REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

IMPACTO DO GRAFENO NOS PROCESSOS DE DECISÕES DE PRODUÇÃO E COMPRA DE VEÍCULOS, A PARTIR DA APLICAÇÃO DO MODELO MULTICRITERIAL: NOVAS ABORDAGENS E PERSPECTIVAS

IMPACT OF GRAPHENE ON PRODUCTION AND PURCHASE DECISION PROCESSES OF VEHICLES, BASED ON THE APPLICATION OF THE MULTICRITERIA MODEL: NEW APPROACHES AND PERSPECTIVES

IMPACTO DEL GRAFENO EN LOS PROCESOS DE DECISIÓN DE PRODUCCIÓN Y COMPRA DE VEHÍCULOS, A PARTIR DE LA APLICACIÓN DEL MODELO MULTICRITERIO: NUEVOS ENFOQUES Y PERSPECTIVAS

Mauricio Cintra do Prado de Salles Penteado[1]

e727217
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i2.7217

PUBLICADO: 02/2026

RESUMO

Decisões multicritério baseiam-se em cenários complexos, nos quais diferentes alternativas possibilitam ampliar o leque de opções para a tomada de decisão. Os critérios adotados fundamentam-se nos Métodos de Análise Multicritério (MAM), a partir dos quais determinados parâmetros exercem maior ou menor impacto decisório, promovendo respostas mais satisfatórias. Entre os diversos métodos existentes, o *Analytic Hierarchy Process* – AHP permite formular questões objetivas, possibilitando que a decisão seja avaliada por ambos os agentes envolvidos no processo de escolha. A inserção do grafeno no setor automotivo potencializa esse tipo de abordagem, pois amplia, tanto para o produtor quanto para o consumidor, a possibilidade de alinhamento de interesses. Para o primeiro, amplia-se a oferta de produtos customizados; para o segundo, aumenta-se a possibilidade de aquisição de um produto subjetivamente mais satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: Grafeno. Setor Automotivo. Multicritério.

ABSTRACT

Multicriteria decisions are based on complex scenarios, in which alternatives broaden the range for decision-making. The decisions adopted are based on Methods of Multicriteria Analysis (MMA), from which certain parameters have a higher or lower impact, promoting more measured responses. Among the methods, the Analytic Hierarchy Process – AHP promotes the formulation of objective questions, allowing the decision to be a process of choice for both agents involved. The insertion of graphene in the automotive sector enhances this type of experience, as it opens, both the producer and the consumer, the possibility of alignment. For the former, the expansion of the possibility of offering personalized products. For the latter, it increases the possibility of acquiring a subjectively more satisfied product.

KEYWORDS: *Graphene. Automotive Sector. Multicriteria.*

RESUMEN

Las decisiones multicriterio se basan en escenarios complejos, en los cuales diferentes alternativas permiten ampliar el abanico de opciones para la toma de decisiones. Los criterios adoptados se fundamentan en los Métodos de Análisis Multicriterio (MAM), a partir de los cuales determinados parámetros ejercen mayor o menor impacto decisorio, promoviendo respuestas más satisfactorias. Entre los diversos métodos existentes, el Analytic Hierarchy Process – AHP permite

[1] Escola Politécnica da USP.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

formular cuestiones objetivas, posibilitando que la decisión sea evaluada por ambos agentes involucrados en el proceso de elección. La inserción del grafeno en el sector automotriz potencia este tipo de enfoque, ya que amplía, tanto para el productor como para el consumidor, la posibilidad de alineación de intereses. Para el primero, se amplía la oferta de productos personalizados; para el segundo, se incrementa la posibilidad de adquirir un producto subjetivamente más satisfactorio.

PALABRAS CLAVE: *Grafeno. Sector Automotriz. Multicriterio.*

1. INTRODUÇÃO

O grafeno proporciona a fabricação de uma grande gama de materiais que podem ser utilizados em vários setores. Destacam-se, para o presente artigo, os materiais compósitos, que, por serem objetivos em relação à sua produção e uso, ou seja, feitos sob medida, podem atender setores e/ou áreas específicas, como a automotiva.

Uma aplicação para a qual têm sido feitos estudos avançados, é a redução de atrito de peças, por meio da adição de grafeno ao óleo de motor automotivo, como forma de reduzir o atrito, e, consequentemente, o desgaste. Bordignon (2018), Anandan *et al* (2021) e Raja *et al*., (2025) fazem importantes apontamentos neste sentido, com base em pesquisas desenvolvidas por Berman, Erdemir & Sumant (2014), os quais avançaram na compreensão do uso do grafeno para reduzir a adesão e o atrito de várias superfícies; e também com base nos estudos desenvolvidos por Eswaraiah *et al.,* (2011), que analisaram seu comportamento no óleo de motor automotivo.

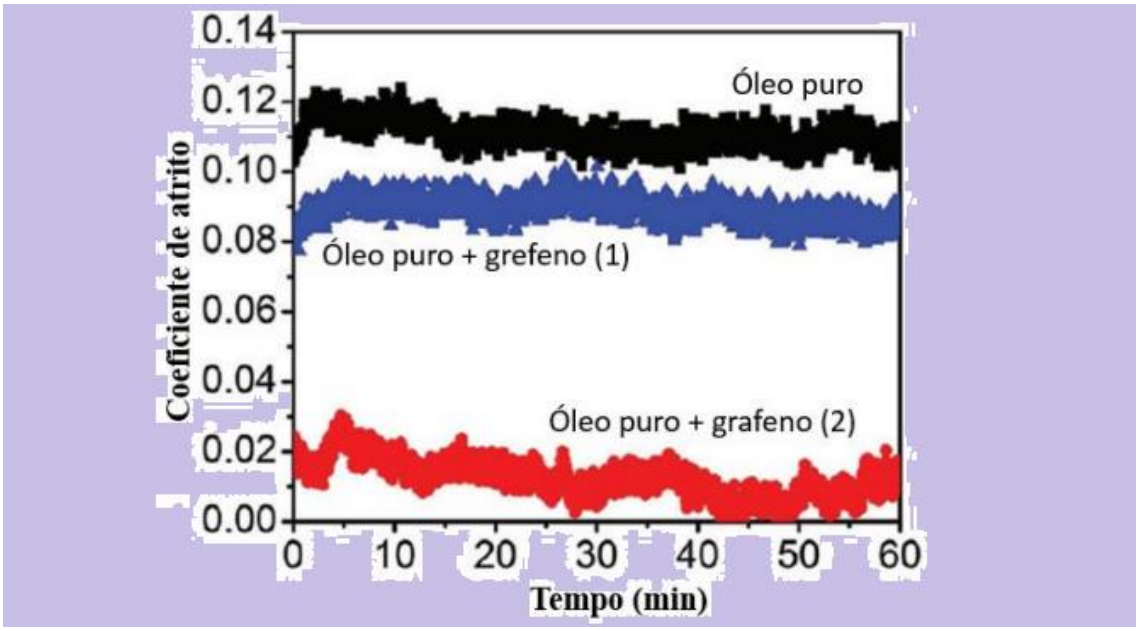
Segundo o autor, as análises em óleo de motor automotivo, com nanopartículas de grafeno, com espessura entre 1 e 2 nm, foram capazes de promover uma redução significativa no atrito entre as peças. O sistema tribológico utilizado está demonstrado abaixo, no esquema adaptado pelo autor das pesquisas de Eswaraiah e sua equipe. Vejamos (Bordignon, 2018, p. 34):

• Tribômetro: Four-ball MMW-1.
• Rotação = 600 rpm; Carga Constante = 392 N; T = 75 °C.
• Corpo: esfera de aço 52100 com diâmetro de 12,7 mm e dureza de 65 HRC.
• Contracorpo: esfera de aço 52100 com diâmetro de 12,7 mm e dureza de 65 HRC.

Tem-se a reprodução, na figura (Figura 1: Coeficiente de atrito em função do tempo, para as dispersões com (1) 0,0125 mg/ml e com (2) 0,025 mg/ml (2) de grafeno, comparadas com o óleo puro), que mostra o gráfico do coeficiente de atrito em função do tempo, para as dispersões de grafeno em óleo e para óleo puro.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Coeficiente de atrito em função do tempo para as dispersões com (1) 0,0125 mg/ml e com (2) 0,025 mg/ml (2) de grafeno comparadas com o óleo puro



Fonte: Bordignon (2018, p. 34).

Um aspecto a ser ressaltado, e que evidencia o potencial do grafeno para a redução do atrito e desgaste, é o fato de que o óleo aditivado com nanopartículas de grafeno com concentração de 0,025 mg/ml apresenta menor coeficiente de atrito (0,02) em relação ao óleo aditivado com 0,0125 mg/ml (0,09) e o óleo puro (0,12).

O autor conclui, a partir dos dados apresentados na pesquisa, que a adição de nanopartículas de grafeno na concentração de 0,025 mg/ml apresenta um coeficiente de atrito 6 vezes menor do que o óleo de motor automotivo puro, o que comprova a eficiências das nanopartículas como lubrificante sólido.

2. PERSPECTIVAS FAVORÁVEIS PARA A TOMADA DE DECISÕES NO SETOR AUTOMOTIVO – O MODELO MULTICRITERIAL

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) atende aos requisitos para atuar no setor automotivo, e promover respostas mais satisfatórias a clientes e fornecedores em geral. Comparações a partir de multicritérios de escolhas avançam, até que se chegue a um modelo final que se encaixe dentro dos parâmetros fornecidos.

Cada item irá carregar um peso de importância no processo de produção, o qual deverá ser pensado também no conjunto, numa relação de causa e efeito, que pode potencializar, de forma exponencial, determinado item, e desvalorizar outro.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Por isto, decisões baseadas em multicritério devem considerar a parte sem, contudo, desconsiderar o todo. Afinal, quando em movimento, o veículo tende a explorar, com maior ou menor intensidade, todas as suas partes.

Por isso mesmo, há que se pensar três aspectos para este projeto de inserção do grafeno no setor automotivo, e seu impacto no processo de produção.

Um primeiro aspecto que deve ser pensado, em relação ao método AHP, é a questão da hierarquia, que deve ser baseada no fato de que peso e significância ganham relevância (Franco; Hernandez; Moraes, 2013; Sousa *et al.*, 2017). Importante ressaltar que esta hierarquia parte da definição de critérios e subcritérios que irão impactar, de forma distinta, no processo de escolha. Podem, inclusive, incorporar critérios externos, que podem agregar peso ao processo, como por exemplo: questões regionais (caminhões que irão percorrer longas distâncias e cruzar Estados), em que caminhões experimentam diferentes climas ou diferentes condições de tráfego, ou tipos/condições de solo.

Ao se basear na hierarquia, por exemplo, na escala relativa desenvolvida por Saaty (1987, 1991), em que os critérios de escolha partem de avaliações de critérios iniciais, e vão sendo adaptados, a partir dos resultados obtidos e da satisfação que promovem, verificar-se-á que o peso de fatores considerados “mais importantes” pode variar para menos, enquanto o peso de fatores “menos importantes” pode variar para mais (Anandan *et al.,* 2025).

Um segundo aspecto é a análise de prioridades. Sousa *et al.,* (2017) ressaltam que, ao serem promovidas comparações, devem ser apontadas prioridades, como forma de se determinar o peso relativo de cada possível escolha, e isto deve ser feito para cada elemento, considerando que, em geral, são analisados cenários complexos.

Desta forma, a comparação irá priorizar certas escolhas, ainda que estas transitem por diferentes escalas de possibilidades, dentro do parâmetro definido na escala relativa de Saaty, que vai de uma avaliação ruim a uma avaliação extremamente favorável, no nível de importância.

É justamente por isto que, ao definir sua escala, o autor a define como relativa, pois, em um universo de possibilidades, a relatividade irá depender do peso, numa perspectiva, ora isolada, ora em conjunto a outros fenômenos de diferentes níveis de relatividade. Assim, ao ingressar num contexto de escolha, muitas vezes os parâmetros trazidos para fundamentá-la podem deixar de ser essenciais, na medida em que novos dados são agregados e mensurados para a produção do resultado final. Justamente por isso, o autor fala na “sintetização das prioridades” (Sousa *et al.*, 2017, p. 97).

O terceiro aspecto a ser considerado é a verificação da consistência. Neste caso, o que entra em jogo é a análise de consistência do julgamento que é feito do resultado final, atribuindo-lhe valor. Em síntese: um veículo que tem o grafeno incorporado em sua conjuntura total (em conjunto ou isoladamente) obterá ganhos relevantes a partir disso.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Para que isto seja efetivamente validado, a consistência parte da verificação de possível inconsistência, ou seja, a busca por possíveis contradições que possam ser identificadas no resultado obtido. Isto se dá a partir da análise de dados envolvidos no processo, que busca validar o grau de coerência das comparações que foram realizadas, para se chegar ao resultado final.

Como forma de se avaliar isto, o autor sugere duas equações. A primeira está demonstrada a seguir, cujo objetivo é calcular a taxa ou razão de consistência:

Tabela 1. Fórmula de cálculo ou razão de consistência (RC)

RC – Razão de consistência	$RC = \frac{IC}{IR}$
IC – Índice de Consistência	
IR – Índice de Consistência Randômico	

Fonte: Adaptado de T. L. Saaty (1977) e R. W. Saaty (1987).

Neste cálculo, segundo o autor: “IR = índice de consistência randômico, obtido para uma matriz recíproca de ordem n, com elementos não negativos, este fator é gerado randomicamente”. (Sousa *et al.*, 2017, p. 93, 94). Vide IR na tabela 2 (Tabela 2. Índice de Consistência Randômica).

Tabela 2. Índice de Consistência Randômica

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: T. L. Saat (1977 *apud* Sousa *et al.*., 2017, p. 94).

Quanto ao índice de consistência, é obtido pela equação abaixo:

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1}$$

Nesta equação $\lambda_{máx}$ correspondente ao maior autovalor (ou vetor normalizado) da matriz de comparações n = número de ordem da matriz.

Assim, como se vê, projetos automotivos a serem desenvolvidos com base na inserção do grafeno no processo de produção estão abertos a uma gama de possibilidades, potencializando a indústria a adotar novos padrões de produção, como também novos níveis de relacionamento com os clientes, que, a partir da satisfação pela aquisição de um produto adequado ao seu estilo e interesses pessoais, fica mais propenso à fidelização.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3. CENÁRIO HIPOTÉTICO DE APLICAÇÃO DO *ANALYTIC HIERARCHY PROCESS* – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Considerando a possibilidade de aplicação do grafeno no setor automobilístico, e a customização do veículo por parte do comprador, propõe-se o desenvolvimento de um cenário hipotético, para o qual se define, como objetivo, a customização de um veículo para trabalho diário com entrega de mercadorias, para o qual alguns critérios foram pré-definidos. Estes critérios, embora possam variar através de uma gama de possibilidades, se submetem às expectativas estabelecidas, considerando algumas necessidades definidas como sendo essenciais, para melhor atender ao objetivo de sua aquisição.

O primeiro critério que se considerar importante é a redução de desgaste dos freios. A razão pela qual se define este, como sendo o primeiro principal critério, é porque o veículo estará em atividade durante todo o dia, enfrentando territórios variados, podendo acessar subidas, descidas. Além disso, ele será conduzido em tráfegos lentos, tráfegos rápidos, sendo muito utilizado o freio, durante estes processos.

Sendo o freio um componente essencial nos veículos, a preocupação é no sentido de aumentar sua vida útil, como forma de obter mais segurança e tranquilidade, durante os trajetos.

Um segundo critério tomado como essencial é o custo, considerando a existência de custos adicionais tais como seguro, revisão, e os próprios custos anuais de licenciamento, IPVA etc. Além disso, o uso excessivo pode gerar despesas secundárias, como serviço mecânico, além da probabilidade de multas.

Finalmente, um terceiro critério importante a considerar, é a redução de consumo de óleo do motor. Isto porque o uso excessivo do veículo acelera o desgaste, reduzindo o tempo de troca do óleo. Assim, considerando que será um carro submetido a um uso diário e longo, julga-se pertinente considerar esta questão.

Inicialmente, não se optaram pela submissão de análise a mais critérios, subcritérios ou alternativas, pelo fato de se tratar de uma experiência hipotética, tomando por base, portanto, o objetivo de apenas testar o funcionamento deste conceito. Evidentemente que, num cenário real, muitas outras possibilidades, tanto de critérios como de alternativas, poderiam ser consideradas.

Definiu-se, para este cenário hipotético, a configuração de duas alternativas, agora definidas como Carro A e Carro B. Sendo o carro A, aquele que apresenta os critérios na mesma hierarquia definidas, e o carro B, com variações, a depender de uma ou mais possibilidades, que podem ser levadas em consideração, na análise conjunta dos critérios.

O primeiro aspecto, para o qual é necessária uma reflexão, é a definição do grau de importância dos critérios, ou seja, onde cada um está situado na cadeia hierárquica. Isto se revela importante, uma vez que determinado critério pode ter um peso negativo, porém ser considerado no conjunto total, pelo fato de ter menos peso decisório. Assim, no exemplo criado, considera-se

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

como critério mais importante “o freio”, afinal, conjuga-se sua importância à segurança e, por outro lado, à preservação do veículo, uma vez que a falha no freio pode ocasionar um acidente, que pode ter proporções leves ou devastadoras.

Portanto, os freios estão classificados na categoria I, em seguida veem, na sequência, o custo, considerando a existência de diversas formas de trabalhar o custo junto à concessionária, tais como a obtenção de um desconto no pagamento à vista, valor diferenciado, a depender da entrada, número de prestações mais acessíveis etc.

Em terceiro lugar, a redução do consumo do óleo de motor. Isto porque considera-se este item como complementar. Além disso, algumas questões podem ser pensadas conjuntamente, as quais irão ter impacto na economia do óleo de motor, como evitar paragens bruscas, ultrapassagens sem redução/aceleração, mas na velocidade normal etc.

É importante salientar que a análise conjunta da relação critérios-alternativas será feita, justamente por conta da compensação que pode haver entre estas duas dimensões, de maneira que, mesmo havendo uma inclinação para a adoção de um resultado – baseado no caráter estritamente técnico de análise – contudo, ele pode ser suplantado por uma escolha em que outro critério e/ou alternativa seja levado em consideração.

Estas considerações foram feitas, baseadas no que é proposto por Sousa *et al*., (2017), ao se falar sobre verificação da consistência. Neste caso, o que entra em jogo é a análise de consistência do julgamento, que é feita do resultado final, atribuindo-lhe valor.

Com isto, todos os itens, independentemente de sua posição na cadeia hierárquica, possuirão valor, e que esse valor pode estar definido na dimensão técnica. Porém, o sujeito, que é quem na verdade validará cada item, pode deslocar um critério, ou uma alternativa, de sua posição primária no processo, tal como abre a possibilidade de variações, a depender de uma ou mais exceções que possam ser levadas em consideração, na análise conjunta dos critérios.

Além disto, como se pode verificar, mesmo aspectos externos, que não foram definidos como critérios ou alternativas, podem impactar numa decisão, e eles podem não aparecer nos momentos iniciais do processo. Estes, classificados como alternativas globais, podem reduzir a condição dos critérios e alternativas iniciais a intermediários, por possuírem um peso que, afinal, se mostra mais relevante para a produção do resultado final de análise.

Embora possa parecer um contrassenso, no entanto, estes itens externos, globais, acabam figurando também como prioridades.

Considerando, então, o objetivo, que é a compra de um veículo para trabalho com entrega de mercadorias, verifica-se como tudo isto deve ser configurado.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3.1. Configuração do cenário hipotético de aplicação do *Analytic Hierarchy Process*

Para configurar todos os dados do cenário hipotético, propõe-se materializar, na prática, as fases propostas por Saaty (1991). Sua síntese é: a decomposição, a classificação e a síntese das prioridades.

Assim, a proposta inicial é mensurar, quantitativamente, os itens anteriormente referenciados, a saber, critérios e alternativas, sendo que o ponto de partida são comparações, a partir das prioridades que recaem sobre cada item. Para tanto, o ponto de partida é a identificação do grau de importância que cada item possui, com base na Escala de Valores, que irá colocar, sob uma sequência linear crescente, o peso de cada item, ou seja, o grau de importância que sobre ele recai, para que seja considerado como mais ou menos prioritário.

A validação inicial de cada item será considerada, portanto, dentro da classificação obtida nesta escala, que é, essencialmente, comparativa, e que varia entre: iguais em importância, importância moderada, mais importante, muito mais importante, extremamente mais importante.

Apresenta-se, abaixo, a tabela 3, que se refere à Escala Fundamental de Saaty (1991). Toma-se, por base, a obra “Método de Análise Hierárquica”, na qual o autor apresenta as etapas do processo AHP. Os dados necessários, para a construção da cadeia hierárquica, definem valores, para os ítens, com o objetivo de classificá-los, e também fornece os critérios para a definição das prioridades em relação a cada item – sendo estas prioridades resultantes das comparações efetuadas entre os vários itens no interior da escala.

Tabela 3. Escala Fundamental de Saaty

VALOR (GRAU DE IMPORTÂNCIA) RECÍPROCA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1 – 1	Iguais em importância	Os dois critérios possuem o mesmo peso de relevância
3 – 1/3	Importância moderada	Um critério tem um peso moderadamente mais importante do que o outro
5 – 1/5	Mais importante	Um critério tem um peso mais importante do que o outro
7 – 1/7	Muito mais importante	Um critério se distancia do outro em relação ao peso de relevância
9 – 1/9	Extremamente mais importante	Dois critérios situam-se em extremos, possuindo pesos diametralmente opostos.
2, 4, 6, 8 Valores recíprocos	Valores intermediários	2 – 1/2 4 – 1/4 6 – 1/6 8 – 1/8

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

É a partir do tratamento que se dá aos critérios, individualmente, ou seja, ao peso inicial ou posterior que cada um recebe, que as alternativas vão surgindo, abrindo uma gama de possibilidades a serem consideradas no resultado final.

Uma vez tendo submetidos os dados prévios a esta tabela, visando definir a importância dos critérios que se consideram os mais importantes para realizar a escolha do veículo, possibilitou-se obter um primeiro resultado, apresentado abaixo:

Figura 2. Julgamento dos critérios para customização do veículo

	VEÍCULO CUSTOMIZADO	
FREIO 7		CUSTO
FREIO 3		CONSUMO DE ÓLEO
CUSTO		3 CONSUMO DE ÓLEO

Fonte: particular, adaptado de Françoso (2022).

A partir do que for evidenciado, após a submissão dos dados à tabela, haverá a possibilidade de efetuar escolhas com maior significado para o sujeito, uma vez que foi submetida a critérios definidos por ele próprio, porém, comparados numa escala de possibilidades que nem sempre é possível fazer, sem este suporte. Até mesmo as possibilidades de margens de erro de cálculo são evidenciadas a partir da submissão dos dados à tabela, uma vez que determinado item considerado de maior ou menor importância pode, após análise, aparecer em nível de equidade em relação a outro avaliado de maneira distinta.

Outra possibilidade, que deve ser pensada, neste processo de cálculo de prioridades, se refere à consistência da decisão, a qual deve ser refletida a partir da inconsistência observada na análise à qual os dados são submetidos. Saaty (1991) refere-se a estas inconsistências como falhas, ou informações baseadas em redundâncias, ou ainda, em vícios de análise. O autor ajuda também, ao fornecer as diretrizes do cálculo do Índice de Consistência (IC), o qual é efetuado a partir da propriedade matemática chamada “transitividade”. Este cálculo é feito a partir de uma fórmula que é aplicada ao resultado, baseadas em suposições “se”, as quais situam os dados qualitativamente uns sobre outros, definindo-os como maiores ≥ ou menores ≤ no grau de importância.

A partir daí, já é possível montar uma matriz de comparação, para a qual convergem todos os dados obtidos, sendo feita a comparação. Isto é o que pretendo fazer a partir de agora, levando, em consideração, o meu objetivo, que é a customização de um veículo para trabalho diário com entrega de mercadorias.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

É necessário ressaltar que, para que seja efetivamente concluída a matriz de comparação, e que seja possível realizar uma comparação coerente, já haja a necessidade de alimentar a matriz com informações baseadas nas decisões prévias sobre os critérios foram definidos. Para isto, foi preciso se terem, já submetidos, todos os critérios à Escala Fundamental de Saaty (*vide* tabela 3).

É necessário aplicar a fórmula: $\frac{n^2 - n}{2}$ para se chegar ao total de comparações, par a par. Nesta fórmula, "n" representa a ordem de matriz, que no caso é 3 por 3, pelo fato de serem 3 itens, distribuídos igualmente na horizontal e vertical. A finalidade de se fazer essa comparação é para situar, ao nível de importância, cada um dos critérios.

A disposição dos dados no interior da tabela, mostra que, na diagonal principal, temos uma constante que é 1 (em vermelho), para equalizar todos os dados consigo mesmos; ou seja, ao se equivalerem, no interior da tabela, todos os itens precisam ter o mesmo valor de importância.

Foi definido uma cor para cada item, como forma de facilitar o entendimento na construção da recíproca.

Tabela 4. Matriz de comparação

VEÍCULO CUSTOMIZADO	O FREIO	O CUSTO	CONSUMO DE ÓLEO
O FREIO	1	7	3
O CUSTO	1/7	1	1/3
CONSUMO DE ÓLEO	1/3	3	1

Fonte: particular, adaptado de Françoso (2022).

Os demais itens referem-se à recíproca, na qual a importância é colocada inversamente. Neste caso faz-se a relação comparativa entre os itens, pelo qual se estabelece o inverso, como se pode ver, inicialmente, no posicionamento vertical, pelo qual são apropriados os dados de relação que estão na horizontal. 1 – 7 – 3 = 1 1/7 1/3. Neste caso lê-se "se o freio é muito mais importante do que custo, então custo é muito menos importante do que freio".

Desta forma, está estabelecida a recíproca qualitativa. E assim sucessivamente.

Para fazer o cálculo das prioridades dos critérios, faz-se necessário transformar esses valores, dando-lhes casas decimais. Em seguida, somam-se os valores das colunas e gera-se

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

uma soma. Como se pode observar, a soma das colunas geraram, respectivamente, 1, 476 – 11,000 – 4,333, conforme tabela 5.

Tabela 5. Matriz de comparação atualizada em casas decimais

VEÍCULO CUSTOMIZADO	O FREIO	O CUSTO	CONSUMO DE ÓLEO
O FREIO	1,000	7,000	3,000
O CUSTO	0,143	1,000	0,333
CONSUMO DE ÓLEO	0,333	3,000	1,000
TOTAL	1,476	11,000	4,333

Fonte: adaptado de Françoso (2022).

Retomando a Saaty (1991), a proposta é que o conjunto de critérios que foi estabelecido e devidamente calculado, como se vê, seja interpretado a partir de um conjunto normalizado de peso, o que potencializa o processo de comparação.

Para normalizar a tabela, deve ser feita a divisão do valor de cada célula da coluna com a soma final. Assim, tomando como exemplo a coluna 1, temos = 1,000 ÷ 1, 476 - 0,143 ÷ 1, 476 - 0,333 ÷ 1, 476 e assim sucessivamente.

Após feita a normalização da matriz, é possível conhecer o vetor de prioridade dos critérios, ao se fazer o cálculo da média dos valores de cada critério (Tabela 6). Desta vez, parte-se para um cálculo não das colunas, mas das linhas das tabelas.

No primeiro caso, tem-se: 0,677 + 0,636 + 0,692 /3 = 0,669 e assim sucessivamente. Pode-se ver os resultados totais na tabela 6.

A partir do que está apresentado, após o resultado de todos os cálculos, obteve-se a classificação dos critérios. O que ficou demonstrado é que o freio tem um peso bem maior, quase 70%, sendo o fator mais relevante para a decisão de compra do veículo, seguido do consumo de óleo, sendo o custo o menos importante. A questão que surge, após feitos todos estes cálculos, é: até que ponto os resultados apresentados são consistentes, e podem servir de parâmetros para uma decisão final?

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 6. Matriz normalizada

VEÍCULO CUSTOMIZADO	O FREIO	O CUSTO	CONSUMO DE ÓLEO	VETOR DE PRIORIDADES
O FREIO	0,677	0,636	0,692	0,668
O CUSTO	0,097	0,091	0,077	0,088
CONSUMO DE ÓLEO	0,226	0,273	0,231	0,243
TOTAL	1,476	11,000	4,333	

Fonte: adaptado de Françoso (2022).

Ao fornecer os parâmetros para o cálculo do peso dos critérios para a tomada de decisão, Saaty (1991) pressupõe a possibilidade de falhas, erros, inconsistência. Assim, para validar mais ainda os resultados e, desta forma, potencializar mais ainda os processos decisórios, ele propõe calcular a "razão de consistência". Este cálculo parte do índice de consistência da matriz criada com os nossos critérios de julgamentos, e, noutro extremo, um índice de consistência de uma matriz aleatória.

Ou seja, a tomada de decisão se torna um processo complexo, minucioso, em busca de um resultado que terá efeito no processo de construção do objeto sob análise, no caso um veículo, o qual será fundamental para o desenvolvimento do projeto final.

Este é apenas um dos impactos do ingresso do grafeno no setor automobilístico, porém, as possibilidades de uso desse material são amplas, prevendo uma transformação nos processos produtivos globais.

CONSIDERAÇÕES

No presente artigo, foram ensaiados os primeiros esforços, no sentido de customizar um veículo específico, a partir da análise de algumas possibilidades, para as quais o grafeno poderia intervir, para mitigar os custos, e, para tanto, foi criado um cenário hipotético, cuja análise foi feita baseada na aplicação do AHP, pelo qual os critérios são submetidos a um conjunto de possibilidades, como forma de mensurar o peso de cada um no conjunto e, desta forma, efetuar escolhas mais acertadas.

O que ficou demonstrado, a partir do exercício de submissão dos critérios à comparação, é que as opções de compra favorecem ao cliente, que a partir de dados concretos de itens particulares do veículo, tem ampliada sua capacidade de escolha, por poder elencar diretrizes que acha mais conveniente aos seus interesses particulares, aliados a fatores inerentes ao emprego que, na prática, dará ao veículo.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Da mesma forma, as montadoras podem articular melhor os custos de fabricação, por acatar as diretrizes dadas pelos clientes, e poder intervir, de forma pontual, nos processos de produção.

As possibilidades de cálculo, e, também, de avaliação destes cálculos, em busca de inconsistências, podem se aprofundar mais ainda, abrindo, de fato, um novo modelo de relacionamento, entre empresas e clientes; não apenas no setor automotivo, mas no setor produtivo como um todo.

REFERÊNCIAS

ANANDAN, V. *et al*. Influence of graphene nanofluid on various environmental factors during turning of M42 steel. **Journal of Manufacturing Processes,** v. 68, Part B, p. 90-103, august 2021. Disponível em: www.elsevier.com/locate/manpro. Acesso em: 31 jan 2026.

AWATE, P. P. *et al*. Graphene/Al6061 nanocomposite selection using TOPSIS and EXPROM2 multi-criteria decision-making methods. **Materials Today: Proceedings,** v. 62, Part 12, p. 6425-6431, 2022. Disponível em: www.elsevier.com/locate/matpr. Acesso em: 27 jan 2026.

AZLAN, K. A. *et al.* Biocomposite Automotive Headrests Design: Concept Generation and Selection Using TRIZ, Bio-inspired Design, AHP, and TOPSIS. **Journal Kejuruteraan**, v. 37, n. 8, p. 3771-3784, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.17576/jkukm-2025-37(8)-10. Acesso em: 30 jan 2026.

BERMAN, D.; ERDEMIR, A.; SUMANT, A. V. Graphene: a new emerging lubricant. **Materials Today**, v. 17, n. 1, p. 31-42, jan. 2014.

BORDIGNON, R. **Desempenho tribológico de grafeno funcionalizado como aditivo em óleo lubrificante de baixa viscosidade**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis, 2018.

DWIVEDI, A. *et al.* A consolidated decision-making framework for nano-additives selection in Battery termal management applications. **Journal of Energy Storage,** v. 59, e106565, march. 2023. Disponível em: www.elsevier.com/locate/est. Acesso em: 28 jan 2026

ESWARAIAH, V. *et al.* Graphene-based engine oil nanofluids for tribological applications. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 3, p. 4221-4227, 2011.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP) no noroeste paulista. *In*: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, Foz do Iguaçu – PR, v. 16, 2013.

FRANÇOZO, R. Tutorial de AHP Analytic Hierarchy Process - 01 Fundamentos e cálculo dos critérios. Youtube, (vídeo 14:46). Online. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=blLjWER742c. Acesso em: 29 jan. 2026.

KHAN, O. *et al*. Advanced multi-criteria optimization for sustainable biofuels: AHP-guided k-means clustering approach. **Energy**, v. 335, e138297, 30 October 2025. Disponível em: www.elsevier.com/locate/energy. Acesso em: 29 jan. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

RAJA, S. *et al*. Optimizing additive manufacturing parameters for graphene-reinforced PETG impeller production: A fuzzy AHP-TOPSIS approach. **Results in Engineering**, v. 24, e103018, December 2024. Disponível em: www.sciencedirect.com/journal/results-in-engineering. Acesso em: 30 jan 2026.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-76, 1987.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. Tradutor: Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1991.

SOUSA, J. V. *et al.* Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso. **Exacta**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2017.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.