

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MARIANE BIGARELLI FERREIRA

**EFEITOS DA MUDANÇA DA RELAÇÃO DIFERENCIAL EM UM
CAMINHÃO EXTRA PESADO CONSIDERANDO A PERSPECTIVA DO
CICLO DE VIDA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

MARIANE BIGARELLI FERREIRA

**EFEITOS DA MUDANÇA DA RELAÇÃO DIFERENCIAL EM UM
CAMINHÃO EXTRA PESADO CONSIDERANDO A PERSPECTIVA DO
CICLO DE VIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski

PONTA GROSSA

2018



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

Efeitos da mudança da relação diferencial em um caminhão extra pesado considerando a perspectiva do ciclo de vida

Por

Mariane Bigarelli Ferreira

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 19 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski
Prof. Orientador

Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri
Membro titular

Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso (ou Programa)”.

AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada agradeço a Deus pela oportunidade de estudar nesta instituição de ensino, agradeço por Ele ter me guiado até aqui pois, somente Ele sabe dos momentos de dificuldade que enfrentei.

Agradeço ao LESP (Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis) que abriu as portas para eu pudesse desenvolver estudos científicos, bem como a realização deste trabalho. Em especial agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Cassiano Moro Piekarski, que com sua paciência, atenção e dedicação, me ajudou na construção deste estudo.

Agradeço ao Professor Dr. Antonio Carlos de Francisco e aos meu amigos do LESP, Leila, Murillo e Rodrigo que me ajudaram de forma direta neste estudo, sanando minhas dúvidas diárias, me aconselhando e direcionando a minha caminhada científica.

Agradeço a todos os meu professores que com o dom de ensinar deixaram sua marca em minha vida, contribuindo para a minha formação profissional e pessoal. Sem vocês eu não saberia tudo o que sei hoje, muito obrigada. Em especial aos Professores Fábio Puglieri e Fernanda Treinta.

Gostaria de agradecer à Professora Dr. Joseane Pontes, que foi muito mais que uma coordenadora, foi uma amiga que me escutou, aconselhou e ajudou no momento mais difícil da minha vida universitária.

Gostaria de evidenciar meu eterno agradecimento e amor aos meus pais Camila e Marcos, ao vovô Celso, minha irmã Carol e a minha eterna vovó Beth (*in memoriam*), que nunca deixaram de acreditar e confiar em mim. Peço desculpas pelos momentos que estive ausente, mas hoje ao olhar para trás só sinto gratidão pois se eu cheguei até aqui foi por vocês e com a ajuda de vocês.

Agradeço ao meu namorado Diego por estar sempre ao meu lado, dividindo as minhas inseguranças e ansiedades. Sem você essa caminhada não teria o mesmo significado.

Agradeço à toda minha família e amigos particulares que estiveram sempre ao meu lado, mesmo distantes, me apoiaram, ajudaram e aconselharam e deixo meus agradecimentos aos amigos que a universidade me apresentou, tornando a minha caminhada longe de casa mais acolhedora.

Por fim, agradeço a empresa DAF Caminhões Brasil Indústria Ltda, pela oportunidade concedida no desenvolvimento deste estudo. Em especial agradeço aos meus colegas e ao Túlio Rabelo, por me incentivar e direcionar meus estudos na condução deste trabalho.

RESUMO

FERREIRA, Mariane Bigarelli. **Efeitos da mudança da relação diferencial em um caminhão extra pesado considerando a perspectiva do ciclo de vida**. 2018. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Nas últimas décadas a quantidade de veículos em circulação aumentou significativamente, e por consequência a legislação ambiental se torna cada vez mais rigorosa. Diante disso, a indústria automotiva tem buscado reduzir as emissões atmosféricas dos seus veículos, visando o alcance de uma produção e o uso de transportes mais sustentáveis, proteção à saúde pública e proteção ambiental. Frente à preocupação ambiental para às emissões de poluentes esse trabalho tem como objetivo evidenciar os efeitos ambientais e econômicos resultantes da alteração da relação diferencial em um caminhão extra pesado, considerando a perspectiva do ciclo de vida. Para tanto foi realizado um levantamento bibliográfico para contextualizar a temática, com um total de 30 artigos estudados. Após estruturou-se um estudo de caso para analisar a perspectiva econômica e ambiental de um caminhão comercial que obteve seu eixo diferencial alterado. Os resultados encontrados mediante a troca da relação diferencial foi uma redução de 5.000 litros de consumo de diesel para o caminhão estudado, com base na perspectiva econômica, o veículo passou a gerar uma economia anual de um pouco mais de R\$15.000,00. Na perspectiva ambiental, utilizou-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), para quantificar os impactos gerados na produção do diesel mediante o método *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD) que avalia a categoria relacionada ao consumo de recursos minerais e fósseis, e o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) que avalia o Potencial de Aquecimento Global. O resultado da ACV revelou uma redução de 6,82% na extração de recursos e uma redução de 6,52% para emissões de gases do efeito estufa. Em termos comparativos com a frota brasileira os valores equivalem a 25 bilhões de litros de petróleo que deixariam de ser utilizados para a produção do diesel.

Palavras-chave: Veículos Extra Pesados. Eixo Diferencial. Avaliação do Ciclo de Vida. Emissão de Poluentes.

ABSTRACT

FERREIRA, Mariane Bigarelli. **Effects of changing the differential ratio an extra heavy truck considering the life cycle perspective**. 2018. 79 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Production Engineering) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2018.

The number of vehicles in circulation has grown a lot in recent times. As a result, environmental legislation becomes more stringent. The automotive industry has sought to reduce the atmospheric emissions of its vehicles for more sustainable production and use, as well as protection of public health and environmental protection. In view of the environmental concern for emissions of pollutants, this study goal to highlight the environmental and economic effects resulting from the change in the differential ratio in an extra heavy truck, considering the perspective of the life cycle. For that, a bibliographic survey realized to contextualize the theme, with 30 articles studied. A case study was developed the economic and environmental perspective of a commercial truck with its altered axle differential. The results of the differential axle exchange were a reduction of five thousand liters of diesel consumed for the truck studied. For an economic perspective, the vehicle started to generate an annual savings of more than fifteen thousand real. In the environmental perspective, the Life Cycle Assessment (LCA) was used to quantify the impacts generated in diesel production using the International Reference Life Cycle Data System (ILCD) method that evaluates the category related to the consumption of mineral and fossil resources, and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) assessing Global Warming Potential. The result of the LCA showed a 6.82% reduction in resource extraction and a reduction of 6.52% in greenhouse gas emissions. Compared with the Brazilian fleet, the values are equivalent to twenty-five billion liters of oil that would no longer be used for the production of diesel.

Keywords: Extra Heavy Vehicles. Differential Relationship. Life Cycle Assessment. Emission of Pollutants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Passos para a Condução deste Trabalho	20
Figura 2 - Configuração e <i>Driveline</i>	21
Figura 3 - Composição do <i>Powertrain</i>	22
Figura 4 - Modelo de um Eixo Diferencial	28
Figura 5 - Coroa e Pinhão	29
Figura 6 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida.....	33
Figura 7 - Procedimento Metodológico para Realização deste Estudo	38
Figura 8 - Estrutura Bibliográfica para o Referencial Teórico	39
Figura 9 - Modelo do Veículo Estudado	41
Figura 10 - Esquematização do Escopo para a ACV	43
Figura 11 - Fronteiras do Sistema Estudo para a ACV	44
Figura 12 - Percurso Anual Realizado pelo Veículo	50
Figura 13 - Modelagem do Sistema Realizada no <i>Software Umberto</i>	58
Figura 14 - Redução do Consumo de Diesel para a Frota Brasileira	65
Figura 15 - Redução da Quantidade de Petróleo para a Frota Brasileira.....	66
Figura 16 - Comparação da Quantidade de Petróleo Reduzida na Frota Brasileira..	67
Fotografia 1 - Instrumento de Análise Veicular (IAV)	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dente de Serra	27
Gráfico 2 - Porcentagem do Tempo que Veículo permanece em cada Marcha a Velocidade nas Marchas mais Utilizadas	53
Gráfico 3 - Gráfico do Tipo Dente de Serra do Veículo Estudo	54
Gráfico 4 - Resultado do Modelo Matemático para Escolha da Alteração Ideal para o Eixo Diferencial	55
Gráfico 5 - Resultado do Potencial Impacto Ambiental para a Categoria de Potencial para Aquecimento Global (Método IPCC - Fase de Uso).....	60
Gráfico 6 - Resultado do Potencial Impacto Ambiental para a Categoria de Consumo de Recursos (Método ILCD - Manutenção do Caminhão).....	61
Gráfico 7 - Redução do Potencial Impacto para a Categoria de Extração de Recursos	63
Gráfico 8 - Redução do Potencial Impacto para a Categoria de Aquecimento Global (Método IPCC - Fase de Produção Diesel)	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Combinação das Palavras-Chaves Utilizadas nas Bases de Dados.....	40
Quadro 2 - Especificação dos Produtos para Realização da ACV	42
Quadro 3 - Especificação Inicial do Veículo Estudado	48
Quadro 4 - Especificação Final do Veículo Estudado Após a Alteração do Eixo Diferencial	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação da Transmissão.....	26
Tabela 2 - Média em Quilômetros do Percurso Realizado Anualmente pelo Veículo Estudado.....	50
Tabela 3 - Dados do Veículo e para Cálculo da Performance	51
Tabela 4 - Relação da Transmissão (ZF 16AS2630TO)	51
Tabela 5 - Velocidade do Veículo por Redução Diferencial Estudada	52
Tabela 6 - Rotação por Troca de Marcha.....	53
Tabela 7 - Dados Coletados Sobre o Consumo do Veículo em Estudo	56
Tabela 8 - Dados Utilizados para Análise Comparativa do Consumo	57
Tabela 9 - Resultado Quantitativo do Impacto Total por Relação Diferencial	59
Tabela 10 - Resultado do Potencial Impacto Ambiental para a Categoria de Potencial para Aquecimento Global do Método IPCC	59
Tabela 11 - Resultado do Potencial Impacto Ambiental para a Categoria de Consumo de Recursos do Método ILCD	61
Tabela 12 - Relação da Produção de Insumos com um Barril de Petróleo	65
Tabela 13 - Quantidade de Insumo Produzido por um Barril de Petróleo	65

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AEA	Associação Brasileira de Engenharia Automotiva
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CI	<i>Compression Ignition</i>
CO ₂	Dióxido de Carbono
DPF	Filtro de Partículas a Diesel
EAS	<i>Emission After Treatment System</i>
EGR	Recirculação dos Gases de Escape
HDDE	<i>Heavy Duty Diesel Engine</i>
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IAV	Instrumento de Análise Veicular
CO	Monóxido de Carbono
N ₂ O	Monóxido de Dinitrogênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PTB	Peso Total Bruto
PTBC	Peso Total Bruto Combinado
REL	Relação de Energia Líquida
RoW	<i>Rest of the World</i>
SCR	<i>Selective Catalytic Reduction</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ACRÔNIMOS

CAN	<i>Controller Area Network</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ISO	<i>Organization for Standardization</i>
LESP	Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis
PROCANVE	Programa de Controle de Emissões Veiculares

LISTA DE SÍMBOLOS

n	Frequência de Rotação da Peça
π	Pi
r	Raio de uma Circunferência
i_d	Relação Diferencial
i_t	Relação da Transmissão
ω	Velocidade Angular
v_t	Velocidade Periférica ou Tangencial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMÁTICA	17
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 <i>POWERTRAIN</i> (TREM DE FORÇA)	21
2.1.1 Motores: combustão interna, consumo e emissões	22
2.1.2 Sistema de Transmissão	25
2.1.3 Eixo Cardan	27
2.1.4 Relação Diferencial	27
2.1.5 Dinâmica dos veículos automotores	29
2.2 PERSPECTIVA DO CICLO DE VIDA	30
2.2.1 Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida	32
2.2.2 Ferramentas de apoio a ACV	34
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E EMISSÃO DE POLUENTES	35
3 METODOLOGIA	37
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	37
3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	37
3.3 CONSTRUÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO	39
3.4 ESTUDO DE CASO	40
3.5 MÉTODO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO CICLO DE VIDA	41
3.5.1 Fase 1: Definição de Objetivo e Escopo	42
3.5.2 Fase 2: Inventário do Ciclo de Vida (ICV)	45
3.5.3 Fase 3: Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)	46
3.5.4 Fase 4: Interpretação	47
4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
4.1 ESTUDO	48
4.1.1 Aquisição dos Dados	48
4.1.2 Estudo Teórico	49
4.1.3 Estudo Empírico	56
4.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	58
4.2.1 Interpretação e Comparação dos Resultados	62
4.2.2 Impactos Ambientais Referentes À Frota Brasileira	64
5 CONCLUSÃO	68
5.1 LIMITAÇÕES	69

5.2 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICE A - Questionário para a Coleta dos Dados com o Cliente.....	78

1 INTRODUÇÃO

Com a alta demanda produtiva as organizações acabam gerado danos ao meio ambiente, como o esgotamento de recursos não renováveis e emissão de poluentes. Sendo assim, uma forma das organizações alcançarem atitudes mais sustentáveis está na promoção de ações e adequações de sua cadeia produtiva (PAGELL e WU, 2009).

De acordo com Lima et al. (2005), a indústria automobilística possui quatro critérios para o desenvolvimento de seus produtos. Dentre eles, a preocupação em desenvolver motores com alto desempenho, visando a produção de máquinas mais potentes e compactas, e também foco na redução de emissões de gases poluentes, após o rígido monitoramento ambiental imposto por ações governamentais.

Os fabricantes automobilísticos buscam reduzir o consumo de combustível e as emissões atmosféricas em seus veículos, buscando adequar-se à conceitos de sustentabilidade. Essas ações envolvem uma produção de transporte mais sustentável, visando a proteção da saúde pública e ao meio ambiente em níveis local, regional e nacional (LEE et al., 2018).

No Brasil as mudanças no processo produtivo ocorreram inicialmente na composição do combustível, visando a redução do teor de enxofre. A solução encontrada foi a utilização do dual-combustível, biodiesel e diesel, e o uso de tecnologias de controle de emissões que permitiram novas percepções ambientais sobre a emissão de poluentes (TADANO et al., 2014).

Além disso, os autores apontam que a legislação brasileira estabeleceu em 2012 algumas exigências de sistemas de pós-tratamento, como a Redução Catalítica Seletiva (SCR) para controlar a combustão nos motores à diesel (TADANO et al., 2014).

Com a grande preocupação ambiental muitos estudos buscam mensurar a quantidade de poluentes emitidos pelos veículos. Uma forma de quantificar os impactos ambientais, é mediante o uso de ferramentas, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que permitem estimar e avaliar os potenciais impactos atribuídos ao ciclo de vida de um produto ou processo produtivo (CHANG, LEE e CHEN, 2014).

Para Ferreira (2004) a ACV é uma ferramenta capaz de identificar e quantificar os possíveis impactos ambientais. Segundo a ABNT (2009a), a ACV é

uma técnica que permite a conscientização ambiental frente aos possíveis impactos associados aos produtos.

Essa avaliação ocorre mediante a compilação das entradas e saídas em cada processo, onde o resultado permite a identificação de oportunidades de melhorias no sistema produtivo ao longo do ciclo de vida do produto, processo ou serviço em estudo (ABNT, 2009a).

Os estudos que envolvem a ACV em veículos pesados e extra pesados, buscam quantificar os impactos ambientais relacionados ao uso do combustível e a emissão de poluentes. Estes estudos permitem a comparação dos diferentes tipos de biocombustíveis e combustíveis fósseis, com o intuito de alcançar uma produção cada vez mais sustentável, como o estudo de Agarwal et al. (2017), que aplicou a ACV para a calcular os impactos relacionados à produção do biodiesel.

Há também na literatura estudos de ACV que abordam a comparação dos impactos ambientais emitidos pelos diferentes tipos de caminhões, como o convencional movido à diesel (ROCHA et al., 2014) e os caminhões elétricos (LEE et al., 2018).

Com a crescente preocupação ambiental as empresas buscam estudar seus produtos de forma a torná-los cada vez mais econômicos e sustentáveis. Uma variável diretamente ligada às questões econômicas e ambientais, é o consumo de combustível. Como por exemplo um veículo consumindo acima da média, é capaz de evidenciar um baixo desempenho, rendimento e também maiores impactos ambientais.

Para Agarwal et al. (2017), o atendimento às normas legislativas está no controle de emissões nos motores à combustão, que devem se adequar às propriedades do combustível a ser utilizado. Além disso, segundo Tadano et al. (2014) as emissões de poluentes também dependem do desempenho do motor e o esforço gerado por ele. O desempenho do motor está relacionado principalmente com a potência, torque e marcha em uma determinada velocidade do veículo (AGARWAL et al., 2017).

De acordo com He et al. (2006), o eixo diferencial em veículos pesados e extra pesados, permite o controle do torque nas rodas. Segundo Vilanova (2015), quanto maior a redução no eixo diferencial, mais força virá do motor e quanto menor a redução, menos força terá o veículo. Contudo, ter uma relação diferencial

adequada para a aplicação do veículo é vital para obter um bom desempenho econômico e ambiental (M&T, 2016).

Neste contexto, um estudo referente a alteração na relação diferencial de um veículo extra pesado, visando o seu melhor desempenho, tende a refletir diferentes perspectivas ambientais e econômicas. Assim, torna-se importante um estudo prático que evidencie a melhoria ambiental e econômica referentes ao consumo do veículo.

1.1 PROBLEMÁTICA

Quais são os efeitos, ambientais e econômicos, resultantes da alteração da relação diferencial de um caminhão extra pesado, considerando a perspectiva do ciclo de vida?

1.2 OBJETIVOS

Para responder à questão problema deste estudo, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

1.2.1 Objetivo Geral

Evidenciar os efeitos ambientais e econômicos resultantes da alteração da relação diferencial em um caminhão extra pesado considerando a perspectiva do ciclo de vida.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Compreender a influência da relação diferencial no consumo e na emissão de poluentes em veículos extra pesados;
- Caracterizar o estudo de caso de um veículo extra pesado que obteve alteração na relação diferencial;
- Identificar as variáveis do estudo de caso que influenciam o consumo de combustível em veículos extra pesados;

- Avaliar os efeitos ambientais e econômicos resultantes da troca do eixo diferencial no estudo de caso;
- Interpretar os resultados encontrados utilizando a perspectiva ambiental do ciclo de vida.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em relação às últimas décadas, a população de veículos aumentou significativamente, e por consequência a legislação ambiental se tornou cada vez mais rigorosa frente do aumento da poluição e emissões geradas pelos veículos (PAGELL e WU, 2009).

Neste sentido, a primeira justificativa para esse estudo é quanto à crescente demanda produtiva nas indústrias automobilísticas, que buscam redução de custos e atendimento às rigorosas legislações ambientais.

É de conhecimento comum a preocupação ambiental frente às emissões geradas pelos transportes rodoviários, principalmente dos veículos movidos à diesel, que são considerados uns dos maiores contribuintes de emissão de poluentes atmosféricos (ANDRADE et al., 2010).

Nas empresas automobilísticas crescem as ações que visam reduzir o consumo de combustível (FLEURY, 2000). Por consequência, esta ação permite a redução das emissões atmosféricas dos veículos, permitindo uma relação um pouco mais sustentável entre o âmbito econômico e ambiental. Essa questão aponta mais uma justificativa, a integração de aspectos econômicos e sustentáveis na produção de veículos.

Borillo et al., (2018) afirmam que muitas tecnologias estão sendo utilizadas para a redução da emissão de poluentes, como o uso de catalisadores. Além disso, as emissões também podem ser reduzidas mediante a adequação da melhor relação do diferencial do eixo nos caminhões, resultando em menos esforços ao motor e conseqüentemente menos gases emitidos para a atmosfera.

Diante disso, evidencia-se outra justificativa para este estudo, no qual o objetivo é demonstrar a redução do consumo de um veículo extra pesado, mediante a sua redução na relação diferencial.

Chang, Lee e Chen (2014), ainda complementam que a ACV permite a seleção, classificação e apoio à tomada de decisão gerencial, permitindo que se encontre uma opção vantajosa para as esferas econômicas e ambientais.

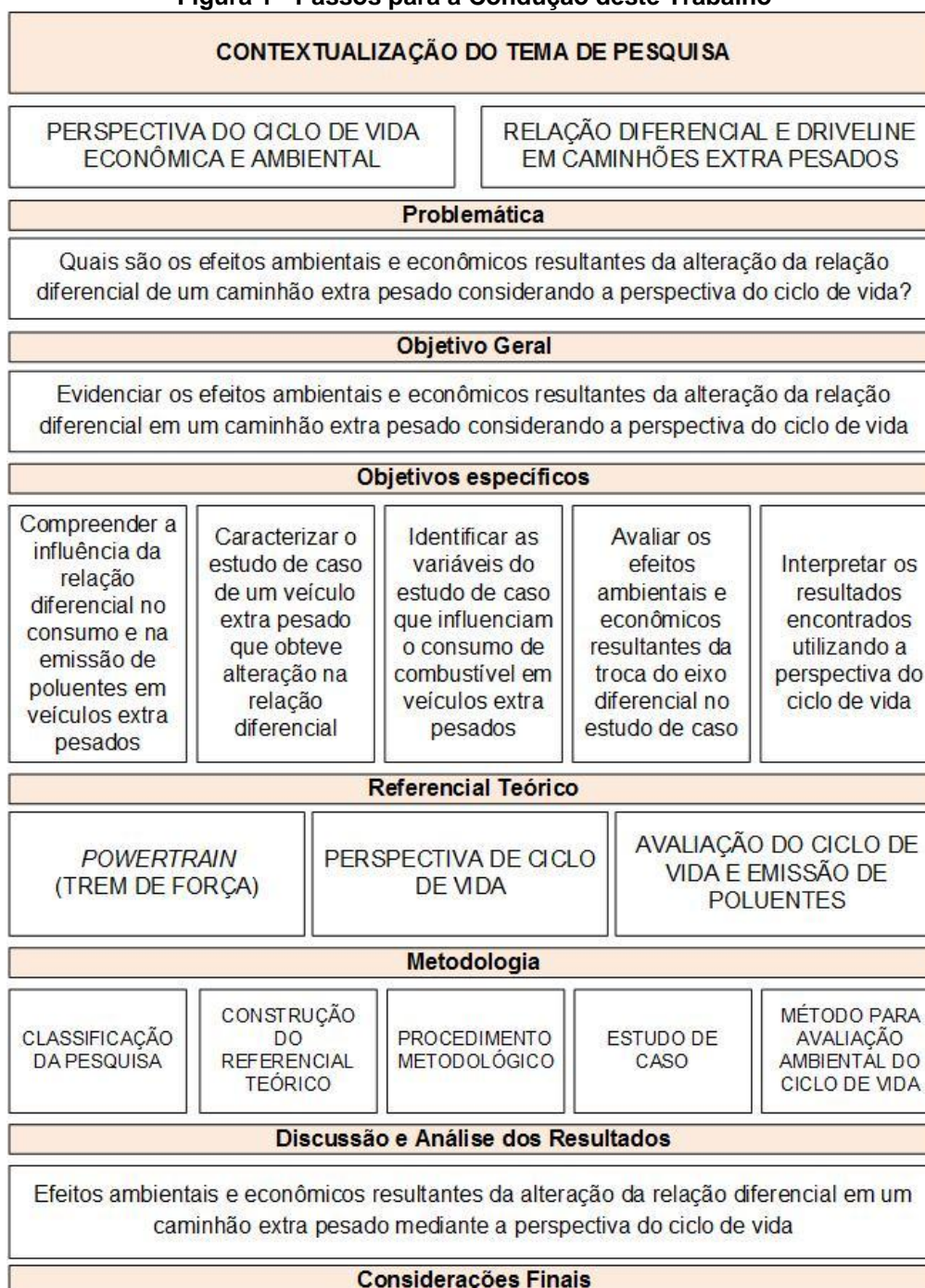
Ainda, este trabalho justifica-se pela importância em mensurar os impactos ambientais, sendo que a quantificação desses impactos permitem a adoção de medidas mitigadoras para atender às exigências legislativas, que são exigidas para nos processos produtivos e operacionais. Desta forma, é possível alcançar uma produção mais limpa, almejando a proteção ambiental e uma gestão ambientalmente sustentável.

Além disso, este trabalho se justifica pela importância de integrar o aspecto econômico, relacionado à redução de custos frente ao consumo de um veículo, com o aspecto ambiental, visando a redução de emissão de poluentes.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

É apresentado na Figura 1 uma visão geral da organização deste trabalho, bem como a estrutura para o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 1 - Passos para a Condução deste Trabalho



Fonte: Autoria Própria (2018)

Sendo assim, a seguinte seção apresenta a fundamentação teórica deste estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *POWERTRAIN* (TREM DE FORÇA)

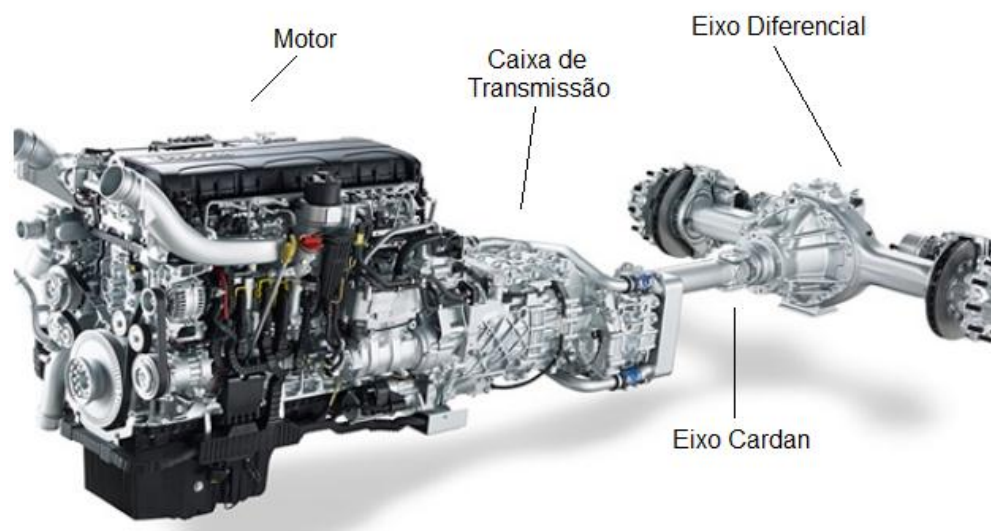
Na indústria automotiva, a produção de um veículo visa o desenvolvimento de um produto que busque alcançar as expectativas e atender as necessidades do cliente. Esses requisitos são traduzidos em termos de engenharia, que envolve a dinâmica do veículo, o ruído, a vibração, a durabilidade, a economia, a dirigibilidade e o seu desempenho (CABA et al., 2017). A Figura 2 a seguir apresenta de forma ilustrativa, o *powertrain* de um veículo extra pesado da montadora DAF.

Figura 2 - Configuração e *Driveline*



Fonte: Caminhões e Carretas (2018)

O *powertrain* ou Trem de Força é constituído por um motor, conjunto de embreagem, transmissão, eixo cardan e eixo diferencial (CABA et al., 2017). Segundo Bayrakceken, Tasgetiren e Yavuz (2007) são os eixos de transmissão que transmitem o movimento do diferencial para as rodas, permitindo assim, o deslocamento do veículo. Os componentes do *powertrain* são apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Composição do Powertrain

Fonte: DAF (2018c)

A seguir é discutido de forma detalhada os elementos que constituem o trem de força.

2.1.1 Motores: combustão interna, consumo e emissões

Os Motores de Ignição por Compressão (CI) ou motores a diesel, são caracterizados pela combustão interna, os mais populares no setor do transporte desde sua invenção no século XIX (AGARWAL et al., 2015).

O ciclo de combustão no motor à diesel é dividido em quatro fases, ou quatro tempos: a Indução, a compressão, a ignição e a exaustão (ROSH MKT, 2017).

Na indução, o ar é aspirado para o interior do cilindro através da válvula de entrada. Na fase da compressão, o pistão comprime o ar dentro do cilindro, enquanto na fase da Ignição, o combustível é injetado entrando em combustão e forçando o movimento do pistão para baixo e finalmente na fase da exaustão, os gases formados na fase anterior são liberados pelo escape (ROSH MKT, 2017).

Esses motores são amplamente utilizados em veículos leve, pesado e extra pesado, sendo considerados eficientes, robustos e potentes (HAGOS et al., 2017). García et al. (2017) corroboram afirmando que a maior eficiência dos motores CI liderou o transporte pesado de forma mais rápida que os Motores de Ignição por Centelha.

De acordo com Suarez-Bertoa et al. (2016) os motores a diesel são vistos como um meio para alcançar os objetivos estabelecidos pela União Europeia. Esses objetivos visam a redução das emissões de gases do efeito estufa e poluentes até 2020.

Hagos et al. (2017) apontam que um dos principais fatores que mais influenciam o desenvolvimento de motores à diesel é o custo, além da disponibilidade de combustível e atendimento à regulamentação de emissão de poluentes.

Um dos principais danos ao meio ambiente está na origem do diesel, ou seja, na extração do petróleo bruto feito à base de combustíveis fósseis. Esse petróleo pode ser classificado como petróleo leve ou bruto pesado, dependendo do local e tipo de extração (HAGOS et al., 2017).

De acordo com Gad et al. (2018) a preocupação ambiental provocou o início de muitos estudos sobre o biodiesel como combustível alternativo para motores à diesel. Ainda, segundo os autores, um dos principais fatores que permitiram a condução destes estudos é o esgotamento progressivo dos combustíveis com origem não renovável.

Exemplos destes estudos na literatura é a pesquisa realizada por Li et al. (2015), que estudaram os motores à gás natural, enquanto o estudo de Panakarajupally e Mittal (2017), apresenta a pré-mistura do diesel com etanol e de Talibi et al. (2018), que analisou a co-combustão do diesel com o hidrogênio em veículos leves e extra pesados.

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA) a preocupação social e mercadológica sobre sustentabilidade e meio ambiente, permitiu a sanção da Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que fomenta a mistura do biodiesel ao diesel mineral (AEA, 2017). Atualmente no Brasil, o percentual mínimo obrigatório para a mistura dos combustíveis é de 10% de biodiesel no diesel (MME, 2018).

De acordo com Ku, Lu e Lin (2017), o biocombustível é considerado uma alternativa promissora para a redução de emissões de gases de efeito estufa, sendo o diesel misturado ao biocombustíveis, uma opção adotada por diversos países.

A combustão realizada pelo uso dual-combustível, ou seja, a combinação de dois combustíveis como o diesel e o biodiesel, oferece resultados positivos para um

motor com aplicações pesadas, podendo chegar a uma eficiência de 98% de combustão total (PEDROZO et al., 2016).

Além disso, estudos apontam que a mistura de biodiesel em motores CI reduz a emissão de Materiais Particulados (PM), porém dependem da tecnologia do motor, da concentração de mistura de biodiesel, do dispositivo de pós-tratamento e da otimização do sistema de gerenciamento do motor (AGARWAL et al., 2015).

Na literatura há muitos estudos que buscam fontes de energia alternativas para melhorar a economia de combustível e atender a legislação ambiental (CHONG et al., 2015). O estudo de Hegab, La Rocca e Shayler (2017) aponta o duplo abastecimento de motores a diesel com gás natural, como uma alternativa para o uso do diesel. Apontando que o uso do gás natural resulta em menos efeitos nocivos ao meio ambiente, além de possuir altas reservas naturais.

No Brasil a legislação em vigor é a PROCANVE (Programa de Controle de Emissões Veiculares), criado pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), com o intuito de diminuir e monitorar a degradação atmosférica e a emissão de ruídos por fontes móveis (IBAMA, 2017).

O PROCANVE 7 é uma adaptação à legislação vigente na Europa, a EURO V. Segundo Giechaskiel et al. (2014), as legislações europeias e americanas referentes às emissões de veículos leves e pesados, inspiram o controle legal de emissões de escape em todo o mundo.

Ambas legislações visam o controle de emissão de gases poluentes, mediante o uso do Recirculação dos Gases de Escape (EGR) e do Sistema Redução Catalítica Seletiva (SCR) (THANGARAJA e KANNAN, 2016).

O EGR é bastante utilizado para controlar o início do processo de combustão no motor, enquanto o SCR controla o final da combustão mediante o uso de Filtros de Partículas a Diesel (DPF) para remoção de materiais particulados (JOHNSON, 2012; THANGARAJA e KANNAN, 2016), além de possuir outros filtros e sistemas combinados (JOHNSON, 2016). Borillo et al., (2018) afirma que o SRC, é uma boa alternativa para o controle de emissões de poluentes em veículos pesados e extra pesados.

As substâncias produzidas no processo de combustão de um motor a diesel são emitidas de forma gasosa pelo escapamento, como o vapor de água, dióxido de carbono, hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxido de enxofre, partículas de

fuligem e óxido de nitrogênio. Em uma combustão ideal, apenas é emitido o vapor de água e o dióxido de carbono (DAF, 2018a).

Um dos sistemas de pós-tratamento mais utilizado no SCR é o EAS (*Emission After treatment System* – Sistema de pós-tratamento de emissões), que permite a redução de emissões dos gases pelo escapamento. Este sistema funciona juntamente com um conversor catalítico, o ARLA, um agente de redução composto por 32,5% de ureia e 67,5% de água (DAF, 2018a). Ainda segundo o autor, a quantidade de ARLA a ser injetada, depende da rotação e do torque do motor e da temperatura do gás de escapamento.

De acordo com Hagos et al., (2017) um dos principais desafios dos motores a diesel, está relacionado ao desempenho e emissões resultantes de restrições do *hardware* e combustível do motor. Os autores apontam que a eficiência atual dos motores a diesel é cerca de 45%, sendo que esse valor pode ser mais eficiente, cerca de 55-63%, pois esses valores variam conforme o projeto, operação e combustível utilizado pelo veículo.

O *Heavy Duty Diesel Engine* (HDDE), são os motores à diesel para serviços pesados, considerados um dos maiores emissores de CO₂ e poluição ambiental, pois apresentam a tecnologia mais utilizada para veículos comerciais (LION et al., 2017). De acordo com os autores, diversas estratégias buscam reduzir as emissões de poluentes ambientais, divididas em duas categorias: as tecnologias aplicadas ao motor ou a energia desperdiçada do motor.

Além disso, Tadano et al., (2014) corroboram afirmando que as emissões de poluentes dependem do combustível, motor, tecnologia de controle de emissão, idade do motor e manutenção.

2.1.2 Sistema de Transmissão

O eixo de transmissão é uma caixa de redução de engrenagens com diversas velocidades, tendo como função a redução da rotação do motor para aumentar o torque do veículo, ou seja, é o componente responsável pela conversão da velocidade do motor em torque (LECHNER e NAUNHEIMER, 1999).

De acordo com Teixeira e Rabelo (2011) os veículos utilizados em aplicações pesadas possuem entre doze e dezesseis velocidades (marchas). Os

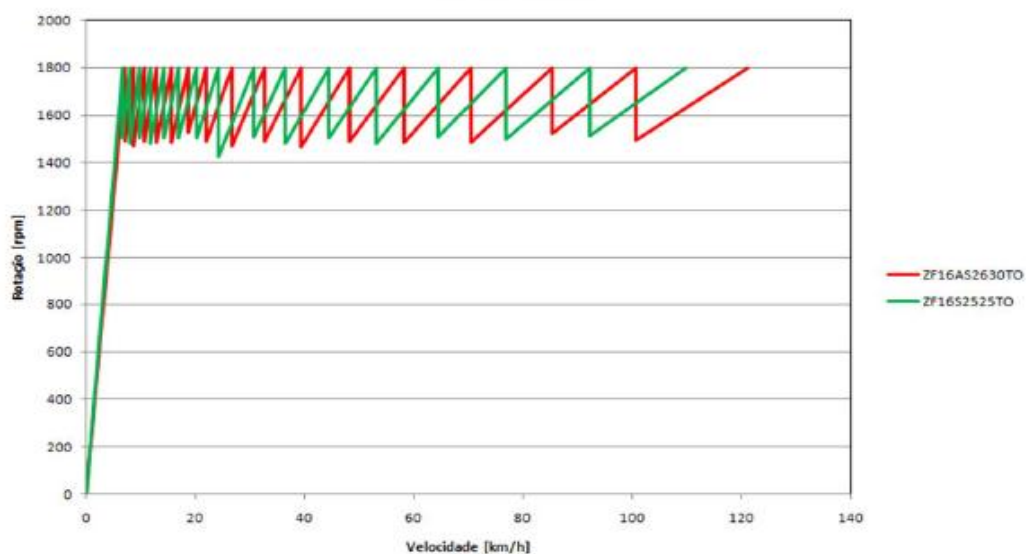
autores apresentam dois tipos de transmissão para veículos pesados, o ZF16AS2630TO (troca de marcha automatizada) e o ZF16S2525TO (troca de marcha manual). A rotação por marcha é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação da Transmissão			
ZF16AS2630TO		ZF16S2525TO	
Marcha	Relação da Transmissão	Marcha	Relação da Transmissão
1^a	14,12	1^a	13,8
2^a	11,68	2^a	11,54
3^a	9,54	3^a	9,46
4^a	7,89	4^a	7,93
5^a	6,52	5^a	6,53
6^a	5,39	6^a	5,46
7^a	4,57	7^a	4,57
8^a	3,78	8^a	3,82
9^a	3,09	9^a	3,02
10^a	2,56	10^a	2,53
11^a	2,09	11^a	2,08
12^a	1,73	12^a	1,74
13^a	1,43	13^a	1,43
14^a	1,18	14^a	1,20
15^a	1,00	15^a	1,00
16^a	0,83	16^a	0,84

Fonte: Teixeira e Rabelo (2011)

Assim, Teixeira e Rabelo (2011) apresentam no Gráfico 1, um exemplo de gráfico do tipo dente de serra para transmissões aplicadas em veículos pesados.

Gráfico 1 - Dente de Serra



Fonte: Teixeira e Rabelo (2011)

O gráfico permite identificar a rotação do veículo em cada marcha, conforme ocorre a variação da velocidade. Cada pico observado do gráfico, corresponde a uma marcha, no caso apresentado, refere-se a um veículo de 16 marchas, onde a transmissão do modelo ZF16AS2630TO, com a troca de marcha automatizada, permite o alcance de maior velocidade e aproveitamento do uso de cada marcha.

2.1.3 Eixo Cardan

O eixo cardan é um sistema de transmissão de torque, que possui a funcionalidade de fornecer independência às forças motrizes. Sua função básica é a transmissão de energia do motor para o eixo diferencial, que transmitirá a energia para as rodas do veículo permitindo seu deslocamento (CSS, 2018; VILANOVA, 2015). Esse sistema é utilizado em veículos de tração traseira com motor dianteiro (CRISTAL, ENRIQUEZ e BOGARIN, 2002).

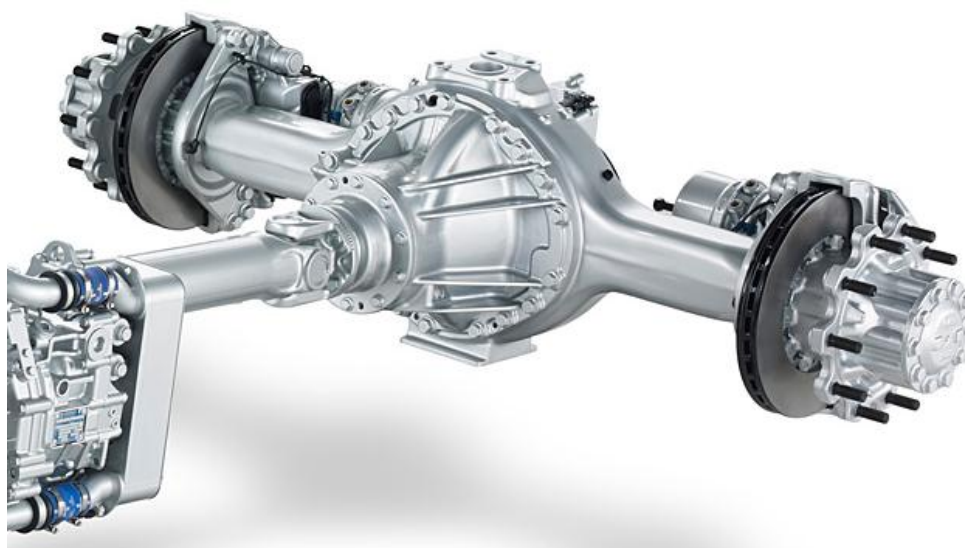
2.1.4 Relação Diferencial

A relação diferencial é um conjunto de engrenagens com diferentes funções que possuem extrema importância para a estabilidade e segurança dos caminhões (VILANOVA, 2015). Todos os veículos, sendo eles leves ou pesados, possuem

tração nas quatro rodas ou nas rodas traseiras, com uma relação diferencial no eixo trativo (KOLEKAR, 2013).

De acordo com Kolekar (2013), o diferencial é um mecanismo no eixo que envolve a rotação de pares de engrenagens, rolamentos e vedações que influenciam a eficiência da transmissão de potência do motor. Vilanova (2015) corrobora afirmando que o principal objetivo do diferencial é transmitir a potência do motor para as rodas de tração do veículo. A Figura 4 ilustra um eixo diferencial.

Figura 4 – Modelo de um Eixo Diferencial



Fonte: DAF (2018c)

De acordo com Abele e Haring (2015), o diferencial, ou trem de acionamento, refere-se ao último par de engrenagens nas rodas traseiras. Os autores ainda apontam que o eixo diferencial é uma transmissão com a última divisão de energia vinda do motor.

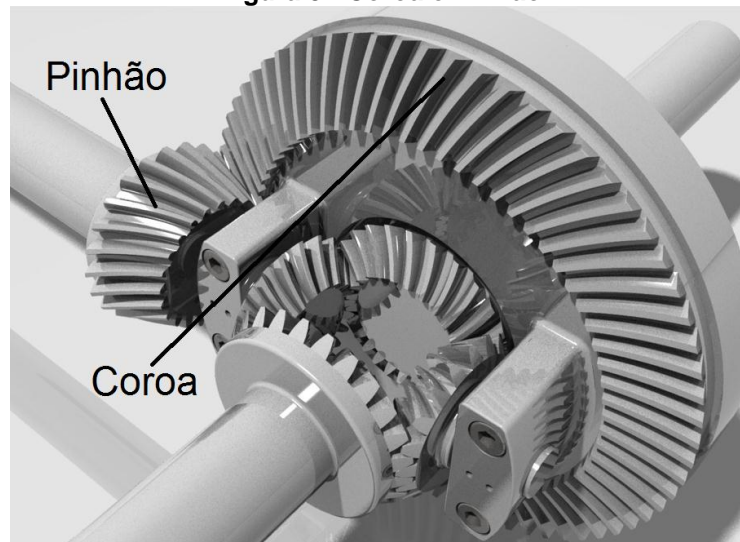
O uso do diferencial nas rodas traseiras é fundamental para distribuir o torque nessas rodas, pois em uma frenagem, as rodas traseiras não podem ser bloqueadas firmemente com a mesma força em trechos de curva (ABELE e HARING, 2015).

Assim, Vilanova (2015) aponta que uma das finalidades do diferencial é permitir a compensação da velocidade da roda movimentos de curva, fazendo girar mais rapidamente a roda externa do que a roda interna. Segundo M&T (2016) essa função é vital para um bom desempenho do veículo.

O eixo cardan é acoplado à entrada do eixo diferencial. Essa entrada é denominada Pinhão, que é engrenado à uma peça denominada Coroa (VILANOVA,

2015). De acordo com M&T (2016), o pinhão engrenado na coroa permite a mudança da direção do movimento, gerando uma redução de velocidade e assim, aumentando o torque no motor. A Figura 5 apresenta esses elementos do eixo diferencial, responsáveis pela relação diferencial.

Figura 5 - Coroa e Pinhão



Fonte: ABELE e HARING (2015)

A coroa e o pinhão são duas engrenagens que permitem a redução do torque vindo do motor para as rodas, isso ocorre devido às combinações de dentes do par coroa e pinhão (VILANOVA, 2015).

A relação da redução do diferencial é dada pela divisão do número de dentes da coroa e do pinhão, ou seja, é a quantidade de voltas que o pinhão precisa para a coroa completar uma volta (VILANOVA, 2015).

Sendo assim, quanto maior a redução, mais força e menos velocidade o caminhão apresentará, porém quanto menor a redução, mais velocidade e menos força terá o veículo (VILANOVA, 2015).

2.1.5 Dinâmica dos veículos automotores

Velocidade Periférica ou Tangencial (v_t)

De acordo com Alves e Montes (2009), velocidade periférica tem como característica a mudança de trajetória a todo instante, com módulo constante. A relação entre a velocidade tangencial e a velocidade angular é definida pelo raio da peça (r), conforme a Equação 1.

$$v_t = \omega \cdot r \quad (1)$$

Velocidade Angular (ω)

Segundo Alves e Montes (2009), o movimento de rotação da peça resulta em uma velocidade circular, denominada velocidade angular (ω) dada por:

$$\omega = 2\pi \cdot n \quad (2)$$

Onde n representa a frequência de rotação da peça ou da roda.

2.2 PERSPECTIVA DO CICLO DE VIDA

Essa seção tem como objetivo apresentar o conceito de ciclo de vida, bem como apresentar uma ferramenta que permite a avaliação ambiental do ciclo de vida. Essa avaliação ocorre mediante a quantificação dos impactos ambientais gerados pelo sistema produtivo, bem como a avaliação individual de cada fase do ciclo de vida do produto em estudo.

Segundo a ABNT (2015), compreende-se por ciclo de vida os estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a extração e aquisição da matéria-prima até a disposição final do produto.

Ainda, segundo a Norma ISO 14001 a perspectiva do ciclo de vida não requer uma avaliação detalhada do ciclo de vida completo do produto, pois a abordagem dos estágios, ou fases do ciclo de vida, que podem ser controlados ou influenciados pela organização, é o suficiente para a realização de uma avaliação ambiental (ABNT, 2015).

A perspectiva ambiental e econômica do ciclo de vida do produto estão relacionadas com os 12º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que visa assegurar padrões de produção e de consumo sustentável, mediante o incentivo às empresas pela adoção de práticas sustentáveis e integração de informações sustentabilidade em seus relatórios anuais (ONUBR, 2018).

O desenvolvimento sustentável no processo de bens e serviços necessita de métodos e ferramentas que quantifique e compare impactos ambientais, desde a extração de recursos, produção, uso e descarte final do produto. Pois assim haverá

oportunidade de um melhor desempenho ambiental no ciclo de vida dos processos produtivos (REBITZER et al., 2004).

Uma ferramenta que permite quantificar e avaliar os impactos ambientais conforme a perspectiva do ciclo de vida de um produto segundo Rebetzer et al. (2004), é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O autor descreve a ACV como uma metodologia que permite estimar e avaliar os potenciais impactos ambientais atribuídos às fases do ciclo de vida de um produto (REBITZER et al., 2004).

A ABNT (2009a) refere-se a ACV como uma técnica que tem como objetivo a conscientização ambiental frente aos possíveis impactos associados aos produtos, visando avaliar os aspectos e impactos ambientais de todo o ciclo de vida de um processo, produto ou serviço.

Além disso segundo Chang, Lee e Chen (2014), a ACV permite a seleção, classificação e apoio à decisão gerencial. Porém, para uma tomada de decisão gerencial efetiva, Ferreira (2004) destaca que o estudo da ACV deve ser associado a uma análise de custos e desempenho, pois somente o resultado da ACV não determina qual produto ou processo é o melhor ou o mais caro.

Os resultados de uma ACV são obtidos por meio da compilação das entradas e saídas de cada processo, auxiliando a gestão de oportunidades de melhorias em seu sistema produtivo ao longo do seu ciclo de vida. Essas oportunidades estão relacionadas ao desempenho ambiental do produto, na tomada de decisão quanto às informações ambientais, na seleção de indicadores de desempenho ambiental e ao *marketing* da organização (ABNT, 2009a).

O produto analisado é submetido à compilação de um Inventário do Ciclo de Vida (ICV), onde é realizada a avaliação do impacto perante as entradas e saídas do processo. Após, esses impactos são avaliados e interpretados (ILCD, 2010).

A norma ISO 14040 (ABNT, 2009a), complementa esta abordagem com a existência de outros estágios que compreendem o ciclo de vida de um produto, sendo eles: *Gate to Gate* que inclui o portão de entrada da fábrica até o portão de saída, envolvendo todos os processos produtivos internos; *Cradle to Gate* que aborda os impactos desde a extração da matéria-prima primária e suas transformações, até o portão de saída da indústria; *Gate to Grave* que compreende o estágio a partir do portão de saída, podendo passar pela distribuição, manutenção, logística reversa, desmontagem, reciclagem ou disposição final, e por fim, o *Cradle*

to Grave que envolve todo o ciclo de vida do produto, desde o berço (retirada da matéria-prima) até o túmulo (disposição final do produto).

Diante do exposto, a ACV se tornou uma importante ferramenta que visa garantir a sustentabilidade ambiental perante a avaliação dos impactos ambientais (CHANG, LEE e CHEN, 2014). A próxima seção descreve a metodologia para realizar um estudo de ACV.

2.2.1 Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida

A metodologia para aplicação da ACV é orientada pela ISO (*Organization for Standardization*) por meio de duas normas:

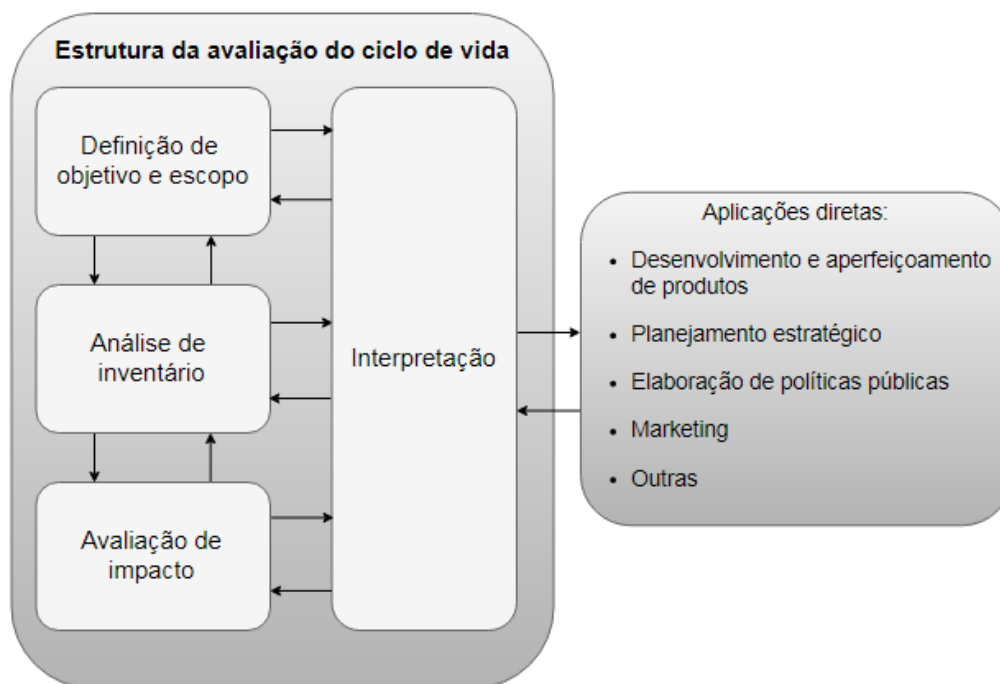
- ISO 14040 que aborda a estrutura e os princípios da ACV (ABNT, 2009a);
- ISO 14044 que possui os requisitos e diretrizes para a aplicação de uma ACV (ABNT, 2009b).

Em suma o desenvolvimento do estudo da ACV é composta por quatro fases (ABNT, 2009a):

- Definição de objetivo e escopo,
- Inventário do Ciclo de Vida (ICV),
- Avaliação dos impactos do Ciclo de Vida (AICV),
- Interpretação.

A relação entre essas fases, bem como algumas aplicações diretas da ACV podem ser observadas na Figura 6.

Figura 6 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: ABNT (2009a, p. 16)

Na primeira fase o estudo da avaliação é feito de acordo com a definição do objetivo e escopo, na qual envolvem a definição e o propósito do estudo, bem como a delimitação do mesmo, resultando na profundidade do estudo de uma ACV. As declarações feitas nesta fase, demonstram a intenção do estudo, bem como os parâmetros de *design* do produto (ABNT, 2009a).

Além disso, essa fase fornece uma caracterização do produto em termos do limite de sistema e de unidade funcional. Essa unidade permite que produto seja comparado e analisado com outros produtos alternativos (ABNT, 2009a).

Na segunda fase, a análise de Inventário do Ciclo de Vida, envolve a coleta e a análise dos dados de entrada e saída do processo, que atenda ao objetivo e ao escopo declarados anteriormente (ABNT, 2009a).

Na terceira fase, Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), os dados coletados na fase anterior são associados às categorias de impacto específicas, buscando o melhor entendimento de sua relevância ambiental (ABNT, 2009a).

Por fim, de acordo com a norma, a fase de interpretação do ciclo de vida evidencia e discute os resultados encontrados, apresentando conclusões, recomendações e auxílio à tomada de decisão, conforme o objetivo e escopo definidos na primeira fase do estudo (ABNT, 2009a).

Porém Rebitzer et al. (2004) ressaltam que a interpretação do ciclo de vida pode ocorrer em todas as etapas de uma ACV, pois segundo os autores, se houver duas alternativas de produto, quando comparadas, uma alternativa pode demonstrar um consumo maior de material e de recursos, podendo obter uma interpretação baseada somente no inventário do ciclo de vida como conclusiva.

A norma ainda ressalta que não existe um único método para conduzir a ACV, pois ela é iterativa, ou seja, conforme o avanço do estudo e coleta dos dados e informações, o escopo pode exigir certas alterações (ABNT, 2009a).

Em alguns casos, o objetivo de uma ACV pode ser atingido somente com a realização da análise de inventário e sua interpretação. Essa abordagem justifica o duplo sentido das setas observadas na Figura 6, evidenciando a inter-relação entre as fases da ACV (ABNT, 2009a).

2.2.2 Ferramentas de apoio a ACV

De acordo com Campolina, Sigrist e Moris (2015), na fase do ICV há uma necessidade da coleta de dados por meio de procedimento matemáticos, como o cálculo de balanço de massa e energia.

Segundo os autores, existem uma variedade de *softwares* que possuem banco de dados para o ICV a partir de elementos comuns, como materiais, energia e transporte (CAMPOLINA, SIGRIST e MORIS, 2015).

Os *Softwares* que apoiam os estudos de ACV, possuem o objetivo de simplificar os cálculos do balanço de massa e energia, permitindo comparações do ciclo de vida dos produtos e, principalmente a promoção de análise dos potenciais impactos ambientais e a interpretação desses impactos (CAMPOLINA, SIGRIST e MORIS, 2015).

Entre as variedades de *softwares* que apoiam a ACV, destaca-se por exemplo, o Umberto NXT Universal, desenvolvido na Alemanha pelo “*Institute for Environmental Informatics*” de Hamburg. Esse *software* permite uma visualização de fluxogramas de materiais e energias, possibilitando uma visão clara dos processos e dos seus respectivos impactos (CAMPOLINA, SIGRIST e MORIS, 2015). Segundo os autores, o Umberto pode utilizar de diversas bases de dados como a *Ecoinvent*, *Japan National LCA Project*, e GaBi.

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E EMISSÃO DE POLUENTES

O estudo da avaliação do ciclo de vida em veículos extra pesados permite o conhecimento de questões relacionadas ao combustível, desempenho do motor, características da combustão e das emissões de poluentes e efeito do uso de biodiesel no desgaste dos componentes do motor (AGARWAL et al., 2017).

Os catalisadores encontrados nos motores ajudam a controlar as emissões, além de minimizar a pressão sobre os escassos recursos petrolíferos, sem prejudicar a produção de energia, desempenho e consumo de combustível no motor (AGARWAL et al., 2017).

O estudo realizado por Agarwal et al. (2017) apresenta a avaliação do ciclo de vida do biodiesel como um ponto crítico para tomada de decisão sobre a viabilidade econômica da matéria-prima, Relação Energia Líquida (REL) e a combinação do processo produtivo.

Segundo Rocha et al. (2014) o fator crítico relacionado à emissão de gases do efeito estufa, está na mecanização da agricultura, pré-queima na colheita e o transporte. O estudo de ACV realizado pelos autores, evidenciou um grande impacto para a categoria de toxicidade humana.

Os autores atribuíram o impacto ao uso de herbicidas, pesticidas e fertilizantes na fase agrícola da produção de biocombustíveis, onde também há um alto potencial de acidificação, devido ao uso desses materiais (ROCHA et al., 2014).

Lee et al. (2018) compararam as emissões atmosféricas mediante aplicação da ACV em caminhões elétricos de célula de combustível de hidrogênio e em caminhões convencionais à diesel, onde concluíram que em termos de consumo de combustível fóssil, os caminhões elétricos quase eliminam o uso do petróleo, em comparação aos caminhões convencionais à diesel, pois o combustível de hidrogênio estudado é a base de gás natural.

Ainda, Lee et al. (2018) afirmam que a redução do uso de combustível fóssil em caminhões reboques é relativamente menor, cerca de 3%, quando comparados à caminhões de tração, devido as condições operacionais, como distância e carga.

Segundo os autores, os caminhões elétricos que geralmente operam em condições de condução urbana, possuem maior ganho de eficiência quando comparados com caminhões convencionais movidos à diesel (LEE et al., 2018).

Desta forma, é possível concluir que a literatura apresenta principalmente estudos comparativos de ACV para a quantificação de impactos ambientais do uso e consumo de diferentes combustíveis (biocombustíveis e combustíveis fósseis), buscando caracterizar a produção mais sustentável. Estes estudos não puderam gerar comparabilidade com o estudo proposto por este trabalho, pois não foi encontrado trabalhos envolvendo o mesmo objetivo.

A próxima seção apresenta a metodologia desenvolvida para a estruturação deste estudo.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a abordagem metodológica utilizada para a realização deste estudo. As seções seguintes apresentam a classificação metodológica dessa pesquisa, bem como a forma que a metodologia foi estruturada. Apresentando suas fases e etapas metodológicas e, por fim são relatados os métodos utilizados para a construção do referencial teórico.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho apresenta uma pesquisa de abordagem quantitativa, sendo classificado de natureza aplicada, por gerar conhecimento, mediante uma aplicação prática direcionada à solução de problemas específicos (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

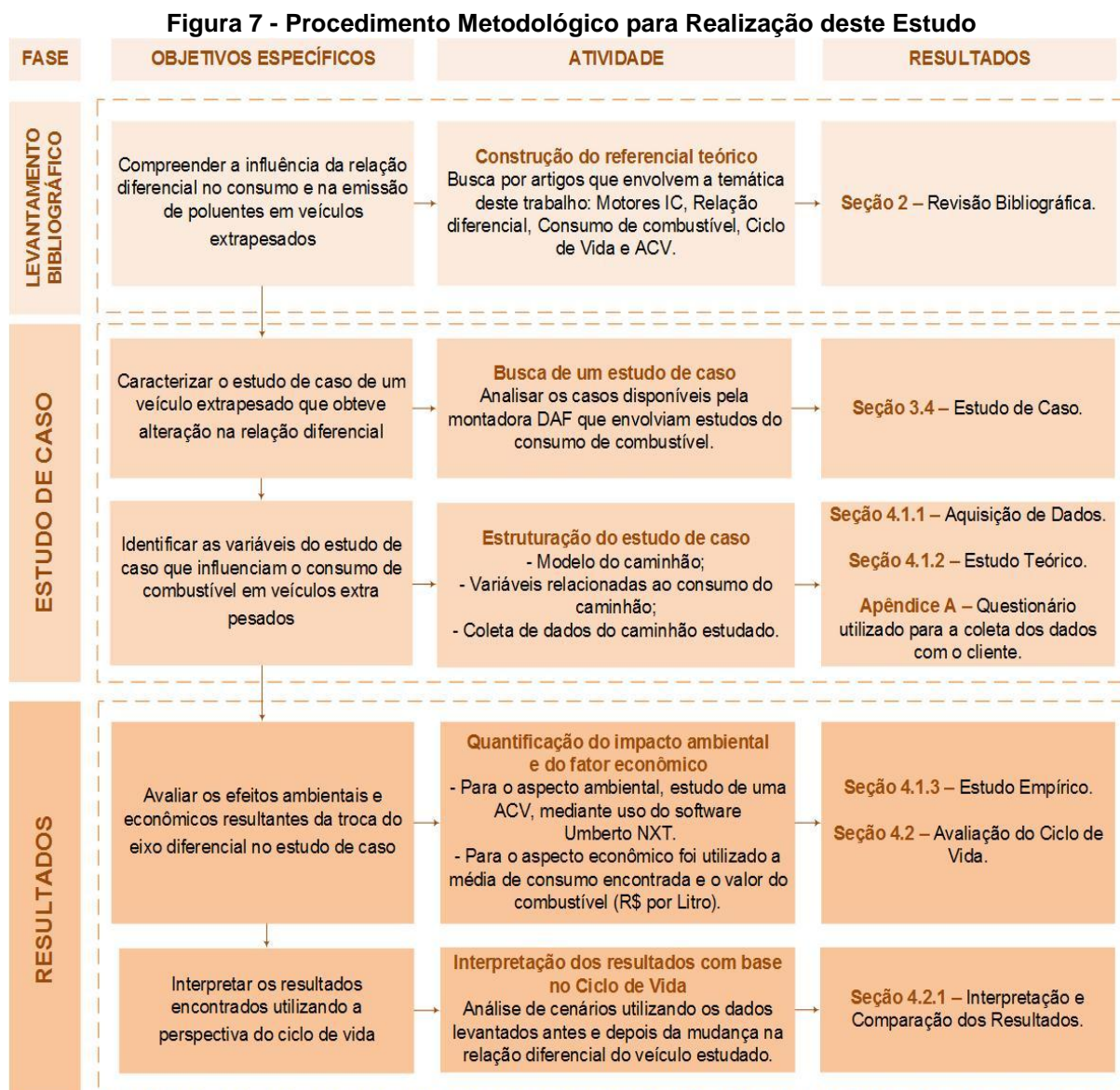
Como o presente trabalho buscou descrever as informações específicas e possui uma coleta de dados padronizada sobre o tema abordado, ele também é caracterizado como uma pesquisa descritiva (GIL, 2007).

De acordo com Gil (2007), os procedimentos revelam o planejamento da pesquisa, envolvendo a análise, interpretação, e coleta de dados de estudos já consolidados. Contudo, o procedimento utilizado neste estudo foi a pesquisa bibliográfica, na qual os dados foram obtidos de buscas em periódicos e normas.

Além disso, segundo Gil (2007), essa pesquisa é classificada como um estudo de caso documental, por envolver um estudo profundo de um objeto, permitindo um amplo conhecimento do mesmo.

3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Com base no levantamento teórico desenvolvido por este estudo, a Figura 7 apresenta a estrutura metodológica utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.



Fonte: Autoria Própria (2018)

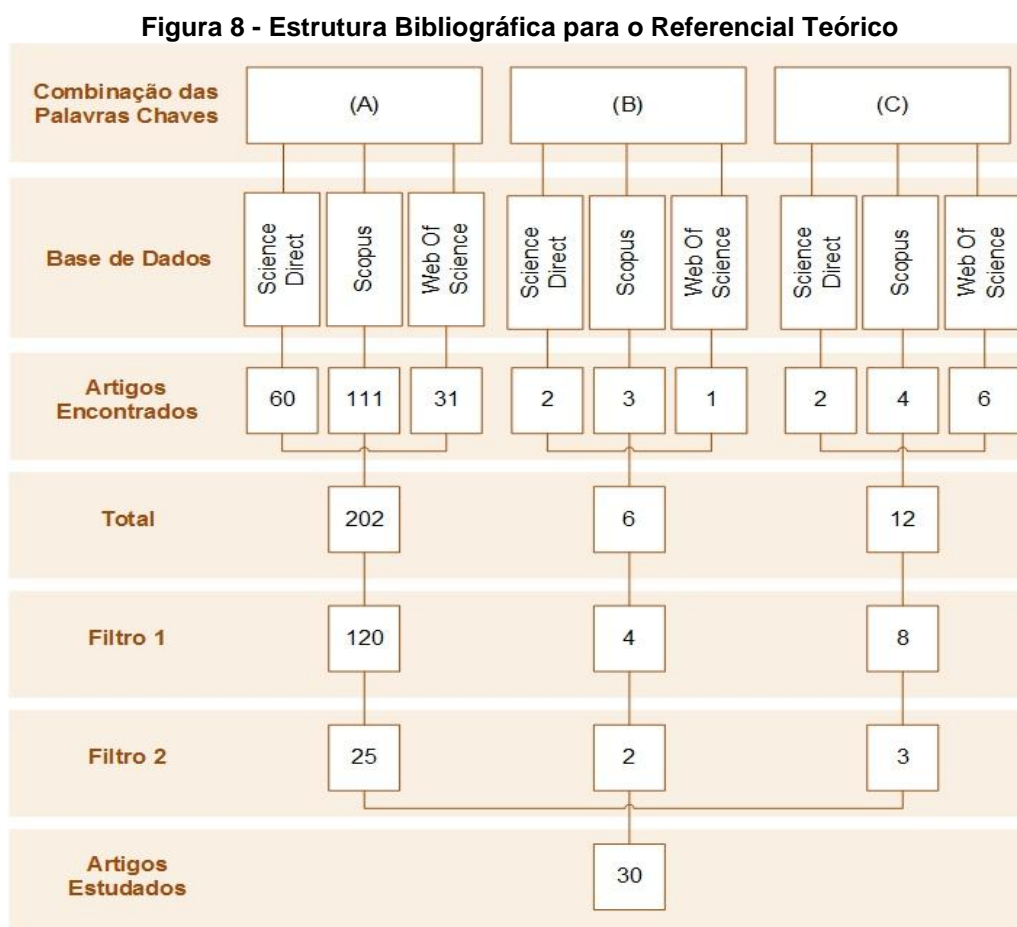
A Figura 9 apresenta as três fases deste estudo, constituídas pelos cinco objetivos específicos relacionados ao desenvolvimento deste trabalho. Ainda, evidencia-se as atividades desenvolvidas para alcançar esses objetivos, bem como os resultados encontrados mediante a realização das atividades descritas. Assim, o atendimento dos objetivos específicos permitiram o alcance do objetivo geral estabelecido por este estudo.

A pesquisa foi dividida em três fases, a primeira apresenta o levantamento da arte do tema em estudos existentes na literatura. Dessa forma, inicia-se a segunda fase, o estudo de caso, onde buscou-se caracterizar um estudo que se adequasse ao tema proposto, um veículo que obteve alteração do seu eixo diferencial.

Então, foi possível identificar um estudo e estruturá-lo para a realização deste trabalho, buscando as variáveis necessárias para o alcance dos resultados encontrados na terceira e última fase deste procedimento metodológico. Nesta fase, foi possível analisar os dados encontrados mediante a aplicação da ACV, metodologia que permitiu mensurar os impactos ambientais, antes e depois da alteração da relação diferencial do veículo estudado.

3.3 CONSTRUÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção foi abordada a construção do referencial teórico, mediante um conjunto de atividades, que foram determinadas para selecionar os artigos que seriam estudados para embasamento do presente estudo. A Figura 8 ilustra a sequência de ações que foram realizadas para a construção da estrutura bibliográfica.



Fonte: Autoria Própria (2018)

As bases de dados utilizadas neste estudo foram *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*, em todas elas foram utilizadas as mesmas combinações de palavras-chaves, juntamente com os operadores booleanos e símbolos de truncamento, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Combinação das Palavras-Chaves Utilizadas nas Bases de Dados

(A)	<i>("Extra-heavy vehicles" OR "Heavy duty engines") AND ("Performance" OR "Emission")</i>
(B)	<i>("Extra-heavy vehicles" OR "Heavy duty engines") AND ("Driveline" OR "Differential")</i>
(C)	<i>(LCA OR Life cycle assessment) AND ("Heavy duty engines")</i>

Fonte: Autoria Própria (2018)

A busca, em todas as bases foi realizada no dia 26 de setembro de 2018, buscando artigos completos e artigos de revisão publicados no período de 2014 a 2018, com o intuito de encontrar estudos recentes na literatura que envolvem a temática deste trabalho.

Após as definições das combinações de palavras-chaves e do intervalo de tempo, os artigos encontrados foram exportados para um programa de gerenciamento de referências, nele foi realizado dois filtros para selecionar os artigos a serem estudados.

O Filtro 1 teve como objetivo a exclusão dos artigos repetidos e o objetivo do Filtro 2, foi a análise dos títulos, palavras-chave e resumo, descartando os artigos que não tinham relação com a temática do presente estudo. Foram encontrados no total, 220 artigos. Após o método utilizado para a seleção dos artigos, foram analisados 30 artigos que foram citados ao longo deste trabalho.

3.4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado neste trabalho foi cedido pela DAF Caminhões Brasil Ltda. A montadora de caminhões holandesa que está no mercado desde 1928, produzindo veículos pesados e extra pesados na Holanda, Bélgica, Reino Unido e Brasil (DAF, 2018b).

No Brasil, a DAF se instalou em 2011 na Cidade de Ponta Grossa, a planta é responsável pela produção dos modelos, extra pesado XF105, e do pesado CF85. Desde 2015, a planta monta os motores PACCAR MX para ambos modelos de caminhões (DAF, 2018b).

O estudo de caso foi realizado em um caminhão DAF modelo XF105 apresentado na Figura 9, que faz parte da frota de uma transportadora localizada em Minas Geras.

Figura 9 – Modelo do Veículo Estudado



Fonte: Truck (2018)

O veículo evidenciava um consumo de combustível acima da média. Para tanto, foi realizada uma avaliação técnica do veículo e de sua aplicação. Constatou-se que o caminhão operava em regiões montanhosas onde demandava alta desempenho e esforço do motor.

Segundo as análises realizadas pela DAF, a relação diferencial era inadequada à aplicação severa realizada pelo veículo. Uma vez que o eixo diferencial está diretamente envolvido no regime de funcionamento do motor, e por consequência no desempenho do caminhão.

Diante disso, a empresa buscou a redução da relação diferencial com o intuito de melhorar a performance do veículo.

3.5 MÉTODO PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO CICLO DE VIDA

As fases para a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida é definida pelas normas ISO 14040 (ABNT, 2009a) e ISO 14044 (ABNT, 2009b) apresentadas na Figura 4.

A primeira fase busca identificar as características do sistema e a definição dos objetivos do estudo. A segunda fase baseia-se na coleta dos dados. Após, na terceira fase, foi realizada a qualificação e a quantificação dos potenciais impactos ambientais. E por fim, a quarta fase, evidencia as conclusões traçadas mediante os resultados obtidos na fase anterior.

As etapas e os passos definidos para cada uma delas, são expostas na seção a seguir.

3.5.1 Fase 1: Definição de Objetivo e Escopo

Objetivo

O objetivo do estudo de ACV é realizar uma análise comparativa entre os dois tipos de veículos (A e B) que obtiverem o diferencial alterado, visando a economia de combustível. As especificações dos produtos são apresentadas no Quadro 2, onde é possível observar que o diferencial apresenta a diferença entre os produtos.

Quadro 2 - Especificação dos Produtos para Realização da ACV

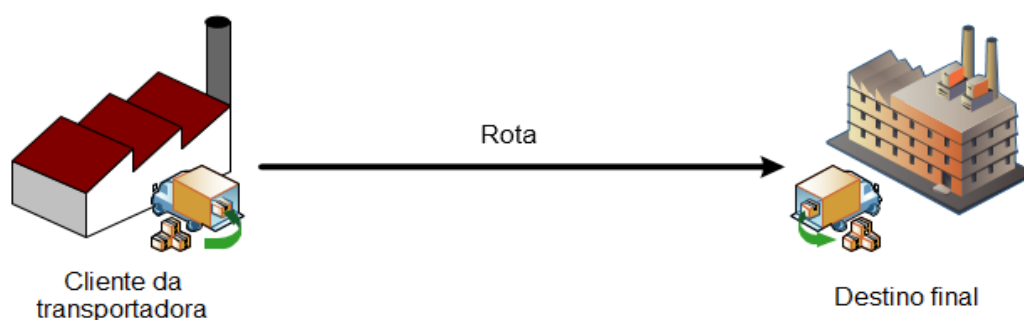
	Produto A	Produto B
Marca	DAF	DAF
Modelo	XF105	XF105
Transmissão	16 Marchas (ZF 16AS2630TO)	16 Marchas (ZF 16AS2630TO)
Tração	FTT (6x4)	FTT (6x4)
Motor	MX13 460cv	MX13 460cv
Diferencial	3,73 (Meritor MT50168)	4,10 (Meritor MT50168)

Fonte: Autoria Própria (2018)

Escopo

Para este estudo, foi considerado apenas os impactos resultantes do transporte de produtos de um cliente da transportadora até o seu destino final, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Esquemática do Escopo para a ACV



Fonte: Autoria Própria (2018)

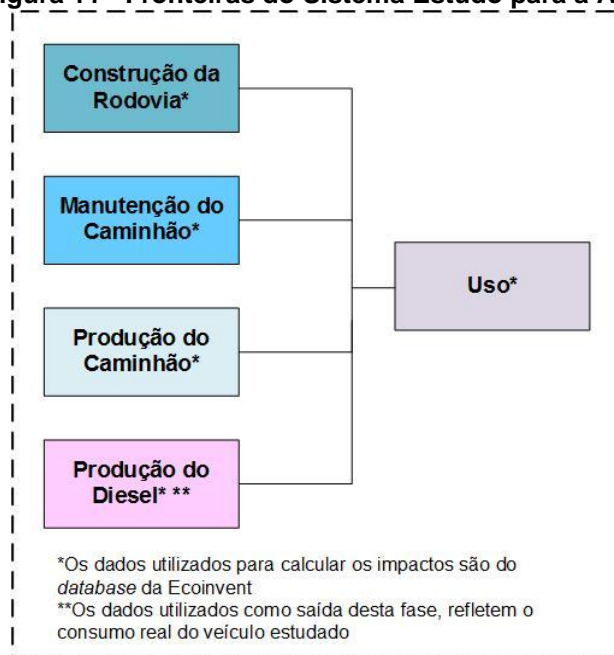
Fronteiras

As fronteiras consideradas para este estudo são apresentadas na Figura 11.

Há cinco fases a considerar neste estudo:

- Construção da rodovia mediante o processo “*Road Construction [RoW]*”;
- Manutenção do caminhão mediante o processo “*Maintenance, lorry 16 metric ton [RoW]*”;
- Produção do caminhão mediante o processo “*Lorry production 16 metric ton [RoW]*”;
- Produção do diesel mediante o processo “*Diesel production low-sulfur [RoW]*”;
- Uso mediante o processo “*Transport, freight lorry >32 metric ton, Euro5 [RoW]*”.

Figura 11 - Fronteiras do Sistema Estudado para a ACV



Fonte: Autoria Própria (2018)

Portanto, para o estudo de ACV a fronteira utilizada pode ser considerada uma adaptação do “*cradle-to-gate*” por envolver a extração da matéria-prima primária e suas transformações até o portão de saída da indústria.

Pressupostos

Para a modelagem do sistema estudado, utilizou-se os dados da Ecoinvent v.3.3, para calcular os impactos do processo de “*Transport, freight lorry >32 metric ton, Euro5 [RoW]*”, pois os dados referentes a homologação de emissões dos produtos estudados não puderam ser utilizados por questões de sigilo industrial da empresa que desenvolveu estudo de caso.

Entretanto, é recomendado que para estudos futuros e para análises fiéis dos impactos emitidos por cada produto, seja necessário a inclusão de dados relacionados as emissões próprias de cada veículo.

A rota considerada na fase de uso, tem como ponto de origem a saída do veículo carregado do cliente da transportadora, chegando até o seu destino onde será descarregado, percorrendo cerca de 120.000 quilômetros por ano.

Os dados utilizados na fase de produção do diesel, refletem os impactos gerados pela real quantidade de combustível utilizada pelos produtos analisados. Porém, os dados finais não refletem os dados de produção do diesel brasileiro, uma

vez que os dados da *Ecoinvent* são baseados na produção europeia, não refletindo a regionalização para as tecnologias desenvolvidas no Brasil.

Função e Unidade Funcional

A Função Primária relaciona-se com a função dos veículos, ou seja, o transporte de cargas pesadas de um destino inicial a um destino final.

A Unidade Funcional refere-se a um caminhão DAF modelo XF 105, FTT (6x4), com motor 460 cavalos que realiza viagens de 120.000 km anuais pelo mesmo percurso, transportando 74 toneladas, com velocidade média de 80 km/h, com o mesmo condutor e consumo de 10k litros de diesel por ano, para o caminhão com 3.73 de relação diferencial e 10,703k de litros por ano para o veículo com 4.10 de relação diferencial.

Fluxo de Referência

O Fluxo de Referência é de 74 toneladas de PBTC (Peso Bruto Total Combinado), ou seja o peso total do veículo, para um deslocamento de 120.000 km.

3.5.2 Fase 2: Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Requisitos de qualidade de dados

Os dados utilizados de consumo de diesel foram disponibilizados pela DAF Caminhões Brasil. Assim, têm-se como entrada do sistema de produção de diesel, o consumo do caminhão, que pode ser observado na Tabela 8.

Coleta de Dados

- Dados Primários: DAF Caminhões;
- Dados Secundários: Base de dados Ecoinvent v.3.3.

Os dados primários envolvem a relação do consumo de combustível do veículo. Enquanto os dados secundários, são os dados utilizados no *software* para o estudo da ACV, utilizando o banco de dados da Ecoinvent v.3.3.

Validação de Dados

Os dados primários passaram por uma validação qualitativa pelo responsável da empresa que analisou os dados para a realização e coerência deste estudo.

Modelagem do Sistema

O processo deste estudo foi modelado utilizando o *software* Umberto NXT Universal versão. 7.1.13 Educacional, com o uso da base de dados Ecoinvent v3.3. Para este processo, foram definidos três critérios:

- Método de alocação: *cut-off*;
- Geografia: *RoW (Rest of the World)* pois refere-se a uma cópia da geografia global (ECOINVENT, 2017);
- Processo: *Result*, pois considera as trocas ambientais e os impactos do sistema relacionado a uma atividade específica (WEIDEMA et al., 2013).

3.5.3 Fase 3: Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

Escolha da Categoria de Impacto e Método da AICV

A primeiro método utilizado neste estudo foi o *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD 1.0.8 2016 midpoint), que avalia a categoria de impacto relacionada ao consumo de recursos, a Depleção de Recursos Abióticos, outro método utilizado foi o IPCC 2013, produzido pelo método de avaliação *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2013) que avalia a categoria de Impacto Potencial de Aquecimento Global (*GWP 100a*).

A Depleção de Recursos Abióticos é uma categoria de impacto relacionada com a extração de minerais e de combustíveis fósseis pertencentes ao sistema, dada em quilograma de antimônio equivalente (Sb eq), um metal de coloração branca azulada (QUEIROZ, 2011).

Enquanto, segundo Queiroz (2011), o impacto potencial de Aquecimento Global de uma substância, está na relação entre a contribuição para a absorção de radiação resultante da emissão instantânea de 1 kg de um gás com efeito de estufa com mesma emissão de dióxido de carbono (CO₂) ao longo do tempo.

3.5.4 Fase 4: Interpretação

Dadas as características do sistema estudado, é possível avaliar se a mudança na relação diferencial de caminhões extra pesados reduz os impactos relacionados às categorias avaliadas para o aquecimento global e extração de recursos, assim como reduziu o consumo de combustível. A fase de interpretação é detalha na Seção 4.2 como resultados alcançados na AICV mediante aplicação da ACV.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta a análise dos resultados para a avaliação econômica e ambiental do estudo de caso de um veículo extra pesado. A Seção 4.1 apresenta a análise dos resultados obtidos no estudo de caso e a avaliação econômica, relacionada à redução do consumo do combustível mediante a troca do diferencial, enquanto a Seção 4.2, apresenta a avaliação ambiental do veículo, apresentando a redução dos impactos ambientais, devido à redução do consumo de combustível.

4.1 ESTUDO

O estudo focou na redução de combustível, onde decidiu-se mudar a relação do diferencial para que houvesse otimização do consumo no veículo. O Quadro 3 apresenta as especificações iniciais do veículo extra pesado estudado.

Quadro 3 - Especificação Inicial do Veículo Estudado

Marca	DAF
Modelo	XF105
Transmissão	16 Marchas (ZF 16AS2630TO)
Tração	FTT (6x4)
Motor	MX13 460cv
Diferencial	3,73 (Meritor MT50168)

Fonte: Autoria Própria (2018)

4.1.1 Aquisição dos Dados

Os dados utilizados para o estudo teórico da possível alteração do eixo diferencial, foram coletados pelo Instrumento de Análise Veicular (IAV) registrado na Fotografia 1.

Fotografia 1 - Instrumento de Análise Veicular (IAV)



Fonte: Autoria Própria (2018)

Os dados obtidos pelo IAV são os dados disponíveis pela rede CAN (*Controller Area Network*). A rede CAN permite uma comunicação eficiente entre sensores, atuadores, controladores e outros dispositivos controlados em tempo real (SOUZA e CAMPOS, 2017).

Os dados utilizado para o desenvolvimento deste estudo envolvem a rotação, velocidade, marcha, consumo, temperatura e tempo que o veículo passa em cada marcha. Esses dados são obtidos mediante a instalação do equipamento no veículo, no qual desempenhará suas atividades e após um determinado período, o equipamento é recolhido e os dados são analisados.

4.1.2 Estudo Teórico

Esta seção buscou apresentar dados que evidenciasse e fundamentasse a decisão para a troca do eixo diferencial, realizando um estudo das possíveis relações de eixo para a melhor aplicação do veículo.

Além disso, o estudo teórico permitiu encontrar a relação do consumo de combustível antes e depois da alteração do eixo diferencial, para que posteriormente houvesse a avaliação da perspectiva do ciclo de vida do veículo em estudo.

O veículo estudado compõe a frota de uma transportadora localizada em Minas Gerais. O percurso realizado pelo caminhão é ilustrado da Figura 12, percorrendo trechos do estado de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiânia, Minas Gerais e Bahia.

Figura 12 – Percurso Anual Realizado pelo Veículo



Fonte: Dados internos DAF (2018)

Mediante a coleta de dados realizada, é possível estimar a quilometragem que o veículo roda anualmente, em média 120.000 km por ano, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Média em Quilômetros do Percurso Realizado Anualmente pelo Veículo Estudado

Data	km Rodado	Diferença em dias	Diferença Km	Média por Dia [km]
12/01/2018	27.6130,00	14	7.682,00	548,71
26/01/2018	28.3812,00	23	4.090,00	177,83
18/02/2018	28.7902,00	42	9.220,00	219,52
14/04/2018	29.7544,00	10	4.003,00	400,30
16/05/2018	30.2229,00	14	5.091,00	363,64
30/05/2018	30.7320,00	18	2.167,00	120,39
17/06/2018	30.9487,00	19	7.500,00	394,74
06/07/2018	31.6987,00	13	5.311,00	408,54
19/07/2018	32.2298,00		Média Diária [km]	329,21
			Média Anual [km]	120.161,25

Fonte: Autoria Própria (2018)

Além das especificações do veículo, determinou-se a rotação da troca de marcha, o raio dinâmico do pneu e as três relações diferenciais para avaliação de performance, observadas no Tabela 3.

Rotação de troca de marcha [rpm]	1500
Raio dinâmico do pneu [m] (295/80 R22,5) (r)	0,5217
Relação diferencial (i_{d1})	3.73
Relação diferencial (i_{d2})	3.91
Relação diferencial (i_{d3})	4.10

Fonte: Autoria Própria (2018)

A transmissão utilizado no veículo é do modelo ZF 16AS2630TO, onde a redução das marchas de transmissão (i_t) é apresentada na Tabela 4.

Marcha	Relação das Marchas (i_t)	Marcha	Relação das Marchas (i_t)	Marcha	Relação das Marchas (i_t)	Marcha	Relação das Marchas (i_t)
1^a	14,12	5^a	6,52	9^a	3,09	13^a	1,43
2^a	11,68	6^a	5,39	10^a	2,56	14^a	1,18
3^a	9,54	7^a	4,57	11^a	2,09	15^a	1,00
4^a	7,89	8^a	3,78	12^a	1,73	16^a	0,83

Fonte: Teixeira e Rabelo (2011)

Sabendo que entre o motor e o pneu existem duas reduções, uma na caixa de transmissão (i_t) e outra no eixo diferencial (i_d), temos a redução total mediante a multiplicação das duas reduções, que interferem na velocidade final do veículo.

Assim, é possível encontrar a velocidade tangencial do pneu, que pode ser obtida mediante a substituição da Equação (2), $\omega = 2\pi \cdot n$, na Equação (1), $v_t = \omega \cdot r$. Obtendo então a Equação (3) a seguir.

$$v_t = 2\pi \cdot n \cdot r \quad (3)$$

Sendo as unidades de medida da rotação (n) em rpm (rotação por minuto), e o raio (r) em metros, teremos a velocidade em metros/minutos.

Porém, para análise é utilizada a unidade de km/h, sendo preciso transformar a Equação (3) para obter um resultado na unidade desejada, além de relacionar com as duas reduções, i_t e i_d . A constante 60 permite a transformação da unidade de minutos para segundos, enquanto a constante 3,6 permite a transformação da velocidade em m/s para km/h.

$$v_t = 2\pi \cdot n \cdot r \left(\frac{3,6}{60(i_d \cdot i_t)} \right) \quad (4)$$

Dessa forma, é possível encontrar as velocidades do veículo para rotação do motor igual a 1500 rpm, para as três reduções diferenciais propostas (i_{d1} , i_{d2} , i_{d3}), observadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Velocidade do Veículo por Redução Diferencial Estudada							
Relação Diferencial (i_d)				Relação Diferencial (i_d)			
Marcha	3.73	3.91	4.10	Marcha	3.73	3.91	4.10
Velocidade por marcha [Km/h]				Velocidade por marcha [Km/h]			
1ª	5,6	5,34	5,1	9ª	25,6	24,42	23,29
2ª	6,77	6,46	6,16	10ª	30,9	29,47	28,11
3ª	8,29	7,91	7,54	11ª	37,84	36,1	34,43
4ª	10,02	9,56	9,12	12ª	45,72	43,61	41,59
5ª	12,13	11,57	11,04	13ª	55,31	52,76	50,32
6ª	14,67	14	13,35	14ª	67,03	63,94	60,98
7ª	17,31	16,51	15,75	15ª	79,09	75,45	71,95
8ª	20,92	19,96	19,04	16ª	95,29	90,91	86,69

Fonte: Autoria Própria (2018)

Ao observar a Tabela 6, é possível concluir que a rotação do motor e a velocidade do veículo variam conforme a troca de marcha.

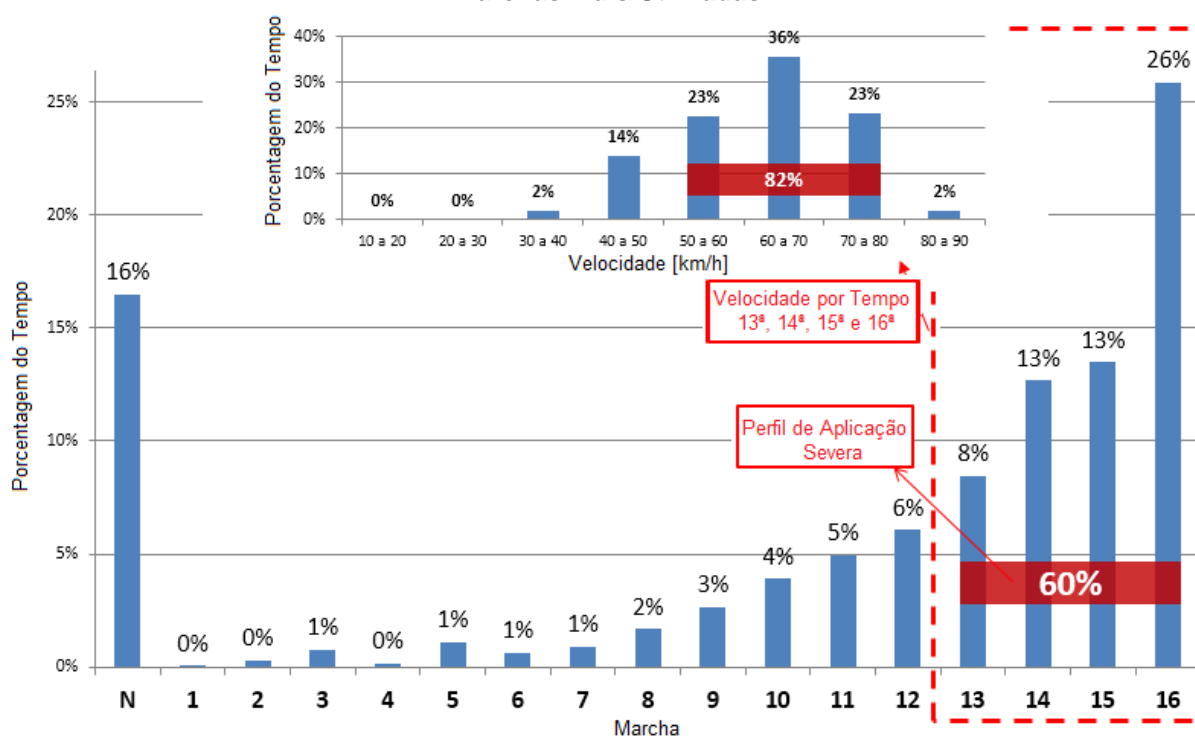
Tabela 6 - Rotação por Troca de Marcha

Marcha	Rotação	Marcha	Rotação	Marcha	Rotação	Marcha	Rotação
1 ^a	0	5 ^a	1240	9 ^a	1226	13 ^a	1240
1 ^a	1500	5 ^a	1500	9 ^a	1500	13 ^a	1500
2 ^a	1241	6 ^a	1240	10 ^a	1243	14 ^a	1238
2 ^a	1500	6 ^a	1500	10 ^a	1500	14 ^a	1500
3 ^a	1225	7 ^a	1272	11 ^a	1225	15 ^a	1271
3 ^a	1500	7 ^a	1500	11 ^a	1500	15 ^a	1500
4 ^a	1241	8 ^a	1241	12 ^a	1242	16 ^a	1245
4 ^a	1500	8 ^a	1500	12 ^a	1500	16 ^a	1500

Fonte: Autoria Própria (2018)

Os dados apresentados no Gráfico 2, apresentam a faixa da marcha e da velocidade que o veículo em estudo passa na maior parte do tempo.

Gráfico 2 - Porcentagem do Tempo que Veículo permanece em cada Marcha a Velocidade nas Marchas mais Utilizadas

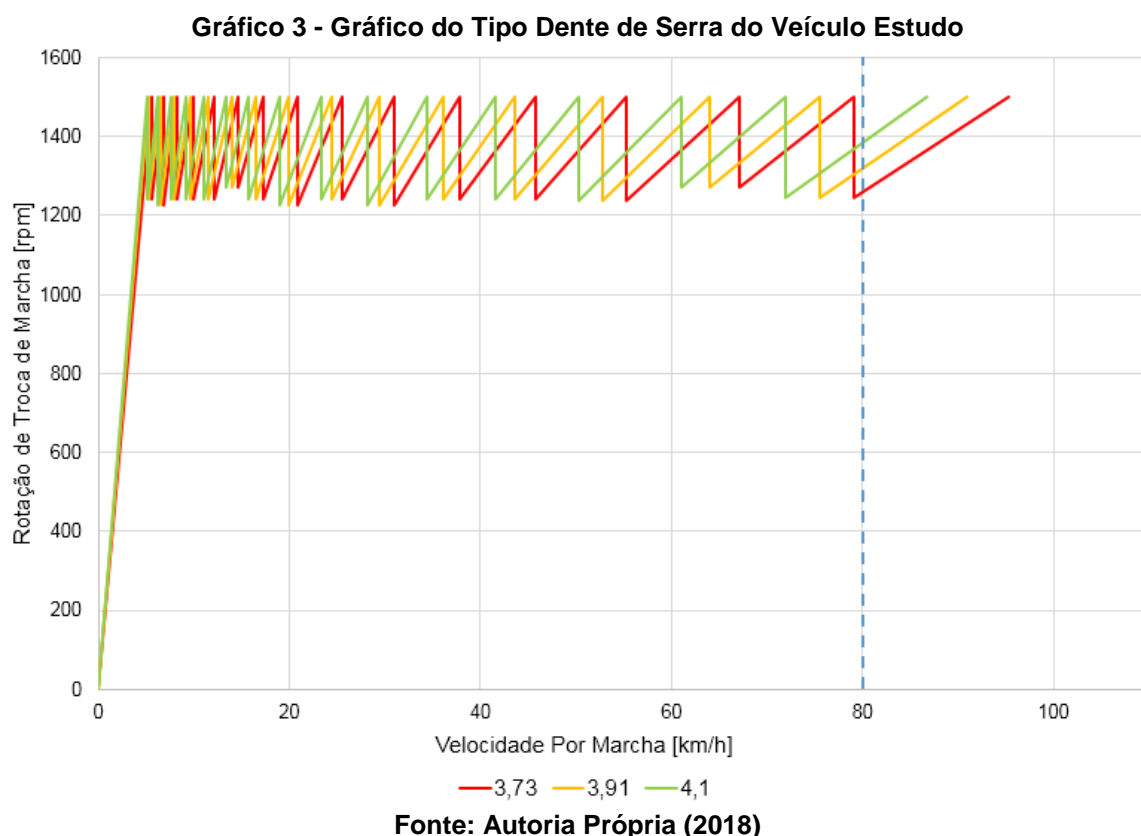


Fonte: Dados Cedido Pela Montadora (2018)

Observa-se que o veículo comercial estudado passa a maior parte do tempo na 16^a marcha. Além disso, possui uma velocidade em torno de 65 km/h. Resultando em um perfil para aplicação severa, onde exige maior força do motor.

Sendo assim é preciso a alteração do eixo diferencial que possibilite um maior aproveitamento da 16^a marcha, sem comprometer o desempenho do veículo.

Diante do exposto e com os valores da rotação do motor e das velocidades alcançadas, é possível traçar a curva Dente de Serra apresentada no Gráfico 2. Esse gráfico permite uma melhor comparação entre as relações diferenciais propostas para avaliação da performance do veículo.



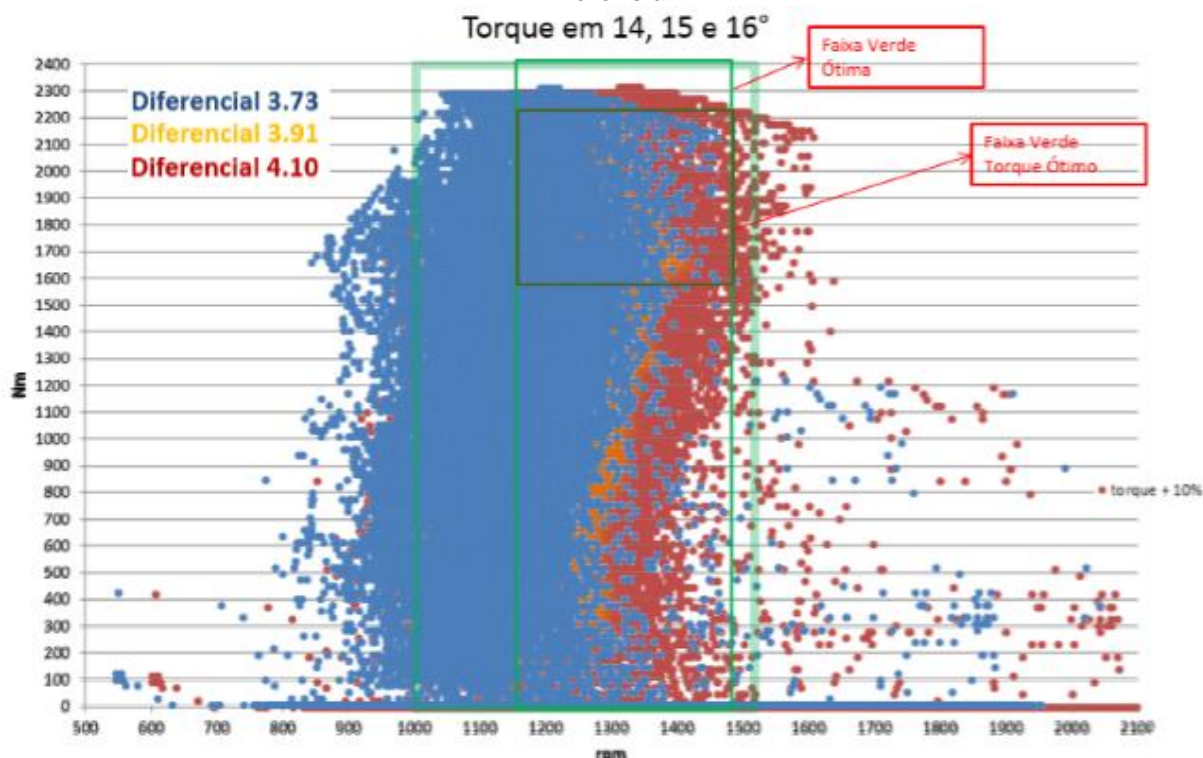
O Gráfico 3 apresenta as três reduções diferenciais propostas pela rotação e velocidade do veículo. Observa-se que cada curva possui 16 picos, estes pontos se referem à cada troca de marcha, da primeira à décima sexta, conforme a especificação do veículo estudado. Quanto mais reduzido o diferencial, menor a velocidade para a mesma rotação.

A linha tracejada em 80 km/h marca a premissa adotada pela política da empresa. Essa medida foi para efeitos comparativos entre as três curvas. Podendo concluir que a 16ª marcha para o eixo 3.73 é obsoleta, ou seja, pouco aproveitada.

A situação de pouco aproveitamento da décima sexta marcha com o eixo de relação 3.73 implica na alteração do eixo diferencial para uma melhor adequação do veículo à sua aplicação.

Além disso, outra análise pode ser feita para evidenciar a necessidade da alteração para um eixo mais reduzido, diante do exposto no Gráfico 4 a seguir.

Gráfico 4 - Resultado do Modelo Matemático para Escolha da Alteração Ideal para o Eixo Diferencial



O Gráfico apresenta a rotação pelo torque no motor na 14ª, 15ª e 16ª marcha, evidenciando a faixa verde ótima para a aplicação do veículo. Assim, é possível observar que o eixo diferencial mais reduzido, 4.10, possui maior preenchimento da área verde delimitada, apresentando a faixa de menor consumo para o veículo em estudo.

Neste sentido, é possível concluir que a relação de 4.10, o eixo mais reduzido, permite um maior aproveitamento da 16ª marcha, evidenciando uma performance para a aplicação do veículo estudado. Assim, a especificação final do veículo é apresentada no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Especificação Final do Veículo Estudado Após a Alteração do Eixo Diferencial

Marca	DAF
Modelo	XF105
Transmissão	16 Marchas (ZF 16AS2630TO)
Tração	FTT (6x4)
Motor	MX13 460cv
Diferencial	4.10 (Meritor MT50168)

Fonte: Autoria Própria (2018)

Conclui-se então que dentre as três relações diferenciais apresentadas, o eixo mais reduzido, ou seja, com relação diferencial de 4.10 apresenta o melhor desempenho para o veículo estudado.

4.1.3 Estudo Empírico

Para a realização prática e evidenciação da redução do consumo, foi traçado algumas premissas, para comparação dos dados coletados de antes e depois da troca da relação diferencial. As premissas traçadas são:

- A percurso realizado é de 120.000 km por ano;
- Os dados coletados foram para o mesmo condutor;
- O preço do combustível utilizado é de R\$ 3,40 por litro de diesel;
- O caminhão trafega com uma velocidade máxima permitida pela política da transportadora de 80 km/h;
- Para efeitos de comparação, o consumo do caminhão será a média encontrada do consumo antes da troca do diferencial.

A Tabela 7 a seguir apresenta os dados do estudo relacionando a quilometragem, fator multiplicador devido ao sigilo industrial do consumo do combustível, fator de carga em porcentagem (tempo que o veículo passa carregado) e a meta esperada para o rendimento, ou seja, o tempo carregado refere-se ao percentual da distância que veículo trafegou com PTB máximo.

Tabela 7 - Dados Coletados Sobre o Consumo do Veículo em Estudo

	Quilometragem Total [km]	Fator Multiplicador	% Tempo Carregado	Meta de Consumo [%]
Antes da alteração do eixo diferencial	1636	k	71,76	97,7
	4245	k	66,01	94,1
	1004	k	49,6	102,4
	1598	k	73,97	93,4
Total	8483 km	-	Média	96,90%

Depois da alteração do eixo diferencial	4490	k	60,82	104,3
	7682	k	65,37	105,1
	4090	k	81,52	102,4
Total	16262 km	-	Média	103,93%

Fonte: Dados Cedidos pela Montadora do Veículo Estudado

Observa-se na Tabela 7 que o percentual de consumo carregado não apresenta um relação constante, ou seja, o veículo não permanece carregado pelo mesmo tempo entre as duas tomadas de dados. Então, para efeitos de cálculos, optou-se por realizar as comparações mediante a média da meta de consumo.

A meta de consumo é baseada em um caminhão da concorrência, aplicado ao tipo de carga e trajeto da empresa, uma vez que os valores de consumo variam entre os diferentes clientes, devido às diferenças de aplicação, carga e condução. Contudo, para os valores abaixo de 100%, interpreta-se que há um maior consumo e valores acima de 100%, menor consumo.

A diferença entre as médias das metas de consumo (7,03%) evidencia a melhoria encontrada após a troca da relação diferencial. Sendo assim, tomando a média anterior de 10k km/L e aumento de 7,03%, obtém-se 10,703k km/L para o mesmo tempo que o veículo passa carregado.

Com os dados da Tabela 7 e as premissas adotadas no início desta seção, é possível comparar os dados de consumo e dados econômicos resultantes da alteração do diferencial. A Tabela 8 apresenta os dados de consumo para realização da análise comparativa.

Quilometragem rodada anualmente [km]	120.000
Valor do combustível [R\$/ ℓ]	3,40
Relação do Consumo antes da troca diferencial [km/ℓ]	10k
Relação do Consumo após troca diferencial [km/ℓ]	10,703k

Fonte: Autoria Própria (2018)

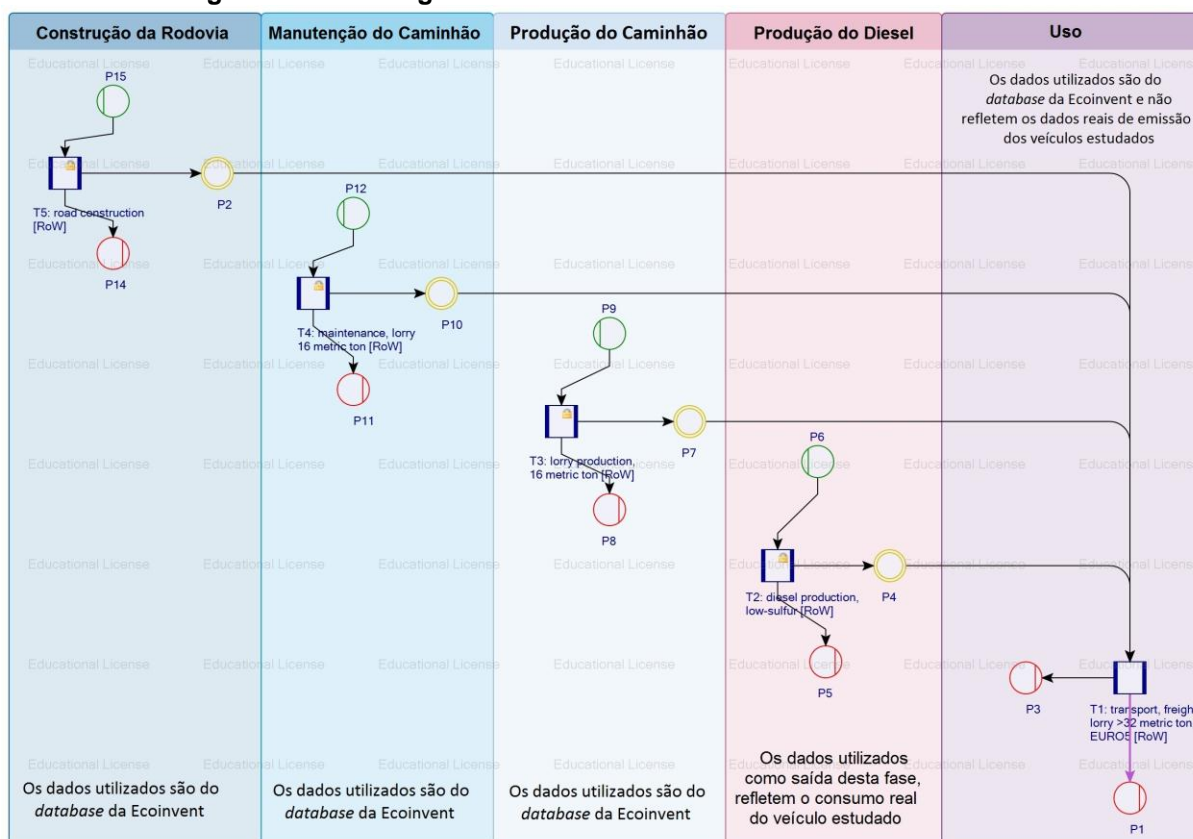
Como os dados de consumo do combustível possuem sigilo industrial, é apresentado somente a variação final do consumo, onde houve uma redução de cerca de 5.000 litros de combustível por ano. Assim, adotando R\$3,40 o litro do

diesel, houve uma economia de mais de R\$15.000,00 por ano com gastos relacionados ao consumo de combustível.

4.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Para a avaliação ambiental do sistema proposto (Seção 3.5.1), foi realizada a modelagem do processo no *software* Umberto, conforme ilustrado na Figura 13 para mensuração do impacto ambiental. A modelagem apresenta cinco fases de ciclo de vida. A saber, construção da rodovia, produção do caminhão, manutenção do caminhão, produção do diesel e a fase de uso, ou seja, o transporte propriamente dito.

Figura 13 - Modelagem do Sistema Realizada no Software Umberto



Fonte: Autoria Própria (2018)

Com a modelagem finalizada, o *software* realizou os balanços de massa e energia, para cada processo utilizado, resultando na quantificação total dos impactos ambientais de acordo com a categoria avaliada, conforme ilustrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultado Quantitativo do Impacto Total por Relação Diferencial

Métodos e Categoria	Relação Diferencial	
	3.73	4.10
IPCC 2013 [kg CO ₂ -eq] para a Categoria de Potencial Aquecimento Global	753.120,79	750.813,03
ILCD 1.0.8 2016 [kg Sb-eq] para a Categoria de Extração de Recursos Minerais, Fósseis e Renováveis	35,78	35,75

Fonte: Aatoria Própria (2018)

A seguir é apresentado de forma de forma completa os impactos gerados por cada categoria de impacto mediante as cinco fases do ciclo de vida mencionadas neste estudo, onde é possível destacar as fases que geram maior impacto potencial ambiental para as duas categorias de impacto avaliadas.

A Tabela 10 apresenta os resultados dos potenciais impactos ambientais avaliados para a categoria de aquecimento global, mediante o uso do método IPCC para cada fase avaliada no ciclo de vida, também é apresentada a análise percentual para cada fase dos produtos estudados.

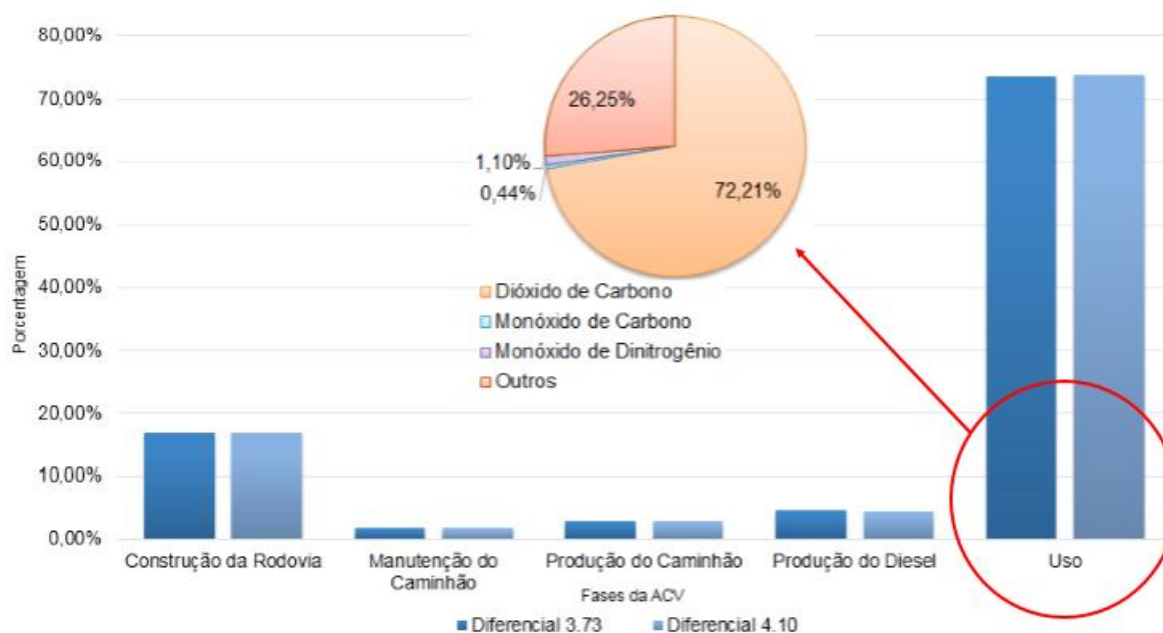
Tabela 10 - Resultado do Potencial Impacto Ambiental para a Categoria de Potencial para Aquecimento Global do Método IPCC

	Diferencial 3.73		Diferencial 4.10	
	[kg CO ₂ -eq]	Percentual	[kg CO ₂ -eq]	Percentual
Construção da Rodovia	127238,93	16,89%	127238,93	16,95%
Manutenção do Caminhão	14525,68	1,93%	14525,68	1,93%
Produção do Caminhão	21388,42	2,84%	21388,42	2,85%
Produção do Diesel	35385,63	4,70%	33077,88	4,41%
Uso	554582,12	73,64%	554582,12	73,86%

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Conforme é apresentado acima, a fase de uso possui o maior potencial para impacto ambiental na categoria de impacto potencial para aquecimento global em ambos produtos. Esses valores são evidenciados pela alta emissão de gases poluentes apresentados no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Resultado do Potencial Impacto Ambiental para a Categoria de Potencial para Aquecimento Global (Método IPCC - Fase de Uso)



Fonte: Autoria Própria (2018)

Conforme o Gráfico 5, a fase de uso possui maior emissões de poluentes como o Dióxido de Carbono (CO_2), seguido da emissão do Monóxido de Carbono (CO) e do Monóxido de Dinitrogênio (N_2O), devido à combustão do diesel para uso do veículo.

Observa-se também que a segunda fase mais impactante, nas emissões de poluentes, é a fase de construção da rodovia. Isso se deve ao fato de ser o meio mais utilizado na fase de uso do caminhão.

A seguir, é apresentado os impactos resultantes do método ILCD, bem como a fase responsável pela maior geração de potenciais impactos na categoria de depleção de recursos abióticos.

Conforme analisado na Tabela 11, a fase que apresenta maior impacto é o processo de manutenção do caminhão, seguida pela fase de produção do caminhão.

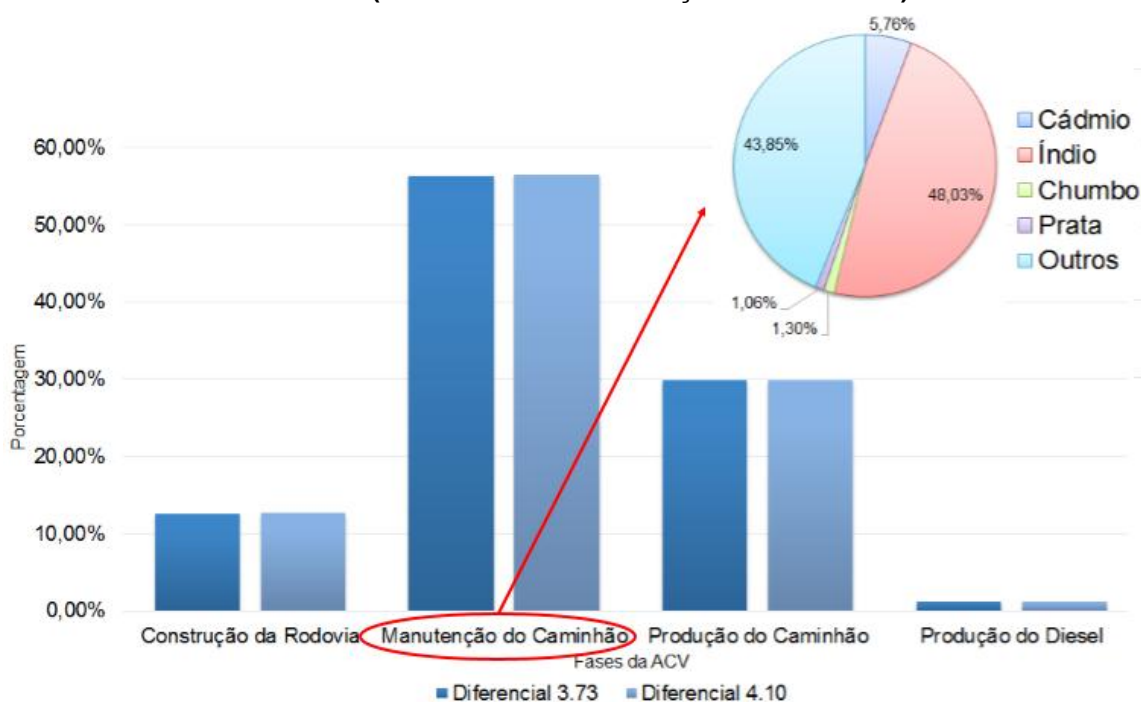
Tabela 11 - Resultado do Potencial Impacto Ambiental para a Categoria de Consumo de Recursos do Método ILCD

	Diferencial 3.73		Diferencial 4.10	
	[kg Sb-eq]	Percentual	[kg Sb-eq]	Percentual
Construção da Rodovia	4,51	12,61%	4,51	12,62%
Manutenção do Caminhão	20,16	56,36%	20,16	56,40%
Produção do Caminhão	10,66	29,79%	10,66	29,82%
Produção do Diesel	0,44	1,24%	0,41	1,16%

Fonte: Aatoria Própria (2018)

De acordo com a Tabela 11, a maior impacto ambiental gerado para a categoria de consumo de recursos minerais, fósseis e renováveis, está na fase de manutenção do caminhão. Isso se deve ao fato de possuir uma grande quantidade de materiais extraídos da natureza, principalmente os recursos mencionados no Gráfico 6 a seguir.

Gráfico 6 - Resultado do Potencial Impacto Ambiental para a Categoria de Consumo de Recursos (Método ILCD - Manutenção do Caminhão)



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Os recursos naturais que geram maior impacto na fase de manutenção do caminhão é a extração é o Índio, seguido pelo Cádmio, Chumbo e Prata.

A seção a seguir apresenta o Interpretação da ACV para a fase de produção do diesel, uma vez que reflete o impacto real gerado pelos produtos, por apresentar os dados de consumo do combustível dos veículos estudados.

4.2.1 Interpretação e Comparação dos Resultados

Com os impactos quantificados para cada produto mediante o uso da ACV e do *software* Umberto, é possível comparar os impactos ambientais gerados pelos veículos.

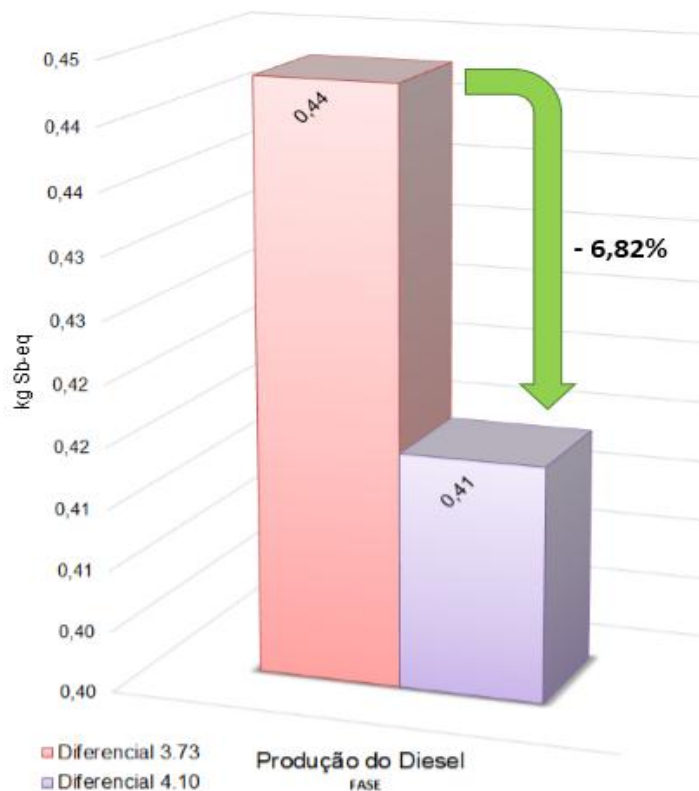
Os métodos utilizados para avaliação ambiental correspondem ao ILCD, que mensura a categoria dos impactos gerados pela extração de recursos, enquanto o IPCC quantifica a categoria do potencial impacto para aquecimento global.

Ambas interpretações são realizadas para a fase de produção do diesel, uma vez que a fase de uso é a mesma para os dois produtos, pois ambos possuem o mesmo fluxo de referência, com peso de 74 toneladas e percorrem 120.000 km.

Assim, foi possível quantificar os impactos gerados na produção do diesel, uma vez que esta é a fase que possui dados característicos dos veículos estudados.

O Gráfico 7 apresenta os impactos gerados na categoria de potencial impacto para a extração de recursos, onde é possível observar que o produto A possui 0,03 kg Sb-eq (equivalentes kg de antimônio por kg de extração) a mais que o produto B, ou seja, a cada um quilograma de diesel extraído, há 0,04 kg a menos de antimônio para cada extração de recursos necessárias para a produção do diesel.

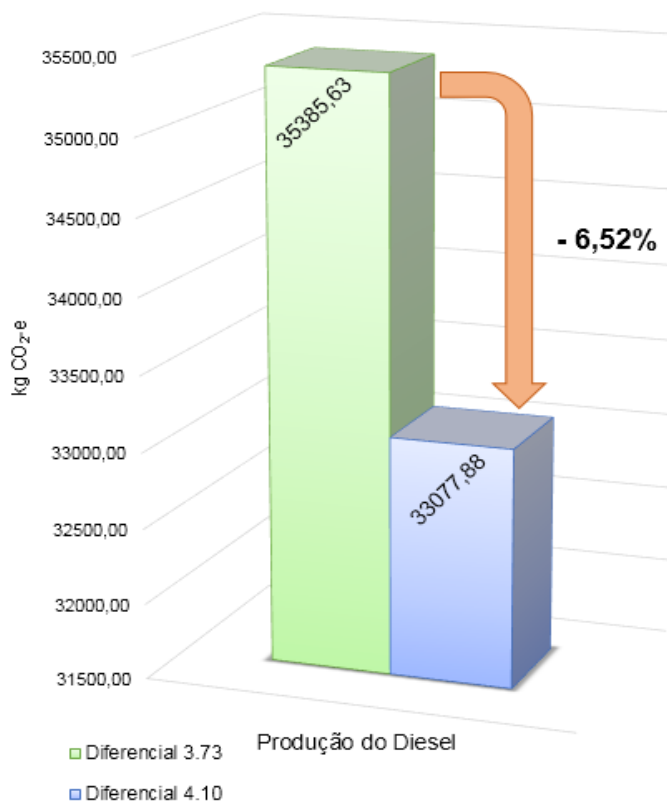
Gráfico 7 - Redução do Potencial Impacto para a Categoria de Extração de Recursos (Método ILCD - Fase de Produção Diesel)



Fonte: Autoria Própria (2018)

O Gráfico 8 permite a análise relacionada à categoria de potencial impacto para Aquecimento Global para método IPCC, mediante a avaliação da categoria de potencial aquecimento global, para a fase de produção do diesel, onde é possível observar que o veículo com diferencial de 3.73 também apresenta maior impacto para potencial de aquecimento global, com 2307,75 kg CO₂-eq a mais que o produto com relação diferencial de 4.10.

Gráfico 8 - Redução do Potencial Impacto para a Categoria de Aquecimento Global (Método IPCC - Fase de Produção Diesel)



Nesta perspectiva, a redução percentual de impactos ambientais devido a alteração do eixo diferencial para a real aplicação do veículo, quando comparada com o consumo antes da troca do diferencial é de -6,82% para o método ILCD e de -6,52% para o método IPCC.

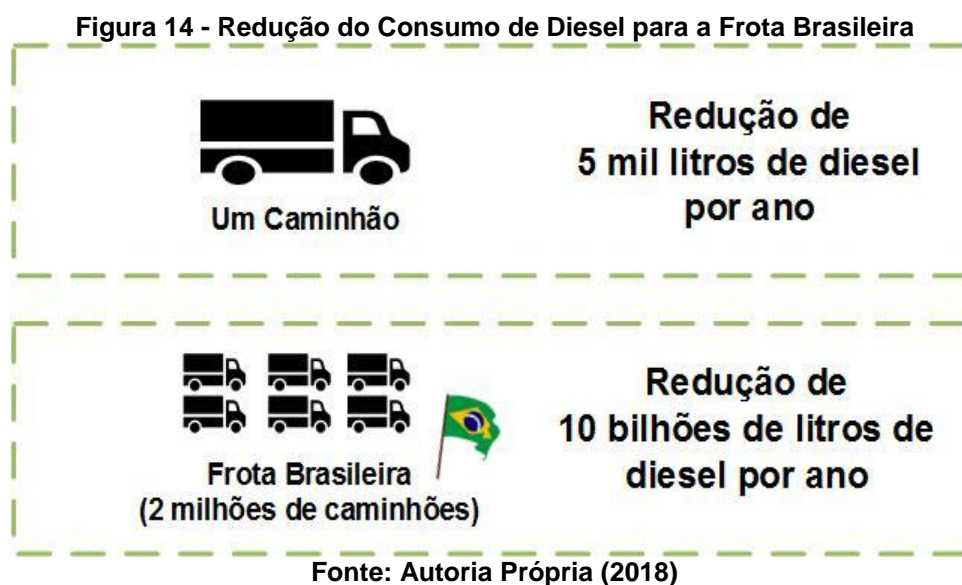
4.2.2 Impactos Ambientais Referentes À Frota Brasileira

As análises realizadas na seção anterior, quantificam os impactos gerados por um único caminhão, o produto estudado. Porém pode ser feita uma análise mais ampla considerando o cenário real da frota brasileira.

De acordo com o IBTP (2018), no Brasil há cerca de 65,8 milhões de veículos, dentre eles 2 milhões estão na categoria de caminhões pesados e extra pesados.

Assim, se a frota contasse com um estudo técnico de suas características e aplicações para um melhor consumo e desempenho ambiental dos veículos, a realidade da redução do consumo de diesel seria o apresentado na Figura 14. Para

o cálculo, foi levado em consideração a redução de consumo apresentada na Seção 4.1.3, onde há uma redução de 5.000 litros de combustível por ano para um veículo.



Considerando que um barril de petróleo tenha capacidade de 158,98 Litros, e que possua as características apresentadas na Tabela 12, é possível estimar a quantidade de barris que deixarão de ser necessário para a produção do diesel.

Tabela 12 - Relação da Produção de Insumos com um Barril de Petróleo

Barril de Petróleo	
40%	Diesel
18%	Gasolina
14%	Óleo Combustível
8%	Gás Liquefeito de Petróleo
8%	Nafta
8%	GLP
4%	Querosene de Aviação

Fonte: Larco (2018)

Com as quantidades necessárias de petróleo para a produção dos insumos, tem-se em litros as quantidades produzidas a partir de 158,98 Litros de petróleo.

Tabela 13 - Quantidade de Insumo Produzido por um Barril de Petróleo

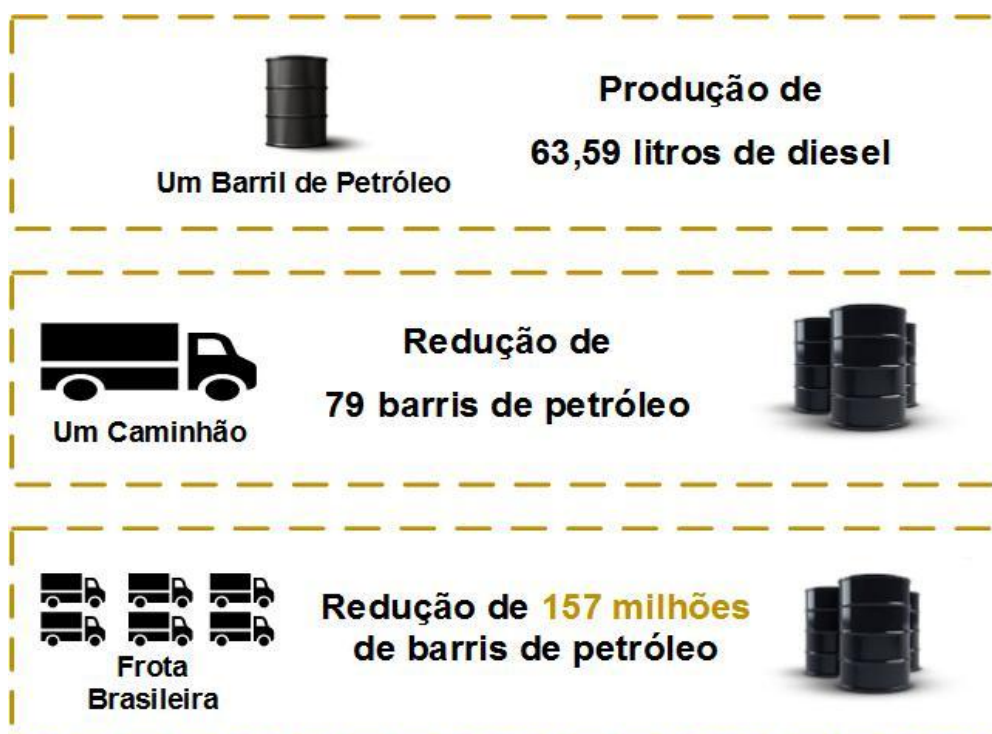
Porcentagem	Insumo	Litros
40%	Diesel	63,59
18%	Gasolina	28,62
14%	Óleo Combustível	22,26

8%	Gás Liquefeito de Petróleo	12,72
8%	Nafta	12,72
8%	GLP	12,72
4%	Querosene de Aviação	6,36

Fonte: Autoria Própria (2018)

Assim, com a redução de consumo de diesel apresentada na Figura 14, estimasse a quantidade necessária de petróleo apresentada na Figura 15 para produzir a quantidade de diesel reduzida.

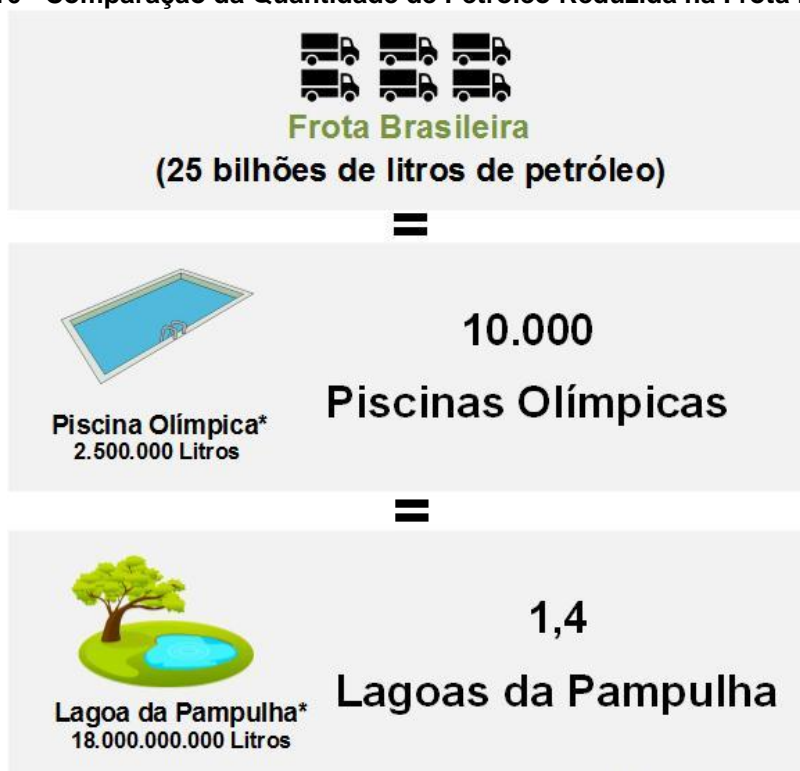
Figura 15 - Redução da Quantidade de Petróleo para a Frota Brasileira



Fonte: Autoria Própria (2018)

Para melhor mensurar os resultados apresentados na Figura 15, foi realizada a comparação em quantidade com a capacidade uma piscina olímpica e com a Lagoa da Pampulha (Figura 16), que possuem capacidade armazenar 2,5 milhões de litros (BARRETO, 2016) e 18 bilhões de litros (CARABETTI, 2011), respectivamente.

Figura 16 - Comparação da Quantidade de Petróleo Reduzida na Frota Brasileira



*imagens ilustrativas, piscina (PIXABAY, 2013) e lagoa (PIXABAY, 2014)

Fonte: Autoria Própria (2018)

Com as comparações ilustradas nas figuras acima, é possível obter uma análise final referente à redução de impactos ambientais para a produção do diesel. Onde um caminhão adequado às suas aplicações, pode reduzir até 5 mil litros de diesel, o que equivale a 79 barris de petróleo.

Ao aplicar a redução para toda a frota brasileira, estima-se um redução de 157 milhões de barris de petróleo, o que equivale a 10 mil piscinas olímpicas e quase 2 lagoas da Pampulha em Minas Gerais.

Toda a avaliação comparativa descrita acima para a perspectiva ambiental, também poder ser realizada para a perspectiva econômica. Como apresentado na Seção 4.1.3, a redução dos gastos anuais com combustível foi um pouco mais de 15 mil reais por ano para um veículo. Comparando com a frota brasileira, totalizaria em uma redução de 30 bilhões de reais por ano com combustível.

5 CONCLUSÃO

O objetivo do presente estudo foi de evidenciar o desempenho ambiental e econômico perante a mudança da relação diferencial de um caminhão extra pesado considerando a perspectiva do ciclo de vida, de modo que pudesse ser compreendido e comparado o envolvimento econômico e ambiental mediante a configuração de um caminhão que está em desacordo com sua aplicação, com uma configuração onde o veículo passa a estar adequado para sua aplicação.

Para este trabalho, a configuração do caminhão se resumiu à relação do eixo diferencial, ou seja, quanto maior a redução na relação, mais força e menos velocidade terá o caminhão, e quanto menor essa relação, mais velocidade e menos força terá o veículo. Conforme apontado por este estudo, a alteração neste eixo, pode ser evidenciada pelo consumo do veículo acima da média, isso se deve à aplicação inadequado do veículo, como por exemplo, veículos pesados que necessitam de força trativa e possuem uma relação diferencial baixa, exigirá mais do motor e assim, consumirá mais combustível.

Quando o eixo diferencial é adequado à aplicação do caminhão, o mesmo passa ter maior rendimento, consumindo menos diesel e por consequência acaba gerando menos impactos ambientais. Essa quantificação ambiental é possível mediante o uso da ACV, que possibilitou mensurar o impacto relacionado à Depleção de Recursos Abióticos e o potencial impacto de Aquecimento Global, relacionado à produção do diesel.

O resultado da ACV revelou uma redução de 6,82% de extração de recursos naturais e uma redução de 6,52% de emissões de gases do efeito estufa, para um veículo extra pesado que teve o seu diferencial reduzido, de 3.73 para 4.10. Em termos comparativos com a frota brasileira (2 milhões de veículos pesados e extra pesados, de acordo com IBTP (2018)), caso todos os veículos fossem adequados a sua aplicação, estimasse uma redução de 10 bilhões de litros de diesel por anos, equivalentes à 157 milhões de barris de petróleo.

A redução de diesel estimada para a frota brasileira resulta uma redução de 25 bilhões de litros de petróleo, 157 milhões de barris, 10 mil piscinas olímpicas e quase 2 lagoas da Pampulha localizada em Minas Gerais.

Na perspectiva econômica, considerando o preço do diesel a R\$3,40 o litro, o veículo com o diferencial anterior a troca (3.73), gerava um custo de

aproximadamente 240 mil reais por ano, após a alteração do eixo diferencial, o mesmo veículo passou a economizar cerca de mais de 15 mil reais por ano.

O presente estudo difere de trabalhos similares encontrados na literatura por apresentar um estudo de ACV para mensurar e comparar os impactos ambientais gerados mediante alterações no eixo diferencial, utilizando dados reais da variação do consumo de combustível após as alterações realizadas no veículo.

5.1 LIMITAÇÕES

O trabalho foi limitado devido a sigilo industrial da empresa que concedeu os dados para a realização do estudo de caso presente neste trabalho. Assim, esta pesquisa foi limitada ao uso da base de dados do *software* utilizado para quantificar os impactos ambientais gerados nos processos estudados.

Além disso, para a quantificação do impacto gerado pela produção do diesel é importante um estudo que utilize dados do ciclo de vida da produção brasileira do diesel, uma vez que este estudo foi limitado à quantificação de materiais e energia do ciclo de vida do diesel produzido na Europa, bem como dados referentes aos dados europeus, como a geografia *RoW*, manutenção e produção do veículo.

5.2 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Recomenda-se para estudos futuros o uso de dados referentes às emissões geradas pelo veículo em estudo, para o alcance de resultados fiéis e reais dos impactos avaliados e possíveis comparações com este estudo.

Além disso, estudos futuros referentes à aplicação da ACV em veículos extra pesados com alteração na relação diferencial, podem ser desenvolvidos para gerar comparabilidade ao estudo desenvolvido por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 14001**: Sistemas de gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Brasil, 2015.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental: avaliação do ciclo de vida, princípios e estrutura. Brasil, 2009a.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 14044**: Gestão Ambiental: avaliação do ciclo de vida, requisitos e orientações. Brasil, 2009b.

ABELE, C.; HARING, J. **O Conjunto de Unidades (Diferencial)**. 2015. Disponível em:
<[http://www.stufenlosgetriebe.de/Stufenlosgetriebe.de/Doppelkupplungsgetriebe/Eint rage/2015/2/3_3._Der_Triebsatz_\(Differential\).html](http://www.stufenlosgetriebe.de/Stufenlosgetriebe.de/Doppelkupplungsgetriebe/Eint rage/2015/2/3_3._Der_Triebsatz_(Differential).html)>. Acesso em: 21 set. 2018.

AEA (Associação Brasileira de Engenharia Automotiva). **Aumento do percentual de biodiesel**. Campinas: Vicente Pimenta, 2017. 17 slides, color. Disponível em:
<http://pages.cnpem.br/wectbe/wp-content/uploads/sites/83/2017/10/Vicente_Pimenta_AEA.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

AGARWAL, A. K.; GUPTA, T.; SHUKLA P. C.; DHAR, A. Particulate emissions from biodiesel fuelled CI engines. **Energy Conversion and Management**, v. 94, p.311-330, abr. 2015.

AGARWAL, A. K.; GUPTA, J. G.; DHAR, A. Potential and challenges for large-scale application of biodiesel in automotive sector. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 61, p.113-149, jul. 2017.

ALVES, C. C.; MONTES, L. C. R. **Movimento Circular**. Guarulhos, 2009. Disponível em:
<http://claudemiralves.weebly.com/uploads/3/8/6/2/3862918/movimento_circular-if-2009-2_corrigo>. Acesso em: 28 set. 2018.

ANDRADE, M. F., M.; DE MIRANDA, R. M.; FORNARO, A.; KERR, A.; OYAMA, B.; DE ANDRE, P. A.; SALDIVA, P. **Air Quality, Atmosphere & Health**, v. 5, n. 1, p.79-88, nov. 2010.

BARRETO, E. **Piscina Olímpica**. 2016. Disponível em: <<http://know.net/desporto/despaquaticos/piscina-olimpica/>>. Acesso em: 30 out. 2018.

BAYRAKCEKEN, H.; TASGETIREN, S.; YAVUZ, İ. **Two cases of failure in the power transmission system on vehicles: A universal joint yoke and a drive shaft**. *Engineering Failure Analysis*, v. 14, n. 4, p.716-724, jun. 2007.

BATISTA, Bruno. **Tecnologia de motores e consumidores**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.senado.leg.br/comissoes/ci/ap/AP20091125_BrunoBatista.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2018.

BORILLO, G. C.; TADANO, Y. S.; GODOI, A. F. L.; PAULIQUEVIS, T.; SARMIENTO, H.; REMPEL, D.; YAMAMOTO, C. I.; MARCHI, M. R. R.; POTGIETER-VERMAAK, S.; GODOI, R. H. M. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and nitrated analogs associated to particulate matter emission from a Euro V-SCR engine fuelled with diesel/biodiesel blends. **Science of the Total Environment**, v. 644, p.675-682, dez. 2018.

CABA, Z.; ATABAY, O.; GUNEY, A. Driving condition based mode switching optimal controller for improved driveability. **Applied Mathematical Modelling**, v. 51, p.698-727, nov. 2017.

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. da S. Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Sorocaba, v. 19, n. 2, p.735-750, 2015.

CAMINHÕES E CARRETAS. **DAF lança 11 novas configurações para modelos CF e XF**. 2017. Disponível em: <<https://www.caminhoes-e-carretas.com/2017/10/daf-lanca-11-novas-configuracoes-para.html>>. Acesso em: 17 set. 2018.

CARABETTI, M. A. **Lagoa da Pampulha**. 2011. Disponível em: <<https://somospampulha.wordpress.com/2011/11/08/lagoa-da-pampulha/>>. Acesso em: 30 out. 2018.

CCS (CCS Máquinas Indústria e Comércio Ltda). **CCS - EIXO CARDAN**. Disponível em: <http://www.ccsmaquinas.com.br/noticia.asp?int_id=20>. Acesso em: 21 set. 2018.

CHANG, D.; LEE, C.; CHEN, C. Review of life cycle assessment towards sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 83, p.48-60, nov. 2014.

CHONG, C. T.; NG, J-H.; AHMAD, S.; RAJOO, S. Oxygenated palm biodiesel: Ignition, combustion and emissions quantification in a light-duty diesel engine. **Energy Conversion and Management**, v. 101, p.317-325, set. 2015.

CRISTAL, E. O.; ENRIQUEZ, H. M. A.; BOGARIN, M. F. G. **Análise de um eixo cardan de seção dupla**. Porto Alegre: 2002. 18 p. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/gmap/www-gmap.mecanica.ufrgs.br/html/sumulas/eng03024/projetos/carda.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

DAF, Eportal. **Intranet empresarial**. Disponível em: <<https://eportal.daf.com/CookieAuth.dll?GetLogon?curl=Z2F&reason=0&formdir=1>>. Acesso em: 12 set. 2018a.

DAF, Caminhões Brasil. Disponível em: <<http://www.dafcaminhoes.com.br/pt-br/about/daf-in>>. Acesso em: 14 set. 2018b.

DAF, A Paccar company. DRIVELINE, DAF CF Euro 6. Disponível em: <<http://prague.daf.com/en/trucks/daf-cf-euro-6/driveline#axles>>. Acesso em: 17 set. 2018c.

ECOINVENT (Suíça). **What do the shortcuts, such as CH, RER, RoW and GLO mean?** 2017. Methodology of ecoinvent 3. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/support/faqs/methodology-of-ecoinvent-3/what-do-the-shortcuts-such-as-ch-rer-row-and-glo-mean.html>>. Acesso em: 04 outubro 2018.

FERREIRA, J. V. R. **ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS**. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FLEURY, P. F. **Logística Empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

GAD, M. S.; EL-ARABY, R.; ABED, K. A.; EL-IBIARI, N. N.; EL MORSI, A. K.; EL-DIWANI, G. I. Performance and emissions characteristics of C.I. engine fueled with palm oil/palm oil methyl ester blended with diesel fuel. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 27, n. 2, p.215-219, jun. 2018.

GARCÍA, A.; MONSALVE-SERRANO, J.; ROSO, V. R.; MARTINS, M. E. S. Evaluating the emissions and performance of two dual-mode RCCI combustion strategies under the World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC). **Energy Conversion and Management**, v. 149, p.263-274, out. 2017.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.

GIECHASKIEL, B.; MARICQ, M.; NTZIACHRISTOS, L.; DARDIOTIS, C.; WANG, X.; AXMANN, H.; BERGMANN, A.; SCHINDLER, W. Review of motor vehicle particulate emissions sampling and measurement: From smoke and filter mass to particle number. **Journal of Aerosol Science**, v. 67, p.48-86, jan. 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HAGOS, F. Y.; ALI, O. M.; MAMAT, R.; ABDULLAH, A. A. Effect of emulsification and blending on the oxygenation and substitution of diesel fuel for compression ignition engine. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p.1281-1294, ago. 2017.

HE, J.; CROLLA, D. A.; LEVESLEY, M. C.; MANNING, W. J. Coordination of active steering, driveline, and braking for integrated vehicle dynamics control. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, v. 220, n. 10, p.1401-1420, out. 2006.

HEGAB, A.; LAROCCA, A.; SHAYLER, P. Towards keeping diesel fuel supply and demand in balance: Dual-fuelling of diesel engines with natural gas. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p.666-697, abr. 2017.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Programa de controle de emissões veiculares (PROCONVE)**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>>. Acesso em: 20 set. 2018.

IBPT (Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação). **Real frota circulante no brasil é de 65,8 milhões de veículos, indica estudo**: Estudo identifica total de 50,7 milhões de Autoveículos e 15,1 milhões de motocicletas. 2018. Disponível em: <<https://ibpt.com.br/noticia/2640/REAL-FROTA-CIRCULANTE-NO-BRASIL-E-DE-65-8-MILHOES-DE-VEICULOS-INDICA-ESTUDO>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

ILCD (International Reference Life Cycle Data System). **ILCD Handbook: Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment**. 2010. Disponível em: <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysisonline-12March2010.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

JOHNSON, T. Vehicular Emissions in Review. **SAE International Journal of Engines**, v. 5, n. 2, p.216-234, abr. 2012.

JOHNSON, T. Vehicular Emissions in Review. **SAE International Journal of Engines**, v. 9, n. 2, abr. 2016.

KOLEKAR, A. S. **Lubrication & Efficiency of Rear Wheel Drive Axles in Road Vehicles**. 2013. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Imperial College London, Londres, 2013.

KU, Y-Y; LU, J-H; LIN, K. W. Impacts of Biodiesel on the Durability of an Advanced After-Treatment Diesel Engine. **SAE International Journal of Fuels and Lubricants**, v. 10, n. 1, mar. 2017.

LARCO (Larco Comercial de Produtos de Petróleo Ltda). **40% de um barril de petróleo viram diesel e 18% gasolina após o refino**. Disponível em: <<http://www.larcopetroleo.com.br/noticias/40-de-um-barril-de-petroleo-viram-diesel-e-18-gasolina-apos-o-refino/>>. Acesso em: 30 out. 2018.

LI, M.; ZHANG, Q.; LI, G.; SHAO, S. Experimental investigation on performance and heat release analysis of a pilot ignited direct injection natural gas engine. **Energy**, v. 90, p.1251-1260, out. 2015.

LECHNER, G.; NAUNHEIMER, H. **Automotive Transmission: Fundamentals, Selection, Design and Application**. Berlin: Springer, 1999. 469 p. Disponível em: <http://www.volkspage.net/technik/manuais/catalogos/02/automotivetransmissions_fundamentalsselectiondesignandaplication.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

LEE, D. Y.; ELGOWAINY, A.; KOTZ, A.; VIJAYAGOPAL, R.; MARCINKOSKI, J. Life-cycle implications of hydrogen fuel cell electric vehicle technology for medium- and heavy-duty trucks. **Journal of Power Sources**, v. 393, p.217-229, jul. 2018.

LIMA, G. B. A.; FERRAZ, F. T. **Desenvolvimento sustentável e a gestão sustentável empresarial: uma contribuição da academia**. Projeto de Iniciação Científica. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

LION, S.; MICHOS, C.; VLASKOS, L.; ROUAUD, C.; TACCANI, R. A review of waste heat recovery and Organic Rankine Cycles (ORC) in on-off highway vehicle Heavy Duty Diesel Engine applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p.691-708, nov. 2017.

LUGLIETTI, R.; ROSA, P.; TERZI, S.; TAISCH, M. Life Cycle Assessment Tool in Product Development: Environmental Requirements in Decision Making Process. **Procedia Cirp**, v. 40, p.202-208, 2016.

MME (Ministério de Minas e Energia). **MME debate evolução da mistura obrigatória de 10% para 15% do biodiesel ao diesel**. 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/mme-debate-evolucao-da-mistura-obrigatoria-de-10-para-15-do-biodiesel-ao-diesel>. Acesso em: 20 set. 2018.

MATTHEWS, H. S.; HENDRICKSON, C.T.; MATTHEWS, D. H. **Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter**. 2015. Disponível em: <<http://www.lcatextbook.com/>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

M&T (Manutenção & Tecnologia). **O Diferencial do Motor**. 2016. Disponível em: <<http://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/o-diferencial-do-motor>>. Acesso em: 21 set. 2018.

ONUBR (Organização Nações Unidas). **17 objetivos para transformar nosso mundo**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 17 set. 2018.

PAGELL, M.; WU, Z. Building a more complete theory of sustainable supply chain management using case studies of ten exemplars. **Journal of Supply Chain Management**, p. 37- 56, 2009.

PANAKARAJUPALLY, R. P.; MITTAL, G. Computational Investigation of the Double-Injection Strategy on Ethanol Partially Premixed Compression Ignition. **Energy & Fuels**, v. 31, n. 10, p.11280-11290, set. 2017.

PEDROZO, V. B.; MAIO, I.; NORA, M. D.; CAIRNS, A.; ZHAO, H. Experimental analysis of ethanol dual-fuel combustion in a heavy-duty diesel engine: An optimisation at low load. **Applied Energy**, v. 165, p.166-182, mar. 2016.

PIXABAY. **Piscina Natação Pool**. 2013. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/piscina-nata%C3%A7%C3%A3o-pool-escada-ver%C3%A3o-149632/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

PIXABAY. **Lagoa, árvore e água**. 2014. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/lagoa-%C3%A1rvore-%C3%A1gua-natureza-310139/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

QUEIROZ, V. V. **AValiação do ciclo de vida de uma peça automotiva**. 2011. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; PENNINGTON, D. W. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, v. 30, n. 5, p.701-720, jul. 2004.

ROCHA, M. H.; CAPAZ, R. S.; LORA, E. E. S.; NOGUEIRA, L. A. H.; LEME, M. M. V.; RENÓ, M. L. G.; DEL OLMO, O. A. Life cycle assessment (LCA) for biofuels in Brazilian conditions: A meta-analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p.435-459, set. 2014.

ROSH MKT. **Como funciona o motor a diesel**. 2017. Disponível em: <<http://mundialturbinas.com/como-funciona-o-motor-a-diesel/>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SOUZA, A. G. de; CAMPOS, G. L. Rede CAN Veicular: levantamento bibliográfico e apresentação de conceitos iniciais. *Forscience*, [s.l.], v. 5, n. 1, 19 jul. 2017. ForScience: **Revista Científica do IFMG**. <http://dx.doi.org/10.29069/forscience.2017v5n1.e234>.

SUAREZ-BERTOIA, R.; MENDOZA-VILLAFUERTE, P.; BONNEL, P.; LILOVA, V.; HILL, L.; PERUJO, A.; ASTORGA, C. On-road measurement of NH₃ and N₂O emissions from a Euro V heavy-duty vehicle. **Atmospheric Environment**, v. 139, p.167-175, ago. 2016.

TALIBI, M.; HELLIER, P.; MORGAN, R.; LENARTOWICZ, C.; LADOMMATOS, N. Hydrogen-diesel fuel co-combustion strategies in light duty and heavy duty CI engines. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 43, n. 18, p.9046-9058, 2018.

TADANO, Y. S.; BORILLO, G. C.; GODOI, A. F. L.; CICHON, A.; SILVA, T. O. B.; VALEBONA, F. B.; ERRERA, M. R.; PENTEADO NETO, R. A.; REMPEL, D.; MARTIN, L.; YAMAMOTO, C. I.; GODOI, R. M. Gaseous emissions from a heavy-duty engine equipped with SCR aftertreatment system and fuelled with diesel and biodiesel: Assessment of pollutant dispersion and health risk. **Science of the Total Environment**, v. 500-501, p.64-71, dez. 2014.

TEIXEIRA, R. V.; RABELO, T. G. L. **Embreagem para aplicações severas em veículos comerciais**. 2011. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

THANGARAJA, J.; KANNAN, C. Effect of exhaust gas recirculation on advanced diesel combustion and alternate fuels - A review. **Applied Energy**, v. 180, p.169-184, out. 2016.

TRUCK (Truck Blog do Caminhoneiro). **DAF XF105 FTT 6X4**: Descrição do modelo segundo a montadora. Disponível em: <<https://blogdocaminhoneiro.com/2017/02/daf-xf105-fft-6x4/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

VILANOVA, C. **Revista o Mecânico**: Eixo diferencial. 2015. Disponível em: <<http://omecanico.com.br/eixo-diferencial/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

WEIDEMA, B. P. et al. **Overview and methodology**: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. St. Galle: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2013. 169 p. (3). Disponível em: <https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf>. Acesso em: 04 outubro 2018.

APÊNDICE A - Questionário para a Coleta dos Dados com o Cliente

Questionário Aplicado**Data:** _____**Veículo:** _____**Chassi:** _____

Questionário	Resposta
1) Peso do veículo vazio (toneladas)	_____
2) Peso do veículo carregado (toneladas)	_____
3) Rota realizada pelo veículo	_____
4) Consumo antes da mudança na relação diferencial por mês	_____
5) Consumo depois da mudança na relação diferencial por mês	_____

Fonte: Aatoria Própria (2018)