

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA INDÚSTRIA
AUTOMOTIVA

EDUARDO VINICIUS RANSOLIN PIGOSO

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE
VARIÁVEL EM VEÍCULOS COM PROPULSÃO ELÉTRICA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2018

EDUARDO VINICIUS RANSOLIN PIGOSO

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE
VARIÁVEL EM VEÍCULOS COM PROPULSÃO ELÉTRICA**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. M. Sc. Rodolfo Enrique Perdomo Freitas

CURITIBA
2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria
Automotiva



TERMO DE APROVAÇÃO

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL EM
VEÍCULOS COM PROPULSÃO ELÉTRICA**

por

EDUARDO VINICIUS RANSOLIN PIGOSO

Esta monografia foi apresentada em 05 de Dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M. Sc. Rodolfo Enrique Perdomo Freitas
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

A todos os seres que poderão usufruir dos benefícios de quaisquer inovações tecnológicas que possam vir a interferir positivamente em nossos futuros, assim como a todos os participantes da comunidade científica que pretendem trazer o futuro para perto de nós, dedico este projeto.

AGRADECIMENTOS

É com muita gratidão que menciono a minha empresa atual Sykes do Brasil pois, mesmo não trabalhando ativamente com a indústria automotiva, permitiu a mim realizar o investimento em meu sonho me mantendo empregado mesmo em tempos de crise.

Aos colegas do curso e professores por auxiliarem ativamente e passivamente com a transmissão de conhecimentos, debates e propostas, ampliando a visão de muitas pessoas no decorrer de suas carreiras e não apenas nestes meses que nos conhecemos e compartilhamos uma porção do nosso tempo.

“[...]

É uma pena que a matemática seja necessária e, ao mesmo tempo, seja tão difícil para algumas pessoas. Costuma-se dizer – não sei se é verdade – que, quando tentava aprender geometria com Euclides, um rei teria reclamado que aquilo era difícil. Euclides teria dito: “Não existe caminho real para a geometria.” Realmente *não* existe. Os físicos não podem converter a matemática em outra linguagem. Se você quer aprender sobre a natureza, apreciar a natureza, é necessário entender a linguagem que ela usa. Ela oferece suas informações somente de uma maneira. Não devemos ser presunçosos a ponto de exigir que ela mude.

[...]”

Richard Feynman

RESUMO

PIGOSO, Eduardo Vinicius Ransolin. **Estudo da aplicação de transmissão continuamente variável em veículos com propulsão elétrica**. 2018. 51 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Admira-se a era atual em que não apenas uma criação é o suficiente, é necessário desenvolver os sistemas de forma a obter-se a melhor otimização deste. Baseado nisso e, no contexto da indústria automotiva, ainda há muitas oportunidades. No decorrer desta monografia, está sendo proposta a integração de duas tecnologias já existentes, bem fundamentadas e que tem apresentado bons resultados práticos dentre os modelos que fazem o uso desta, coexistindo num mesmo veículo. Uma das tecnologias em questão é o uso de motores elétricos para a propulsão de um veículo, este apresenta boas características tanto de desempenho quanto de eficiência, mas que sempre podem ser otimizados. A outra tecnologia de embasamento é a transmissão continuamente variável que, quando aproveitada em veículos movidos a motores de combustão interna, apresenta uma ótima faixa de controle e melhora a economia de combustível nestes veículos na maioria dos casos, podendo aumentar também o seu desempenho. Para chegar a esses resultados foram utilizados dados coletados em outros projetos, dados de placa de motores elétricos e também foram criadas situações teóricas experimentais que utilizam o conhecimento da dinâmica veicular. No que se refere aos resultados, tem-se muita indicação de que as vantagens superem as desvantagens, mas, mesmo com indícios de que os benefícios teóricos sejam muito significantes, está união vem a um preço, torna o projeto complexo ao inserir duas variáveis em série num mesmo sistema podendo aumentar o custo do projeto. Em uma aplicação prática, espera-se ter uma melhora considerável no desempenho do veículo pelo fato de ser possível ter o controle sobre as relações de transmissão e melhores faixas de operação do motor elétrico. O mesmo seria possível para melhorar o rendimento do conjunto. Como este desenvolvimento deu-se apenas de cunho teórico devido a limitações orçamentárias, espera-se que alguma organização automotiva demonstre interesse no desenvolvimento desta.

Palavras-chave: Veículos elétricos. Transmissão. CVT. Eficiência mecânica.

ABSTRACT

PIGOSO, Eduardo Vinicius Ransolin. **Study of the application of continuously variable transmission in vehicles with electric propulsion**. 2018. 51 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

It is admirable this age where only creating new things is not enough, it is also necessary that the system developments achieve highest levels of optimization every time. Based on this, and, in the automotive industries context, there's still a lot of room to improve. In the course of this monograph, a proposal is being made that two different technologies which already exist come to coexist in the same environment, are well founded and have been presenting good practical results amongst the vehicle models which were designed with these techs. One of these techs, is the use of electric motors to propel vehicles, while there are very good practical results of performance and efficiency, but still might be improved. The other technology that is base of this project is the use of the continuously variable transmission that, when combined with a vehicle propelled by internal combustion engines, have presented a great control band, can improve fuel efficiency and its performance. In order to get to these results, it was used informational data from other projects and electric motors' tag data resulting in experimental theoretical situations that use the vehicular physics knowledge. In what comes to the end results, that the advantages surplus the disadvantages, but even with some signs that indicates theoretical benefits, this union comes with a high price: it rises the projects complexity for inserting two variables in series, and this might increase the project costs. In a practical application, it is expected to meet with a considerable increase in performance and efficiency due to the high level of control over the transmission rates and the electric motor's operating ranges. Since this development was given only a theoretical approach due to financial limitations, it is expected that an automotive organization shows interest in developing a physical model.

Keywords: Electric vehicles. Transmission CVT. Energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de powertrain com detalhamento das partes da transmissão	16
Figura 2 - Relações de transmissão para duas versões do mesmo veículo com 5 marchas.....	18
Figura 3 - Previsão de crescimento no número de veículos com CVT feita em 2011	22
Figura 4 - Simulação de como é feita a variação de relações de transmissão num câmbio CVT.....	23
Figura 5 - Demonstração da dinâmica das polias num câmbio CVT	23
Figura 6 - Condições de operação de um motor HVH250-090	27
Figura 7 - Gráfico de eficiência de um motor HVH250-090.....	27
Figura 8 - Comparação de torque e potência entre as conexões SOM e DOM	28
Figura 9 - Vendas de veículos elétricos comparando os primeiros semestres de 2018 e 2017	28
Figura 10 - Gráfico de eficiência de um motor HVH250-090.....	32
Figura 11 - Gráfico de eficiência de um motor HVH250-090 com detalhamento aproximado para 5000 [rpm]	34
Figura 12 - Diagrama de blocos do composto.....	35
Figura 13 - Reposta ao degrau com descrições de teoria de controle	35
Figura 14 - Curvas de torque e potência do motor na ligação em Estrela.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Aproximação linear da linha de torque do motor na Figura 14	38
Gráfico 2 - Aproximação linear da linha de torque para obtenção de um desempenho similar ao câmbio CVT	38
Gráfico 3 - Comparação entre Desempenho teórico máximo e desempenho respeitando limitação mecânica	40
Gráfico 4 - Coeficiente de aderência com aditivo antiderrapante	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de torque máximo para o composto entre 0 e 100 km/h	40
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivos Específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 METODOLOGIA.....	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 REVISÃO TEÓRICA	15
2.1 SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	15
2.1.1 Embreagem.....	16
2.1.2 Caixa de Mudanças.....	16
2.1.3 Transmissão Articulada	18
2.1.4 Diferencial	18
2.1.5 Semi-Árvore	19
2.2 O CONCEITO DE TORQUE	19
2.3 TIPOS DE TRANSMISSÃO.....	19
2.3.1 Transmissão Manual	20
2.3.2 Transmissões Automáticas	20
2.3.3 Transmissões Automatizadas	21
2.3.4 Transmissão Continuamente Variável.....	21
2.4 MOTORES ELÉTRICOS.....	24
2.5 MOTOR AM RACING: BORGWARNER	26
2.6 O CARRO ELÉTRICO ATUAL	28
3 INTEGRAÇÃO CVT COM MOTOR BRUSHLESS	31
3.1 MAIOR EFICIÊNCIA DO CONJUNTO	32
3.2 MÁXIMO DESEMPENHO	36
4 LIMITAÇÕES PREVISTAS	41
4.1 LIMITAÇÃO DE VELOCIDADE	41
4.2 LIMITAÇÕES DE PROJETO.....	41
4.3 LIMITAÇÕES DE TRANSMISSÃO.....	42
4.4 LIMITAÇÕES ELETRÔNICAS	43
4.5 LIMITAÇÕES FINANCEIRAS.....	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXOS	51
ANEXO A: DADOS DE MOTOR APRESENTADOS PELO FABRICANTE BORGWARNER.....	51

1 INTRODUÇÃO

O surgimento do automóvel tem sua origem na invenção da roda, em alguma época antes de Cristo, já o sistema de propulsão a combustão interna teve seu lançamento no século XIX, pelo alemão Nikolaus August Otto. A fabricação em escala foi iniciada por Henry Ford com uma linha de produção, muito bem estruturada, utilizada atualmente.

Nos dias de hoje, o uso de veículos automotores atinge desde o transporte de pessoas até o transporte de grandes cargas, tendo evoluído muito com o passar dos tempos e, há poucos anos, foi viabilizada a fabricação de veículos com propulsão a motores elétricos alimentados por baterias.

Visto que a inovação tecnológica é algo constante, engenheiros devem expressar a criatividade procurando alternativas que melhorem a qualidade de vida da sociedade, seja aumentando o conforto e, principalmente, tornando os projetos sustentáveis e amigáveis ao meio ambiente.

Atualmente existe muita pesquisa relacionada aos desenvolvimentos de veículos elétricos ou híbridos, algo que também aumenta todos os dias, porém enfrentam-se problemas quanto à poluição gerada na fabricação de alguns componentes dos mesmos ou até mesmo na geração da energia elétrica que abastecerá o veículo (PEREIRA, 2010; LUCENA, 2018). Mesmo com a alta eficiência dos motores elétricos se comparados aos motores de combustão, sempre há espaço para melhorias.

Nos automóveis atuais pode ser encontrado um grande número de sistemas que na maioria das vezes está sendo integrado com outros com diversos objetivos. Por exemplo, há um sistema de transferência da energia cinética produzida pelo motor para realizar a aceleração do veículo, a este sistema foi dado um nome: sistema de transmissão. Este sistema será estudado no decorrer deste projeto tendo como principais objetivos e justificativas os descritos a seguir.

O problema proposto visa a maximização da eficiência no conjunto de força dos veículos a propulsão elétrica a partir da substituição de uma transmissão simples atual (dupla de engrenagens) por uma transmissão continuamente variável, como já tem sido realizado em veículos com propulsão a combustão interna onde foram encontrados bons resultados.

1.1 OBJETIVOS

Dentre diversos objetivos que afirmam o desenvolvimento deste projeto, destaca-se a procura por novas formas de tornar um sistema mais eficiente, mesmo que isto seja feito com base na aplicação de uma tecnologia já existente, conhecendo sua utilidade e o quão promissora esta possa ser, de maneira a aumentar o rendimento do conjunto de força de veículos elétricos ou híbridos, podendo diminuir o consumo de energia elétrica.

1.1.1 Objetivos Específicos

Há países que já estabeleceram um limite na fabricação de veículos automotores movidos a combustíveis fósseis e aos poucos outros também irão aderir a essa estratégia. França (RIBEIRO, 2017), Alemanha (HIGA, 2017) e Reino Unido (RUFFO, 2017) já estabeleceram suas datas para deixar de produzir estes, além de outros países.

Projeções possíveis com este projeto podem ser o aumento da vida útil dos componentes do sistema (baterias, motores, partes mecânicas) e aumento da autonomia das baterias, podendo ser diminuído o seu tamanho e conseqüentemente a sua massa, gerando um melhor desempenho ou ainda maior economia.

1.2 JUSTIFICATIVA

Quando é realizada a procura por modelos mais eficientes energeticamente, sabe-se que há limites na geração, como infraestruturas e preços. Neste caso, sabe-se também que combustíveis fósseis (como gasolina e diesel) trazem ao meio ambiente componentes carbônicos (gás carbônico, monóxido de carbono, metano, etc.) que contribuem para o aquecimento global.

Justifica-se que quanto mais cedo forem desenvolvidas e aplicadas tecnologias, antes podem ser revertidos os problemas ambientais e todas as contribuições são bem direcionadas.

1.3 METODOLOGIA

Seguindo com o raciocínio de sistemas de transmissão, a proposta deste projeto é avaliar a possibilidade da aplicação de tecnologias já existentes para um novo modelo, onde será necessário conceituar diversos tópicos e realizar cálculos teóricos para verificar sua viabilidade.

Para definir o estudo, as tecnologias já existentes, que serão utilizadas para este sistema, formarão um conjunto cujo conteúdo genérico é um motor elétrico acoplado a uma transmissão continuamente variável.

O modelo atual, em veículos elétricos, compreende uma engrenagem redutora simples, sua justificativa dá-se pelo fato de um motor elétrico ser facilmente controlável, onde o torque pode se manter alto tanto para baixas ou altas rotações. Porém, sabe-se que os motores elétricos também possuem diferença de rendimento em diversas formas de operação, seja variando a frequência de alimentação ou de rotação (entre outros). É a partir destas prerrogativas que se cultiva esta proposta.

Primeiramente, algumas definições e pesquisas se tornam cruciais para o desenvolvimento. Será necessário conhecer os diversos tipos de motores elétricos usados para tração em veículos. Depois deve-se estudar o(s) atual(is) modelo(s) de transmissão veiculares. A terceira etapa consiste em desenvolver o sistema de transmissão continuamente variável (CVT), que é o elemento chave para o projeto e por fim deverá ser feita a análise combinatória de motores elétricos e transmissão continuamente variável, de forma a ter a oportunidade de avaliar se esse sistema trará algum benefício ou prejuízo e descrevê-los.

Já possuindo algum conhecimento dos sistemas mencionados anteriormente, ao final do projeto, pretende-se concluir quanto à eficiência e rendimento do sistema, ganho de autonomia, variação de torque, vantagens, desvantagens, viabilidade ou dificuldades de implementação.

Após verificação de grande melhoria, é aconselhável partir para modelos práticos. Como há limites financeiros impostos nesta proposta, os modelos práticos dependerão de um investimento externo. A procura por investimento externo será feita após a conclusão desta proposta, numa próxima etapa.

Além de tudo o que foi dito, por se tratar de um projeto de conclusão de um curso de especialização em sistemas embarcados, deve-se levar em conta também a necessidade de sistema de controle e como será feita a sua atuação no sistema

como um todo. Deverão ser conceituados diversos aspectos eletrônicos, como: telemetria, tipo de controlador, tipo de microcontrolador, entre outros.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O projeto está composto com 5 sessões, são elas:

1. Introdução: traz os principais aspectos que levaram ao desenvolvimento deste projeto;
2. Referencial teórico: apresenta os principais embasamentos necessários para o entendimento dos desenvolvimentos e resultados;
3. Integração CVT com motor *Brushless*: apresenta o desenvolvimento em si, quais as considerações para o desenvolvimento e conceitua efetivamente o projeto;
4. Limitações do Projeto: esta sessão apresenta o motivo de o desenvolvimento apresentar aproximações e hipóteses, assim como o motivo deste projeto não ter cunho prático;
5. Considerações finais: sessão que analisa o desenvolvimento e compara com as limitações presentes dando uma visão final sobre a viabilidade do projeto.

2 REVISÃO TEÓRICA

Como o principal objetivo deste trabalho se refere à melhoria na eficiência a partir do conjunto de transmissão, limita-se então à revisão teórica direcionada a esta parte.

A ideia geral descrita abaixo fará explicação do sistema de transmissão como um todo, o conceito de Torque, como é feita a integração com os outros sistemas, quais tipos de transmissão existem e a real explicação do funcionamento da transmissão continuamente variável.

Juntamente com a descrição mais detalhada do funcionamento do CVT, deve-se descrever vantagens e desvantagens, mas antecipadamente é importante mencionar que esta aplicação é benéfica na maioria dos casos.

Para finalizar a revisão teórica faz-se necessário descrever o motivo pelo qual os veículos possuem transmissões.

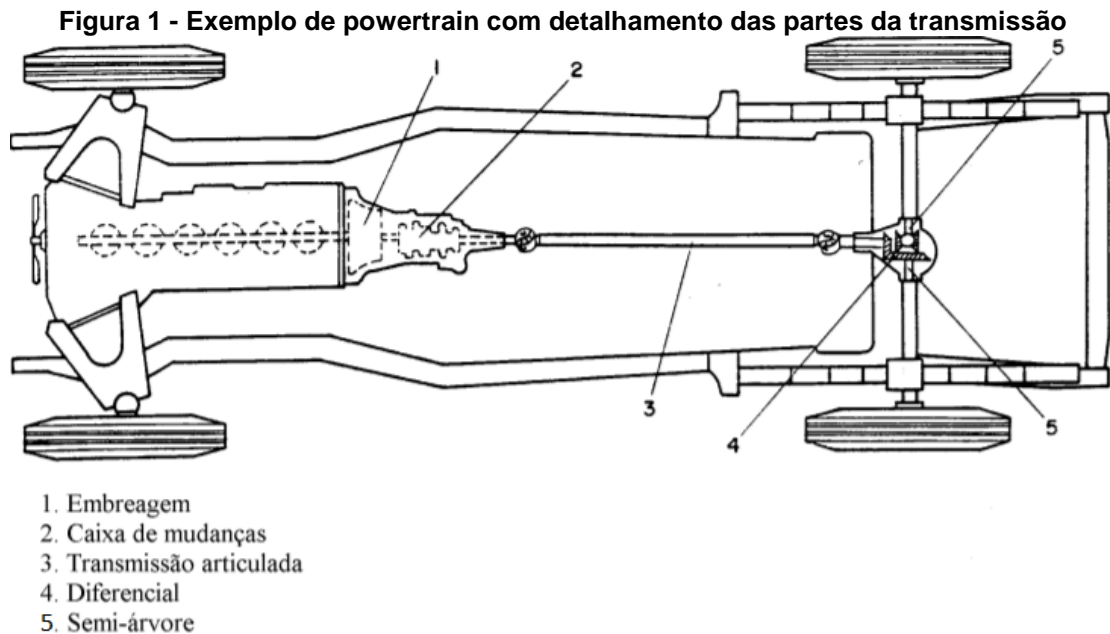
2.1 SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O principal objetivo de uma transmissão veicular é fazer com que a energia já transformada em energia cinética pelo motor chegue às rodas. O conjunto que envolve desde o motor até as rodas se chama *powertrain* (ou trem de força) e é responsável pelo impulsionamento do veículo. De forma simplificada, na Figura 1, exemplifica-se um *powertrain* contendo o detalhamento das partes de um sistema de transmissão convencional.

Identificando na Figura 1, seguindo o fluxo da energia, tem-se um componente mais à esquerda (parte dianteira do veículo neste caso) que é o motor que transforma a energia química do combustível em energia cinética a partir da combustão. Ele está conectado à transmissão através da embreagem. Logo em seguida está a caixa de mudanças com diversas relações de transmissão¹. O

¹ Relações de transmissão: relação de tamanho entre duas engrenagens que compõe uma polia (polia condutora ou conduzida). As caixas de transmissão podem possuir entre 1 par de engrenagens ou até 9 em alguns exemplos.

movimento de saída da caixa está conectado com o diferencial através de uma transmissão articulada. O diferencial fará a distribuição da energia entre as duas rodas do eixo traseiro utilizando uma semi-árvore para cada lado (EEEP, 2011).



Fonte: EEEP (2011).

2.1.1 Embreagem

Ainda para EEEP (2011), o papel da embreagem é acoplar e desacoplar o movimento do motor com o resto do *powertrain*, dentro do veículo ela é comandada pelo operador do veículo (motorista) através de um pedal. O motorista ao pressionar o pedal de embreagem está distanciando o volante do motor e a embreagem fazendo com que a rotação se torne simultânea para motor e resto do *powertrain*. Ao retirar o pé deste pedal, a embreagem retornará ao contato com o volante do motor que finalizará, num cenário ideal, com a mesma velocidade de rotação em ambas as partes.

2.1.2 Caixa de Mudanças

Na caixa de mudanças são encontradas entre 1 e 9 pares de engrenagens (os carros populares modernos possuem normalmente 5 ou 6). Esses pares de

engrenagem ditam qual será a relação de transmissão do conjunto e estão dispostos em dois eixos paralelos: entrada e saída.

O eixo de entrada provém do lado do motor e possui as engrenagens que transmitem força, chamadas de “motora” ou “condutora” (LINO, 2013). Segundo Lino (2013), as engrenagens que recebem a força são chamadas de “movidas” ou “conduzidas”, estas estão no eixo de saída e transmitem a “força”.

Cada par de engrenagens forma uma marcha do sistema de transmissão e cada marcha possui uma relação de transmissão. O cálculo realizado pode se referir tanto ao número de “dentes” em cada engrenagem quanto ao perímetro das polias ou também fazendo a comparação entre seus diâmetros ou raios. Segundo Lino (2013), a relação de transmissão pode ser resumida matematicamente a partir da seguinte equação 1:

$$\phi_1 * n_1 = \phi_2 * n_2 \quad (1)$$

Na equação 1, ϕ corresponde ao diâmetro da polia e n é a velocidade angular, o número 1 corresponde à polia motora e o número 2 se refere à polia movida. Para Lino (2013), a relação de transmissão pode ainda ser resumida dividindo ambos os lados da igualdade na equação 1 e formando a equação 2:

$$i = n_1/n_2 \quad (2)$$

Considerando uma caixa com 5 marchas, tem-se 5 diferentes relações de transmissão à disposição do usuário, e cada uma delas terá um momento ideal para uso de acordo com o movimento do veículo.

A primeira relação indica alto torque e baixas velocidades, pois a relação de transmissão é alta e a velocidade de rotação é limitada. Para a última relação, há indicação de baixo torque e alta velocidade já que a relação de transmissão é baixa.

Isso quer dizer que se tem alto torque a baixas velocidades e baixo torque a altas velocidades. Porém há outros pares de engrenagem entre estes e que são úteis de formas intermediárias. Na Figura 2 é possível observar como essas relações de transferência são dadas.

Figura 2 - Relações de transmissão para duas versões do mesmo veículo com 5 marchas

Motor		
Transmissão	1.0L SPE/4	1.4L SPE/4
1ª marcha	4,27 : 1	3,73 : 1
2ª marcha	2,35 : 1	1,96 : 1
3ª marcha	1,48 : 1	1,32 : 1
4ª marcha	1,05 : 1	0,95 : 1
5ª marcha	0,80 : 1	0,76 : 1
Marcha a ré	3,31 : 1	3,31 : 1
Relação de transmissão do diferencial	4,87 : 1	4,63 : 1

Fonte: GM (2018).

No exemplo dado, tomando a relação 1.4L SPE/4 sobre a primeira marcha, tem-se um indicativo que enquanto o eixo de entrada rotaciona 3,73 vezes, o eixo de saída fará apenas uma volta completa. Quando o motor chega ao seu limite (aproximadamente 6000 rpm) a velocidade final desta relação será baixa. Para compensar esta velocidade baixa são inseridas novas marchas para que exista a possibilidade de aumentar a velocidade sacrificando torque.

2.1.3 Transmissão Articulada

A transmissão articulada é simplesmente um eixo que permite a conexão entre a caixa e o diferencial. A articulação é utilizada pelo fato de o veículo não ser completamente rígido, e tendo a necessidade de ser ajustável.

2.1.4 Diferencial

EEEP (2011) afirma que o diferencial traduz o movimento de um eixo para outro eixo perpendicular e também possui uma relação de transmissão como demonstrado na Figura 2. A função do diferencial é permitir que as rodas do eixo em que faz parte tenham a possibilidade de rotacionar de forma independente em caso de necessidade (como acontece em casos de curvas, onde a velocidade linear das rodas internas à curva é menor que a velocidade das rodas externas à curva de forma a manter a velocidade angular).

2.1.5 Semi-Árvore

Sendo duas para cada diferencial, a função das semi-árvores é transmitir o movimento entre o diferencial e as rodas do veículo. As rodas por final farão a tração final caso haja aderência à superfície de contato, fazendo uma força para trás, o veículo se moverá para a frente.

2.2 O CONCEITO DE TORQUE

Segundo Queiroz, Melo e Calabrez (2015), “o torque é definido como o produto da força **F** aplicada em relação a um determinado ponto pela distância que separa o ponto de aplicação dessa força”. Para o cálculo do Torque a partir de uma força é utilizada a seguinte expressão:

$$\tau = F * r * \text{sen}(\theta) \quad (3)$$

Na expressão 3, obtém-se τ como sendo o vetor Torque, **F** sendo o vetor Força aplicada, r sendo a distância em que essa roda é aplicada em relação ao centro de rotação e θ é o ângulo entre o vetor Força e o braço da alavanca. Como o ângulo normalmente é 90° então damos origem a expressão 4:

$$\tau = F * r \quad (4)$$

A unidade de Torque no sistema internacional de unidades é [N.m] (Newton.metro).

2.3 TIPOS DE TRANSMISSÃO

São diversos tipos de transmissão existentes no mercado, como: manual, automática, dupla embreagem manual, automatizada com uma ou duas embreagens e continuamente variável.

2.3.1 Transmissão Manual

Este tipo de transmissão coloca todo o controle sobre quem comanda o veículo, ou seja, o motorista que realiza as trocas de marcha a partir da sua escolha entre as relações de transmissão disponíveis em seu veículo.

O comando do veículo é feito quando o motorista, ao pressionar o pedal da embreagem enquanto acelera, pode realizar a troca de marcha através de uma alavanca no interior do veículo para um nível acima, permitindo o veículo a atingir velocidades mais altas, por exemplo.

Segundo Queiroz, Melo e Calabrez (2015), este tipo de transmissão está presente na maioria dos automóveis, principalmente entre os brasileiros, isso porque a transmissão manual, ou também chamada de mecânica, é mais simples e barata tornando-se opção mais viável pra muitos consumidores.

2.3.2 Transmissões Automáticas

Para Queiroz, Melo e Calabrez (2015) as transmissões automáticas têm “o objetivo de dar maior comodidade ao motorista e aumentar a suavidade na transmissão de potência e torque do motor às rodas motrizes”. Além disso, outra função é permitir o trabalho do veículo na faixa de rotação mais adequada. As transmissões automáticas normalmente têm duas partes, a eletrônica e o conversor de torque

O TCM (*Transmission Control Module*) é o módulo que determina quais as condições de funcionamento do veículo de acordo com os sinais provenientes de sensores (QUEIROZ; MELO; CALABREZ, 2015). A partir disso, o módulo executa o controle enviando sinais para os devidos atuadores.

O conversor de torque utiliza princípios da força hidrodinâmica. Queiroz, Melo e Calabrez (2015), apresentam que o conversor de torque proporciona a amplificação do torque fornecido pelo motor, o que por sua vez melhora a aceleração e desempenho do veículo.

Além disso, como o acoplamento é feito ainda pela hidrodinâmica, há escorregamento entre motor e transmissão, o que ajuda a isolar a transmissão das vibrações torcionais do motor.

Dentro do conversor de torque é encontrado o estator, é esta parte que causa a multiplicação do torque, muito útil para velocidades baixas.

2.3.3 Transmissões Automatizadas

Conforme dizem Queiroz, Melo e Calabrez (2015), seu primeiro nome foi “câmbio robotizado”, pois é um “robô” que faz a troca de marchas. “Uma central eletrônica de injeção do motor conversa com a unidade de controle de transmissão, que gerencia o motor, e outra no câmbio em função da ação do motorista e da condição do motor”. Então é acionada a embreagem e trocada a marcha de forma robotizada.

Quando comparado com o câmbio automático, o câmbio automatizado traz mais segurança, melhor rendimento de combustível, redução do nível de tensão do motorista, redução do peso e redução de espaço (QUEIROZ; MELO; CALABREZ, 2015).

Transmissões automatizadas podem ser de embreagem simples ou de dupla embreagem. Para as duplas, o sistema terá uma embreagem para as relações pares e outra embreagem para as relações ímpares (Embreagem A: marchas 1, 3 e 5; Embreagem B: marchas 2, 4 e 6).

2.3.4 Transmissão Continuamente Variável

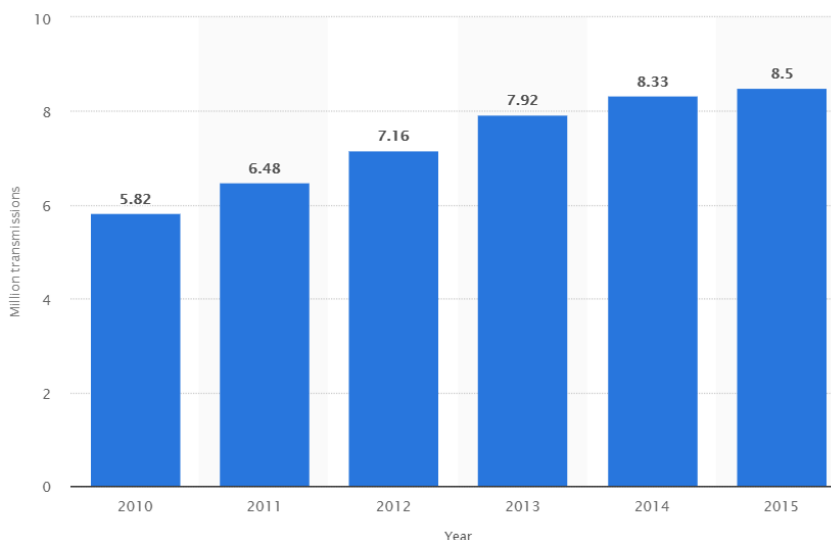
O estudo deste tipo de transmissão é o princípio fundamental desta proposta e, sendo assim, será muito melhor detalhada em relação às outras funcionalidades. A princípio é dada a sigla CVT pois em inglês é chamada de *Continuously Variable Transmission*.

Esse tipo de transmissão tem sido amplamente utilizado no mercado automotivo, ainda mais por esse número estar aumentando. Um estudo (CVT, 2011), já previa um aumento na produção de veículos com o CVT (Figura 3) enquanto outro estudo citado por Halvorson (2014) já indicava que 10% dos veículos automáticos possuíam CVT em 2014 e que o número continuaria a aumentar.

Torna-se observável que os benefícios trazidos por esse tipo de transmissão sejam reais, como exemplificado por Queiroz, Melo e Calabrez (2015): reduzir o consumo de combustível, diminuir a emissão de poluentes no ar e também para

maximizar a dirigibilidade e o conforto. Para Degreenia (2013), o uso desse tipo de transmissão ainda permite “[...] alcançar maior ajuste e controle sobre o acoplamento e mudanças de marcha no veículo [...]”.

Figura 3 - Previsão de crescimento no número de veículos com CVT feita em 2011

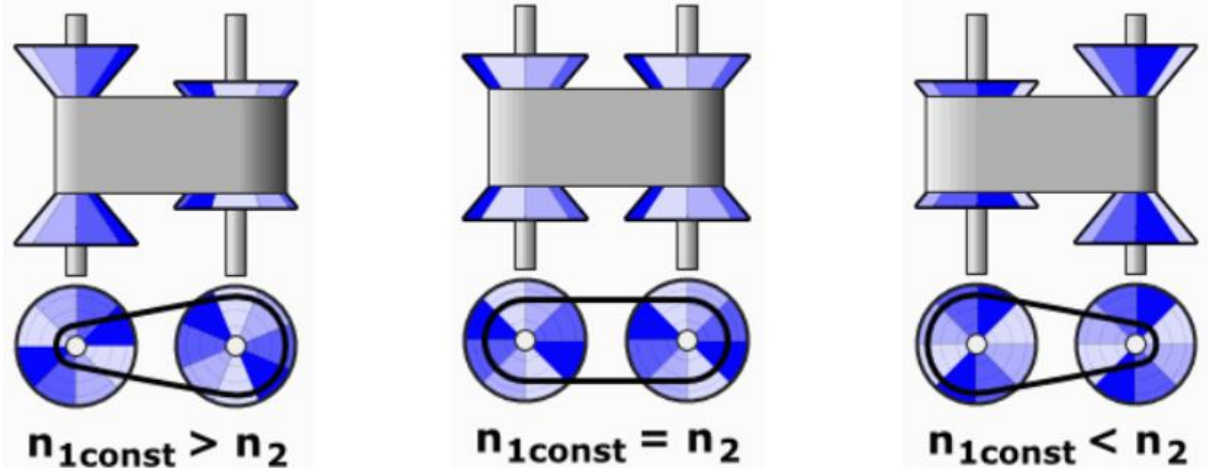


Fonte: CVT (2011).

Com esse tipo de transmissão é permitido controlar quase toda a dinâmica do veículo para quase todas as suas faixas de operação: baixas a altas velocidades, baixas a altas acelerações. Essa faixa de controle deve-se ao fato desse tipo de transmissão ser formado por apenas duas polias que permitem a variação das relações de transmissão conforme exemplificado na Figura 4.

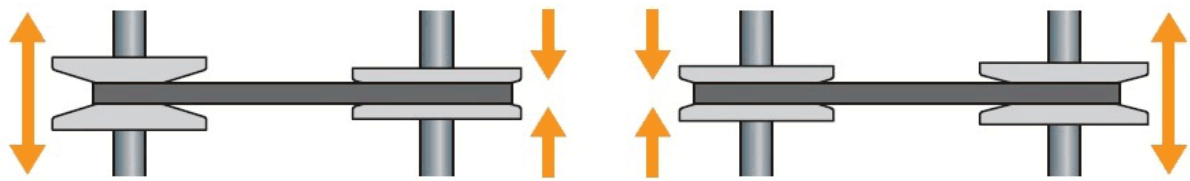
A Figura 4, está dividida em 3 imagens, elas indicam que há duas polias de raios variáveis ligadas por uma correia ou cinta. Um exemplo de como essas polias funcionam pode ser através da aproximação de dois cones conforme Figura 5. Quando os cones se aproximam em uma polia, então na outra eles devem ser afastados de forma a manter a cinta tracionada, uma vez que os perímetros são variáveis porém a correia possui o mesmo tamanho.

Figura 4 - Simulação de como é feita a variação de relações de transmissão num câmbio CVT



Fonte: Adaptado de Daquino (2013).

Figura 5 - Demonstração da dinâmica das polias num câmbio CVT



Fonte: Yamaha (2018).

No caso do uso desse tipo de transmissão em um veículo, este não possuirá marchas, portanto não se diz qual a relação de transmissão, como exemplificado na Figura 2, porém este terá uma relação de transmissão variável como é o exemplo do Audi A6 descrito por Button (2004), “As possibilidades de relações de desmultiplicação do câmbio Multitronic² vão de 2,1:1 a 12,7:1, quando nos câmbios de variação contínua até hoje desenvolvidos, essa taxa mal excedia 5:1”.

BUTTON (2004) também afirma que “No consumo, a versão com Multitronic faz 0,25 km/l a mais do que o mesmo modelo com câmbio manual e 1,1 km/l a mais do que o modelo com câmbio automático Tiptronic³.” Quanto ao desempenho, a mesma fonte diz que “a versão com câmbio Multitronic acelera de 0 a 100 km/h em 8 segundos, enquanto a com câmbio automático (Tiptronic) gasta 9,3 segundos e a com câmbio manual leva 8,1 segundos.” Em outras palavras, pode-se dizer que o câmbio CVT aplicado neste caso é vantajoso quando comparado à transmissão

² Multitronic: nome dado ao câmbio CVT usado no Audi A6.

³ Tiptronic: nome dado ao câmbio automático que equipa outras versões do Audi A6.

manual ou mesmo quando comparado à versão automática seja para economia de combustível assim como para o desempenho.

As mesmas vantagens encontradas no Audi A6 podem ser encontradas de forma geral para outros modelos de veículos. Queiroz, Melo e Calabrez (2015), trazem outras vantagens que esse tipo de cambio pode prover, tais como: “evitar mudanças brutas no torque e na velocidade de saída, [...] reduzir o consumo de combustível, diminuir a emissão de poluentes no ar e também para maximizar a dirigibilidade e o conforto”.

Porém como todo projeto, este ainda conta com algumas desvantagens, como é o caso da correia ou cinta que se torna uma limitação para o projeto, uma vez que os produtos presentes no mercado apenas permitem um torque máximo do veículo seja 350 [N.m]. Dessa forma, Queiroz, Melo e Calabrez (2015) recomendam a aplicação desse tipo de tecnologia em veículos que possuam torque de saída entre 180 [N.m] e 350 [N.m]. Acima de 180 [N.m] pois é uma tecnologia mais cara que as outras, e não causa uma grande diferença em veículos de baixo desempenho que também costumam ser econômicos. Abaixo de 350 pois ainda se faz necessário novos desenvolvimentos em tecnologia de materiais ou engenharia civil/mecânica para tornar as correias mais resistentes à tração.

Outras desvantagens, além do custo alto e limitação da correia, incluem complexidade de desenvolvimento, aceitação do público e necessidade de manutenção mais alta.

2.4 MOTORES ELÉTRICOS

Para inserir o contexto da importância dos motores elétricos pode ser utilizado o escrito por Luqueta (2018) em que relata que entre 40 e 50% da energia elétrica consumida no país é gasta no setor industrial e, a partir dessa fatia, estima-se que 70 a 80% seja gasto por motores elétricos.

Quando se trata de aplicações veiculares é possível observar o alto crescimento do uso da tecnologia, no início de 2018 a frota mundial de veículos elétricos já era 55% maior que o início de 2017, com maiores aumentos absolutos nos Estados Unidos e na China (WELLE, 2018). Ainda segundo a mesma fonte, algumas empresas estão investindo muito neste setor, tendo alguns exemplos como

a Volvo que, “a partir de 2019, todos os novos modelos que saírem de suas fábricas serão elétricos” e a Ford “que iria dobrar seus investimentos em carros elétricos, para US\$ 11 bilhões até 2022, e que planeja lançar 40 modelos híbridos ou completamente elétricos nos próximos anos.”

Hoje em dia os carros elétricos têm sido desenvolvidos com motores *brushless* devido a uma limitação tecnológica de inversores para o controle de motores de indução. Nos anos 90, todos os carros híbridos ou elétricos que rodavam, embora em pequenos números, utilizavam motores elétricos de corrente contínua, porém hoje a grande maioria utiliza *brushless*, e alguns modelos específicos utilizam motores de indução trifásicos (RIPPEL, 2007).

Para Rippel (2007), engenheiro da *Tesla*, o uso de motores de indução trifásicos pode ser comparável com os motores sem escova. Isso pois o motor de três fases não possui ímãs permanentes, motores de indução são melhores em desempenho, e embora não possuam torque disponível a muito baixas rotações, Rippel (2007) diz que pode ser contornado ao utilizar uma serie de realimentações que farão o inversor encontrar as melhores frequências de operação tornando-se competitivos com motores Brushless até neste aspecto, mas ainda não justifica a escolha.

A opção por esse tipo de motor por parte da Tesla é devido à economia de energia. Mesmo que motores Brushless sejam mais econômicos de forma direta, há desenvolvimentos em eletrônica de inversores de frequência que tornam a opção utilizada muito mais vantajosa.

“Em um controlador Brushless ideal, a força do campo magnético produzido pelos ímãs permanentes seria ajustável. Quando o torque máximo é requerido, principalmente a baixas velocidades, a intensidade de campo magnético deveria ser máxima – de modo a fazer com que as correntes de inversor e motor se mantivessem aos valores mínimos. Isso minimiza as perdas ($I^2 \cdot R$) e assim aumenta a eficiência. Da mesma forma, quando os níveis de torque são baixos, o campo deveria ser reduzido de forma a também reduzir perdas por histerese e correntes parasitas. Idealmente, o campo magnético deveria ser ajustável para, ao final, obter-se uma baixa soma de perdas resistivas, por histerese e por correntes parasitas. Infelizmente (como é o caso de motores Brushless) não há como fazer isso com o uso de ímãs permanentes e sua construção.

Em contraste, máquinas de indução não possuem ímãs permanentes, tornando possível controlar os campos magnéticos, uma vez que estes são proporcionais a V/f (tensão elétrica por frequência). Isso significa que para baixas cargas, o inversor pode reduzir a tensão elétrica de forma a reduzir perdas magnéticas, aumentando a eficiência.” Traduzido de Rippel (2007).

A partir disso, pode-se dizer que o fabricante Tesla demanda alta tecnologia para obter um controle tão avançado de sua aplicação, o que torna o projeto mais caro, o que acaba justificando o uso de motores sem escova em outros fabricantes de veículos.

2.5 MOTOR AM RACING: BORGWARNER

Para este desenvolvimento foi escolhido um motor do tipo brushless, cujas informações dadas pelo fornecedor estão presente no Anexo A, seja pelas vantagens apresentadas anteriormente, como baixa complexidade de aplicação, bom rendimento, alto torque de partida e também por já possuir um conjunto controlador/inversor disponível para controle e também por operar num grande intervalo de alimentação em Volts (entre 200 e 700 [V] em corrente contínua).

O modelo escolhido é HVH250-090, capaz de gerar picos de torque de 320 [N.m] e pico de potência de 170 [kW], com possibilidade de ter uma eficiência acima de 95,5% dependendo da faixa de operação. O motor pode ser ter os enrolamentos do seu estator ligados em série (SOM ou também conexão em triângulo) ou em paralelo com dois enrolamentos (DOM ou também conexão em estrela). Ambas conexões possuem vantagens e desvantagens.

Ligação em triângulo apresenta baixo torque e potência de partida, atingindo o pico de desempenho a aproximadamente 6000 rpm se alimentado com 700 [Vdc], apresenta um consumo maior pois as resistências elétricas estão ligadas em série e também possuem malhas fechadas que trazem mais perdas magnéticas. Essa aplicação é interessante para quando deve há tentativas de alcançar altas velocidades do motor. Conforme descrito na Figura 6, essa configuração trabalha com uma corrente eficaz máxima de 300 [Arms].

A ligação em estrela possui pico de potência com altas faixas de rotação sendo alimentado com 700 [Vdc], assim também há torque disponível em todas as faixas. Quando não se trata de momentos de pico, então o comportamento com 500 [Vdc] torna-se muito similar ao comportamento com máxima alimentação. Esta configuração possui bons valores de desempenho e menos perdas no geral, por isso é indicada na maior parte do tempo. Essa configuração permite também a atuação do motor na faixa de máxima eficiência conforme Figura 7, ou seja, quando não

houver necessidade de máximo desempenho, é interessante manter o motor entre 2000 a 6000 rpm com um torque de 50 a 200 [N.m]. Conforme descrito na Figura 6, essa configuração trabalha com uma corrente eficaz máxima de 600 [Arms].

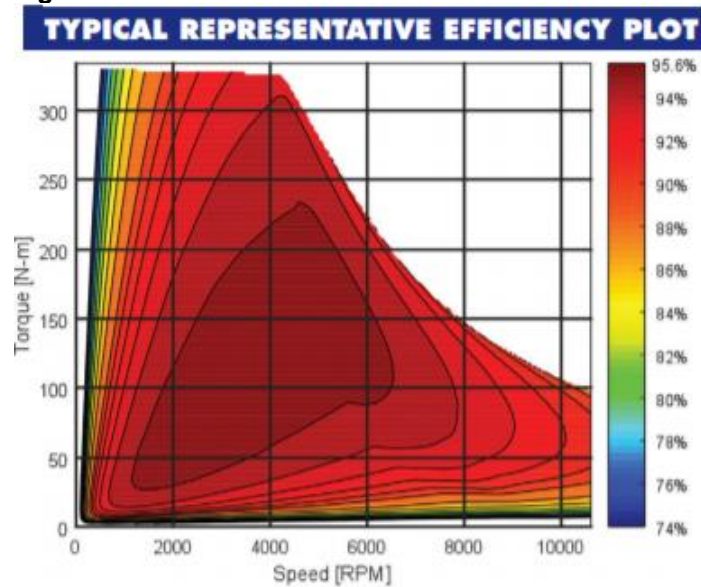
Figura 6 - Condições de operação de um motor HVH250-090

OPERATING CONDITIONS	
Typical Coolant Inlet Temperature	up to 90 C
Typical Coolant Flow Rate	5 to 30 LPM
DC Bus Voltage	up to 700 V
Peak Current	300*/600** Arms
Rated Peak Operating Time	60 sec
Standard Cooling Medium	Dexron VI
MOTOR MASS DATA	
Motor Assembly	49 kg
Motor Rotational Inertia	0.067 kg·m ²

*Series wound stator **Dual path stator

Fonte: Borgwarner (2016).

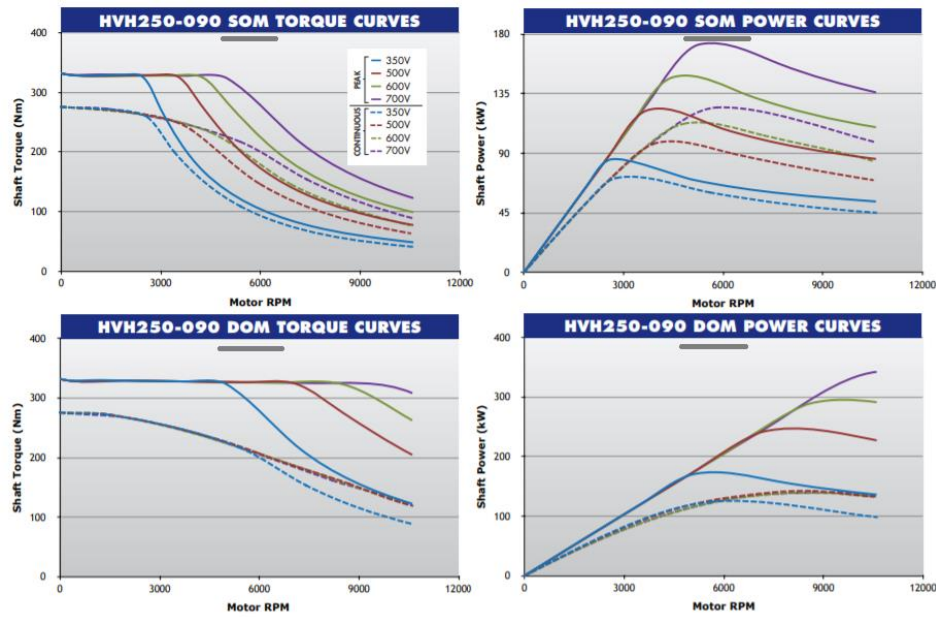
Figura 7 - Gráfico de eficiência de um motor HVH250-090



Fonte: Borgwarner (2016).

A Figura 8 traz as comparações entre as duas formas de conexão (SOM e DOM), de onde foram extraídas as observações anteriores.

Figura 8 - Comparação de torque e potência entre as conexões SOM e DOM

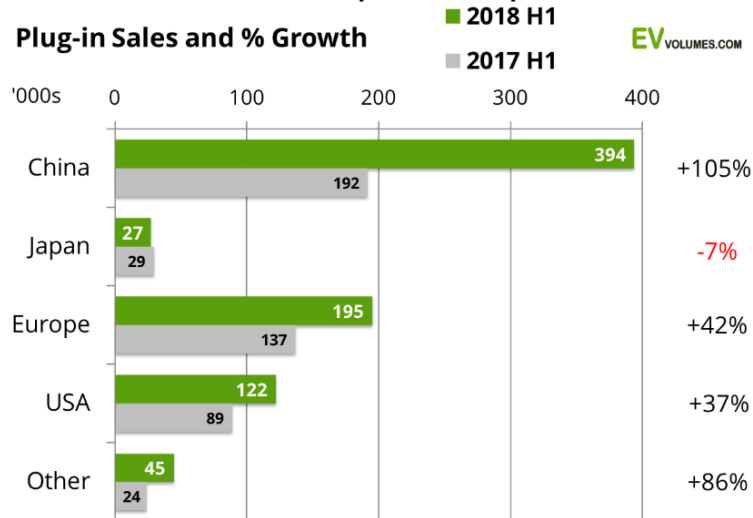


Fonte: Adaptado de Borgwarner (2016).

2.6 O CARRO ELÉTRICO ATUAL

Nos dias de hoje há grande aumento na produção do veículo elétrico (em inglês *Electric Vehicle* ou EV). Um comparativo publicado em “EV-volumes.com” (IRLE, 2018), entre janeiro e julho de 2018 indica que o número de vendas aumentou aproximadamente 40% no geral quando comparado ao mesmo período de 2017 (Figura 9).

Figura 9 - Vendas de veículos elétricos comparando os primeiros semestres de 2018 e 2017



Fonte: Irle (2018).

Trazendo para o contexto deste projeto, é necessário comunicar o uso de transmissão que alguns dos fabricantes desenvolvem para seus veículos, e também indicar alguns exemplos de alto desempenho das categorias de competição.

A exemplo da Fórmula E (categoria de competição mundial que trás a competição de veículos elétricos), o fabricante Hewland (2018) informa que fábrica e fornece transmissões de 3 ou 4 velocidades para os veículos de competição.

Outro exemplo importante é a Tesla, marca de veículos elétricos norte-americana fundada por Elon Musk.

“O objetivo sempre fora ir de zero a 96 quilômetros por hora o mais rapidamente possível, na esperança de que a velocidade bruta do veículo atraísse muita atenção e tornasse divertido dirigi-lo. [...] A primeira marcha levaria o carro de zero a 96 quilômetros por hora em menos de quatro segundos, e então a segunda marcha levaria a até 209 quilômetros por hora. A Tesla contratara a Xtrac, empresa britânica especializada em design de transmissão para criar essa parte do modelo. [...] A transmissão inicial não aguentava o grande salto da primeira pra segunda marcha, e o temor era de que a segunda marcha engatasse em alta velocidade e não estivesse sincronizada com o motor, o que resultaria num dano catastrófico para o carro.” (VANCE, 2015, p. 177)

Também foi determinado que mesmo com novos ajustes as transmissões voltariam a sofrer com defeitos. Embora não seja o único problema relatado no livro, o problema da transmissão, segundo Vance (2015), foi contornado através da seguinte forma:

“Para o Roadster atingir sua aceleração rápida com uma transmissão de velocidade única, os engenheiros tiveram que reprojeter o motor e o inversor do carro e diminuir um pouco o peso. ‘Em essência, tivemos que começar tudo de novo’, disse Musk. ‘Foi terrível’”. (VANCE, 2015, p. 183)

O modelo final de Musk para a Tesla possui apenas uma engrenagem, não havendo trocas, funcionando apenas como uma redução. Alvarez (2018), afirma em seu artigo que o Tesla Model 3 (modelo de veículo fabricado pela Tesla) é capaz de acelerar de zero a 96 quilômetros por hora em 3,18 segundos com a bateria em 100%, um desempenho muito melhor que uma grande quantidade de veículos a combustão.

Porém, assim como o veículo criado por Elon Musk, outros modelos mais simples também utilizam apenas um par de engrenagens para a transmissão de torque e potência para o conjunto.

3 INTEGRAÇÃO CVT COM MOTOR BRUSHLESS

A proposta deste projeto é integrar a operação de motor *brushless* com a tecnologia de transmissão continuamente variável, aproveitando seus benefícios e vantagens, porém compreendendo suas limitações e desvantagens.

A utilização desses componentes deveria permitir um aumento no desempenho assim como uma melhora na eficiência do conjunto, contornando alguns problemas que outros fabricantes encontraram como é o caso de Elon Musk, que identificou a necessidade de utilizar mais de uma relação de transferência para desempenho. Os problemas encontrados foram a quebra da transmissão e a falta de sincronização de velocidade na troca de relação.

Quanto à quebra da engrenagem, esse sistema já estará limitado em torque pois conforme dito em 2.3.4 as transmissões CVT atuais suportam 350 [N.m], porém quanto à sincronização de velocidade, a transmissão proposta pode contornar esse problema a partir da parte de controle e programação. Esse controle poderá permitir que o motor tenha sua velocidade de rotação variada pela energia cinética do veículo, através da variação gradativa de relação de transmissão, sem deixar de ser rápida, ao mesmo tempo que não é instantânea, o que apenas depende da eletrônica embarcada e desenvolvedores.

Para continuar esse desenvolvimento, é necessário definir as duas formas de operação: máximo desempenho, melhor eficiência do conjunto.

Máximo desempenho é considerada a operação do veículo onde ele apresenta a melhor aceleração possível, maior velocidade final, sabendo que a economia de bateria será afetada e a autonomia do conjunto será reduzida.

Máxima eficiência do conjunto indica que o veículo deverá trabalhar com desempenho limitado para que seja possível sempre, ou quase sempre, ocupar a faixa de maior eficiência do motor conforme demonstrado na Figura 7 em 2.5.

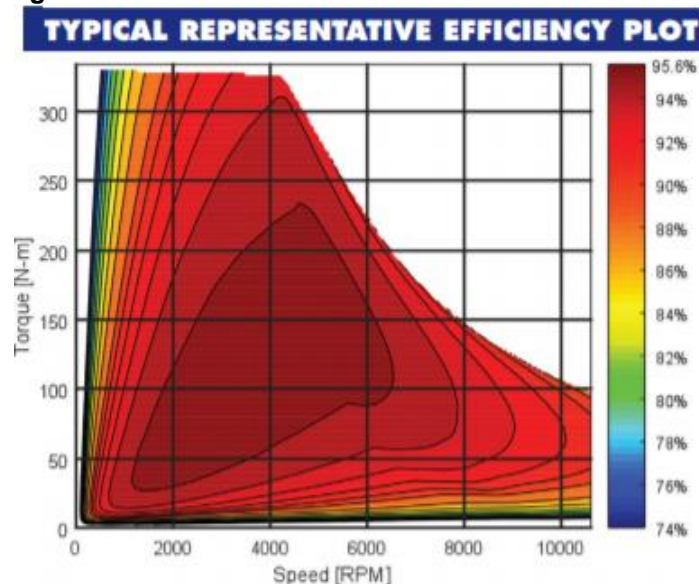
Dentro do veículo é possível indicar esses dois comportamentos de duas formas: a primeira se refere a uma chave seletora de desempenho, a controle do usuário, ou eficiência e a outra depende da posição do pedal acelerador, a controle da eletrônica embarcada (pedal de aceleração ao fundo indica mais aceleração, caso o pedal esteja pouco pressionado, isso indica que não é necessário utilizar o

máximo desempenho, tornando possível que os controladores identifiquem a oportunidade de economia). Este não será objetivo de entrega deste projeto, portanto está sendo tratado apenas superficialmente.

3.1 MAIOR EFICIÊNCIA DO CONJUNTO

Neste caso é necessário retomar a Figura 7 sobre a eficiência do motor HVH250-090. Nota-se que há uma faixa interna em que a eficiência do motor se torna máxima (Figura 10). É nessa faixa que se deve trabalhar neste tópico.

Figura 10 - Gráfico de eficiência de um motor HVH250-090



Fonte: Borgwarner (2016).

Quando um veículo está em movimento retilíneo, o mesmo terá forças resistivas agindo contra, como é o caso de atrito com asfalto, atrito interno com motor ou rolamentos, limitação aerodinâmica, entre outros. Quando há tentativa de tornar esse movimento uniforme, sabe-se que é necessário equilibrar as forças que atuam sobre o conjunto, logo sendo necessário um auxílio do motor com um torque que deve equilibrar o mesmo.

Na tentativa de equilibrar este veículo, considerando-se um veículo com uma relação de transmissão, supõe-se que o veículo possa demandar 50 ou 100 [N.m] para manter sua velocidade em uma reta, e também considerando que as forças que atuam contra ele sejam constantes com o aumento da velocidade.

Em um veículo com uma única relação de transmissão, pode-se dizer que, idealmente, a velocidade do veículo será diretamente proporcional à velocidade de rotação do motor. Da mesma forma, a força que o conjunto aplica ao veículo será diretamente proporcional ao torque entregue pelo motor.

Assim, considerando a rotação do veículo entre 0 e 10000 [rpm], se a necessidade de torque for 50 [N.m] do motor para manter a velocidade, então este somente permanecerá na região de melhor eficiência entre aproximadamente 1250 a 3750 [rpm], o que equivale dizer, que de todas as velocidades de cruzeiro que o veículo possa manter, somente 25% permitem a ele a melhor eficiência. O mesmo pode ser feito para uma necessidade de 100 [N.m], nesse caso há melhorias de eficiência, para aproximadamente 45%.

Quando se modifica a transmissão desse veículo para uma transmissão continuamente variável, já não pode mais ser dito que a velocidade de rotação do motor e do veículo serão proporcionais. Da mesma forma, o torque do motor não poderá mais ser considerado proporcional à força aplicada ao veículo.

No caso do veículo com transmissão CVT, tem-se um veículo trafegando a uma velocidade enquanto o motor pode variar sua dinâmica em conjunto com a transmissão.

Exemplificando esta situação, é possível tomar como parâmetros: o motor que gira de 0 a 10000 [rpm], o eixo diferencial dado pela Figura 2 de 4,63:1, uma transmissão de um par de engrenagens 1:1, um câmbio CVT que pode variar suas relações entre 3,73:1 e 1:3,73 (ou 0,27:1) e um conjunto roda com pneu de raio 0,3073 metros (o perímetro desta é 1,9308 metros).

Com essas medidas se obtém dois conjuntos a serem comparados. Um primeiro conjunto (Veículo 1) com apenas um par de engrenagens 1:1 e outro conjunto (Veículo 2) com um câmbio CVT que permite variar as relações de 3,73:1 a 0,27:1. Esses valores foram escolhidos por um motivo simples, a relação 3,73:1 é a relação da primeira marcha de um veículo descrito na Figura 2, 1:3,73 é o equivalente máximo da transmissão CVT, lembrando que cada veículo tem uma equipe de engenheiros responsáveis por entregar a melhor configuração.

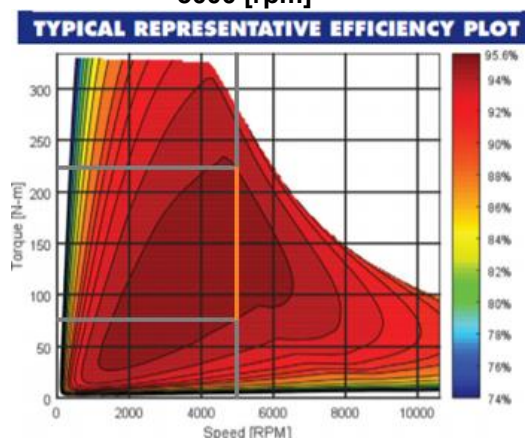
No veículo 1 a cada rotação do motor, o eixo de saída da transmissão irá girar 1 volta. A cada 4,63 voltas no eixo de saída da transmissão, a roda irá girar 1 vez devido ao diferencial do veículo. Sendo assim, se o motor estiver a uma velocidade

de 5000 rpm, a roda estará girando aproximadamente 1080 vezes por minuto, fazendo com que o conjunto tenha uma velocidade de aproximadamente 125 [km/h].

No veículo 2 a cada rotação do motor, o eixo de saída da transmissão irá depender da relação do composto CVT. Porém da mesma forma. a cada 4,63 voltas no eixo de saída da transmissão, a roda irá girar 1 vez devido ao diferencial do veículo. Sendo assim, se o motor estiver a uma velocidade de 5000 rpm, a faixa de rotação da roda será entre 289 e 4028, fazendo com que o conjunto possa teoricamente atingir velocidades desde 33 [km/h] até uma velocidade de aproximadamente 466 [km/h].

No caso do veículo 2 quando o motor está rotacionando a 5000 [rpm], há uma faixa de torque que pode ser entregue por esse utilizando a melhor eficiência do conjunto que varia de aproximadamente 75 a 225 [N.m] como pode ser observado na Figura 11. Porém este torque de 75 [N.m] pode não ser ideal para manter o controle desejado pelo motorista, este passará a controlar no pedal de acelerador para obter o comportamento desejado (mais força no conjunto indicando aceleração ou manter velocidade).

Figura 11 - Gráfico de eficiência de um motor HVH250-090 com detalhamento aproximado para 5000 [rpm]



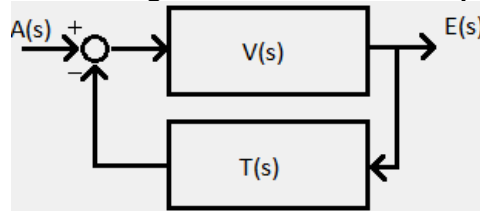
Fonte: Adaptado de Borgwarner (2016).

Assim, a eletrônica do veículo deve ler os dados do veículo e executar um ajuste na alimentação do motor ou então na variação da relação de transferência da transmissão. Esse sistema de controle deverá ler os dados de entrada, nesse caso temos apenas a posição do pedal de acelerador. O sistema deverá obter uma saída que indicará se o veículo precisa aumentar a força ou diminuir e para isso precisa

controlar o nível de tensão de alimentação do motor e/ou variar a relação de transmissão do câmbio.

O diagrama de blocos da Figura 12 irá indicar se o componente precisa de mais ou menos força para o veículo. O sinal de entrada do acelerador está representado por $A(s)$, enquanto $T(s)$ representa a relação de transmissão, $V(s)$ é a função de transferência que representa a alimentação do motor e $E(s)$ é a economia de energia.

Figura 12 - Diagrama de blocos do composto

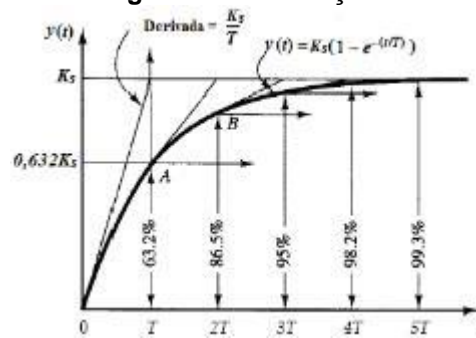


Fonte: Autoria própria.

$A(s)$ será representado em sua maioria por uma rampa de aceleração ou podendo se aproximar de uma função degrau, pois será um comportamento do motorista.

$T(s)$ que é o comportamento da transmissão não deverá apresentar sobre elevações, essas sobre elevações podem ser altamente prejudiciais ao conjunto, pois representariam uma variação de relação acima do permitido em alguns casos, podendo fazer com que a correia saia do eixo ou que o torque torne-se superior aos 350 [N.m] limites comentados anteriormente. Ainda para $T(s)$, mesmo que não haja sobre elevação, o comportamento não pode deixar de ter um ajuste rápido, quando comparado ao degrau, o comportamento deve ser similar ao da Figura 13, em que T seja o menor possível (para que a resposta de aceleração seja a mais rápida possível).

Figura 13 - Resposta ao degrau com descrições de teoria de controle



Fonte: Prado Junior (2009).

Quando se fala em alimentação do motor e chama-se de $V(s)$, trata-se de todo o sistema de entrega de força, a partir da bateria, inversores de frequência e o motor propriamente dito. Motores elétricos tem uma resposta rápida a quaisquer sinais de entrada, quando comparados a motores a combustão interna.

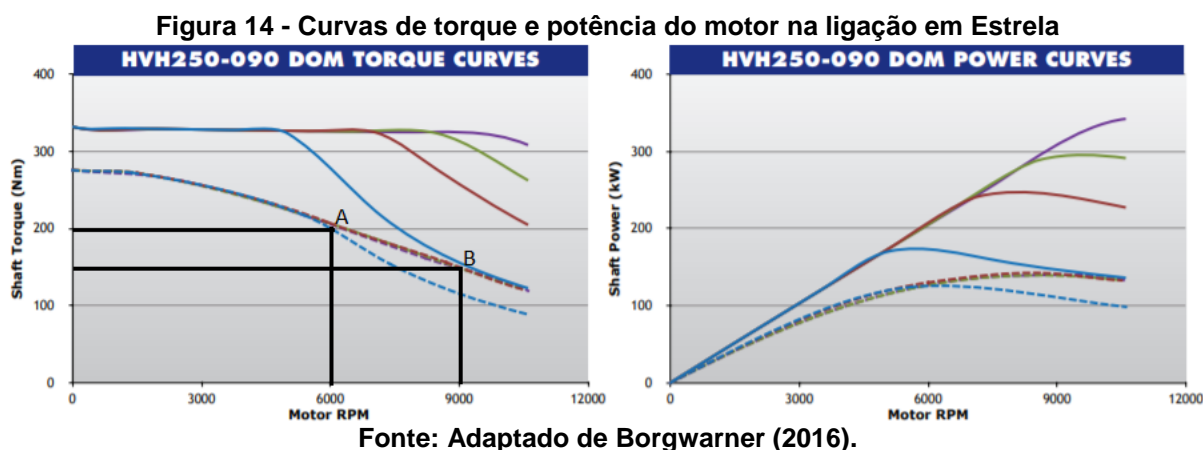
A razão de a transmissão estar na realimentação se dá ao fato de o motor ser controlado dentro da faixa de economia, recorrendo primeiramente aos ajustes feitos na transmissão. A partir do momento que ajustar a transmissão não se torna possível, então a alimentação do motor deve ser modificada. O motor economizar energia é prioridade.

$E(s)$ é uma saída do sistema que procura relacionar um composto de maior eficiência.

3.2 MÁXIMO DESEMPENHO

Para se tratar do máximo desempenho permitido pelo conjunto de motor e trem de força, deve-se lembrar da Figura 8, porém apenas à parte que oferece maior desempenho que é a ligação em Estrela (ou ligação em “Y”) conforme a Figura 14.

Tem-se, então, um torque de aproximadamente 320 [N.m] disponível para picos, entre 0 e 10000 [rpm]. Como o câmbio CVT está familiarizado a esta altura, sabe-se que esse valor pode ser amplificado para até 350 [N.m] de forma a não causar danos à correia ou cinta. Porém esses picos apenas estão disponíveis por um pequeno período de tempo, após um minuto, o desempenho será apenas os resultados das linhas pontilhadas na Figura 14. Com o intuito de limitar o torque máximo entre motor e transmissão a 350 [N.m] o que pode ser feito é uma regressão matemática para alcançar esse valor. Por exemplo, supondo que o motor está girando a 6000 [rpm] com máximo torque possível, esse torque é aproximadamente 200 [N.m] (Indicado pelo ponto A na Figura 14), para amplificá-lo para 350 [N.m] é necessário que a relação de transmissão seja 1,75:1. Já, se o motor estiver girando a 9000 rpm, o torque do motor será aproximadamente 150 [N.m] (Indicado pelo ponto B na Figura 14) e para chegar a 350 [N.m] então a relação deverá ser 2,33:1.



Nos exemplos A e B dados, supondo-se a mesma situação apresentada no item 3.1 em que o eixo diferencial seja o mesmo dado pela Figura 2 de 4,63:1, um câmbio CVT que pode variar suas relações entre 3,73:1 e 1:3,73 (ou 0,27:1) e um conjunto roda com pneu de raio 0,3073 metros então as velocidades serão respectivamente 85,8 e 96,6 [km/h].

Considerando que o motor juntamente com a transmissão consegue entregar 350 [N.m] de 0 a 100 [km/h], num veículo de 1000 [kg], também desconsiderando atrito com a pista e como ar, pode ser calculado o tempo para atingir tal velocidade, supondo que há aderência entre o pneu e a pista.

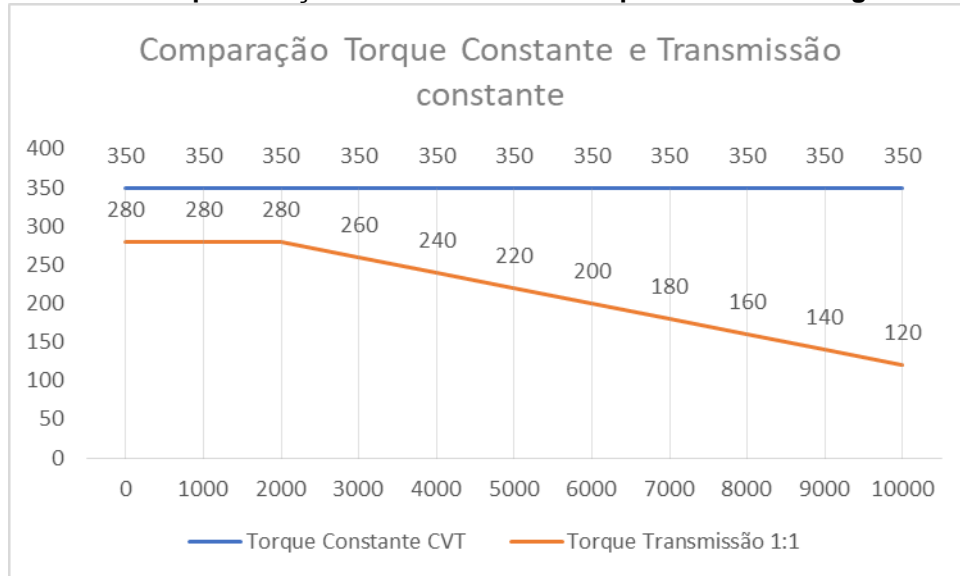
O torque de 350 [N.m] quando unido ao eixo diferencial produzirá um torque constante na roda de 1620 [N.m]. Utilizando a equação 1, esse torque numa roda de raio 0,3073 [m] causará uma força de 5273 [N]. Para impulsionar um veículo de 1000 kg, a aceleração será constante de 5,27 [m/s²] o que levará o composto do repouso até 100 [km/h] em 5,3 segundos.

Ao aproximar o torque do motor a uma função cuja área no gráfico possa ser estimada, então pode-se verificar qual o valor teórico da aceleração caso a transmissão utilizada fosse um simples par de engrenagens com relação de 1:1. Essa função foi aproximada utilizando o *Microsoft Excel*, de 0 a 2000 rpm o torque é constante e a partir de 3000 rpm há uma queda de 20 [N.m] para cada 1000 rpm e está representada no Gráfico 1.

Considerando que a aceleração será a integral da força aplicada e sabendo que a força aplicada é diretamente proporcional ao torque do motor, então podemos calcular e comparar ambas áreas. A área do torque constante causado pelo controle

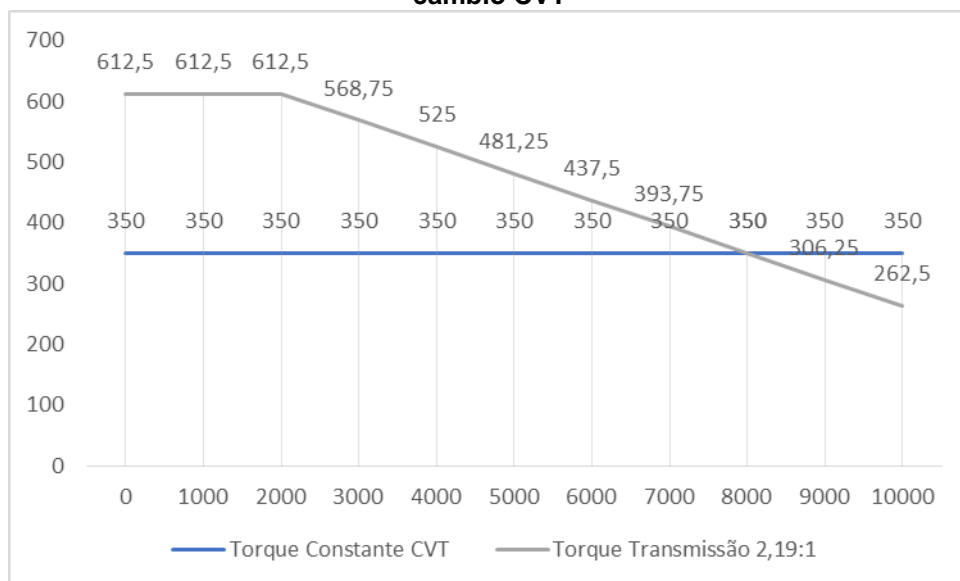
da transmissão CVT será 3500000 [N.m.rpm], já a área laranja causada pelo motor com uma transmissão de uma velocidade será 1600000 [N.m.rpm]. Isso significa que a aceleração do outro composto será aproximada a 11,5 segundos (Figura 14).

Gráfico 1 - Aproximação linear da linha de torque do motor na Figura 14



Essa diferença das áreas pode representar a relação média de torque necessária para o composto acelerar, que será aproximadamente 2,19:1. A curva de torque do conjunto motor e transmissão está demonstrada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Aproximação linear da linha de torque para obtenção de um desempenho similar ao câmbio CVT



O problema com essa relação de transferência é que quando o motor estiver rodando a 10000 [rpm], que é a velocidade máxima, o veículo na prática estará com uma velocidade de 114 [km/h], enquanto a transmissão de 1:1 permitia levar o veículo a 250 [km/h].

Logo, comparando o veículo com CVT com os outros dois modelos de transmissões diferentes, é possível encontrar vantagens de desempenho tanto em aceleração quanto em velocidade final.

É possível levantar outra hipótese ainda e supor que não há limitação de 350 [N.m] quanto à correia, deixando o veículo atingir seu limite natural de desempenho. Nesse caso o veículo irá partir com a maior das relações (3,73:1) e manterá esse valor até atingir 1000 [rpm], a partir disso o mesmo deverá manter a velocidade de 1000 rpm e modificar a relação de transmissão. Dessa forma, o veículo poderia alcançar 100 [km/h] em menos de 5,2 segundos.

Faz-se possível e necessário o cálculo máximo teórico de desempenho do conjunto, supondo-se que não haja limitações mecânicas ou elétricas no veículo (tais como limitação do câmbio CVT, da capacidade de fornecimento de energia das baterias, do aquecimento no motor, etc.). Dessa forma, consideram-se os valores de pico de torque e potência do motor, melhores ajustes de câmbio para cada momento, valores ideais de movimento, como ausência de atrito, porém com total aderência à pista.

Os valores de desempenho seguem na Tabela 1, em que relacionam velocidade real [km/h], velocidade do motor [rpm], torque final do composto com CVT [N.m] e relação de transmissão.

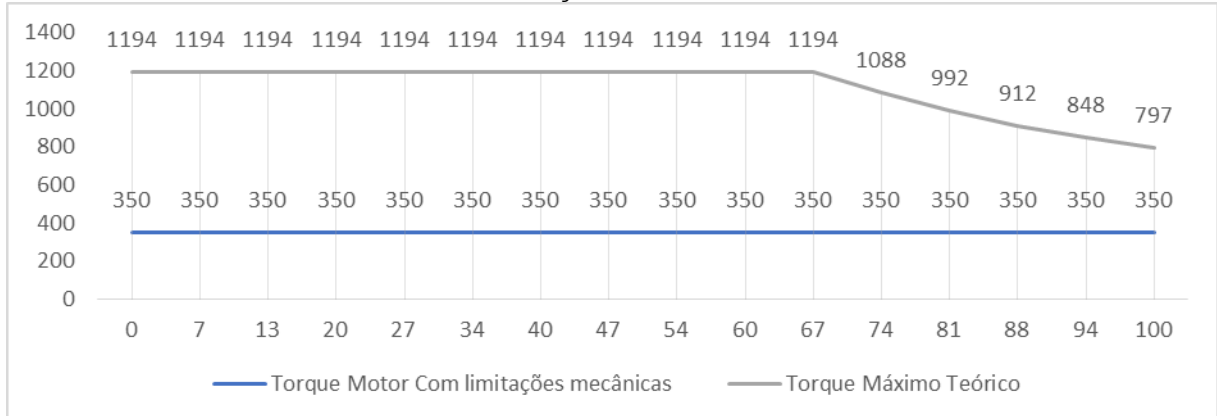
Utilizando novamente a equação 1, verifica-se que a força aplicada é 17984 [N] entre 0 e 67 km/h, e decai conforme a variação de relação de transmissão do câmbio até atingir os 100 [km/h]. Ao comparar-se com a aceleração que respeita a limitação de 350 [N.m] no Gráfico 3, pode verificar-se a aceleração do composto teórico.

Devido à comparação de áreas no Gráfico 2, aproximando o decaimento entre 67 e 100 [km/h] como uma reta, verifica-se que o desempenho melhora de 5,2 segundos para 1,6 segundos. As limitações mecânicas impostas diminuem o desempenho máximo de aceleração para 31% da capacidade entre 0 e 100 [km/h].

Tabela 1 - Relação de torque máximo para o composto entre 0 e 100 km/h

Velocidade Motor	Relação Trans.	Velocidade Real	Torque
0	3,73	0	1194
1000	3,73	7	1194
2000	3,73	13	1194
3000	3,73	20	1194
4000	3,73	27	1194
5000	3,73	34	1194
6000	3,73	40	1194
7000	3,73	47	1194
8000	3,73	54	1194
9000	3,73	60	1194
10000	3,73	67	1194
10000	3,4	74	1088
10000	3,1	81	992
10000	2,85	88	912
10000	2,65	94	848
10000	2,49	100	797

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 3 - Comparação entre Desempenho teórico máximo e desempenho respeitando limitação mecânica

Fonte: Autoria própria.

4 LIMITAÇÕES PREVISTAS

Há algumas limitações encontradas no projeto que aumentam a necessidade de pesquisa na área de engenharia automobilística, especialmente para o desenvolvimento de automóveis elétricos e híbridos.

4.1 LIMITAÇÃO DE VELOCIDADE

Como discutido em 3.1, a velocidade máxima desse composto poderia ultrapassar 400 [km/h], porém isso poderia ocorrer num ambiente livre de atrito e confronto aerodinâmico. Na prática é compreensível que o veículo tenha sua velocidade máxima limitada eletronicamente, algo que é feito em muitos modelos de veículos a combustão (como é exemplo de alguns veículos de origem alemã, BMW 750iL e Audi R8 V10, ambos limitados a 250 [km/h]).

Outra situação que pode ocorrer com o veículo é a limitação mecânica através do atrito ou arrasto com o ar, uma vez que estes valores podem atingir tal ponto que o motor não seria capaz de ultrapassar.

4.2 LIMITAÇÕES DE PROJETO

Há uma limitação de projeto que não permite estimar valores de atrito, que variam com condições do ambiente e também o atrito aerodinâmico que varia de acordo com a velocidade. O motivo é a falta de referencial teórico confiável suficiente para tais situações.

Dessa forma, os cálculos de desempenho teóricos apresentados se devem à física ideal de operação que demonstram a capacidade máxima de um sistema. Sabe-se que torques muito altos de partida indicariam escorregamento entre o pneu e a pista e podendo depender de diversas situações do ambiente.

Outra situação que poderia ser apresentada é a interferência aerodinâmica que certamente dificulta os cálculos de máxima eficiência do composto. Um veículo com bom coeficiente aerodinâmico é mais econômico e capaz de executar melhores acelerações que outros não tão bem ajustados ou projetados.

4.3 LIMITAÇÕES DE TRANSMISSÃO

Como foi discutido anteriormente em 3.1 e 3.2, e também descrito por Queiroz, Melo e Calabrez (2015), a transmissão continuamente variável tem uma limitação de 350 [N.m] de torque. Entende-se a necessidade de melhorias no desenvolvimento de correias e cintas para o modelo.

Porém essa limitação da transmissão não é única. Outro fator que interfere o projeto de transmissões é a eficiência da transmissão.

Uma equipe de projeto Baja da Universidade Federal do Rio Grande do Sul concluiu algumas situações interessantes. Descrito por Bresolin (2012), diz-se que a partir da substituição mais frequente da correia da CVT o time poderia ter um ganho de 20% em determinadas faixas de velocidade de rotação do motor. Também é dito que o uso de aditivos antiderrapantes utilizados por outras equipes poderia trazer um ganho de 145% em baixas rotações.

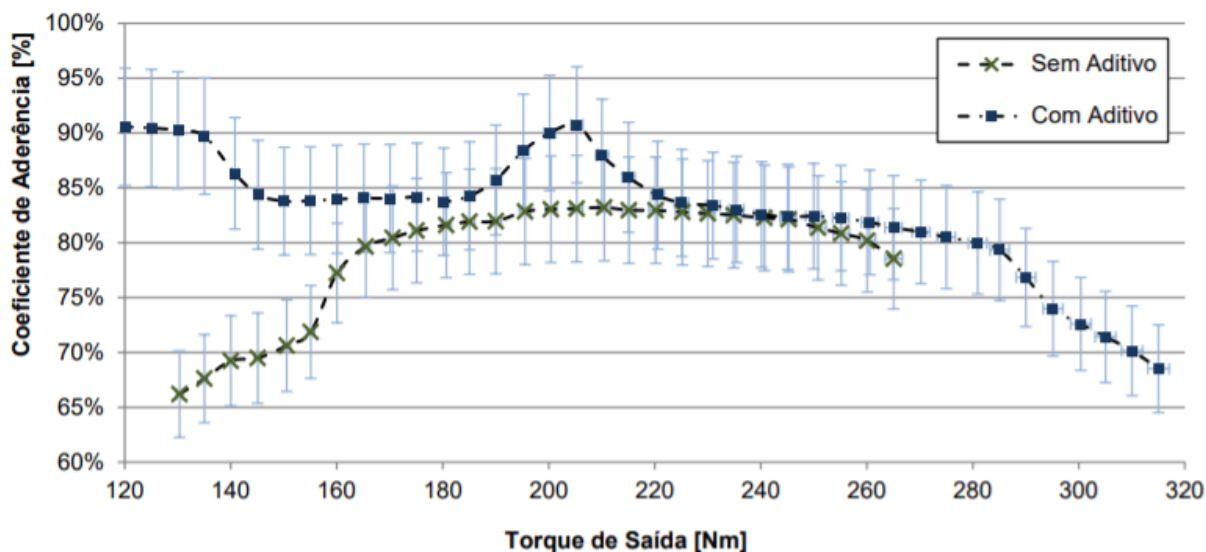
A partir do Gráfico 4 criado por Bresolin (2012), pode-se verificar que o coeficiente de aderência nunca é próximo de 100%, o que representa a possibilidade de escorregamento. Tal escorregamento pode ser muito mais frequente em altos torques.

Outra limitação de transmissão se remete ao que já foi discutido, sobre o projeto do veículo *Roadster* da *Tesla*. Os engenheiros tentaram projetar uma transmissão de duas velocidades e não tiveram sucesso, tendo que refazer o projeto como um todo utilizando uma transmissão de uma velocidade.

A categoria de competição de veículos elétricos Formula E possui poucos anos de atividade e conta com diversas montagens de transmissão. O que é justificável por McKeegan (2011) e traz mais justificativa e credibilidade ao projeto em questão.

“Motores elétricos são capazes de entregar todo o torque disponível já em 0 rpm e com um alcance operacional muito grande. É por esse motivo que muitos veículos elétricos têm apenas uma transmissão de uma velocidade (duas velocidades em alguns casos). Apesar disso, a eficiência de motores elétricos ainda varia de acordo com a velocidade – eles operam com uma eficiência próxima de 90%, porém pode cair para entre 60 e 70%, particularmente para baixas velocidades. A questão é se vale a pena adicionar uma transmissão de múltiplas velocidades ao *drive-train* para otimizar eficiência a baixas velocidades. De acordo com Antonov (fabricante de transmissões), a resposta é sim.” Traduzido de McKeegan (2011).

Gráfico 4 - Coeficiente de aderência com aditivo antiderrapante



Fonte: Bresolin (2012).

4.4 LIMITAÇÕES ELETRÔNICAS

Entendendo que a eletrônica também não é ideal, sabe-se que há limitação em baterias, motores elétricos, cabos de energia e cabos de sinal, telemetria e em outros aspectos.

Em se tratando de baterias, as mesmas possuem limitações quanto à entrega de energia. Quanto mais energia é solicitada pelo conjunto, maior o aquecimento do banco de baterias. As baterias atuais têm a diminuição de sua vida útil dependendo de diversos fatores e aquecimento é um deles. Outro ponto que merece atenção sobre baterias é o fato de serem inflamáveis, o seu aquecimento pode trazer prejuízo e danos aos tripulantes.

O motor elétrico em questão possui uma operação de pico e outra operação para os demais momentos. Essa operação em pico não é prejudicial quando limitada em tempo. Isso porque o motor aquece quanto mais potência é extraída dele, uma vez que seus enrolamentos possuem resistência elétrica baixa, porém não nula.

Na parte de eletrônica, a cada ano que passa a tecnologia torna-se mais barata e desenvolvida, incluindo controladores e sensores. Porém ainda há complicações quanto ao controle dos sistemas devido à alta complexidade do conjunto motor elétrico e transmissão variável. Ambos sistemas não apresentam complexidade alta quando trabalhados separadamente, o problema gerado é devido

à união destes. Por exemplo, para melhor economia de energia, procura-se ajustar a transmissão a partir do motor que deve estar em sua faixa de máxima eficiência e menor consumo possíveis e deve encontrar parâmetros de velocidade e aceleração suficientes para o comportamento descrito no pedal acelerador.

4.5 LIMITAÇÕES FINANCEIRAS

O projeto em questão sofre com limitação financeira para seu desenvolvimento, tornando-se apenas uma análise conceitual do conjunto que permitiria verificar se o projeto seria passível de uma análise dinâmica de cunho experimental.

Seria necessário desenvolver dois veículos completamente idênticos, exceto pela transmissão. Os valores seriam, certamente, diferentes dos valores que foram apresentados aqui.

Para desenvolver esses veículos experimentais seria necessário apoio financeiro e uma equipe para realizar tal desenvolvimento. A equipe também deveria ser provida de equipamentos específicos para o desenvolvimento.

Por todas essas necessidades que o projeto experimental, com o fim exclusivo de comprovar a viabilidade, pode vir a ser desenvolvido por uma equipe que possua tais recursos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme mencionado entre a introdução e o referencial teórico, verifica-se que está havendo um aumento expressivo e direciona a um crescimento da indústria de carros elétricos. Uma aplicação que traz diversos benefícios e ainda possui um potencial de alcançar muitos outros.

Benefícios como maior controle dos sistemas, melhor eficiência dos compostos, a médio e longo prazo tornam-se mais benéficos financeiramente e ambientalmente, reduzem a poluição sonora em grandes centros urbanos, podem ser abastecidos em casa.

Porém quando é observada uma tecnologia crescendo no mercado e adquirindo uma boa aceitação do público alvo, engenheiros devem verificar quais são seus pontos fracos e explorá-los, propor melhorias, criar projetos. Carros elétricos ainda possuem limitações e, mesmo que os problemas não sejam solucionados, existam cientistas destinando seus conhecimentos para a melhoria contínua.

Veículos movidos à eletricidade tem custo alto de maneira geral, isso pois as baterias utilizadas são caras, porém enquanto essa indústria se desenvolve em seu ritmo próprio, pode-se explorar maneiras de melhorar o desempenho dos bancos de baterias nos veículos elétricos.

Se for possível melhorar a eficiência de um conjunto, então as baterias podem ser reduzidas, ou então pode ser melhorada a autonomia do conjunto. Caso seja necessário optar por um motor com melhores características de desempenho, então também se faz necessário melhorar o banco de baterias. Modificando uma coisa, acaba tornando necessário o redimensionamento do composto como um todo, tornando-o mais caro e, assim, menos acessível.

O conceito de veículo elétrico com transmissão continuamente variável apresenta vantagens perante aos outros sistemas? Sim, absolutamente, principalmente quanto ao desempenho, pois quanto à eficiência não há como medir a melhora, uma vez que os parâmetros são muitos, sendo necessário um estudo prático.

Porém o conceito funciona muito bem à base de teorias que a defendem. Uma vez que seja verificada a prática por traz de tudo, pode existir um resultado

ainda mais atrativo, indicando que ainda há muito o que desenvolver para tornar este sistema um ótimo conjunto.

A começar pelo próprio câmbio CVT, observou-se que pode ocorrer escorregamento, diminuindo a eficiência na transmissão de energia cinética, também foi verificado que o uso de aditivos pode melhorar o desempenho. Mas o que chama mais atenção é a cinta ou correia que compõe o sistema, ela não suporta muitas forças atuando sobre ela, podendo romper ou pelo menos reduzir sua vida útil.

Quanto ao câmbio CVT, o que pode ser feito é a verificação de outras formas de realizar o transporte de movimento de um lado para o outro de maneira a obter-se o máximo de rendimento. Mas pelo menos podem ser pesquisados novos materiais ou novas montagens da correia, fazendo com que ela suporte muita força de tração sobre ela.

Quando ao motor elétrico, e sabendo da limitação de câmbio, pode-se propor um motor de baixa potência que pode ser amplificado pelo câmbio CVT, fazendo com que ele tenha ótimos desempenhos para um carro de mais baixo custo, mas também consiga atingir bons níveis de eficiência tanto dentro da cidade quanto em velocidades de cruzeiro. Por hora.

Os benefícios desse tipo de aplicação são diversos, como verificados anteriormente, e espero que os desenvolvimentos não parem por aqui. Espero que outras equipes de desenvolvimento tenham interesse nesse tipo de aplicação e tenham interesse em investir também nesta.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Simon. **Tesla model 3 performance rips 0-60 mph in blistering 3.18 seconds on 100% battery state of charge**. Post de Simon Alvarez, publicado em: 06 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.teslarati.com/tesla-model-3-performance-3-18-sec-0-60-mph-100-percent-battery-charge/>>. Acesso em: 23 out. 2018.

BORGWARNER. **HVH250-090 electric motor**. Copyright© 2016 BorgWarner Inc. Disponível em: <https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/remy-pds---hvh250-090-sheet-euro-pr-3-16.pdf?sfvrsn=a142cd3c_11>. Acesso em: 22 out. 2018.

BRESOLIN, João Guilherme. **Avaliação da eficiência do sistema de transmissão utilizado em protótipos Baja SAE**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/60586>>. Acesso em: 28 out. 2018.

BUTTON, Sérgio Tonini. **CVT - Transmissão Continuamente Variável (Continuously Variable Transmission)**. Prof. Sérgio Tonini Button, material didático da disciplina Tecnologia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, - UNICAMP, 2004. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/graduacao/EM335/Temas/CVT/hondaudi.htm>>. Acesso em: 18 out. 2018.

CVT. **Continuously Variable Transmission forecast for automobile production worldwide from 2010 to 2015 (in millions)**. Copyright© Statista 2018, 2011. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/204096/continuously-variable-transmission-forecast-for-car-production-worldwide/>>. Acesso em: 18 out. 2018.

DAQUINO, Fernando. **GIFs animados explicam como o seu carro funciona**. Tecmundo, artigo publicado em: 13 mai. 2013. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/carro/39665-gifs-animados-explicam-como-o-seu-carro-funciona.htm>>. Acesso em: 18 out. 2018.

DEGREENIA, Timothy R.. **The Continuously Variable Transmission: A Simulated Tuning Approach**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Curso de Bacharelado em Ciência, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 2013. Disponível em: <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-022014-185837/unrestricted/MQP_Timothy_DeGreenia_Edited_Jan19.pdf>. Acesso em: 18 out. 2018.

EEEP. **Curso Técnico em Manutenção Automotiva: Sistema de Transmissão Mecânica**. Governo do Estado do Ceará, Secretaria da Educação, Escola Estadual de Educação Profissional (EEEP), Ensino Médio Integrado à Educação Profissional, Fortaleza, 2011. Disponível em: <https://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/manutencao_automotiva/manutencao_automotiva_sistema_de_transmissao_mecanica.pdf>. Acesso em: 16 out. 2018.

HALVORSON, Bengt. **Your Next Vehicle Is More Likely To Have A CVT: Here's Why**. The Washington Post, publicado em: 27 mai. 2014. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/cars/your-next-vehicle-is-more-likely-to-have-a-cvt-heres-why/2014/05/27/76abd984-e5b4-11e3-a70e-ea1863229397_story.html?noredirect=on&utm_term=.ca511af9c930>. Acesso em: 18 out. 2018.

HEWLAND. **Formula E transmission evolution**. Copyright© Hewland Engineering Ltd, 2018. Disponível em: <<https://www.hewland.com/formula-e-transmission-evolution/>>. Acesso em: 23 out. 2018.

HIGA, Paulo. **Alemanha quer banir carros a gasolina e diesel até 2030: Motores de combustão interna podem ser proibidos em toda a União Europeia**. Copyright© Mobilon Mídia 2005-2018, post publicado em: 2017. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/202088/alemanha-banir-motor-combustao-interna/>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

LINO, Paulo Sérgio Costa. **Polias, correias e transmissão de potência**. Artigo do Prof. Paulo Sérgio Costa Lino publicado em Engenharia 360, 05 mai. 2013. Disponível em: <<https://www.engenharia360.com/wp-content/uploads/2013/05/PoliasCorreias.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

LUCENA, Glauco. **Os prós e contras dos carros elétricos: A eletrificação vai salvar todos ou é tudo exagero? Entre mitos e fatos, a verdade está no meio do caminho**. Quatro Rodas, São Paulo, 08 maio 2018. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/os-pros-e-contras-do-carro-eletrico/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

LUQUETA, Gerson. **Motores - Ligações / Partidas e Operações**. Escola Politécnica Da Universidade De São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, PEA - Laboratório De Instalações Elétricas, 2018. Disponível em: <http://gerson.luqueta.com.br/index_arquivos/motores.pdf.PDF>. Acesso em: 19 out. 2018.

MCKEEGAN, Noel. **Antonov's 3-speed transmission for electric vehicles boosts efficiency by 15 percent**. Copyright© Gizmag Pty Ltd 2018, post publicado em: 03 jul. 2011. Disponível em: <<https://newatlas.com/antonov-3-speed-transmission-ev/19088/>>. Acesso em: 28 out. 2018.

PEREIRA, Daniel. **O quanto o carro elétrico é realmente ecológico?** Ser Melhor, São Paulo, ago. 2010. Disponível em: <<http://www.sermelhor.com.br/ecologia/o-quanto-o-carro-eletrico-e-realmente-ecologico.html>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

PRADO JUNIOR, Alcindo do. **Controle de processos industriais**. Apostila da disciplina de Controle Clássico (Laboratório), Curso de Engenharia Elétrica, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville, 26 set. 2009. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/silas/materiais/ALCINDO_Control_de_Processos_Industriais.pdf>. Acesso em: 25 out. 2018.

QUEIROZ, Caio Dimitri Vieira; MELO, Elaine Cristina de; CALABREZ, Felipe Henrique. **Revisão dos sistemas de transmissão automotiva**. 2015. 81 p. Monografia (Trabalha de Conclusão de Curso), Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia (FATEC), Santo André, SP, 2015. Disponível em: <<http://fatecsantoandre.edu.br/arquivos/TCC326.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2018.

RIBEIRO, Rodrigo. **França estabelece prazo para banir carros a combustão**: Apenas carros elétricos poderão ser comercializados no país a partir de 2040. Quatro Rodas, artigo publicado em: 06 jul. 2017. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/franca-estabelece-prazo-para-banir-carros-a-combustao/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

RIPPEL, Wally. **Induction versus DC Brushless Motors**. Copyright© Tesla, artigo publicado em: 09 jan. 2007. Disponível em: <https://www.tesla.com/pt_PT/blog/induction-versus-dc-brushless-motors?redirect=no>. Acesso em: 19 out. 2018.

RUFFO, Gustavo Henrique. **2040 será o fim do motor a combustão também no Reino Unido**: Reino Unido se junta à França na decisão de banir motores a combustão das vendas até 2040; híbridos estão isentos. motor1.com, artigo publicado em: 26 jul. 2017. Disponível em: <<https://motor1.uol.com.br/news/174879/2040-fim-motor-combustao-reino-unido/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

VANCE, Ashlee. **ELON MUSK**: Como o CEO bilionário da SpaceX e da Tesla está moldando nosso futuro. Rio de Janeiro: Intrínseca Ltda., 2015. 399 p.

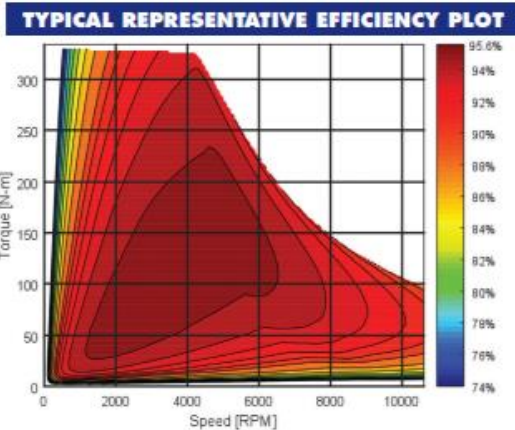
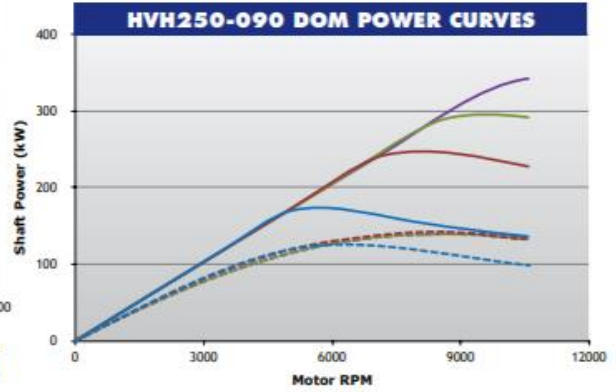
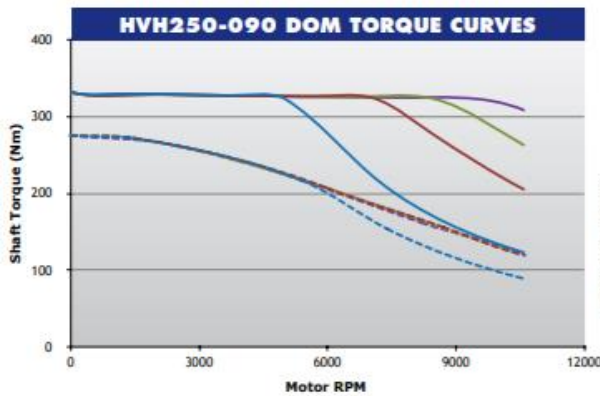
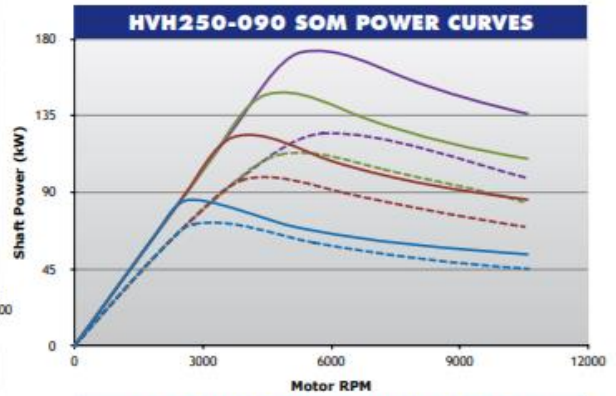
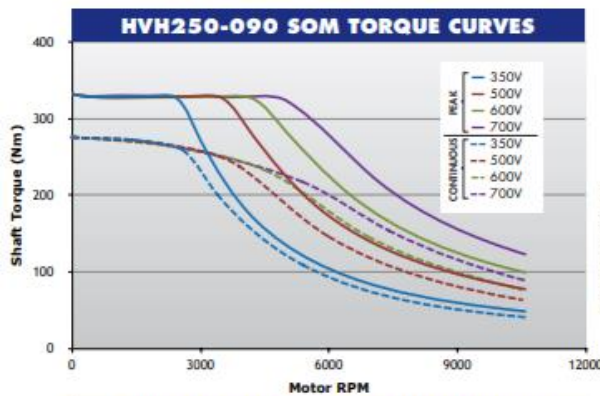
WELLE, Deutsche. **Frota mundial de carros eletrificados cresce 55% em um ano**. Autoesporte, São Paulo, artigo publicado em: 16 fev. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/frota-mundial-de-carros-eletricos-cresce-55-em-um-ano.shtml>>. Acesso em: 19 out. 2018.

YAMAHA. **Easy-to-Use CVT-equipped engines**. Copyright © Yamaha Motor Co., Ltd., 2018. Disponível em: <<https://global.yamaha-motor.com/about/technology/spread/003/>>. Acesso em: 22 out. 2018.

ANEXOS

ANEXO A: DADOS DE MOTOR APRESENTADOS PELO FABRICANTE BORGWARNER

HVH250-090 Electric Motor Product Details



OPERATING CONDITIONS	
Typical Coolant Inlet Temperature	up to 90 C
Typical Coolant Flow Rate	5 to 30 LPM
DC Bus Voltage	up to 700 V
Peak Current	300*/600** Arms
Rated Peak Operating Time	60 sec
Standard Cooling Medium	Dexron VI
MOTOR MASS DATA	
Motor Assembly	49 kg
Motor Rotational Inertia	0.067 kg·m ²

*Series wound stator **Dual path stator

Note: Graphs above are based on actual test data. The torque and power ratings are based on typical operating conditions as noted on the performance graphs. There are several variables that may change the motor performance, including coolant flow rate, operating temperature, inverter settings and parameters, etc. For actual performance, the motor must be evaluated in its final system and application. All specifications are subject to change.