentado pelo elevador frontal da colheitadeira. Também, algumas peças de enfardadoras e pulverizadores como as coberturas de correias, carenagens de motores auxiliares têm migrado para compósitos.

A Mar-Bal lista capôs de motores, painéis de acesso, carcaças e pisos entre as aplicações agrícolas de compósitos. Inclusive paredes de cabines de colheitadeiras, que isolam do ruído do motor, podem ser moldadas em compósito com espumas, para oferecer melhor isolamento acústico e térmico ao operador.

Pulverizadores autopropelidos ou barras de pulverização: Essa é uma das áreas de maior impacto, em relação ao uso de compósitos na agricultura, os pulverizadores de grande porte, especificamente as barras de pulverização. Os pulverizadores autopropelidos modernos têm peças de barras que possuem entre 30 e 40 metros de largura para cobrir grandes faixas por passada. Normalmente essas barras eram feitas de aço, além de serem suscetíveis a corrosão por produtos utilizados comummente na agricultura, elas eram pesadas, comparadas as usadas

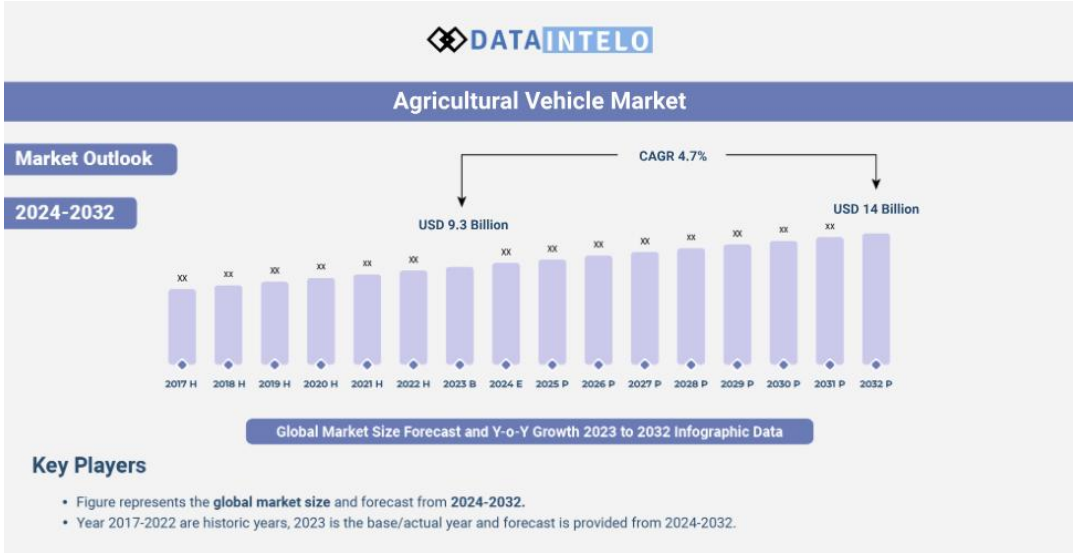
hoje em dia produzidas a partir de materiais compósitos como a fibra de carbono. A empresa citada anteriormente a King Agro foi pioneira nesse segmento, conseguindo produzir barras de carbono ultraleves. A John Deere fez uma parceria de exclusividade com a King Agro, que consistia no desenvolvimento e distribuição dessas barras nos seus pulverizadores. Assim introduzindo seus pulverizadores na América do Sul, as barras de aço que tinham 30 metros foram substituídas por barras em fibra de carbono de quase 37 metros nos modelos 4730 e M4040 e isso foi feito sem comprometer a estabilidade ou sobrecarregar o chassi. E ainda ofereceram maior resistência à corrosão e menor flexão durante a operação, melhorando a precisão de aplicação. Essa inovação foi essencial para a aquisição da King Agro pela John Deere em 2018, isso consolidou essa inovação na linha de produtos da John Deere.

5.3 Tamanho de Mercado

A quantificação do mercado de compósitos voltados para máquinas agrícolas é menos acessível que para automotivo pesado, pois muitas estatísticas englobam tudo em “transporte” ou “outros”. Ainda assim, alguns indicadores podem ser agregados para entender a dimensão desse segmento.

Utilizando da mesma metodologia anterior foi utilizada a pesquisa da DataIntelo que diz que o tamanho do mercado agrícola é $ 9,3 Bi, com isso pode-se calcular a porcentagem dele em cima do mercado total, e com isso estimar as quantidades de veículos agrícolas no TAM, SAM, SOM, além disso na mesma pesquisa pode ser visto o crescimento do mercado nos próximos anos, como na imagem a seguir:

Figura 3: Estimativa do crescimento do mercado agrícola total entre 2024 e 2032.



Fonte: https://dataintelo.com/report/global-agricultural-vehicle-market **(2024)**

Com esses dados e a pesquisa do statista que mostra o tamanho total de veículos que utilizam compósitos ,$18,33 Bi, e com base no tamanho total de mercado que é de $5790,49 Bi, obtém-se o valor estimado de 0,32% do mercado total ser de compósitos e com isso é estimado o tamanho do mercado automotivo agrícola que usa compósitos, resultando em um valor bem pequeno para esse mercado, sendo $0,03 Bi a estimativa total de veículos agrícolas que utilizam compósitos.

Mesmo sendo um mercado pequeno ainda ele pode ser considerado uma boa oportunidade de investimento, pois segundo a pesquisa da DataIntelo, o mercado deve crescer em torno de 50% em 10 anos. Além disso outro mercado que também cresce é o de veículos com compósitos, juntando os 2 crescimentos, pode-se estimar um crescimento maior para os veículos agrícolas que utilizam compósitos.

6 Processos

A seção a seguir apresenta uma análise dos principais processos de formação de materiais compósitos. Cada processo com uma breve explicação de seu funcionamento/principais características e um esquemático do processo para um entendimento mais visual, além de uma tabela comparativa de diversos atributos de cada um dos processos. As informações aqui compiladas foram extraídas do software ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

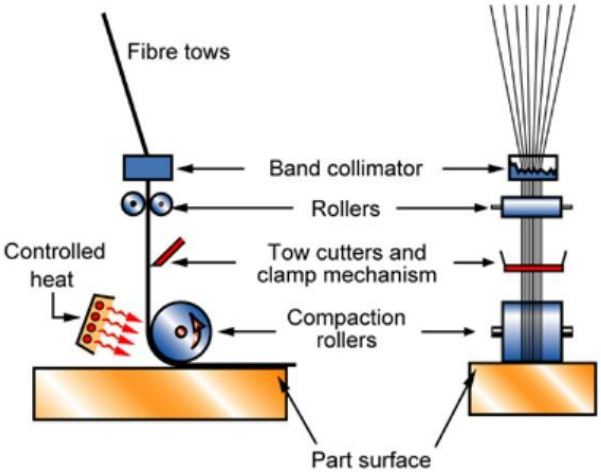
Os processos mostrados a seguir são essenciais para todas as ferramentas feitas para o projeto e entendimento dos processos é essencial.

6.1 Deposição automática

6.1.1 Posicionamento automático de fita

Nesse processo, uma máquina CNC de múltiplos eixos deposita automaticamente uma fita ou fio de material pré-impregnado em um molde. A precisão do controle automatizado permite seguir geometrias complexas com alta fidelidade. As fitas vêm em carretéis e são guiadas até a cabeça aplicadora por roletes. A técnica proporciona flexibilidade na geometria e orientação das camadas, porém com produção mais lenta e custo elevado. A taxa de aplicação normalmente alcança até 5 kg por hora.

Figura 4: Esquemático do posicionamento automático de fita.

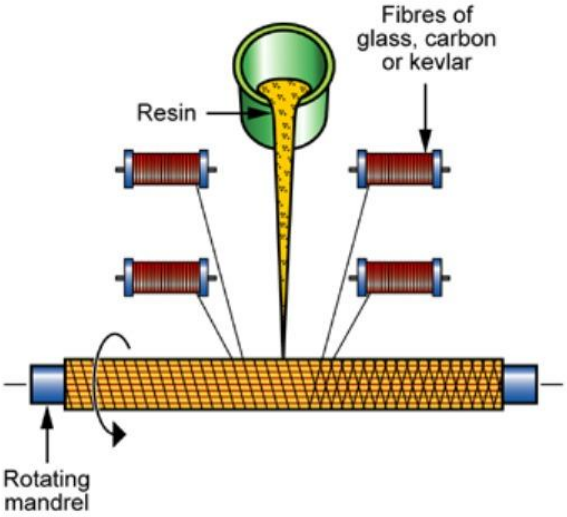


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.1.2 Enrolamento de filamento

Utilizado para fabricar peças com simetria rotacional, esse método envolve enrolar um reforço impregnado de resina sobre um mandril giratório. A forma do enrolamento pode ser helicoidal, circular ou polar, conforme o projeto. O processo é repetido até atingir a espessura desejada, e a cura ocorre antes de remover a peça do mandril, que geralmente é de aço ou gesso.

Figura 5: Esquemático do enrolamento de filamento



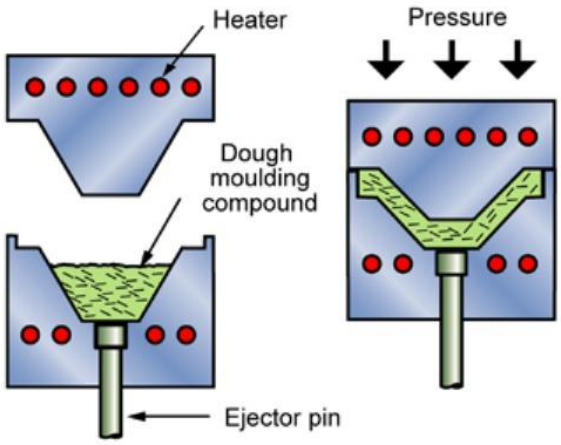
Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.2 Moldagem por compressão

6.2.1 Moldagem BMC

Ideal para produzir grandes quantidades de peças pequenas ou médias com baixo custo, esse método usa um material composto já misturado (resina, fibras, catalisadores e aditivos). Esse composto é moldado sob pressão (0,5 a 15 MPa) em um molde aquecido entre 140 e 160 °C. O calor do molde inicia a cura da peça, que ganha acabamento de alta qualidade devido aos aditivos presentes. O molde pode ser de alumínio, ferro fundido ou aço e a prensa utilizada é hidráulica com aquecimento.

Figura 6: Esquemático da moldagem BMC

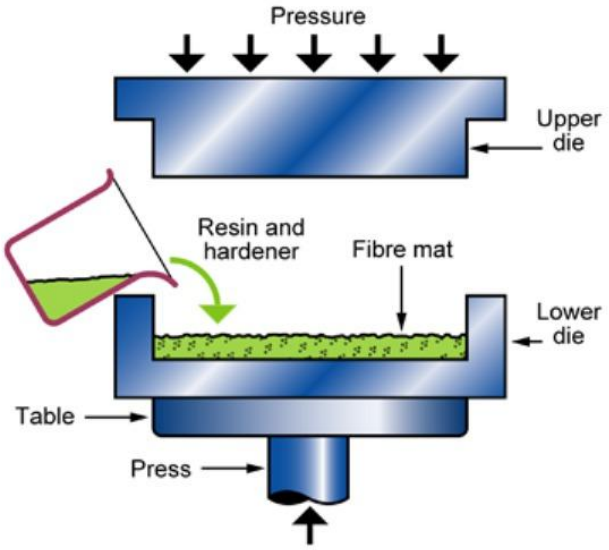


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.2.2 Moldagem por prensagem a frio

Nesta técnica, o reforço é cortado no formato certo e colocado no molde. Uma resina de cura a frio é despejada sobre ele, e a prensa é fechada para que a resina se espalhe e impregne o reforço. O calor gerado pela reação de cura e a pressão aplicada fazem a peça endurecer. Como as pressões são baixas (até 0,5 MPa), prensas leves podem ser utilizadas. Os moldes são feitos de PRFV ou metais como alumínio fundido, o que reduz o custo

Figura 7: Esquemático da moldagem por prensagem a frio

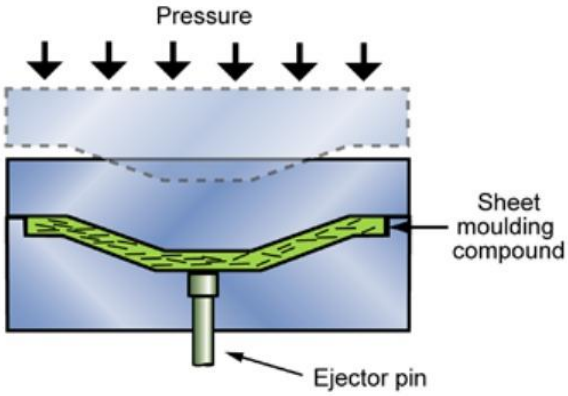


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.2.3 Moldagem SMC

Essa técnica de alta produtividade usa folhas de material composto (SMC) que contêm a resina, reforços e aditivos já misturados. As folhas são cortadas em tamanhos próximos ao do molde para facilitar o preenchimento. Em seguida, são moldadas e curadas sob pressão (3 a 7 MPa) e calor. Moldes metálicos precisos são usados, colocados em prensas aquecidas.

Figura 8: Esquemático da moldagem SMC

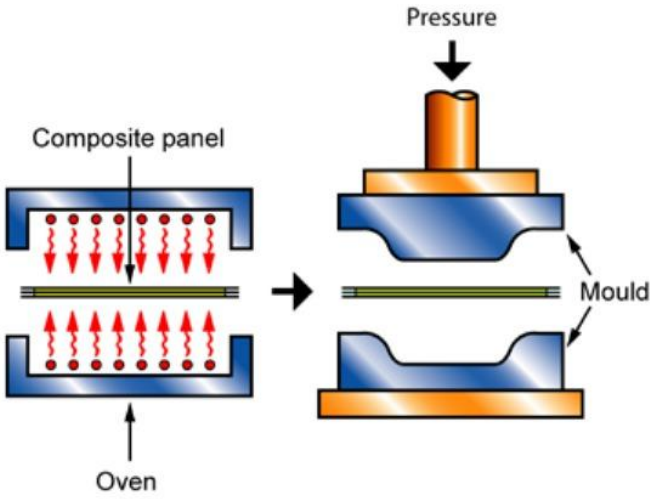


Fonte: ANSYS INC. ANSYS Granta EduPack. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.2.4 Moldagem de compósito termoplástico

Aqui, folhas de compósito com reforços picados ou em tecido são aquecidas até a temperatura de processamento e depois moldadas por compressão em um molde com a forma final. Após moldar, o laminado é resfriado e solidificado.

Figura 9: Esquemático da moldagem de compósito termoplástico

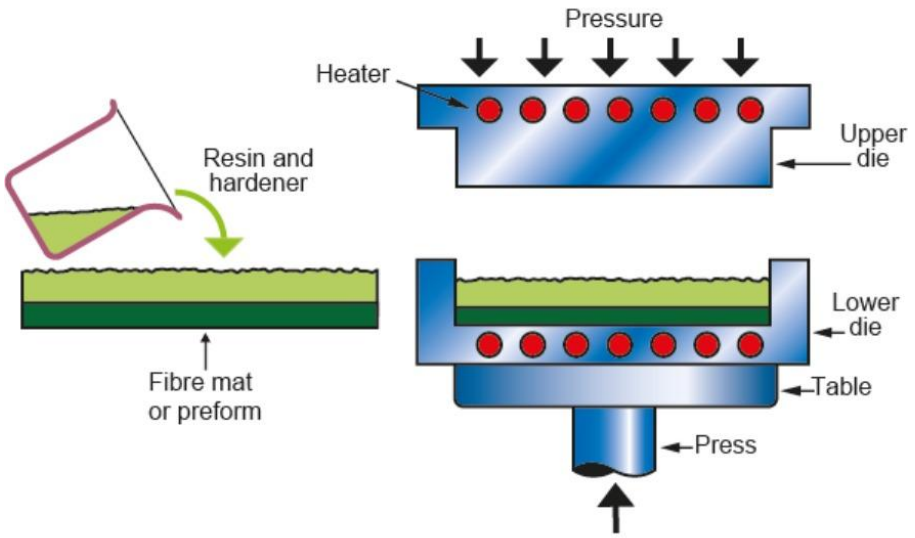


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.2.5 Moldagem por prensagem úmida

O reforço seco ou pré-formado é cortado e colocado no molde, onde uma resina líquida é adicionada. O conjunto é prensado em uma prensa aquecida, iniciando a impregnação e cura da peça. Esse processo é econômico e rápido, mas é mais limitado em complexidade de forma, a menos que técnicas automáticas adicionais sejam empregadas.

Figura 10: Esquemático da moldagem por prensagem úmida



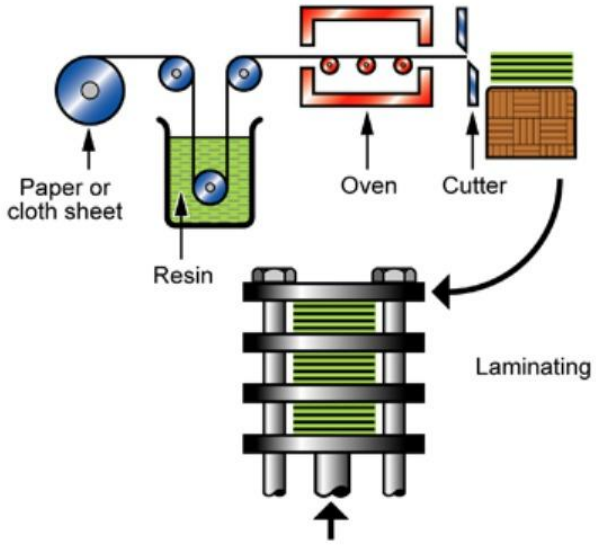
Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.3 Processos contínuos

6.3.1 Laminação Contínua

Tecidos ou mantas de fibra de vidro são impregnados com resina termofixa e comprimidos até alcançar a espessura final. O material é então curado com calor e cortado no tamanho desejado. Como a camada superficial é composta por resina pura, o acabamento é geralmente de alta qualidade. O equipamento usado inclui rolos e um forno de cura.

Figura 11: Esquemático da laminação contínua

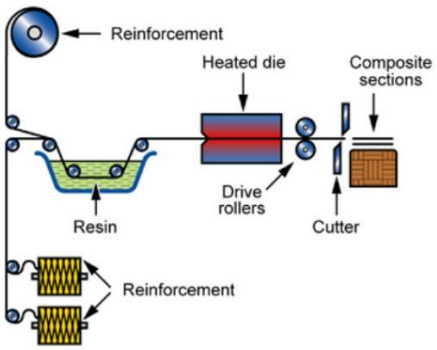


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.3.2 Pultrusão

Neste processo contínuo, fibras ou tecidos impregnados com resina são puxados por moldes sucessivos, sendo o último aquecido para curar o material. A peça final assume o formato da seção transversal da matriz e pode ser cortada ou enrolada. A matriz, normalmente de aço endurecido, determina o perfil da peça e pode ter até 1 metro de comprimento.

Figura 12: Esquemático da pultrusão



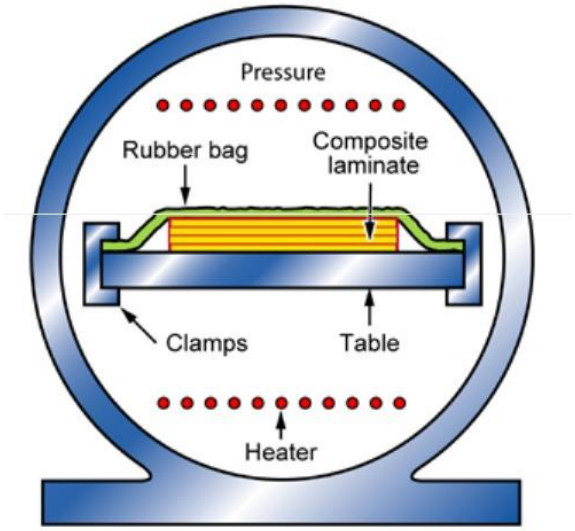
Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.4 Laminação manual

6.4.1 Moldagem em autoclave

Após a aplicação da resina e reforço no molde, o laminado é coberto com um tecido absorvente e uma bolsa flexível. Tudo é colocado em uma autoclave, onde pressão (cerca de 0,55 MPa) e calor são aplicados para consolidar e curar a peça. Muito usado na indústria aeroespacial, esse método produz componentes com alta densidade e resistência.

Figura 13: Esquemático da moldagem em autoclave

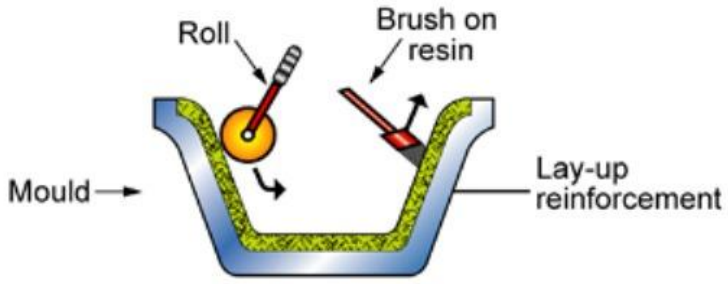


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.4.2 Laminação manual

Esse método simples e de baixo custo usa moldes econômicos. Após a aplicação de uma camada de gel coat, camadas de reforço são colocadas manualmente e impregnadas com resina usando pincel ou rolo. As camadas são aplicadas até atingir a espessura final, e a cura ocorre ao ar. Pode-se adicionar aditivos para alterar as propriedades da peça.

Figura 14: Esquemático da laminação manual

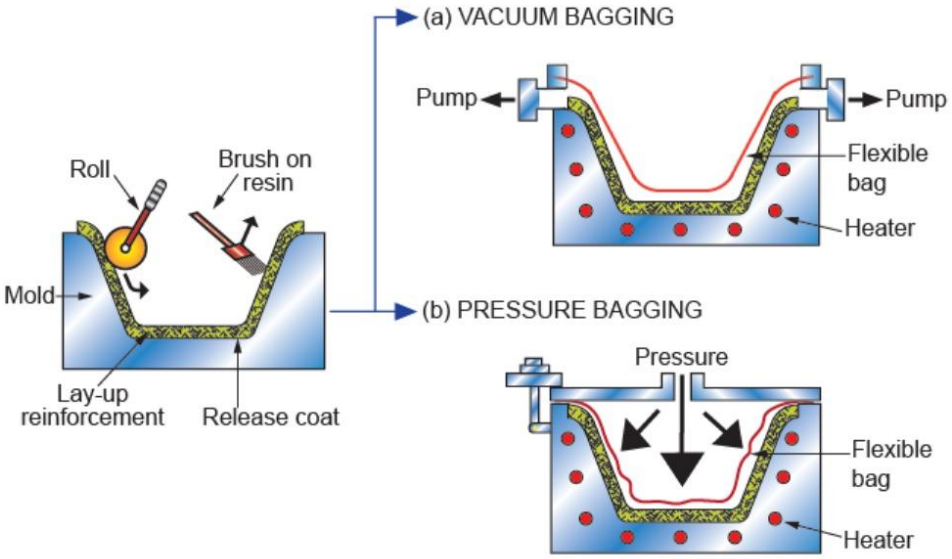


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.4.3 Ensacamento a vácuo/pressão

Após aplicação do laminado via métodos manuais ou spray, aplica-se uma bolsa de vácuo ou pressão sobre a peça. A bolsa é vedada e evacuada ou pressurizada, comprimindo o material. Isso melhora a compactação e qualidade do produto final. Requer bomba de vácuo ou compressor e, às vezes, máquina aplicadora de fita.

Figura 15: Esquemático do ensacamento a vácuo/pressão



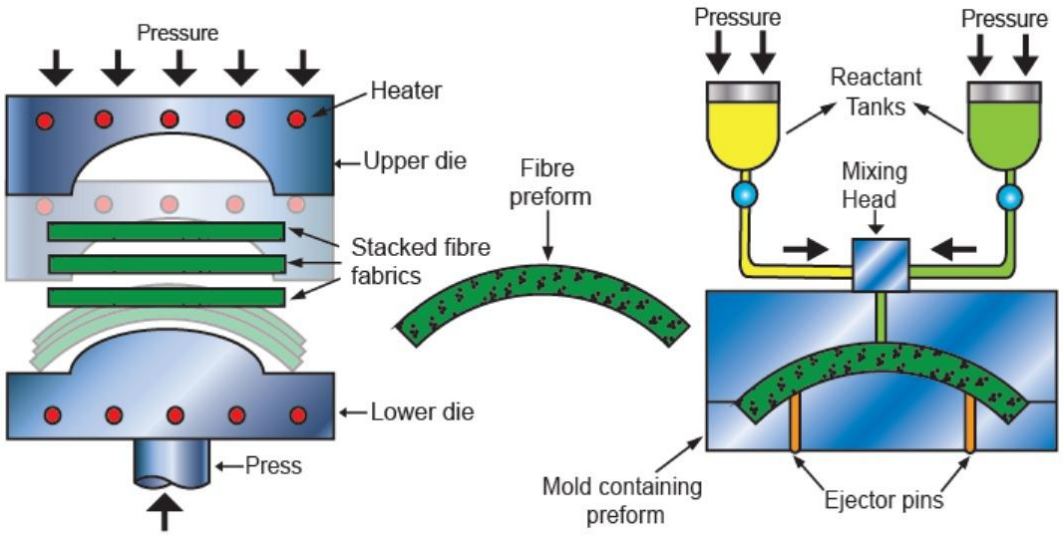
Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.5 Transferência de resina

6.5.1 Moldagem por transferência de resina de alta pressão (HP-RTM)

Processo rápido e eficiente que permite ciclos curtos e alta produtividade. Um pré-formado é colocado no molde aquecido e a resina, composta por diferentes fases, é injetada sob alta pressão. A cura ocorre em temperatura ambiente. Ideal para aplicações industriais com produção em série e peças complexas.

Figura 16: Esquemático da HP-RTM

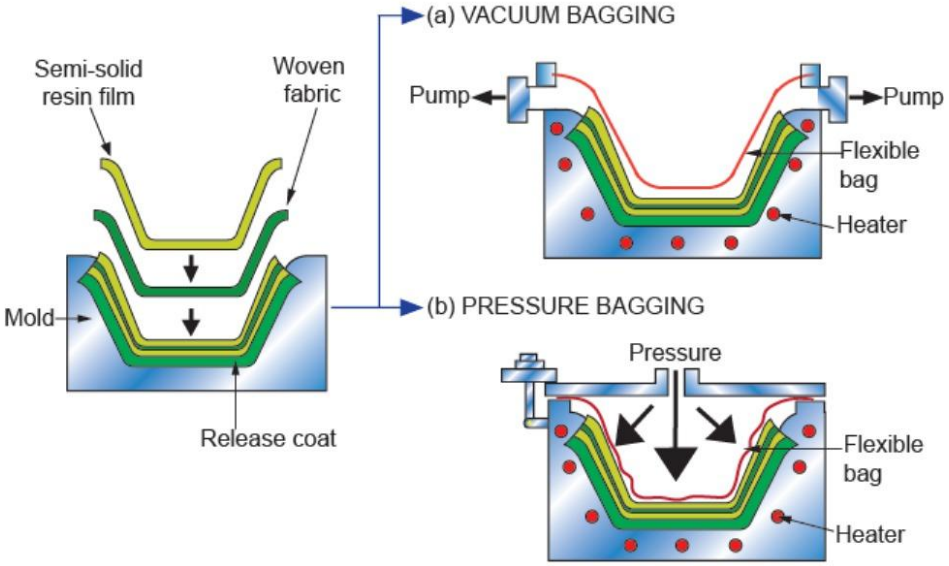


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.5.2 Infusão de filme em resina

Tecido seco e uma película de resina semissólida são colocados em camadas dentro do molde. Uma bolsa é posicionada por cima e ar é removido ou pressão é aplicada, fazendo com que a resina derretida penetre no tecido durante o aquecimento. A cura ocorre por pressão atmosférica ou em autoclave.

Figura 17: Esquemático da infusão de filme em resina

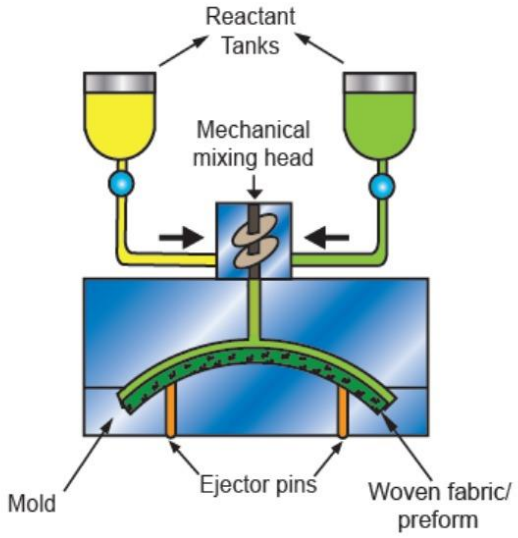


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.5.3 Moldagem por transferência de resina (RTM)

Usa moldes fechados com entradas para resina e saídas para o ar. O reforço é inserido, o molde é fechado, e a resina de baixa viscosidade é injetada sob baixa pressão (até 2 MPa). Após preenchimento, a peça cura à temperatura ambiente. Os moldes são leves e o processo requer uma bomba de injeção de resina.

Figura 18: Esquemático da RTM

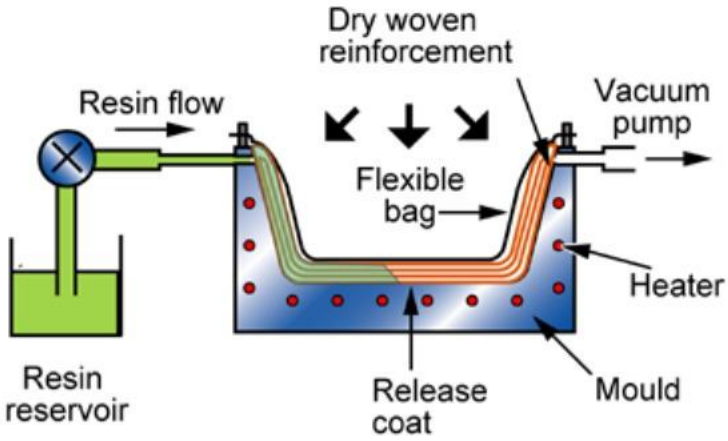


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.5.4 Moldagem por transferência de resina assistida por vácuo (VARTM)

Técnica econômica para fabricar peças grandes e complexas. Tecido seco é colocado no molde, coberto por uma película e embalado a vácuo. A resina é puxada pelo vácuo, impregnando o tecido. Após isso, a peça é curada.

Figura 19: Esquemático da VARTM



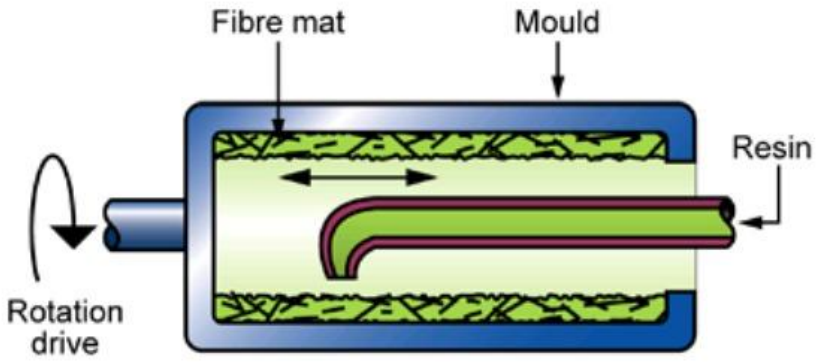
Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.6 Pulverização

6.6.1 Moldagem centrífuga

A mistura de resina e fibras é pulverizada na superfície interna de um molde cilíndrico giratório. A força centrífuga promove a impregnação e distribuição uniforme. A rotação é mantida durante o aquecimento para garantir a cura sem escorrimento. Produz peças com acabamento em ambas as faces, mas exige equipamentos caros.

Figura 20: Esquemático da moldagem centrífuga

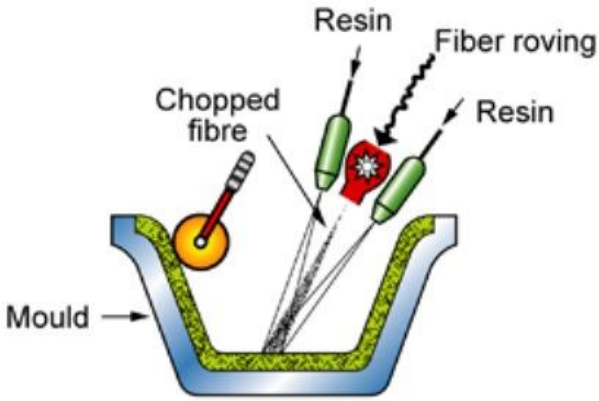


Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.6.2 Spray-up

Semelhante à laminação manual, porém com aplicação mecanizada. Após a camada de gel coat, resina e fibras picadas são pulverizadas no molde. O material é então compactado com rolo. Para peças espessas, o processo é feito por camadas sucessivas. Usa moldes simples e equipamentos como pistola de spray e rolos.

Figura 21: Esquemático da spray-up



Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

6.7 Tabela Comparativa

O objetivo dessa tabela é ter um meio de comparação entre todos os processos de compósito, independente do processo e sejam totalmente diferentes um ao outro, classificamos os processos em subgrupos para melhor comparação e possível escolha dos processos para substituição da peça feita em metal. Os dados foram obtidos pelo software ANSYS Granta e os processos foram apresentados acima.

		ATRIBUTOS FÍSICOS							
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	FORMATOS	FAIXA DE MASSA (KG)		FAIXA DE ESPESSURA (mm)		Tolerância (mm)		RUGOSIDADE (µm)	
	COMPLEXIDADE	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Deposição automática									
Posicionamento automático de fita	Prismático circular e não-circular; oco 3D	1	6.000	1	38	0,5	1	0,2	3,2
Enrolamento de filamento		0,01	3.000	2	25	1	1,6	0,5	1,6
Moldagem por compressão									
Moldagem BMC	Folha plana e de prato; solido 3D	0,03	60	1,5	25	0,12	1	0,1	1,6
Moldagem por prensagem a frio	Folha plana e de prato; solido 3D	1	100	1,5	13	0,25	1	0,1	1,6
Moldagem SMC	Folha plana e de prato; solido 3D	0,03	60	1,5	25	0,2	1	0,1	1,6
Moldagem de compósito termoplástico	Folha plana e de prato; solido 3D	0,8	60	1,5	10	0,2	1	0,1	1,6
Moldagem por prensagem úmida	Folha plana e de prato; solido 3D	0,3	60						
Contínua									
Laminação Contínua	Folha plana e de prato; prismático não - circular	0,1	100	2	6	0,25	1	0,1	1,6
Pultrusão	Prismático circular e não-circular	0,1	200	3	15	0,25	1	0,1	1,6

Laminação Manual									
Moldagem em autoclave	Folha plana e de prato; oco 3D	0,8	2.000	2	10	0,8	1	0,5	3,2
Laminação manual	Folha plana e de prato; oco 3D	2	6.000	2	10	0,8	1	0,5	3,2
Ensacamento a vácuo/pressão	Folha plana e de prato; oco 3D	0,8	2.000	2	6	0,8	1	0,5	3,2
Transferência de Resina									
RTM de alta pressão	Prismático circular e não-circular; solido e oco 3D	0,8	70						
Infusão de filme de resina		0,1	2.000	1	38	0,6	1	0,5	3,2
RTM	Prismático circular e não-circular; solido e oco 3D	0,8	50	2	6	0,25	1	0,1	1,6
RTM assistido por vácuo		0,5	600	1	20	0,3	1	0,1	2,4
Pulverização									
Moldagem centrífuga	Prismático circular	0,01	3.000	2,5	12,7	0,4	1	0,5	1,6
Spray-up	Folha plana e de prato; oco 3D	8	6.000	2	10	0,8	1	0,5	3,2

MODELAGEM DE CUSTOS			
Índice de custo relativo por peça (R$)		Custo de Capital (R$)	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
R$ 2.410,00	R$ 85.200,00	R$ 5.950.000,00	R$ 29.700.000,00
R$ 371,00	R$ 8.000,00	R$ 99.100,00	R$ 4.960.000,00
R$ 142,00	R$ 1.090,00	R$ 347.000,00	R$ 2.970.000,00
R$ 389,00	R$ 1.730,00	R$ 99.100,00	R$ 396.000,00
R$ 141,00	R$ 1.090,00	R$ 347.000,00	R$ 2.970.000,00
R$ 272,00	R$ 871,00	R$ 29.700,00	R$ 297.000,00
R$ 76,90	R$ 139,00	R$ 347.000,00	R$ 2.970.000,00
R$ 83,00	R$ 125,00	R$ 991.000,00	R$ 49.700.000,00
R$ 130,00	R$ 430,00	R$ 496.000,00	R$ 1.980.000,00

R$ 1.240,00	R$ 1.900,00	R$ 396.000,00	R$ 4.960.000,00
R$ 1.790,00	R$ 6.800,00	R$ 496,00	R$ 4.960,00
R$ 1.090,00	R$ 18.900,00	R$ 396.000,00	R$ 4.960.000,00

R$ 140,00	R$ 279,00	R$ 251.000,00	R$ 2.930.000,00
R$ 1.120,00	R$ 18.900,00	R$ 396.000,00	R$ 4.960.000,00
R$ 172,00	R$ 872,00	R$ 49.600,00	R$ 297.000,00
R$ 268,00	R$ 4.020,00	R$ 4.960,00	R$ 49.600,00

R$ 501,00	R$ 2.020,00	R$ 496.000,00	R$ 2.970.000,00
R$ 850,00	R$ 8.620,00	R$ 79.300,00	R$ 149.000,00

Fração de utilização de material		Taxa de produção		Vida útil da ferramenta		Custo da Ferramenta (R$)	
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
		(peças/hora)		(peças)			
0,85	0,95	0,02	0,8	100	1.000	R$ 4.960,00	R$ 99.100,00
0,8	0,95	0,12	10	100	1.000	R$ 991,00	R$ 99.100,00
		(peças/hora)		(peças)			
0,8	0,95	12	60	100.000	200.000	R$ 49.600,00	R$ 991.000,00
0,8	0,95	0,5	3	200	500	R$ 4.960,00	R$ 29.700,00
0,8	0,95	12	60	300.000	400.000	R$ 49.600,00	R$ 991.000,00
0,8	0,97	1	4	500	5.000	R$ 4.960,00	R$ 19.800,00
0,8	0,95	12	60	100.000	200.000	R$ 5.860,00	R$ 25.100,00
		(m/s)		(m)			
0,8	0,95	0,01	0,3	50.000	1.000.000	R$ 19.800,00	R$ 49.600,00
0,6	0,97	0,002	0,03	50.000	1.000.000	R$ 19.800,00	R$ 297.000,00

		(peças/hora)		(peças)			
0,8	0,95	0,05	1	100	1.000	R$ 4.960,00	R$ 99.100,00
0,8	0,95	0,12	0,5	200	1.000	R$ 991,00	R$ 99.100,00
0,8	0,95	0,05	1	100	200	R$ 4.960,00	R$ 19.800,00
		(peças/hora)		(peças)			
0,8	0,97	12	20	500	5.000	R$ 20.100,00	R$ 83.800,00
0,8	0,95	0,05	1	100	1.000	R$ 4.960,00	R$ 49.600,00
0,8	0,97	1	8	500	5.000	R$ 4.960,00	R$ 19.800,00
0,85	0,95	0,2	4	200	500	R$ 991,00	R$ 9.910,00
		(peças/hora)		(peças)			
0,8	0,95	0,5	3	200.000	1.000.000	R$ 4.960,00	R$ 347.000,00
0,8	0,95	0,1	3	100	500	R$ 1.980,00	R$ 198.000,00

7 Discussão de resultados

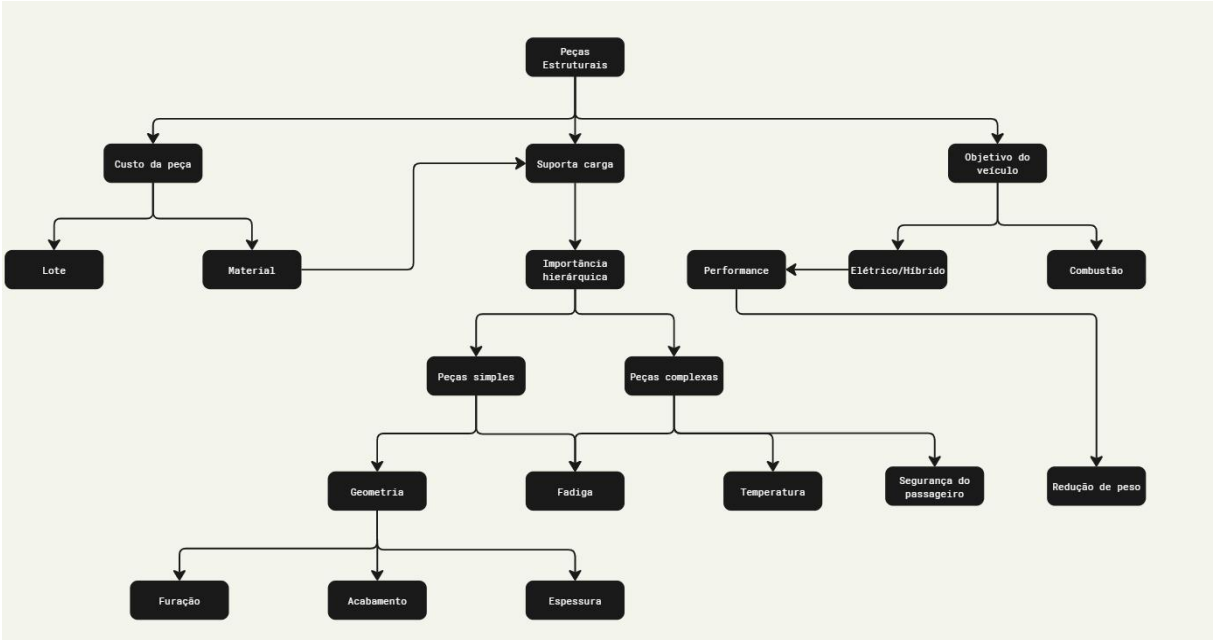
Nessa seção do relatório será discutida a ferramenta criada, que serve de apoio para a seleção dos processos de fabricação de compósitos, será explicada sua lógica, como os dados devem ser colocados, seus resultados e sugestões de melhoria.

7.1 Fluxograma

Para o desenvolvimento da ferramenta de análise de processos, foram feitos inicialmente diversos *brainstorms*, com o objetivo de definir quais seriam os pré-requisitos necessários para que uma peça metálica pudesse ser substituída por uma peça em compósito. Como ponto de partida, foi estabelecido que a peça selecionada deveria ser, preferencialmente, uma peça não estrutural, classificada como uma peça auxiliar dentro do portfólio atual da Maxion.

A partir dessa definição, começa-se a construir um fluxograma de substituição, que considera todos os critérios técnicos, operacionais e econômicos relevantes. Nesse caso, alinhou-se com a estratégia da Maxion de buscar uma abordagem fundamentada no dimensionamento otimizado, que gere ganhos de performance, especialmente para veículos híbridos e elétricos, priorizando sempre o menor custo de produção possível e assegurando a viabilidade técnica e econômica da substituição.

Figura 22: Fluxograma Maxion (2025)



Fonte: Autoria própria

Após a elaboração do fluxograma e a realização dos *brainstorms*, foi possível identificar os pontos mais relevantes para entender e viabilizar a substituição, como estão descritos no fluxograma apresentado anteriormente. Um fator que facilitou esse trabalho foi o fato de que a Maxion não possui peças de *powertrain* que transmitam potência internamente, como eixos ou engrenagens. A maior parte das peças são de suporte ou resistência de material, como suportes estruturais auxiliares.

A primeira peça analisada foi o suporte de bateria para veículos pesados, escolhida por ser uma peça geometricamente simples, que suporta carga em apenas um eixo, proveniente do peso das baterias. Essa peça se mostrou adequada no teste inicial do fluxograma, validando a lógica da ferramenta.

A partir dessa análise, tornou-se possível desenvolver uma planilha de escolha do processo de fabricação para essa peça em compósito, que inclui uma estimativa de custos, além de outros fatores relacionados à produção. Isso permite que a Maxion tenha uma visão clara

sobre a viabilidade técnica e econômica da substituição, auxiliando na tomada de decisão sobre a adoção de compósitos na fabricação de suas peças.

7.2 Escolha do processo

Um dos entregáveis deste trabalho trata-se de uma planilha no Excel, voltada para auxiliar na escolha ideal do processo de fabricação, a partir da inserção de algumas informações da peça. Será apresentada a empresa também uma outra versão, na qual a ferramenta liga direto essas informações a uma peça ou produto em específico. Ficará a critério da engenharia/ usuário, qual das versões melhor se adequa ao problema analisado.

VERSÃO 1:

Figura 23: Visualização da aba principal da ferramenta 1. Maxion (2025)

INPUTS: INFORMAÇÕES PRINCIPAIS DA PEÇA							
GEOMETRIA	TAMANHO DA FIBRA	TAMANHO DO LOTE (peças)	FAIXA DE MASSA (KG)	RUGOSIDADE / ACAB. SUP. (µm)	FAIXA DE ESPESSURA (mm)	Tolerância (mm)	TAXA DE PRODUÇÃO
Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)

OUTPUT: PROCESSO A SER UTILIZADO	
Processo	Sub-processo
Bandeja aumotática	Enrolamento de filamento

OUTPUT: CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO					
Intensidade de trabalho	Fração de utilização de material	Vida útil da ferramenta (peças)	Índice de custo relativo por peça (R$)	Custo da Ferramenta (R$)	Custo de Capital (R$)
Médio	0,8 a 0,95	100 a 1.000	371,00 a 8.000,00	991,00 a 99.100,00	99.100,00 a 4.960.000,00

Fonte: Autoria própria

O usuário terá acesso apenas a essa interface do usuário, sendo o restante da planilha estará bloqueado para o usuário.

Nessa tela, o usuário conseguirá alterar apenas os Inputs (informações da tabela verde). Nesse caso, ele irá colocar todas as informações de cada peça, e a ferramenta irá trazer automaticamente o Processo-subprocesso ideal para a fabricação dela, juntamente com algumas outras informações importantes desse processo como intensidade de trabalho, vida útil da ferramenta, custo da ferramenta etc.

O programa tem uma base de dados principal, que é a mesma tabela comparativa do item 4.7 desse relatório, na qual, a partir dela, foram geradas mais duas bases de dados mais adaptadas para fazer a ferramenta funcionar.

Figura 24: Base de dados adaptada 1. Maxion (2025)

PROCESSO		COMPLEXIDADE	TAMANHO DA FIE	TAMANHO DO L	MAIXA DE MASSA (K	ABAMENTO SUPERFIC	AIXA DE ESPESSURA (m	Tolerância (mm)	TAXA DE PRODUÇÃO
Bandeja aumotática	Colocação automática de fita	Prismático circular	fibra longa	1 a 500	1 a 6.000	0,2 a 3,2	1 a 38	0,5 a 1	0,02 a 0,8 (peças/hora)
Bandeja aumotática	Colocação automática de fita	Oco 3D	fibra longa	1 a 500	1 a 6.000	0,2 a 3,2	1 a 38	0,5 a 1	0,02 a 0,8 (peças/hora)
Bandeja aumotática	Colocação automática de fita	Prismático não-circular	fibra longa	1 a 500	1 a 6.000	0,2 a 3,2	1 a 38	0,5 a 1	0,02 a 0,8 (peças/hora)
Bandeja aumotática	Enrolamento de filamento	Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
Bandeja aumotática	Enrolamento de filamento	Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
Bandeja aumotática	Enrolamento de filamento	Prismático não-circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem BMC	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem BMC	Sólido 3D	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem BMC	Folha de prato	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem por prensagem a frio	Folha plana	fibra curta	100 a 5.000	1 a 100	0,1 a 1,6	1,5 a 13	0,25 a 1	0,5 a 3 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem por prensagem a frio	Sólido 3D	fibra curta	100 a 5.000	1 a 100	0,1 a 1,6	1,5 a 13	0,25 a 1	0,5 a 3 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem por prensagem a frio	Folha de prato	fibra curta	100 a 5.000	1 a 100	0,1 a 1,6	1,5 a 13	0,25 a 1	0,5 a 3 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem SMC	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,2 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem SMC	Sólido 3D	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,2 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem SMC	Folha de prato	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,2 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem de composito termoplástico	Folha plana	fibra curta	500 a 5.000	0,8 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 10	0,2 a 1	1 a 4 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem de composito termoplástico	Sólido 3D	fibra curta	500 a 5.000	0,8 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 10	0,2 a 1	1 a 4 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem de composito termoplástico	Folha de prato	fibra curta	500 a 5.000	0,8 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 10	0,2 a 1	1 a 4 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem por prensagem úmida	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,3 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 10	0,2 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem por prensagem úmida	Sólido 3D	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,3 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 10	0,2 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Moldagem por compress	Moldagem por prensagem úmida	Folha de prato	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,3 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 10	0,2 a 1	12 a 60 (peças/hora)
Contínua	Laminaçao Contínua	Folha plana	fibra longa	500 a 5.000	0,1 a 100	0,1 a 1,6	2 a 6	0,25 a 1	0,01 a 0,3 (m/s)
Contínua	Laminaçao Contínua	Folha de prato	fibra longa	500 a 5.000	0,1 a 100	0,1 a 1,6	2 a 6	0,25 a 1	0,01 a 0,3 (m/s)
Contínua	Laminaçao Contínua	Prismático não-circular	fibra longa	500 a 5.000	0,1 a 100	0,1 a 1,6	2 a 6	0,25 a 1	0,01 a 0,3 (m/s)
Contínua	Putrusão	Prismático circular	fibra longa	5.000 a 1.000.000	0,1 a 200	0,1 a 1,6	3 a 15	0,25 a 1	0,002 a 0,03 (m/s)
Contínua	Putrusão	Prismático não-circular	fibra longa	5.000 a 1.000.000	0,1 a 200	0,1 a 1,6	3 a 15	0,25 a 1	0,002 a 0,03 (m/s)
Laminaçao Manual	Moldagem em autoclave	Folha plana	fibra longa	1 a 500	0,8 a 2.000	0,5 a 3,2	2 a 10	0,8 a 1	0,05 a 1 (peças/hora)
Laminaçao Manual	Moldagem em autoclave	Oco 3D	fibra longa	1 a 500	0,8 a 2.000	0,5 a 3,2	2 a 10	0,8 a 1	0,05 a 1 (peças/hora)
Laminaçao Manual	Moldagem em autoclave	Folha de prato	fibra longa	1 a 500	0,8 a 2.000	0,5 a 3,2	2 a 10	0,8 a 1	0,05 a 1 (peças/hora)
Laminacao Manual	Colocação manual	Folha plana	fibra longa	1 a 500	2 a 6.000	0,5 a 3,2	2 a 10	0,8 a 1	0,12 a 0,5 (peças/hora)

Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

Na imagem acima, encontra-se parte de uma das bases de dados adaptadas, na qual irá conectar as entradas da tabela verde da interface do usuário a um processo e subprocesso. Então, ao adicionar entradas nas células da tabela verde, o programa utilizará da função PROCV do Excel nessa tabela acima, trazendo esse Processo e Subprocesso.

Ao trazer essas duas coisas, o programa utilizará uma outra base de dados adaptada, como podemos ver abaixo, que irá conectar o Subprocesso as informações trazidas pela tabela vermelha da interface do usuário (SAÍDA: CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO).

Figura 25: Base de dados adaptada 2. Maxion (2025)

SUBPROCESSO	Intensidade de trabalho	Fração de utilização de material	Vida útil da ferramenta (peças)	Índice de custo relativo por peça (R$)	Custo da Ferramenta (R$)	Custo de Capital (R$)
Colocação automática de fita	Médio	0,85 a 0,95	100 a 1.000	2.410,00 a 85.200,00	4.960,00 a 99.100,00	5.950.000,00 a 29.700.000,00
Enrolamento de filamento	Médio	0,8 a 0,95	100 a 1.000	371,00 a 8.000,00	991,00 a 99.100,00	99.100,00 a 4.960.000,00
Moldagem BMC	Médio	0,8 a 0,95	100.000 a 200.000	142,00 a 1.090,00	49.600,00 a 991.000,00	347.000,00 a 2.970.000,00
Moldagem por prensagem a frio	Médio	0,8 a 0,95	200 a 500	389,00 a 1.730,00	4.960,00 a 29.700,00	99.100,00 a 396.000,00
Moldagem SMC	Médio	0,8 a 0,95	300.000 a 400.000	141,00 a 1.090,00	49.600,00 a 991.000,00	347.000,00 a 2.970.000,00
Moldagem de composito termoplástico	Médio	0,8 a 0,97	500 a 5.000	272,00 a 871,00	4.960,00 a 19.800,00	29.700,00 a 297.000,00
Moldagem por prensagem úmida	Médio	0,8 a 0,95	100.000 a 200.000	76,90 a 139,00	5.860,00 a 25.100,00	347.000,00 a 2.970.000,00
Laminaçao Contínua	Médio	0,8 a 0,95	50.000 m a 1.000.000 m	83,00 a 125,00	19.800,00 a 49.600,00	991.000,00 a 49.700.000,00
Putrusão	Baixo	0,6 a 0,97	50.000 m a 1.000.000 m	130,00 a 430,00	19.800,00 a 297.000,00	496.000,00 a 1.980.000,00
Moldagem em autoclave	alta	0,8 a 0,95	100 a 1.000	1.240,00 a 1.900,00	4.960,00 a 99.100,00	396.000,00 a 4.960.000,00
Colocação manual	alta	0,8 a 0,95	200 a 1.000	1.790,00 a 6.800,00	991,00 a 99.100,00	496,00 a 4.960,00
Ensacamento a vácuo/pressão	Médio	0,8 a 0,95	100 a 200	1.090,00 a 18.900,00	4.960,00 a 19.800,00	396.000,00 a 4.960.000,00
RTM de alta pressão	Médio	0,8 a 0,97	500 a 5.000	140,00 a 279,00	20.100,00 a 83.800,00	251.000,00 a 2.930.000,00
Infusão de filme de resina	Médio	0,8 a 0,95	100 a 1.000	1.120,00 a 18.900,00	4.960,00 a 49.600,00	396.000,00 a 4.960.000,00
Moldagem por transferência de resina RTM	alta	0,8 a 0,97	500 a 5.000	172,00 a 872,00	4.960,00 a 19.800,00	49.600,00 a 297.000,00
RTM assistido por vácuo	Médio	0,85 a 0,95	200 a 500	268,00 a 4.020,00	991,00 a 9.910,00	4.960,00 a 49.600,00
Moldagem centrífuga	Médio	0,8 a 0,95	200.000 a 1.000.000	501,00 a 2.020,00	4.960,00 a 347.000,00	496.000,00 a 2.970.000,00
Spray-up	Médio	0,8 a 0,95	100 a 500	850,00 a 8.620,00	1.980,00 a 198.000,00	79.300,00 a 149.000,00

Fonte: ANSYS INC. *ANSYS Granta EduPack*. Versão 2023. Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023.

Resumindo, no momento que o usuário colocar as informações nas entradas da tabela verde, a ferramenta irá buscar o Processo e Subprocesso em uma das bases de dados, e buscando essas duas coisas, a ferramenta também busca através de PROCV essas características do processo em outra base de dados.

VERSÃO 2:

Figura 26: Visualização da aba principal da ferramenta 2. Maxion (2025)

PEÇA	
TIPO DE VEÍCULO	PEÇA
VEÍCULOS_LEVES	Suporte de Farol

INPUTS: INFORMAÇÕES PRINCIPAIS DA PEÇA							
GEOMETRIA	TAMANHO DA FIBRA	TAMANHO DO LOTE (peças)	FAIXA DE MASSA (KG)	RUGOSIDADE / ACAB. SUP. (µm)	FAIXA DE ESPESSURA (mm)	Tolerância (mm)	TAXA DE PRODUÇÃO
Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)

OUTPUT: PROCESSO A SER UTILIZADO	
Processo	Sub-processo
Bandeja aumotática	Enrolamento de filamento

OUTPUT: CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO					
Intensidade de trabalho	Fração de utilização de material	Vida útil da ferramenta (peças)	Índice de custo relativo por peça (R$)	Custo da Ferramenta (R$)	Custo de Capital (R$)
Médio	0,8 a 0,95	100 a 1.000	371,00 a 8.000,00	991,00 a 99.100,00	99.100,00 a 4.960.000,00

Fonte: Autoria própria

Esta segunda versão da ferramenta, já conecta as peças dos automóveis a todas as informações de entrada da tabela verde. Então, ela funciona da mesma maneira que a outra versão, porém tem uma etapa a mais.

Figura 27: Base de dados 3. Maxion (2025)

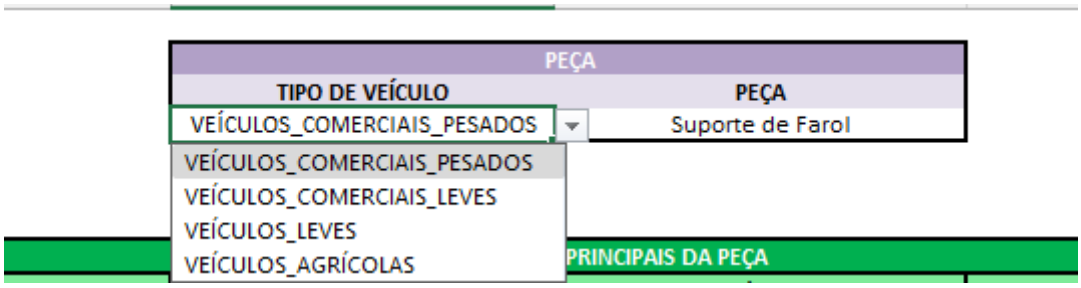
VALORES TODOS SIMBÓLICOS PARA TESTE

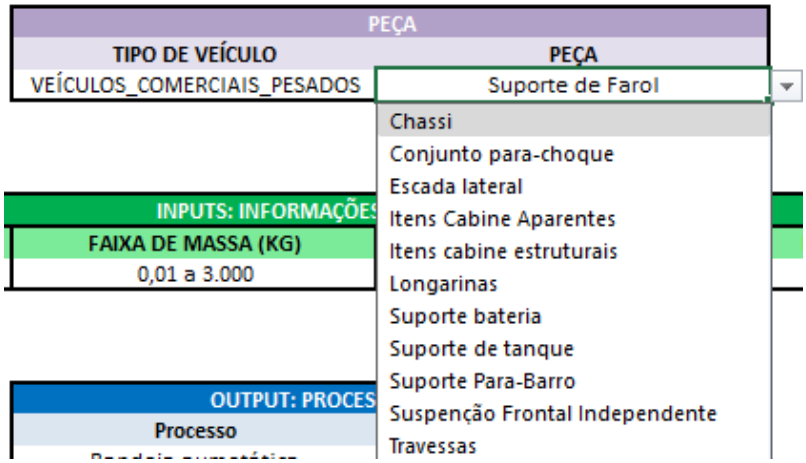
TIPO DE VEÍCULO	PEÇA	GEOMETRIA	TAMANHO DA FIBRA	TAMANHO DO LOTE (peças	FAIXA DE MASSA (KG	RUGOSIDADE / ACAB. SUP. (µm	FAIXA DE ESPESSURA (mm	Tolerância (mm)	TAXA DE PRODUÇÃO
VEÍCULOS COMERCIAIS PESADOS	Chassi	Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Conjunto para-choque	Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Escada lateral	Prismático não-circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Itens Cabine Aparentes	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
	Itens cabine estruturais	Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Longarinas	Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Suporte bateria	Prismático não-circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Suporte de tanque	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
	Suporte Para-Barro	Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Suspenção Frontal Independent	Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Travessas	Prismático não-circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
VEÍCULOS COMERCIAIS LEVES	Chassis	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
	Cross car beam	Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Para-choque traseiro	Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Semi carcaça	Prismático não-circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Suporte do capô	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
	Suporte do farol	Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Suporte do radiador	Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
VEÍCULOS LEVES	Caixa de proteção de roda	Prismático não-circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Cross car beam	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
	Fechos e travas	Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Para-choque	Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Parede corta fogo	Prismático não-circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Reforço porta	Folha plana	fibra curta	5.000 a 1.000.000	0,03 a 60	0,1 a 1,6	1,5 a 25	0,12 a 1	12 a 60 (peças/hora)
	Reforço superior	Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)
	Suporte de Farol	Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)

Fonte: Autoria própria

Nesta versão, a ferramenta necessitará de mais uma base de dados (3), na qual irá conectar todas as peças a cada informação da tabela verde. É importante destacar que todos esses valores não estão validados. Para preencher essa tabela com precisão e assertividade, o grupo precisará da ajuda da empresa, que tem conhecimento dessas informações.

Figuras 28: Selecionando o tipo de veículo e a peça sendo analisada para substituição na ferramenta 2. Maxion (2025)





Fonte: Autoria própria

Resumindo, o usuário seleciona o tipo de veículo que quer analisar e a peça de cada tipo, e a ferramenta já vai trazer todas as outras informações.

7.3 Exemplo prático

A Maxion está estudando substituir o material atual de uma de suas peças para compósitos, e existe a dúvida de qual é o melhor processo de fabricação para essa peça em compósito, logo, utilizará a planilha para tomar a melhor decisão:

Ferramenta 1

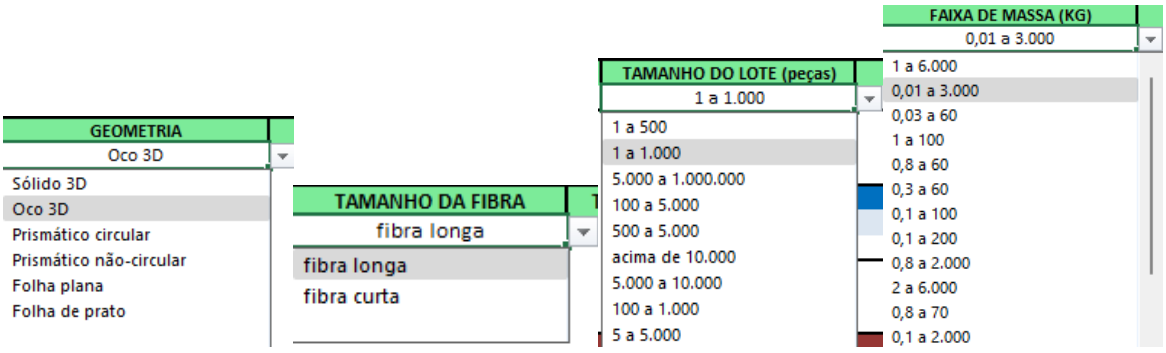
PASSO 1: Empresa busca as informações da peça (valores simbólicos para esse exemplo)

- Geometria: Oco 3D

- Tamanho da fibra: fibra longa
- Tamanho do lote: 500 peças
- Faixa de massa: 1000 Kg
- Rugosidade / acabamento superficial: 1 µm
- Faixa de espessura: 10 mm
- Tolerância: 1,2 mm
- Taxa de produção: 5 peças por hora

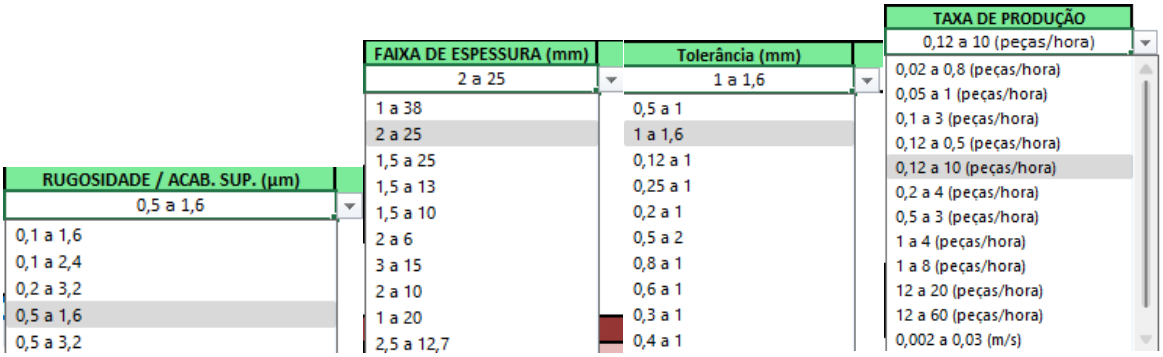
PASSO 2: São selecionados os limites da ferramenta que encaixam as informações do passo 1

Figura 29: Selecionando limites que as informações da peça de encaixam 1. Maxion (2025)



Fonte: Autoria própria

Figura 30: Selecionando limites que as informações da peça de encaixam 2. Maxion (2025)



Fonte: Autoria própria

CONCLUSÃO: Colocando todas essas informações na planilha, a ferramenta trás automaticamente o processo ideal, junto com informações importantes do processo.

Figura 31: Resultado da busca e da funcionalidade da ferramenta 1 Maxion (2025)

INPUTS: INFORMAÇÕES PRINCIPAIS DA PEÇA							
GEOMETRIA	TAMANHO DA FIBRA	TAMANHO DO LOTE (peças)	FAIXA DE MASSA (KG)	RUGOSIDADE / ACAB. SUP. (µm)	FAIXA DE ESPESSURA (mm)	Tolerância (mm)	TAXA DE PRODUÇÃO
Oco 3D	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)

OUTPUT: PROCESSO A SER UTILIZADO	
Processo	Sub-processo
Bandeja aumotática	Enrolamento de filamento

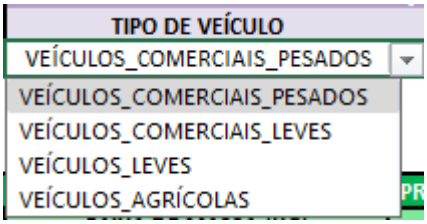
OUTPUT: CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO					
Intensidade de trabalho	Fração de utilização de material	Vida útil da ferramenta (peças)	ndice de custo relativo por peça (R$	Custo da Ferramenta (R$)	Custo de Capital (R$)
Médio	0,8 a 0,95	100 a 1.000	371,00 a 8.000,00	991,00 a 99.100,00	99.100,00 a 4.960.000,00

Fonte: Autoria própria

Ferramenta 2

PASSO 1: Usuário seleciona o tipo de veículo que a peça pertence

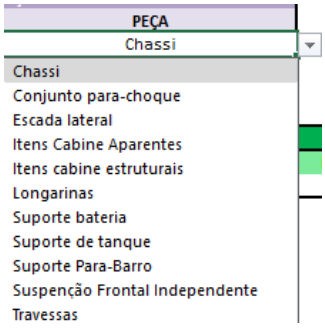
Figura 32: Selecionando o tipo de veículo da peça em questão. Maxion (2025)



Fonte: Autoria própria

PASSO 2: Usuário seleciona a peça que está analisando substituir para compósito

Figura 33: Selecionando a peça em questão. Maxion (2025)



Fonte: Autoria própria

CONCLUSÃO: A ferramenta já puxa direto o processo ideal para fabricação dessa peça em compósito.

Figura 34: Resultado da busca e da funcionalidade da ferramenta 2. Maxion (2025)

PEÇA	
TIPO DE VEÍCULO	PEÇA
VEÍCULOS_COMERCIAIS_PESADOS	Chassi

INPUTS: INFORMAÇÕES PRINCIPAIS DA PEÇA							
GEOMETRIA	TAMANHO DA FIBRA	TAMANHO DO LOTE (peças)	FAIXA DE MASSA (KG)	RUGOSIDADE / ACAB. SUP. (µm)	FAIXA DE ESPESSURA (mm)	Tolerância (mm)	TAXA DE PRODUÇÃO
Prismático circular	fibra longa	1 a 1.000	0,01 a 3.000	0,5 a 1,6	2 a 25	1 a 1,6	0,12 a 10 (peças/hora)

OUTPUT: PROCESSO A SER UTILIZADO	
Processo	Sub-processo
Bandeja automática	Enrolamento de filamento

OUTPUT: CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO					
Intensidade de trabalho	Fração de utilização de material	Vida útil da ferramenta (peças)	Índice de custo relativo por peça (R$)	Custo da Ferramenta (R$)	Custo de Capital (R$)
Médio	0,8 a 0,95	100 a 1.000	371,00 a 8.000,00	991,00 a 99.100,00	99.100,00 a 4.960.000,00

Fonte: Autoria própria

8 Conclusão sobre a ferramenta: Pontos críticos, limitações e pontos positívos

A ferramenta tem muito potencial, não apenas para o estudo da substituição das peças já fabricadas na empresa, como para qualquer outra peça, independente se ela já faz parte da produção da empresa ou não.

É uma ferramenta muito interessante pois consegue passar uma noção a Maxion o estágio inicial de troca das peças por compósito, que contêm informações que temos somente em ferramentas educativas, que não é qualquer um que tem acesso, portanto, leva um certo trabalho para localizá-las. Portanto, essa ferramenta economiza muito tempo de pesquisa, facilitando os estudos da empresa na decisão de fabricar certa peça em compósito, se vai valer a pena em termos operacionais e financeiros.

No primeiro momento traz o processo provável de fabricação de certa peça em compósito. Apesar disso, existe um ponto crítico e de melhoria nesse aspecto. Em alguns casos, mais de um processo é viável para a fabricação da peça, logo o ideal era a ferramenta trazer todos os processos capazes na fabricação de certa peça em compósito. Essa é uma melhoria que levará um certo tempo e por isso, foi inviável implementá-la, uma vez que o início do desenvolvimento da ferramenta foi apenas na segunda metade do projeto.

Outro ponto de melhoria identificado, foi uma informação da peça que se pode encaixar em mais de um limite, o que pode acabar confundindo a ferramenta e ela acabar não trazendo o processo correto. O ideal é corrigir esse erro para a ferramenta ser a mais precisa possível.

Ao findar, é uma ferramenta que tem potencial para melhora a implementação de compósitos por parte empresa tanto no estudo de viabilidade de produção de peças em compósitos, quanto no próprio dia a dia da empresa, que vai poder utilizá-la sempre que for precisar de informações mais especificas sobre os processos de fabricação.

9 Referencias

3M DO BRASIL. 2024. Disponível em: https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/3m-do-brasil/#. Acesso em: 24 mar. 2025.

A Study on Pultrusion. *Frontiers in Materials*, 2020. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/materials/articles/10.3389/fmats.2020.00027/full. Acesso em: 24 mar. 2025.

AUTOMOTIVE MANUFACTURING SOLUTIONS. Compósitos: Em boa forma. Disponível em: https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/compositos-em-boa-forma/33896.article. Acesso em: 15 maio 2025.

Analysis of resin transfer molding. *ScienceDirect*, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X21002475. Acesso em: 24 mar. 2025.

AUTODATA. O compósito da Frasle Mobility. 2024. Disponível em: https://www.autodata.com.br/workstudio-autodata/2024/10/18/o-composito-da-frasle-mobility/79336/. Acesso em: 26 maio 2025.

BK COMPOSITES. Products Line-Up. *BK Composites*, 2025. Disponível em: https://bk-comp.com/#products-line-up. Acesso em: 26 maio 2025.

COMPOS S.A. 2024. Disponível em: https://www.composs.com/. Acesso em: 24 mar. 2025.

AGCO CORPORATION. Home. *AGCO*, 2025. Disponível em: https://www.agcocorp.com/int/en/home/. Acesso em: 26 maio 2025.

COMPOSS. Home. ***Composs***, 2025. Disponível em: https://www.composs.com/. Acesso em: 26 maio 2025.

CNH INDUSTRIAL. Our Brands. *CNH*, 2025. Disponível em: https://www.cnh.com/en-US/Our-Company/Our-Brands. Acesso em: 26 maio 2025.

DATAINTELO. *Agricultural Vehicle Market Report | Global Forecast From 2025 To 2033*. 2024. Disponível em: https://dataintelo.com/report/global-agricultural-vehicle-market. Acesso em: 20 maio 2025.

DEFESANET. MVC revoluciona produção de compósitos com o processo RTM-S. 2012. Disponível em: https://www.defesanet.com.br/tecnologia/mvc-revoluciona-producao-de-compositos-com-o-processo-rtm-s/. Acesso em: 26 maio 2025.

FARM PROGRESS. John Deere, King Agro reach deal on carbon fiber booms. 2015. Disponível em: https://www.farmprogress.com/farm-business/john-deere-king-agro-reach-deal-on-carbon-fiber-booms. Acesso em: 26 maio 2025.

FANTR. Material composto: características, tipos e aplicações. Disponível em: https://fantr.com/blog/material-composto-172/ Acesso em: 15 maio 2025.

FIBRENAMICS. Materiais compósitos: o que são e quais as suas propriedades. Disponível em: https://fibrenamics.com/intelligence/reports/materiais-compositos-o-que-sao-e-quais-as-suas-propriedades. Acesso em: 26 maio 2025.

FLEET MAINTENANCE. The role of composite materials in heavy duty trucks. 2020. Disponível em: https://www.fleetmaintenance.com/in-the-bay/collision-and-painting/article/21125653/the-role-of-composite-materials-in-heavy-duty-trucks. Acesso em: 26 maio 2025.

FRAS-LE S.A. Institucional. 2024. Disponível em: https://www.fras-le.com/eu-en/institucional. Acesso em: 24 mar. 2025.

FRAS-LE MOBILITY. Materiais compósitos estruturais e componentes para veículos 2024. Disponível em: https://www.fraslemobility.com/noticias/materiais-compositos-estruturais-e-componentes-para-veiculos-eletricos-sao-as-estrelas-da-frasle-mobility-na-fenatran-2024. Acesso em: 15 maio 2025.

GATRON. Conheça um pouco mais sobre a Gatron. 2019. Disponível em: https://medium.com/@gatroninovacao/conhe%C3%A7a-um-pouco-mais-sobre-a-gatron-3e9cd0e72fe9. Acesso em: 26 maio 2025.

GOVERNO FEDERAL DO BRASIL. Frota de veículos 2024. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024. Acesso em: 24 mar. 2025.

HEXCEL CORPORATION. Automotive Structural Parts. 2024. Disponível em: https://www.hexcel.com/Markets/automotivestructuralparts. Acesso em: 24 mar. 2025. Impacto Fibers. Características dos materiais compostos de fibra de aramida. Disponível em: https://pt.impact-fibers.com/info/characteristics-of-aramid-fiber-composite-mate-17136644919075840.html. Acesso em: 15 maio 2025.

JACTO. Jacto Parts. *Jacto*, 2025. Disponível em: https://jactoparts.jacto.com.br/. Acesso em: 26 maio 2025.

JOHN DEERE; KING AGRO. John Deere, King Agro reach deal on carbon fiber booms. *Farm Progress*, 2017. Disponível em: https://www.farmprogress.com/farm-business/john-deere-king-agro-reach-deal-on-carbon-fiber-booms. Acesso em: 26 maio 2025.

KORTH FIBER. Compósitos na Indústria Automotiva. 2024. Disponível em: https://korthfiber.com/compositos-na-industria-automotiva/. Acesso em: 24 mar. 2025. **MARCOPOLO.** Home. *Marcopolo*, 2025. Disponível em: https://www.marcopolo.com.br/. Acesso em: 26 maio 2025.

MAGNA INTERNATIONAL INC. Home. *Magna*, 2025. Disponível em: https://www.magna.com/. Acesso em: 26 maio 2025.

NSG GROUP. 2024. Disponível em: https://www.nsg.com/en#. Acesso em: 24 mar. 2025. OMNIS KOMPOZIT. *O papel dos materiais compósitos na indústria automotiva*. 2025. Disponível em: https://omniskompozit.com/en/news/composite-materials-in-automotive-industry/. Acesso em: 15 maio 2025.

Preparation and mechanical properties of carbon fiber reinforced polymer composites for automotive applications. *ScienceDirect*, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264127516305731. Acesso em: 24 mar. 2025.

Pultrusion. *ScienceDirect*, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/pultrusion. Acesso em: 24 mar. 2025.

Resin Transfer Molding Process. *ScienceDirect*, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/resin-transfer-molding-process. Acesso em: 24 mar. 2025.

ROEHLING. São Paulo. 2024. Disponível em: https://www.roechling.com/br/industrial/sao-paulo. Acesso em: 24 mar. 2025.

ROECHLING AUTOMOTIVE. Structural Lightweight. *Roechling*, 2025. Disponível em: https://www.roechling.com/automotive/products-solutions/structural-lightweight. Acesso em: 26 maio 2025.

RTM COMPOSITES. Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding (VARTM). 2024. Disponível em: https://www.rtmcomposites.com/process/vacuum-assisted-resin-transfer-molding-vartm. Acesso em: 24 mar. 2025.

SGL CARBON. 2024. Disponível em: https://www.sglcarbon.com/. Acesso em: 24 mar. 2025.

Sheet Molding Compounds. *ScienceDirect*, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/sheet-molding-compounds#:~:text=Sheet%20molding%20compound%20sheets%20are,production%20technique%20with%20moderate%20strength.. Acesso em: 24 mar. 2025.

SINDIPECAS. Associados e Produtos. 2024. Disponível em: https://sindipecas.org.br/associados_e_produtos/list.php?tipo=empresa&busca=&btn_submit=Filtrar&seg4=seg4&seg3=seg3. Acesso em: 24 mar. 2025.

STARA. Produtos e serviços. *Stara*, 2025. Disponível em: https://www.stara.com.br/produtos-servicos. Acesso em: 26 maio 2025

SUPERIOR TUBE PRODUCTS. ROPS Fabrication. *Superior Tube Products*, 2025. Disponível em: https://www.superiortubeproducts.com/rops-fabrication/. Acesso em: 15 jun. 2025.

TEIJIN AUTOMOTIVE. Materials. *Teijin Automotive*, 2025. Disponível em: https://www.teijinautomotive.com/materials/. Acesso em: 26 maio 2025

TUPY S.A. 2024. Disponível em: https://tupy.com/en/. Acesso em: 24 mar. 2025.

Tymagnets. Introdução completa ao polímero reforçado com fibra de carbono (CFRP). Disponível em: https://tymagnets.com/pt/introdu%C3%A7%C3%A3o-de-pol%C3%ADmero-refor%C3%A7ado-com-fibra-de-carbono-cfrp/. Acesso em: 15 maio 2025.

Vacuum-Assisted Resin Infusion (VARI). *ScienceDirect*, 2024. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666166724002806#:~:text=Vacuum-assisted%20resin%20infusion%20(VARI,a%20modified%20complex%20Arcan%20fixture. Acesso em: 24 mar. 2025.