

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JESSÉ CANDIDO CARVALHO

**IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DOS AÇOS AVANÇADOS (AHSS) NA CARROCERIA
DE VEÍCULOS UTILITÁRIOS.**

CURITIBA-PR

2023

JESSÉ CANDIDO CARVALHO

**IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DOS AÇOS AVANÇADOS (AHSS) NA
CARROCERIA DE VEÍCULOS UTILITÁRIOS.**

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão da especialização em Engenharia Automotiva, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ravilson Chemin Filho

CURITIBA-PR

2023

DEDICATÓRIA

A Deus, por ser essencial em minha vida, meu guia.

Dedico esta, bem como as demais conquistas de minha vida, a toda minha família, em especial minha esposa Livia que sempre está ao meu lado com paciência partilhando de cada passo em minha jornada e me proporcionando felicidade de dividir sua vida comigo, por todo carinho, dedicação e amor que destina a mim.

Aos meus queridos e eternos mestres professores que foram tão importantes na minha trajetória acadêmica, em especial ao Professor Dr. Ravilson que dedicou tempo e atenção especial na realização deste trabalho.

Enfim, a todos que contribuíram para a conclusão de mais essa etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que abençoou e iluminou o meu caminho para a conclusão deste trabalho.

A todos os professores que, sem dúvida, fazem parte de minha formação como profissional e pessoa, e dedicaram de seu tempo e empenharam esforços, contribuindo assim para o meu enriquecimento científico e cultural ao longo desta especialização.

Em especial ao meu orientador Professor Dr. Ravilson Chemin Filho, pelo apoio, conversas e discussões no processo de elaboração deste projeto, que compartilhou parte de sua sabedoria, conduzindo o trabalho de maneira firme, porém amigável, deixando uma contribuição extremamente importante e positiva nesta fase da minha vida acadêmica.

Aos meus colegas de classe, pelo apoio e incentivo constantes.

RESUMO

A aplicação dos aços avançados de alta resistência (AHSS) em carrocerias de veículos utilitários, visa à redução da massa e emissões de CO₂ desse tipo de veículo e, com isso, melhora sua eficiência, reduzindo o consumo de combustível e aumentando a carga útil. A realização de análises em veículos utilitários leves usados para transporte de carga, como Renault *Master* 2022, fizeram-se necessárias e objetivam identificar as oportunidades para a utilização do AHSS em suas carrocerias, já que normalmente demandam mais quilômetros no uso diário, no qual a maior carga útil resulta em menos veículos nas ruas, o que consequentemente gera uma significativa redução de emissões de poluentes no meio ambiente. Duas linhas de ação foram aplicadas, uma visando a implementação rápida pela indústria evitando o uso de peças estruturais e outra visando a redução máxima de peso da carroceria; assim, foram estimadas as reduções de massa e emissões de CO₂, além da economia de combustível e monetária que se torna uma vantagem competitiva que viabiliza um projeto por parte do fabricante. Os resultados almejados deduzem que o uso do AHSS em carrocerias de veículos utilitários pode trazer benefícios ambientais e econômicos significativos, com reduções de até 30% na massa e emissões de CO₂; bem como, almeja-se que a utilização desse material aumente a vida útil dos veículos e traga melhoras significativas de segurança. Deste modo, é indispensável observar a aplicação do AHSS em carrocerias de veículos utilitários, a qual pode ser uma alternativa viável e sustentável para a indústria automotiva, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a melhoria da eficiência energética, justificando assim o seu custo de produção.

Palavras-chave: Aço Avançado de Alta Resistência; Veículos Utilitários leves; Redução de Massa; Consumo de Combustível; Emissões; Aumento de carga útil.

ABSTRACT

The application of advanced high-strength steels (AHSS) in utility vehicle bodies aims to reduce the mass and CO₂ emissions of this type of vehicle and, therefore, improve its efficiency, reducing fuel consumption and increasing the payload. Carrying out analyzes on light utility vehicles used for cargo transport, such as Renault Master 2022, were necessary and aim to identify opportunities for using AHSS in their bodies, as they usually require more kilometers in use. daily, in which the greater payload results in fewer vehicles on the streets, which consequently generates a significant reduction in pollutant emissions into the environment. Two lines of action were applied, one aimed at rapid implementation by the industry, avoiding the use of structural parts, and another aiming at maximum weight reduction of the bodywork; thus, the reductions in mass and CO₂ emissions were estimated, in addition to the fuel and monetary savings that become a competitive advantage that makes a project viable by the manufacturer. The desired results deduce that the use of AHSS in utility vehicle bodies can bring significant environmental and economic benefits, with reductions of up to 30% in mass and CO₂ emissions; as well as, it is intended that the use of this material increases the useful life of vehicles and brings significant improvements in safety. Thus, it is essential to observe the application of AHSS in utility vehicle bodies, which can be a viable and sustainable alternative for the automotive industry, contributing to the reduction of environmental impacts and to the improvement of energy efficiency, thus justifying its cost. of production.

Keywords: Advanced High Strength Steel; Light Utility Vehicles; Mass Reduction; Fuel consumption; Emissions; Payload increase.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - RELAÇÃO ENTRE DUCTILIDADE E RESISTÊNCIA DE VÁRIAS CATEGORIAS DE AÇOS AMPLAMENTE UTILIZADOS NA ESTRUTURA DOS AUTOMOVEIS

GRÁFICO 2- REDUÇÃO ESPERADA NAS EMISSÕES DE CO₂ COM O USO DE AHSS EM VEÍCULOS UTILITÁRIOS

GRÁFICO 3 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES PARA AS SITUAÇÕES MENCIONADAS

LISTA DE IMAGENS

IMAGEM 1 – CICLO DE VIDA DE UM VEÍCULO

IMAGEM 2 - DIMENSÕES RENAULT MASTER

IMAGEM 3 - GANHO MONETÁRIO PELO AUMENTO DE CARGA ÚTIL

IMAGEM 4 - COMPARATIVO DE CUSTOS E GANHOS DURANTE PERÍODO DE USO

IMAGEM 5 - BENEFÍCIOS COM POSSÍVEL IMPLEMENTO

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PESO E CAPACIDADES DE CARGA RENAULT MASTER

TABELA 2 - EMISSÕES DE CO₂ ESPERADAS COM O USO DE AHSS EM VEÍCULOS UTILITÁRIOS

TABELA 3 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES, REDUÇÃO DE MASSA E ECONOMIA MONETÁRIA PARA SITUAÇÕES MENCIONADAS

TABELA 4 - GANHO ESTIMADO PARA FROTAS

LISTA DE ABREVIATURA OU SIGLAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AHSS - *Advanced High Strength Steels* (Aços avançados de alta resistência)
- AÇO DP – Aço *dual phase* – aço bifásico
- BIW - *Body-In-White* - carroceria
- CNH – Carteira Nacional de Habilitação
- CO₂ - Dióxido de carbono
- CTB – Código de Transito Brasileiro
- ECO92 – Primeira conferência do clima realizada em 1992, Rio de Janeiro – Brasil
- EUA – Estados Unidos da América
- FENABRAVE - Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores
- GEE - Gases do efeito estufa
- GHG – Green House Gases – Gases do efeito estufa
- HSLA - *High Strangth Low Alloy* - Aços de Alta Resistência e Baixa Liga
- HSS - *High Speed Steel* - Aços de alta resistência
- LCA - Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de Veículos
- PBT - Peso Bruto Total
- SINDIPEÇAS - Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores
- UFPR - Universidade Federal do Paraná
- ULSAB - *Ultra Light Steel Auto Body* - Carroceria de aço ultraleve
- UHSS - *Ultra High Strength Stel* - Aço de ultra alta resistência

SUMÁRIO

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 12 |
| | 2.1 Aços Avançados de Alta Resistência | |
| | 2.2 Avaliação do Ciclo de Vida | |
| 3 | METODOLOGIA..... | 20 |
| 4 | RESULTADOS OBTIDOS..... | 20 |
| | 4.1 Redução de Massa | |
| | 4.2 Redução das Emissões | |
| | 4.3 Economia Monetária | |
| | 4.4 Análise de Hipótese | |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 31 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS | 34 |

1 INTRODUÇÃO

Com a conscientização acerca da degradação ambiental causada principalmente pela produção industrial e outros setores como o de transporte, a preocupação em tomar medidas concretas para frear a degradação e danos causados foi materializada pela primeira reunião do clima ocorrida na cidade do Rio de Janeiro em 1992 (ECO92), onde vários países se uniram a fim de encaminhar propostas para reduzir as emissões de gases poluentes e os danos causados por diversas atividades relacionadas ao estilo de vida globalizado que vinha sendo adotado.

Dentre as diversas medidas adotadas, uma em especial, que foi objeto de estudo neste artigo, são as regulamentações para a indústria automobilística onde, recentemente no Brasil, se dá por meio do programa ROTA 2030 - O Programa Rota 2030 Mobilidade e Logística. O ROTA 2030 faz parte da estratégia elaborada pelo Governo Federal para o desenvolvimento do setor automotivo no país, e compreende regramentos de mercado, e é sucessor do Programa Inovar-Auto, encerrado em 31 de dezembro de 2017 - que consiste em diversas ações conjuntas do governo e indústrias a fim de atingir metas de redução de emissão de poluentes da frota nacional e também na produção de veículos de todas as categorias. Com isso, o desafio das montadoras passou a ser a produção de veículos mais eficientes com relação ao consumo energético, onde uma das possibilidades de maior eficácia se concentra na redução de peso dos veículos. Desta forma, o presente estudo foi direcionado aos veículos utilitários, por serem veículos de uso intensivo, ou seja, que geram maior impacto ao ambiental, e que não podem ser dispensados ou reduzidos devido às necessidades relacionadas a atividades logísticas que hoje fazem parte do cotidiano humano e por concentrarem pouca atenção das montadoras quanto a melhorias, especialmente no desenvolvimento das carrocerias utilizadas.

A indústria automobilística é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE), tendo em vista a demanda crescente por veículos no mundo e o aumento da frota de automóveis em circulação. Além disso, a redução da massa dos veículos é um dos principais desafios para a indústria automotiva, uma vez que a massa do veículo afeta diretamente o consumo de combustível e, conseqüentemente, as emissões de GEE.

Nesse contexto, os aços avançados de alta resistência (AHSS) surgiram como uma alternativa promissora para a redução da massa dos veículos. Os AHSS correspondem a uma família de aços que apresentam alta resistência mecânica associada a uma excelente conformabilidade, o que permite a utilização de chapas mais finas em sua fabricação, sem comprometer o processamento da peça e a resistência estrutural da carroceria, além de melhorar os índices de segurança do veículo.

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a aplicação dos AHSS em carrocerias de veículos utilitários, visando a redução da massa e emissões de CO₂. Para isso, foram realizadas análises no veículo Renault Master 2022, com o intuito de identificar as oportunidades para a utilização do AHSS em suas carrocerias e a redução de massa potencial.

Desta forma, dividiu-se o trabalho em seções, para apresentação de um breve histórico e referencial bibliográfico acerca dos materiais utilizados e suas propriedades, após isso, apresentou-se a metodologia para o desenvolvimento da pesquisa e, com isso, os resultados obtidos, conclusões e sugestões para trabalhos futuros que poderão ser realizados com base nisso.

Portanto, espera-se contribuir para a busca de soluções que visem a redução da emissão de gases de efeito estufa provenientes da frota automotiva, a partir da melhor aplicabilidade de materiais mais eficientes e sustentáveis, já existentes e aplicáveis na indústria automotiva, que melhoram de forma significativa a eficiência energética dos veículos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aços Avançados De Alta Resistência

Desde a década de 1950, as indústrias automotivas buscaram materiais mais leves para melhorar a eficiência de combustível, a segurança e a sustentabilidade. Nesse contexto, os AHSS surgiram como uma opção viável, combinando alta resistência à tração com baixo peso. Os AHSS são definidos como aços que apresentam resistência à tração superior a 550 MPa, e existem várias

classes de AHSS, cada uma com propriedades específicas para aplicações automotivas.

A indústria automobilística, na procura de projetos com custos cada vez mais baixos e sem diminuir a segurança dos seus produtos vem exigindo das indústrias siderúrgicas - fornecedoras da matéria prima para a construção da carroceria automotiva, novas ligas de aço que consigam associar as exigências e o contínuo desafio do mercado de aço.

O desenvolvimento de novas ligas para a indústria automotiva é de grande expressão, pois diversos projetos estão em andamento, envolvendo diversos pesquisadores e grandes indústrias siderúrgicas espalhadas nos principais países que dominam essas tecnologias. O grande objetivo deste setor é obter métodos e técnicas de produção industrial com ênfase na descoberta de produtos mais seguros e com peso reduzido de acordo com Andrade et. al. (2002).

De acordo com Gonçalves (2022), os AHSS são considerados um dos materiais mais promissores para a indústria automotiva, pois proporcionam redução de peso e melhorias no desempenho do veículo. Os AHSS são utilizados em várias partes do carro, incluindo o chassi, a carroceria, o painel frontal e as portas.

No entanto, o uso de AHSS também apresenta alguns desafios. Por serem materiais mais duros, são mais difíceis de serem trabalhados, exigindo mais energia e, conseqüentemente, gerando mais emissões de gases de efeito estufa (GEE). Além disso, a soldagem de AHSS pode ser um processo complexo e crítico, afetando a qualidade do produto final (Perka et al., 2022).

Uma das maneiras pelas quais os fabricantes de automóveis buscam reduzir as emissões de GEE é através da utilização de materiais mais leves, como os AHSS. De acordo com Das (2016), a redução de peso de um veículo em 10% pode reduzir as emissões de CO₂ em valores entre 6-8%. Lewis et al. (2014) também apontou que a utilização de AHSS pode reduzir as emissões de GEE em comparação com a eletrificação do veículo, já que a fabricação de baterias para veículos elétricos é intensiva em energia.

A *Porsche Engineering Services, Inc.*, Troy, Michigan, EUA lidera um grupo de diversas companhias siderúrgicas de dezoito diferentes países nomeado *Ultra Light Steel Auto Body* – ULSAB. Um dos objetivos deste consórcio foi o desenvolvimento de ligas metálicas que proporcionem veículos seguros, baixo custo de fabricação, consumo de combustível reduzido, proporcionado por uma redução

na massa dos veículos e com responsabilidade ambiental. O desenvolvimento oriundo dessa grande iniciativa foi à introdução dos aços de alta resistência – HSS (*High Strength Steel*) nas estruturas dos automóveis, destacando-se entre esses os aços *Bake-Hardening* - BH e os Aços de Alta Resistência e Baixa Liga – HSLA (*High Strength Low Alloy*) (WORLD AUTO STEEL, 2019).

De acordo com Andrade et. al. (2000) o USLAB foi avaliado satisfatoriamente em relação aos objetivos almejados principalmente no que se refere à segurança e redução no consumo de combustível.

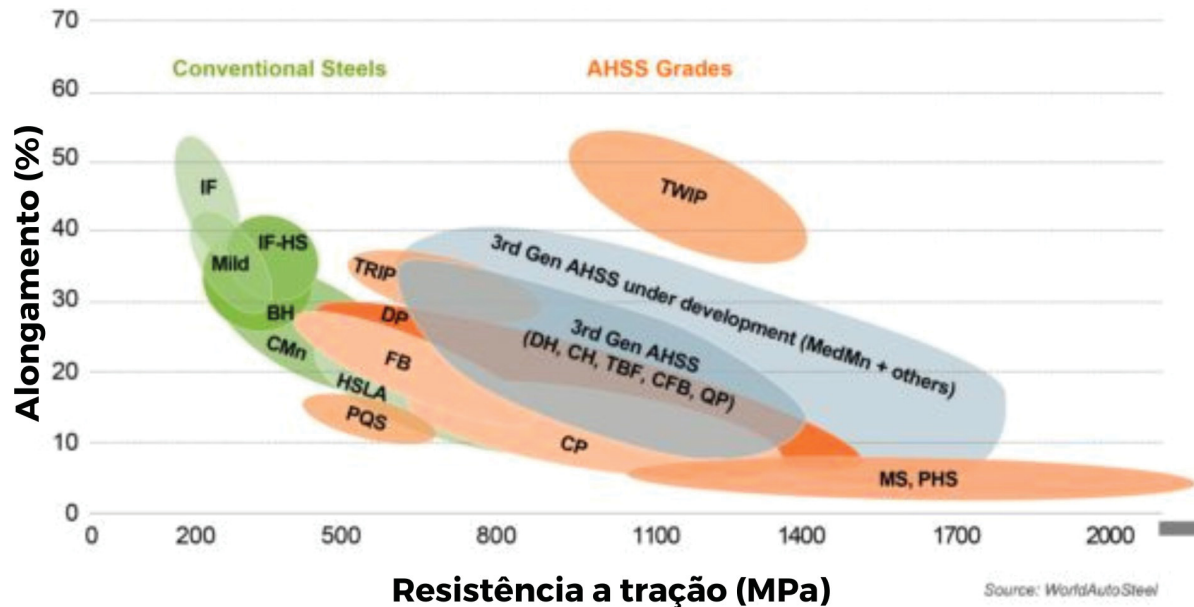
Abeyrathna et. al. (2015) afirmou que os aços AHSS e os UHSS cada vez mais estão sendo usados na indústria automotiva em componentes de geometrias complexas. No processo de fabricação destes aços são formadas bobinas para um armazenamento mais eficiente e após este processo foi realizado o tratamento térmico de acordo com as especificações do cliente final. Nestes processos de fabricação o material destas bobinas pode ter formações heterogêneas na sua estrutura em um mesmo rolo, esse problema de formação pode causar alterações de conformabilidade no produto. Por isso é importante que se realize estudos experimentais para entender o comportamento das diversas ligas de aços de alta resistência que existem na indústria automotiva.

Schmid et. al. (2019^a) usou as ligas de aço DC 04 e DP 800 e uma liga de alumínio AA6014, todos com espessura de um milímetro e amplamente usados na indústria automotiva em diferentes componentes. Em seus estudos sobre o comportamento de falhas que possam ocorrer em chapas metálicas de diferentes características químicas e mecânicas no processo de embutimento após e antes de passar pelos antirrugas ou *drawbead*.

Ke et. al. (2018^a) utilizou as ligas de aço DC 03 e 04 e em especial WDQ com 0,6 mm de espessura e realizou testes experimentais para analisar o fenômeno que ocorre quando o material flui através das inserções dos componentes da ferramenta de estampagem. Em ensaios realizados as tensões limites dos materiais estão acima da curva limite de conformação indicando fratura em teoria, enquanto é seguro na prática, esta viola o padrão da curva de limite de conformação. Este é um fenômeno que reafirma a importância de pesquisas para o entendimento do comportamento das várias famílias de aços de alta resistência utilizados na indústria de estampagem.

GRÁFICO 1 - RELAÇÃO ENTRE DUCTILIDADE E RESISTÊNCIA DE VÁRIAS CATEGORIAS DE AÇOS AMPLAMENTE UTILIZADOS NA ESTRUTURA DOS AUTOMÓVEIS

Autor: World Auto Steel (2014)



No GRÁFICO 1 foi realizada uma comparação da família de aços de alta resistência aplicados na carroceria dos automóveis e permite confrontar as características do limite de escoamento e ductilidade destes tipos de aços aplicados na indústria automotiva. O aumento do nível de resistência mecânica do produto leva quase inevitavelmente à redução de seu alongamento total, ou seja, de sua estampabilidade. Contudo, o uso de microestruturas adequadas permite minimizar a perda de ductilidade sob maiores níveis de resistência mecânica, (SCHRÖDER, 2004).

As características mecânicas das diversas ligas de aços da nova família, usadas na indústria automotiva é uma variável de processo e tem influência direta no processo de produção por conformação mecânica. Por este motivo é importante o desenvolvimento de pesquisa para entender o comportamento e o fluxo do material na estampagem de peças de toda a carroceria dos diversos modelos fabricados nas diversas indústrias automotivas espalhadas pelo mundo.

(Luk et. al.,2018) materiais leves estão sendo cada vez mais usados (Davis et al., 2014) para melhorar a economia de combustível do veículo e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) do ciclo do combustível (produção e uso).

No entanto, a produção de materiais leves geralmente é mais intensiva em GEE do que a produção de materiais convencionais, o que leva a emissões mais altas do ciclo (produção) do veículo. Portanto, como Kirchain et al. (2017) explicam, o ciclo de vida completo precisa ser considerado para avaliar os benefícios de emissão de GEE do peso leve do veículo.

A utilização do aço avançado de alta resistência (AHSS) em carrocerias de veículos utilitários pode trazer diversas melhorias, tanto em termos de desempenho quanto em relação ao impacto ambiental.

Em termos de desempenho, a utilização do AHSS foi capaz de reduzir significativamente a massa dos veículos, o que resulta em maior eficiência energética e menor consumo de combustível. Além disso, o AHSS pode melhorar ainda mais a resistência e a rigidez da carroceria, o que aumenta a segurança dos ocupantes em caso de colisões.

Já em relação ao impacto ambiental, o uso do AHSS pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa, uma vez que a redução de massa do veículo resulta em menor consumo de combustível e, conseqüentemente, em menores emissões de CO₂. Desta forma, a utilização do AHSS pode ser capaz de prolongar a vida útil dos veículos, reduzindo a necessidade de substituição e, conseqüentemente, o impacto ambiental da produção de novos veículos.

Portanto, é possível afirmar que a utilização do AHSS em carrocerias de veículos utilitários possui potencial para trazer diversas melhorias em termos de desempenho e impacto ambiental, contribuindo para a sustentabilidade do setor automotivo.

2.2 Avaliação Do Ciclo De Vida

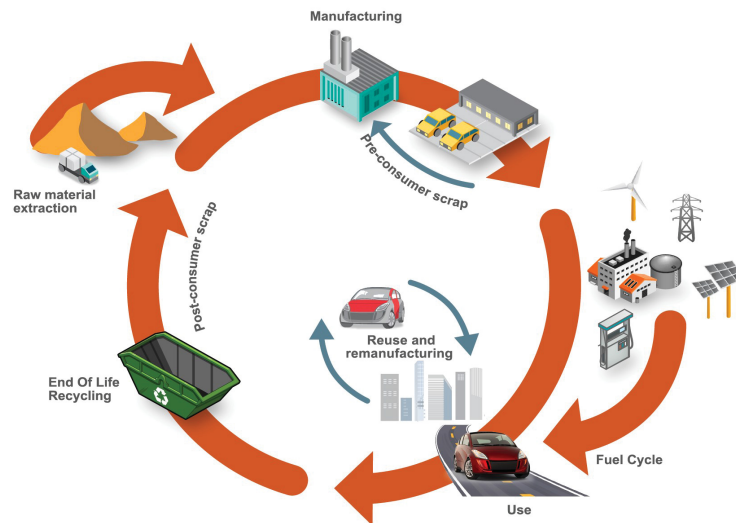
Atualmente a indústria utiliza o LCA – *Life Cycle Assessment of Vehicle Emissions* (Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de Veículos), que engloba todas as emissões de poluentes desde a extração da matéria prima para produção do veículo e serve como benchmark para o levantamento de emissões de poluentes durante todo o ciclo de uso de determinado material, sendo um método de avaliação do impacto ambiental das emissões de gases do efeito estufa e poluentes atmosféricos gerados considerando-se todas as etapas do ciclo de vida do material, da extração até a reciclagem quando for o caso. Para ilustrar temos a imagem 1 a seguir que evidenciou o que faz parte do cálculo do LCA.

Embora a utilização de AHSS tenha muitos benefícios, como a redução de peso e a melhoria da eficiência do combustível, a sua produção pode ter um impacto ambiental significativo. Um estudo de Gonçalves (2022) analisou o ciclo de vida de materiais leves para a indústria automotiva e destacou a importância da avaliação do ciclo de vida na escolha de materiais leves. O estudo concluiu que a utilização de AHSS pode reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa, mas é importante considerar todo o ciclo de vida dos materiais para uma avaliação precisa.

De acordo com Gonçalves et. al. (2022) a maior parte das emissões de poluentes durante LCA do veículo se dá na fase de uso correspondendo de 84% a 91% das emissões de um veículo e a redução de consumo de combustível pode ser na ordem de 23% na fase de uso quando usados materiais leves como AHSS, Alumínio e Magnésio para a produção dos chassis e *body-in-white* (BIW) etapa do processo onde todas as chapas estão soldadas na carroceria do veículo, mostrando assim que determinados materiais podem ser vantajosos mesmo emitindo mais GEE na etapa de produção. Pois, na fase de uso geram maior eficiência do projeto como um todo dentro do LCA.

Além disso, um estudo de Das (2016) analisou o impacto do uso de AHSS no consumo de energia e nas emissões de gases de efeito estufa em veículos leves nos Estados Unidos da América (EUA). O estudo concluiu que a utilização de AHSS pode reduzir significativamente o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa em comparação com veículos mais pesados e menos eficientes.

Figura 1 – Ciclo de vida de um veículo



Fonte: Steel E-motive - World Steel Association

O LCA é uma ferramenta importante para entender o impacto ambiental dos veículos, pois considera todo o ciclo de vida do produto, incluindo a produção, uso e descarte. Isso permite que sejam identificadas as fontes de emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos em todo o ciclo de vida do veículo e, assim, sejam tomadas medidas para reduzir seu impacto ambiental.

Sendo realizado por meio de uma análise sistemática que inclui a coleta de dados sobre a fabricação do veículo, o combustível utilizado, as emissões durante a condução e o descarte final. Esses dados são então analisados para avaliar o impacto ambiental das emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos em todo o ciclo de vida do veículo.

Os resultados do LCA podem ser utilizados para orientar a tomada de decisões e a elaboração de políticas públicas que visem reduzir o impacto ambiental dos veículos. Além disso, pode ser usado para comparar diferentes tipos de veículos e combustíveis e identificar as opções mais sustentáveis.

Em resumo, o LCA de emissões de veículos é uma importante ferramenta de análise que permite a avaliação do impacto ambiental dos veículos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Isso pode ajudar a orientar a tomada de decisões e a elaboração de políticas públicas que visem reduzir o impacto ambiental dos veículos e promover o desenvolvimento sustentável.

Um estudo de Monte Carlo realizado por Luk et. al. (2018) avaliou os benefícios das reduções de peso com diferentes materiais, incluindo AHSS. Os resultados mostraram que a utilização de AHSS pode reduzir as emissões de GEE em 3,8 a 5,6 toneladas de CO₂ equivalente em comparação com um carro de referência de tamanho e desempenho semelhantes.

A soldagem de AHSS também é um desafio importante a ser superado. Rajarajan et al. (2022) destacam que, embora a soldagem por pontos seja amplamente utilizada na fabricação de carrocerias de veículos, a soldagem de AHSS apresenta dificuldades devido à sua maior dureza e baixa condutividade térmica. A utilização de técnicas avançadas de soldagem, como a soldagem a laser, pode ajudar a superar esses desafios.

A utilização de AHSS na indústria automotiva é uma tendência crescente, devido à necessidade de reduzir o peso dos veículos e melhorar a eficiência do combustível. No entanto, existem desafios importantes relacionados à sua utilização. Um dos principais desafios é a soldagem de AHSS, que requer técnicas especiais devido à sua composição e propriedades.

Em um estudo sobre o uso de AHSS na indústria automotiva, Perka et al. (2022) mostraram a importância dos processos de soldagem de AHSS e discutem as técnicas de soldagem a arco e laser utilizadas na indústria. Além disso, o estudo destaca a necessidade de considerar as propriedades dos materiais ao projetar processos de soldagem para AHSS.

Outro estudo sobre AHSS, de Kuziak et al. (2008), destaca a importância do desenvolvimento de AHSS para a indústria automotiva. O estudo discute as diferentes classes de AHSS, suas propriedades e suas aplicações em componentes automotivos. O estudo também destaca a importância da soldagem e do processamento de AHSS para a produção de componentes automotivos.

Em termos de aplicações práticas, a Renault do Brasil está usando AHSS em seus veículos, como a Duster Oroch 2022 e a Master 2022 (Renault do Brasil, 2022a; Renault do Brasil, 2022b). Esses veículos usam AHSS em componentes estruturais para reduzir o peso e melhorar a eficiência do combustível.

Sendo assim, há muitos benefícios na utilização do AHSS em larga escala na fabricação de veículos, como redução de massa consequente redução de emissões e consumo de combustível, dentre outros. Também há desafios relacionados a soldagem e processamento de peças em AHSS em razão de sua

dureza e baixa condutividade que necessitam ser mais desenvolvidas para seu uso em larga escala pela indústria; assim, há necessidade de maiores estudos para desenvolvimento de técnicas mais avançadas e baratas para produção.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado por meio de revisão bibliográfica e análise técnica de dados, com o objetivo de avaliar a aplicação do aço avançado de alta resistência (AHSS) em carrocerias de veículos utilitários e a sua relação com a redução de massa e emissões de CO₂.

Foram realizadas análises principalmente no veículo Renault Master 2022 e comparado com os mesmos modelos em versões anteriores, a fim de identificar as oportunidades para a utilização do AHSS em sua carroceria e o potencial de redução de massa. Ainda, foram calculadas as possíveis reduções de massa e emissões de CO₂, além da economia de combustível e monetária.

A pesquisa foi realizada com base em fontes secundárias, como artigos científicos, livros e documentos técnicos, além de informações disponibilizadas por fabricantes e empresas do setor automotivo. A revisão bibliográfica foi fundamental para embasar a análise técnica de dados e a construção dos resultados esperados.

Logo, as fontes utilizadas foram selecionadas com base em critérios de relevância e atualidade, buscando sempre as mais recentes e confiáveis no assunto; bem como, as informações obtidas foram analisadas e interpretadas com rigor científico, visando a construção de um estudo consistente e confiável.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Conforme dados levantados e parâmetros testados, foram atingidos resultados que fundamentam e demonstram a eficiência e potencial no uso de AHSS na carroceria de veículos utilitários e ainda justificam seu custo de produção, bem como, favorecem o desenvolvimento de mais pesquisas relacionadas.

4.1 Redução De Massa

O uso de AHSS na carroceria de um veículo tem a capacidade de resultar em uma diminuição significativa de massa em comparação a um veículo comum construído com aço convencional. Essa redução de massa é passível de ser alcançada devido às propriedades mecânicas superiores do AHSS, que permite a utilização de espessuras mais finas de material sem comprometer a resistência estrutural.

Estudos e pesquisas na indústria automotiva mostraram que a utilização de AHSS na carroceria de um veículo pode resultar em uma redução de massa significativa no projeto, geralmente entre 20% e 30% em comparação com o uso de aço convencional para uma mesma carroceria (Fonte: SAE *International*, "*Advanced High-Strength Steels Application Guidelines*," 2018). Essa redução de massa tem várias vantagens, incluindo: a) eficiência de combustível melhorada: Um veículo mais leve requer menos energia para se mover, resultando em um consumo de combustível mais eficiente (Fonte: *WorldAutoSteel*, "*Advanced High-Strength Steels for Sustainable Mobility*," 2020); e b) emissões de poluentes reduzidas: Com um veículo mais leve e mais eficiente em termos de combustível, a quantidade de emissões de gases do escapamento pode ser reduzida, ajudando a mitigar os impactos ambientais (Fonte: *The Steel Market Development Institute*, "*The Environmental Benefits of Advanced High-Strength Steels*," 2019).

Logo, é importante ressaltar que os resultados específicos podem variar dependendo do projeto e da aplicação do AHSS, bem como das tecnologias e técnicas de fabricação utilizadas. Além disso, outros fatores, como a aerodinâmica do veículo e o trem de força, também podem influenciar a eficiência de combustível e as emissões.

4.2 Redução Das Emissões

Os resultados esperados para a utilização em larga escala do AHSS em carrocerias de veículos utilitários incluem a redução de emissões de CO₂, que é uma preocupação importante em relação à sustentabilidade ambiental. De acordo com Gonçalves (2022), a redução de peso nos veículos por meio de materiais leves pode trazer benefícios significativos em relação à emissão de gases de efeito estufa, com

a possibilidade de redução de até 30% nas emissões podendo chegar a 5,6 toneladas de CO₂ equivalente em comparação com um carro de referência de tamanho e desempenho semelhantes em seu LCA, conforme citado anteriormente.

Czerwinski (2021) também apontou que o uso de materiais leves, incluindo o AHSS, tem a capacidade de contribuir para a redução das emissões de CO₂ na indústria automotiva. Estudos de Monte Carlo probabilísticos mostram que a adoção de materiais leves pode resultar em uma redução significativa das emissões de CO₂ em comparação com veículos mais pesados (Vários autores, 2018).

Das (2016) realizou uma análise do uso de materiais leves em veículos leves nos EUA e descobriu que a redução de peso por meio de materiais leves pode levar a uma redução significativa no consumo de combustível e nas emissões de CO₂. Além disso, a substituição de materiais convencionais por materiais leves é capaz de ter um impacto significativo no meio ambiente ao longo do ciclo de vida do veículo (Lewis et al., 2014).

Para ilustrar esses resultados, foram criados gráficos e tabelas que demonstraram a redução de emissões de CO₂ esperada com o uso de AHSS em carrocerias de veículos utilitários. Os gráficos mostraram uma redução significativa nas emissões de CO₂ em relação a uma base de linha de referência sem uso de AHSS (Vários autores, 2018).

As análises realizadas demonstraram que o uso de AHSS em carrocerias de veículos utilitários possui capacidade de trazer benefícios significativos em relação à redução de emissões de CO₂. A adoção de materiais leves, incluindo o AHSS, podem contribuir para a melhoria da eficiência energética e a redução dos impactos ambientais da indústria automotiva.

4.3 Economia Monetária

Visando a economia monetária que pode ser atingida com uso de aços avançados em todo o projeto do veículo conforme a hipótese testada, houve um aumento de cerca de 21% da carga útil, quantidade de quilos transportados de mercadoria em um veículo. Na hipótese desenvolvida, utilizando informações de fontes da indústria para atingir valores estimados de peso dos módulos do veículo foi obtido um ganho de carga útil e uma economia de combustível de mais de 6%. Isso mostra o potencial de ganhos com o uso de um material já familiar a indústria e que

não necessita de grandes adaptações para produção haja vista sua conformabilidade e ganhos em segurança para os projetos.

Desta forma, é possível ainda usar o novo projeto como vantagem competitiva com relação aos outros veículos disponíveis por entregar mais segurança e carga útil, ponto muito relevante para os clientes destes tipos de veículos que muitas vezes são empresas de logística.

Logo, se esta solução for utilizada em larga escala pelos fabricantes de veículos, gerará mais carga útil e conseqüentemente resultará na diminuição de veículos nas ruas para transportar a mesma quantidade de carga, bem como, ocasionará eficiência para o cliente final e potenciais reduções no trânsito nos grandes centros.

4.4 Análise De Hipótese

Com base nas pesquisas e dados fornecidos por profissionais da indústria, alguns deles com caráter restrito, não possibilitando a exposição em sua totalidade, foram obtidos resultados muito satisfatórios – o veículo utilizado como base para o estudo foi a versão L3H2 da van Renault Master por ser a variação mais versátil do modelo. Este foi escolhido por ser o mais vendido entre as vans comercializadas no Brasil conforme levantamento do acumulado entre janeiro e junho de 2023 feito pela FENABRAVE e através das análises foi possível desenvolver uma hipótese onde foram calculados os benefícios do uso do AHSS em todo o veículo exceto módulo do propulsor e câmbio.

O levantamento de dados possibilitou estimar o peso da carroceria do veículo que quando retirado o módulo de propulsor e transmissão corresponde a cerca de 86% do peso total do veículo.

Assim, ao consultar o manual do fabricante do veículo Renault Master 2022, foi possível a obtenção de valores para confirmar a hipótese, ou seja, atingir os novos valores de massa da carroceria, carga útil, peso limite de acordo com a legislação e outras análises. Conseqüentemente, o cálculo foi realizado da seguinte forma:

Massa original da carroceria - MOC

$$\text{MOC} = \text{massa} \times 0,86$$

$$\text{MOC} = 2125 \times 0,86$$

$$\text{MOC} = 1827,5 \text{ Kg}$$

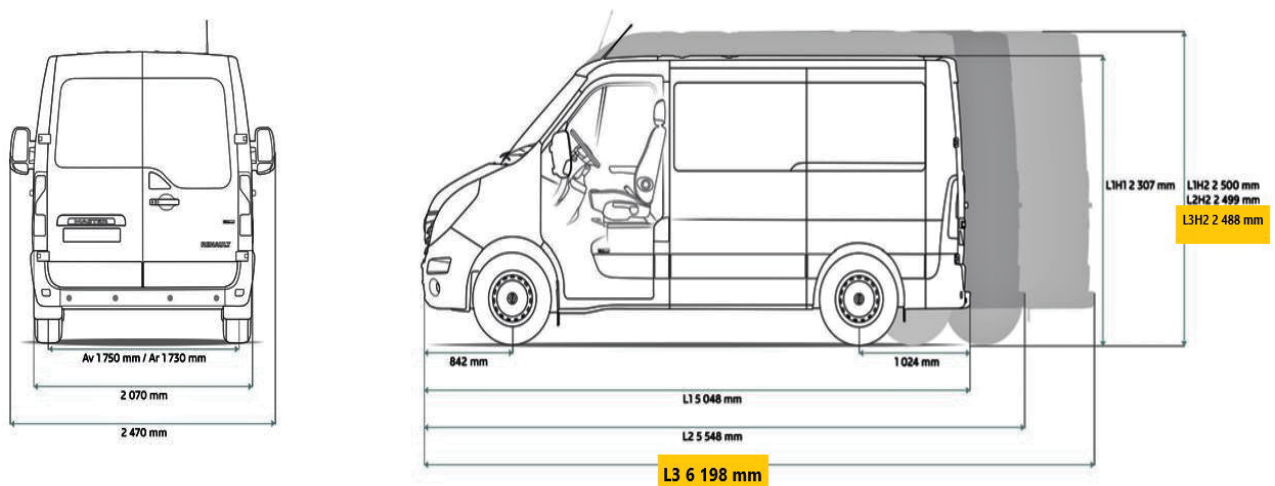
Peso estimado do módulo motor e transmissão

$$\text{Peso motor/transmissão} = \text{MOC} - \text{Massa do veículo}$$

$$\text{Peso motor/transmissão} = 1827,5 - 2125$$

$$\text{Peso motor/transmissão} = 297,5 \text{ Kg}$$

Figura 2 – DIMENSÕES RENAULT MASTER



Fonte: Manual do Fabricante - Renault Master

Nova massa da carroceria - NMC

$$\text{NMC} = (\text{MOC} \times 0,75^*) \times 0,86$$

$$\text{NMC} = (1827,5 \times 0,75) \times 0,86$$

$$\text{NMC} = 1370,63 \text{ Kg}$$

*considerando nova massa sendo 75% da massa original

O incremento de massa no veículo foi considerado 25% pois a Renault Master atualmente já utiliza peças em sua estrutura fabricadas em AHSS, por isso o valor considerado foi menor que o possível de ganho de 30% já mencionado.

Após o cálculo da nova massa da carroceria do veículo foi necessário que fosse estipulado o valor do peso do veículo, haja vista os limites de peso máximo do veículo impostos pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), assim, temos que o novo peso consiste na soma do peso da carroceria com o módulo propulsor e transmissão:

Novo peso do veículo

$$\begin{aligned}\text{Novo peso do veículo} &= \text{NMC} + 297,5 \\ \text{Novo peso do veículo} &= 1370,63 + 297,5 \\ \text{Novo peso do veículo} &= \sim 1669 \text{ Kg}\end{aligned}$$

De acordo com o artigo 143 do CTB, o qual define as regras para cada categoria da Carteira Nacional de Habilitação – CNH, para que o motorista com habilitação categoria B possa conduzir um veículo este não pode exceder o peso máximo de 3500 Kg de PBT (Peso Bruto Total). Com isso, os fabricantes desenvolvem seus veículos para que não ultrapassem esse valor máximo contando o peso do veículo mais sua carga útil, assim, o cálculo da carga útil é feito da seguinte forma:

Nova carga útil - NCU

$$\begin{aligned}\text{NCU} &= 3500 - \text{Peso do veículo} \\ \text{NCU} &= 3500 - 1669 \\ \text{NCU} &= 1831 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Com esses valores calculados, foi possível realizar a comparação entre o veículo original e o veículo com uso de AHSS em toda a sua carroceria, respeitando os dados levantados ao longo das pesquisas. Isso gerou resultados muito satisfatórios, conforme é possível notar na tabela a seguir, onde são demonstrados

os valores originais, obtidos no manual do fabricante e novos valores baseados nos dados coletados nas pesquisas.

TABELA 1 – PESO E CAPACIDADES DE CARGA RENAULT MASTER

| Renault Master (L3H2) | Kg |
|-------------------------------|--------------------|
| Peso original | 2.125 |
| Carga útil | 1.375 |
| PBT | 3500 |
| <i>Novo Peso</i> | <i>1669</i> |
| <i>Nova Carga Útil</i> | <i>1831</i> |
| Implemento de carga | 456 |

Fonte: Próprio autor

Conforme o estudo realizado, foi possível também chegar a uma estimativa de redução de consumo de combustível e emissões de poluentes, além de uma melhora projetada de eficiência do propulsor em razão da redução de massa. Além disso, o aumento de carga útil do veículo é um ponto ainda mais importante para o comprador, principalmente clientes possuidores de frotas. Esses implementos representam custos menores e, conseqüentemente, um *payback* (retorno sobre o investimento) mais rápido se comparado aos veículos concorrentes.

Assim sendo, a hipótese explorada constata o quão benéfico é o desenvolvimento de produtos com maior uso de aços avançados e como obter expertise sobre esses materiais é uma vantagem em relação aos concorrentes.

• **Melhorias projetada com uso do AHSS no BIW:**

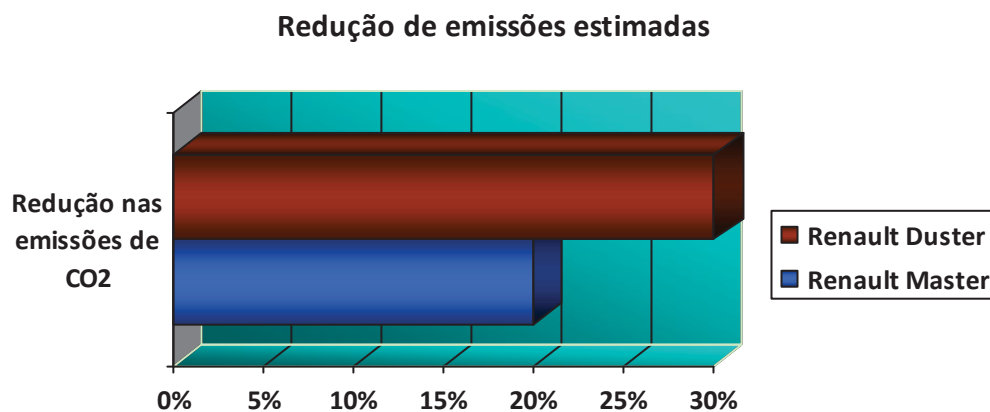
Redução de emissões e massa: foi projetada uma redução de emissões em cerca 30%; já a redução de massa foi projetada em 21% conforme os cálculos realizados quando comparados o veículo atualmente comercializado e o projeto com carroceria explorando o máximo os AHSS.

TABELA 2 - EMISSÕES DE CO₂ ESPERADAS COM O USO DE AHSS EM VEÍCULOS UTILITÁRIOS

| Tipo de veículo | Redução esperada nas emissões de CO ₂ |
|-----------------|--|
| Renault Master | 30% |

Fonte: Vários autores (2018)

GRÁFICO 2- REDUÇÃO ESPERADA NAS EMISSÕES DE CO₂ COM O USO DE AHSS EM VEÍCULOS UTILITÁRIOS



Fonte: Próprio autor

Economia monetária: ganho monetário na ordem de 33% em comparação com a situação sem uso de AHSS conforme os dados apurados.

A seguir, apresentam-se tabela e gráfico que ilustram esses resultados.

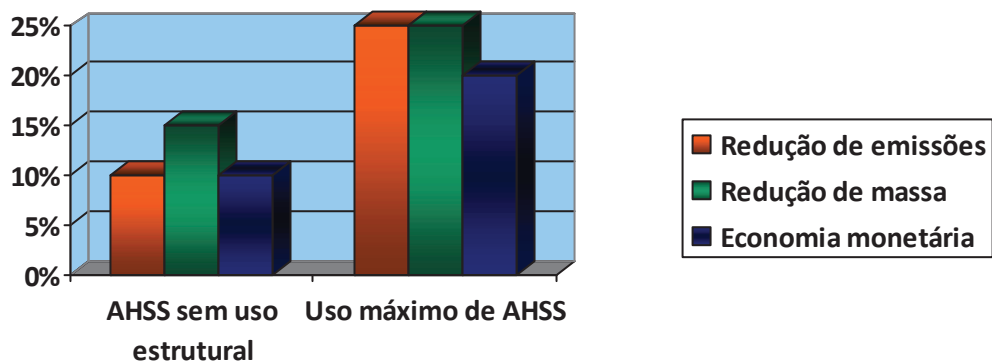
TABELA 3 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES, REDUÇÃO DE MASSA E ECONOMIA MONETÁRIA PARA SITUAÇÕES MENCIONADAS:

| | AHSS sem uso estrutural | Uso máximo de AHSS |
|---------------------|-------------------------|--------------------|
| Redução de emissões | 10-15% | 25-30% |
| Redução de massa | 15-20% | 21% |
| Economia monetária | 10-15% | 33% |

Fonte: Próprio autor

GRÁFICO 3 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES PARA AS SITUAÇÕES MENCIONADAS:

Reduções estimadas

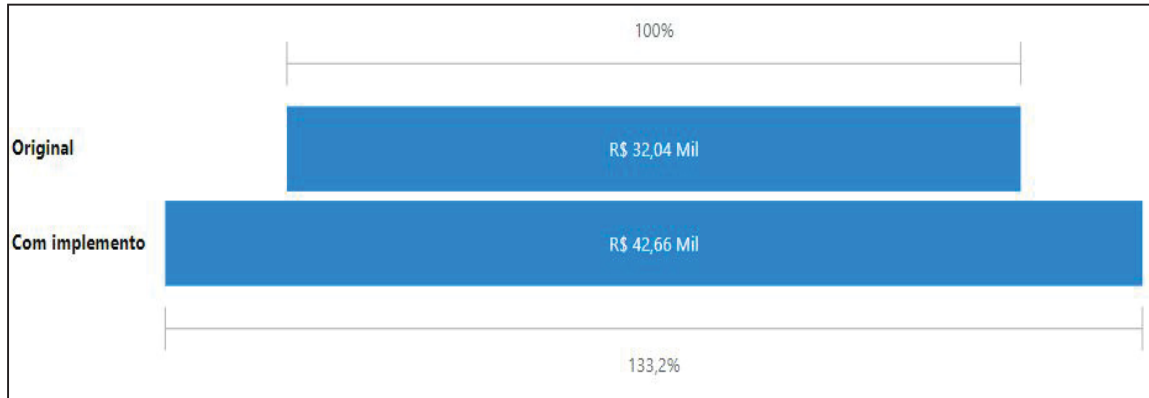


Fonte: Próprio autor

Após a análise realizada com dados levantados, foi obtido um aumento de cerca 33% na capacidade de carga útil do veículo, correspondendo a um acréscimo de 456 Kg na carga paga do veículo. Ao calcular o preço médio por quilo de carga transportada, foi obtido o valor de R\$23,30/Kg, que é referente ao mês de julho de 2023. Com isso, o ganho monetário para o proprietário totalizou o importe de R\$10.624,80(dez mil, seiscentos e vinte e quatro reais e oitenta centavos) por carga completa do veículo.

Logo, a maior carga útil disponível para transporte, quando comparado o veículo atualmente comercializado, é um dos maiores atrativos para o consumidor final.

Figura 3 - GANHO MONETÁRIO PELO AUMENTO DE CARGA UTIL



Fonte: Próprio autor

Ainda, considerando a maior parte das vendas da Renault Master ser efetuada para clientes de frota, o ganho foi ainda mais relevante, uma vez que o veículo modernizado possuiria 1/3 a mais de capacidade de carga para transporte e, com uma frota menor transportando a mesma quantidade de carga, os custos de manutenção seriam reduzidos. Isso, facilitaria a manutenção preventiva e preditiva dos veículos, que conseqüentemente melhora os índices de poluição dos mesmos, ao considerar a idade média da frota brasileira que é de 10 anos e 9 meses.

Segundo o último estudo realizado pelo Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças) em 2023, notou-se a importância dos veículos bem conservados, pois o veículo com mais tempo de uso gera mais emissões.

Nessa linha, é justo e necessário vislumbrar os ganhos estimados para as frotas na tabela abaixo:

TABELA 4 - GANHO ESTIMADO PARA FROTAS

| <i>Qtd Veiculos</i> | <i>Carga Útil Original</i> | <i>Carga Útil AHSS</i> | <i>Diferença de valores</i> |
|---------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1 | R\$ 32.037,5 | R\$ 42.662,3 | R\$ 10.624,8 |
| 10 | R\$ 320.375 | R\$ 426.623 | R\$ 106.248 |
| 50 | R\$ 1.601.875 | R\$ 2.133.115 | R\$ 531.240 |
| 100 | R\$ 3.203.750 | R\$ 4.266.230 | R\$ 1.062.480 |
| 150 | R\$ 4.805.625 | R\$ 6.399.345 | R\$ 1.593.720 |
| 200 | R\$ 6.407.500 | R\$ 8.532.460 | R\$ 2.124.960 |
| 500 | R\$ 16.018.750 | R\$ 21.331.150 | R\$ 5.312.400 |
| 1000 | R\$ 32.037.500 | R\$ 42.662.300 | R\$ 10.624.800 |

Fonte: Próprio autor.

Na tabela, foi possível visualizar os ganhos monetários possíveis para o proprietário conforme os dados levantados. Esses valores correspondem a uma carga completa realizada pelos veículos, de forma que pode ser realizada mais de uma carga completa do veículo por dia, assim seriam possíveis ganhos ainda mais expressivos a depender das demandas operacionais desse cliente.

Ainda, conforme o levantamento foi razoável estimar os custos de manutenção durante o período de uso do veículo e estabelecer o parâmetro entre o custo de manutenção e o ganho de carga útil. Esses quase se equivalem durante os quase 11 anos de idade média da frota brasileira, como pode ser analisado na figura abaixo:

Figura 4 - COMPARATIVO DE CUSTOS E GANHOS DURANTE PERÍODO DE USO



Fonte: Próprio autor

O ganho de carga útil é tão significativo que uma carga completa, de acordo com o preço levantando por quilo em um frete, quase se iguala todo o custo estimado de manutenção no período de uso de 10 anos e 9 meses que é a idade média da frota brasileira, portanto a hipótese levantada se prova como um caminho para futuros projetos de redução de massa e melhoria de eficiência para veículos utilitários.

Desta forma, o potencial de um projeto que utilizasse apenas AHSS em sua carroceria foi interessante, de forma que o ganho monetário por carga completa do veículo corresponde a quase todas as manutenções preventivas no período de uso; ainda, conforme dados levantados da Sindipeças, teremos uma carroceria mais segura para os ocupantes, bem como um projeto com menor variedade de matérias, o que ocasionaria uma gestão de produção mais facilitada e menores custos para produção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das hipóteses exploradas neste trabalho científico, foi possível atingir números interessantes com o uso de AHSS para ganhos em eficiência energética, segurança e economia monetária para clientes e menor custo de implementação para a indústria que já produz peças usando o AHSS. Apesar do custo mais elevado para produção dos aços avançados ele se justifica em razão dos benefícios citados gerando atratividade para o cliente principalmente nos ganhos projetados de carga paga e segurança que são pontos muito relevantes. Onde seus custos mais elevados para produção, se justificam também durante o ciclo de vida do material mostrando o alinhamento com os objetivos buscados pela indústria paralelo as necessidades em razão das regulamentações impostas.

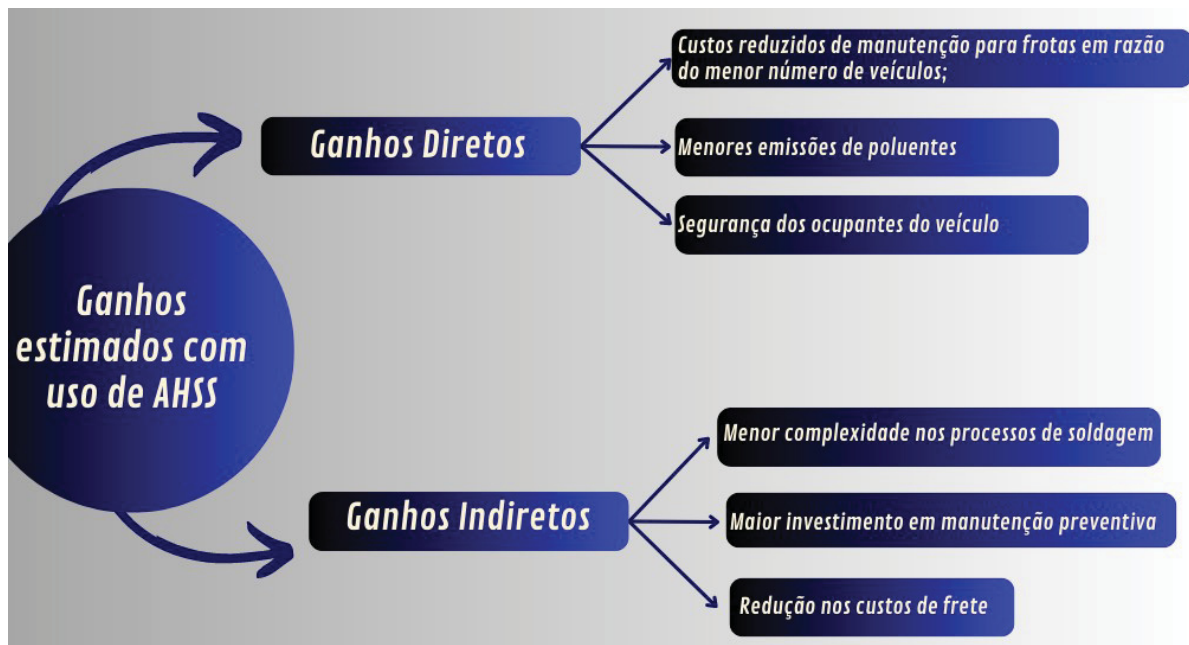
Os benefícios se mostraram promissores para maior exploração dos aços avançados não só em peças, mas se estendendo a todo o projeto da carroceria às peças do motor, uma vez que o AHSS tem alta possibilidade de reciclagem e sua exploração é menos danosa ao meio ambiente comparado ao alumínio e compósitos onde a maioria não tem possibilidade de reciclagem, não se mostrando uma boa alternativa para uso em massa pela indústria.

Assim, temos uma alternativa mais barata quando considerado seu ciclo de vida, que entrega ótimos resultados para a indústria e mercado além de sua alta performance em segurança. Seu manuseio apresenta alguns desafios que não representam grandes problemas, diante da menor necessidade de outros materiais no projeto, o que reduz os custos no desenvolvimento do projeto e facilita sua gestão. Desta forma, os custos para o manuseio do aço avançado são compensados pela redução nos custos do desenvolvimento do projeto e atende as necessidades da indústria.

Por se tratar de um aço como os outros materiais comuns ao projeto do veículo, o AHSS reduz os tipos de materiais utilizados por sua versatilidade, gerando benefícios nos processos de soldagem pelas características semelhantes aos outros materiais; diferente do Alumínio, que exige muitos cuidados específicos em diversos momentos dos projetos pelas características peculiares ao material.

Logo abaixo é possível identificar os benefícios diretos e indiretos conforme elencados durante o estudo.

Figura 5 - BENEFÍCIOS COM POSSÍVEL IMPLEMENTO



Fonte: Próprio autor

Deste modo, um projeto usando aços avançados é extremamente benéfico para a indústria como um todo, seja pela adoção em massa desses materiais em peças, como em todo o projeto do veículo, como se fez mostrando o alinhamento do

proposito deste trabalho, as necessidades e exigências da indústria e governos para materiais e projetos mais eficientes e sustentáveis.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARY, Angga Kengkongan; et al. ;**Structural Assessment of an Energy-Efficient Urban Vehicle Chassis using Finite Element Analysis – A Case Study**; 6th International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICIMECE 2020); Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.07.010> ;
2. Automotive bussiness; **Nova meta do Rota 2030 levará em conta emissões de CO₂ do poço à roda**; Disponível em: <https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/setor-automotivo/nova-meta-do-rota-2030-levara-em-conta-emissoes-de-co2-do-poco-a-roda/>
3. Brasil. Ministério do meio ambiente. **INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS 2018**. Brasília: ministério do meio ambiente, 2018;
4. Chakkaravarthi rajarajan , paramasivam sivaraj , tushar sonar , selvaraj raja , nallusamy mathiazhagan. **RESISTANCE SPOT WELDING OF ADVANCED HIGH STRENGTH STEEL FOR FABRICATION OF THIN-WALLED AUTOMOTIVE STRUCTURAL FRAMES**. Forces in mechanics, volume 7, may 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.finmec.2022.100084> ;
5. **CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO – CTB**, lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que institui o código de trânsito brasileiro; Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503compilado.htm.
6. CZERWINSKI, FRANK; **CURRENT TRENDS IN AUTOMOTIVE LIGHTWEIGHTING STRATEGIES AND MATERIALS**; canmetmaterials, natural resources canada, hamilton, on l8p 0a5, canada; Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma14216631> ;

7. Das, sujit; **VEHICLE LIGHTWEIGHTING ENERGY USE IMPACTS IN U.S. LIGHT-DUTY VEHICLE FLEET**, sustainable materials and technologies volume 8, july 2016, pages 5-13; disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2016.04.001> ;
8. FENABRAVE, **Índices e Números Emplacamentos Novos – Fenabrave** Disponível em: <https://www.fenabrave.org.br/Portal/conteudo/emplacamentos> ;
9. GONÇALVES, margarida; **LIFE CYCLE ASSESSMENT STUDIES ON LIGHTWEIGHT MATERIALS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS - AN OVERVIEW**; energy reports volume 8, supplement 3, june 2022, pages 338-345; Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.067> ;
10. Infomoney; **FROTA DE VEÍCULOS NO BRASIL FICA CADA VEZ MAIS VELHA: IDADE MÉDIA É DE QUASE 11 ANOS DE USO**; Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/consumo/frota-de-veiculos-no-brasil-fica-cada-vez-mais-velha-idade-media-e-de-quase-11-anos-de-uso/> ;
11. Kbb; **BRASILEIROS RODAM EM MÉDIA 12,9 MIL KM NO PRIMEIRO ANO DE USO DE UM VEÍCULO**; Disponível em: <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?id=1830> ;
12. KÜNG, Lukas, et al.; **How much energy does a car need on the road?**; Applied Energy Volume 256, 15 December 2019, 113948; Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113948> .
13. LUK, Jason m. et al.; **GREENHOUSE GAS EMISSION BENEFITS OF VEHICLE LIGHTWEIGHTING: MONTE CARLO PROBABALISTIC ANALYSIS OF THE MULTI MATERIAL LIGHTWEIGHT VEHICLE GLIDER**, transportation research part d: transport and environment volume 62, july 2018, pages 1-10; Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.006> ;
14. Marie lewis, anne; kelly, jarod c.; keoleian, gregory a; **VEHICLE LIGHTWEIGHTING VS. ELECTRIFICATION: LIFE CYCLE ENERGY AND GHG EMISSIONS RESULTS FOR DIVERSE POWERTRAIN VEHICLES**; applied energy, volume 126, august 2014, pages 13-20; Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.023> ;
15. Necati, ö.; koç, m. **PROMISES AND PROBLEMS OF ULTRA/ADVANCED HIGH STRENGTH STEEL (U/AHSS) UTILIZATION IN AUTO INDUSTRY**. In proceedings of the 7th automotive technologies congress, bursa, turkey, 26–27 may 2014 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267828849_promises_and_problem

- s of ultraadvanced high strength steel uahss utilization in auto industry ;
16. OLIVEIRA, A.R., Lajarin, S.F., Rebeyca, C.J. et al. **INFLUENCE OF DRAWBEAD GEOMETRY AND BLANK HOLDER FORCE ON THE DUAL PHASE STEEL FORMABILITY.** Int J Adv Manuf Technol 121, 5823–5833 (2022). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09603-4> ;
 17. Perka, a.k., et al., **ADVANCED HIGH-STRENGTH STEELS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS: ARC AND LASER WELDING PROCESS, PROPERTIES, AND CHALLENGES.** *Metals* 2022, 12, 1051.; Disponível em: <https://doi.org/10.3390/met12061051>;
 18. R. Kuziak, r. Kawalla, s. Waengler; **ADVANCED HIGH STRENGTH STEELS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY**; archives of civil and mechanical engineering volume 8, issue 2, 2008, pages 103-117 Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s1644-9665\(12\)60197-6](https://doi.org/10.1016/s1644-9665(12)60197-6) ;
 19. **RENAULT DO BRASIL. DUSTER OROCH 2022.** Disponível em: <https://www.renault.com.br/veiculos/duster-orocho.htm>;
 20. **RENAULT DO BRASIL. MASTER 2022.** Disponível em: <https://www.renault.com.br/veiculos/master-chassi.htm>;
 21. Wen zhang a b, jun xu. **ADVANCED LIGHTWEIGHT MATERIALS FOR AUTOMOBILES: A REVIEW.** *Materials & design* volume 221, september 2022; Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110994> ;
 22. World steel association aisbl, **BATTERY ELECTRIC VEHICLE LIFE CYCLE ENERGY ALUMINIUM VS. AHSS: A CASE STUDY**; Disponível em: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/case-studies/battery-electric-vehicle-life-cycle-energy-aluminium-vs-ahss/>;
 23. World steel association aisbl, **COMPARING MATERIAL USAGE IN PRODUCTION VEHICLE EFFICIENT DESIGNS**; Disponível em: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/case-studies/comparing-material-usage-in-production-vehicle-efficient-designs/> ;
 24. World steel association aisbl, **LCA – LIFE CYCLE ASSESSMENT OF VEHICLE EMISSIONS**; Disponível em: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/lca-videos/lca-life-cycle-assessment-vehicle-emissions/> ;

25. World steel association aisbl, **LIFE CYCLE ASSESSMENT**; Disponível em: https://automotive.arcelormittal.com/sustainability/life_cycle_assessment ;
26. World steel association aisbl, **LIFE CYCLE THINKING**; Disponível em: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/> ;
27. World steel association aisbl, **SUPER LIGHT CAR LIFE CYCLE ASSESSMENT**; Disponível em: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/case-studies/super-light-car-life-cycle-assessment/> ;
28. Worldautosteel, steel e-motive, **LCA REDUCING EMISSIONS**; Disponível em: <https://steelemotive.world/steel-lifecycle-emissions/> ;