

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO
FATEC SANTO ANDRÉ
Eletrônica Automotiva**

**Bianca Soares de Souza
Brunessa Ferreira da Silva
Gabriel Fonseca Fontes**

**POTÊNCIA ESPECÍFICA VEÍCULAR
Vehicle Specific Power (VSP)**

**Santo André - SP
2020**

**Bianca Soares de Souza
Brunessa Ferreira da Silva
Gabriel Fonseca Fontes**

**POTÊNCIA ESPECÍFICA VEÍCULAR
Vehicle Specific Power (VSP)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
FATEC Santo André como requisito parcial à
obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica
Automotiva.

Orientador: Orlando de Salvo Junior

**Santo André - SP
2020**

S729p

Souza, Bianca Soares de
Potência específica veicular – Vehicle Specific Power (VPS) / Bianca Soares
de Souza, Brunessa Ferreira da Silva, Gabriel Fonseca Fontes. - Santo
André, 2020. – 52f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Orlando de Salvo Junior

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Potência específica. 4. Emissão de gases. 5.
Tecnologia. 6. Rastreamento. I. Silva, Brunessa Ferreira da. II. Fontes,
Gabriel Fonseca. III. Potência específica veicular – Vehicle Specific Power
(VPS).

**Bianca Soares de Souza
Brunessa Ferreira da Silva
Gabriel Fonseca Fontes**

**POTÊNCIA ESPECÍFICA VEÍCULAR
Vehicle Specific Power (VSP)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
FATEC Santo André como requisito parcial à
obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica
Automotiva.

BANCA EXAMINADORA

**Local: Fatec Santo André
Horário: 19:00
Data: 30/11/2020**

Prof. Dr. Orlando de Salvo Junior
Presidente da Banca
Fatec Santo André

Prof. Marco Aurélio Fróes
Primeiro Membro da Banca
Fatec Santo André

Prof. Fernando Garup Dalbo
Segundo Membro da Banca
Fatec Santo André

**Santo André - SP
2020**

Este trabalho é dedicado a nossos familiares, amigos e professores, que nunca deixaram de acreditar em nosso potencial. E a Deus que sempre nos deu força para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus por permitir, que em meio a tantas dificuldades que o mundo está passando nos deu saúde para poder realizar este trabalho que é tão importante para a nossa carreira acadêmica. Agradecemos a nossos amigos Diana, Rebeca, Nicolas e Vinicius que ajudaram com conselhos para melhorar ainda mais o nosso trabalho de conclusão de curso, além de palavras de apoio. Agradecemos também a nossos familiares que sempre estiveram ao nosso lado em momentos complicados da nossa vida e não deixaram perder as esperanças com este Trabalho de Conclusão, que embora seja um fechamento de um ciclo abre muito mais portas para nós. Mas principalmente, queríamos agradecer ao Professore Garup, que auxiliou para a construção e formatação desta monografia, e ao Professor Orlando, nosso orientador de Trabalho de Conclusão de Curso, que em meio a tanta dificuldade que este período está tendo, reservava parte de seu tempo para avaliar nossa monografia adicionando observações para a sua melhoria, além de realizar reuniões para tirar dúvidas sobre as pesquisas, ajudando com os mais diversos problemas que passamos para a construção desse trabalho e acompanhar nosso desenvolvimento da melhor maneira possível.

Então a todos que ajudaram ao decorrer deste Trabalho, nosso Muito Obrigado.

“Toda ação humana, quer se torne positiva ou negativa, precisa depender de motivação.”

Dalai Lama

RESUMO

O VSP recebe dados de rodagem para que modelos matemáticos possam calcular os índices de Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂) e Hidróxido de carbono (HC). Os valores levados em conta são: velocidade, aceleração do veículo e a inclinação da via. A aceleração e velocidade podem ser adquiridos por informações vindas da *Engine Control Unit* – Unidade de Controle do Motor (ECU), mas a inclinação vai depender de dados enviados via satélite, já que não existe um padrão para as inclinações. O objetivo de nosso projeto é aplicar o método VSP para o cálculo da demanda de energia do veículo durante a condução de forma a estimar as emissões e consumo. Inicialmente desenvolvido no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, o Vehicle Specific Power (VSP) consiste na soma da carga referente à aceleração do veículo, resistência, rolagem e da potência para vencer inclinações, em relação à massa do veículo. A inclinação da via possui grande influência no consumo de combustível, logo, se for medida de maneira inadequada os valores serão imprecisos. Usaremos o rastreamento via Sistema de Posicionamento Global (GPS) para coletar os dados e fazer os cálculos do VSP para ter uma melhor estimativa dos valores de gases expelidos pelo veículo. No final de nosso estudo identificado uma diferença de 3,75% entre o consumo obtido neste estudo em relação do padrão do veículo.

PALAVRAS-CHAVE: Potência Específica do Veículo (VSP). Veículo. Emissões de Gases. Potência Específica. Rastreamento.

ABSTRACT

The VSP receives running-in data so that mathematical models can calculate the Carbon Monoxide (CO), Carbon Dioxide (CO₂) and Carbon Hydroxide (HC) indices. The values taken into account are: speed, acceleration of the vehicle and the inclination of the road. The acceleration and speed can be acquired by information coming from the Engine Control Unit (ECU), but the inclination will depend on data sent via satellite, since there is no pattern for the inclinations. The objective of our project is to apply the VSP method to calculate the energy demand of the vehicle during driving in order to estimate emissions and consumption. Initially developed at the Massachusetts Institute of Technology, Vehicle Specific Power (VSP) consists of the sum of the load relating to vehicle acceleration, resistance, rolling and the power to overcome slopes, in relation to the mass of the vehicle. The slope of the track has a great influence on fuel consumption, so if it is measured improperly the values will be inaccurate. We will use tracking via Global Positioning System (GPS) to collect the data and make the VSP calculations in order to have a better estimate of the gas values expelled by the vehicle. At the end of our study we identified a difference of 3.75% between the consumption obtained in this study and the vehicle standard.

KEYWORDS: Vehicle Specific Power (VSP). Vehicle. Gas Emissions. Specific Power. Tracking.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 - Emissões de Dióxido de Carbono (CO2)	11
1.2 Potência Específica do Veículo (VSP)	13
1.3 Vantagens do VSP	13
1.4 Objetivo:	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 História	15
2.2 Definição de Potência Específica do Veículo	18
2.2.1 Vantagens em utilizar o VSP no estudo de Emissões.....	23
2.2.2 Limitações do VSP	24
2.2.3 Influência dos Parâmetros no VSP.....	25
2.2.4 Valores de Potência Específica Testado no Dinamômetro.....	25
2.3 Regulamentação Europeia	27
2.3.1 Desenvolvimento e implementação do Termo de Emissões de Condução Real	27
2.3.2 Parâmetros Dinâmicos Usados no Teste de RDE para Veículos Leves	28
2.4 Distância entre Locais	30
2.5 Sistema de Posicionamento	31
2.5.1 Variações do Sistema de Posicionamento Global.....	31
2.5.1.1 Glonass	31
2.5.1.2 Galileo	32
2.5.1.3 Compass	32
2.5.2 Funcionamento do GPS:	32
2.5.2.1 Triangulação.....	33
2.6 Fórmulas para o cálculo do VSP	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Rastreador.....	35
4 RESULTADOS E DESCRIÇÕES.....	37
4.1 Teste em Campo.....	41

5 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....	45
5.1 CONCLUSÃO.....	45
5.2 Limitações do Projeto.....	46
5.3 Trabalho Futuro.....	46
5.3.1 Metodologia I – VSP.....	46
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A potência específica do veículo aplicada nesta pesquisa teórica é um estudo para calcular e estimar o consumo dos veículos de uma forma que o valor estipulado chegue o mais próximo de seu consumo real.

Com os números cada vez maiores de carros, motos, caminhões, vans e ônibus por todo o país, é esperado que a quantidade de poluição por gases liberados por esses veículos também aumente. Assim, os riscos ao meio ambiente e a saúde humana tornam-se cada vez maiores, já que essa liberação de gases, principalmente do dióxido de carbono (CO₂), afetam a camada de ozônio causando o efeito estufa e consequentemente as mudanças de temperatura do planeta. Hoje em dia temos relatórios ou até mesmo inventários, onde podemos observar valores para emissões de gases poluentes no veículo, mas a Potência Específica do Veículo (*Vehicle Specific Power* - VSP) tem uma precisão muito maior nesses valores.

O principal objetivo do VSP é estimar, através de cálculos matemáticos, a quantidade de gases poluentes que o veículo libera durante uma trajetória e assim podendo mostrar um valor numérico que indica a quantidade de gases expelido por ele. Nesta pesquisa usaremos o *Global Positioning System* (GPS) para coletar os dados necessários para o cálculo do VSP.

1.1 - Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂)

Após a revolução industrial (1760 - 1840), um aumento considerável das emissões de gases poluentes vem causando discussões ao redor do globo, já que tal fato influência diretamente no efeito estufa e consequentemente na variação climática em todo o planeta. Por causa desse aumento brusco que está ocorrendo, países se juntaram e criaram protocolos para tentar amenizar esses efeitos, como o Protocolo de Quioto, onde foi definido metas para realizar reduções de emissões de gases poluentes, principalmente em países desenvolvidos, visto que a emissão de CO₂ foi muito intensa na década de 90 (INPE, 2009).

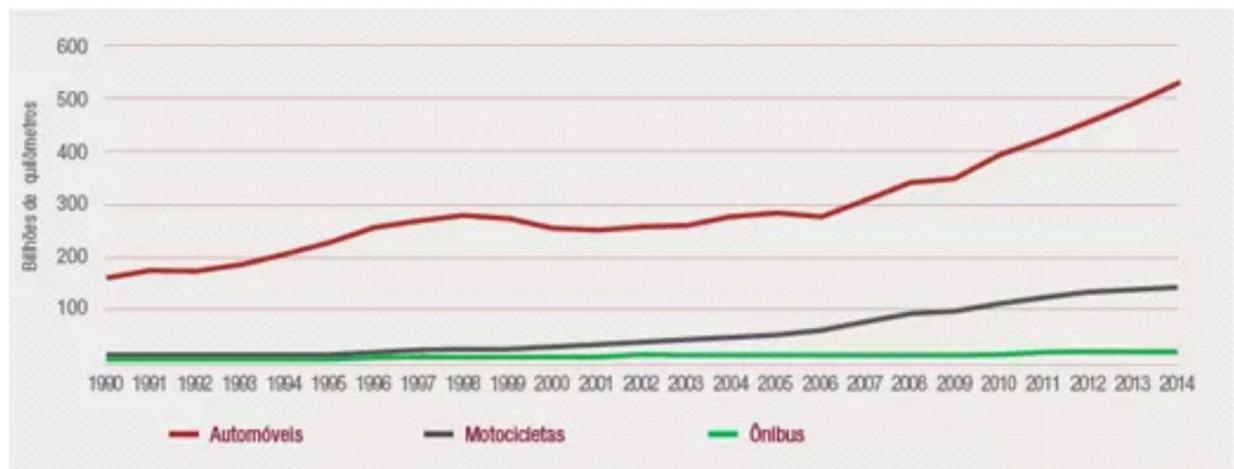
O Protocolo de Quioto foi criado em 1997, porém só entrou em vigor em 2005, onde os países membros desta convenção se dispuseram a reduzir 5,2% das emissões de gases poluentes entre os anos de 2008 e 2012 sendo comparado com

os níveis de emissões da década de 90. Durante os primeiros anos desse protocolo países com a indústria muito forte em seu território e países Europeus se comprometeram a reduzir 5% dessa poluição existente na atmosfera (SILVA. D, 2009).

No Brasil um documento feito em agosto de 2002 e aceito por um decreto legislativo (nº 144 em 2002) fez ramificações para a redução de gases poluentes em seu território, porém com o aumento de veículos em grandes centros urbanos, como São Paulo, dificultam essa necessidade de reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO₂) (DECRETO LEGISLATIVO, 2002).

Em uma pesquisa feita pela revista ÉPOCA, se baseando em relatórios elaborados pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) e dados coletados no Sistema de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), mostram que o Brasil teve um crescimento de 192% de emissões de CO₂ por causa de motos e carros, conforme a Figura 1 (CALIXTO, 2016).

Figura 1: Evolução da Intensidade de Uso da Frota de Veículos no Transporte de Passageiros



Fonte: (MMA, 2014).

Um dos fatores principais que pioram esse quadro de aumento descontrolado de CO₂ foi que uma parte da população deixou de usar o transporte público, sendo esse valor de aproximadamente 20%, e preferindo utilizar o próprio carro ou moto. Essa escolha causou um impacto direto com a emissão de gases de efeito estufa que em 1994 era de 84,9 milhões e passou para 220,5 milhões em 2014 (TRENTINI, 2016).

Com isso observa-se que a capacidade de poder estimar a quantidade de gases expelidos pelo veículo durante seu uso é de uma grande importância para tentar diminuir a concentração desses gases na atmosfera melhorando a qualidade de vida das pessoas.

1.2 Potência Específica do Veículo (VSP)

A potência específica do veículo (VSP) é convencionalmente definida para representar a potência instantânea do tráfego do veículo. Ele tem sido amplamente utilizado para revelar o impacto das condições operacionais do veículo nas estimativas de consumo de energia e emissões que dependem da velocidade, grau da estrada e aceleração ou desaceleração com base na operação do veículo segundo a segundo. Portanto, o VSP foi incorporado em um fator contribuinte essencial nos modelos de emissão de veículos, incluindo o *Motor Vehicle Emission Simulator* (MOVES). Para facilitar a preparação das entradas de distribuição do modo de operação do veículo MOVES, torna-se indispensável uma compreensão e modelagem aprimoradas da distribuição do VSP versus o grau da estrada (CARVALHO, 2014).

Este trabalho apresenta um estudo em que foi, anteriormente, estendido investigando profundamente as características das distribuições de VSP e seus impactos devido às variações nas rodovias, bem como aos fatores da hora do dia. Posteriormente, os modelos de distribuição estatística com um escopo de caixas são identificados através de uma abordagem de teste de adequação, usando os dados de amostra coletados nos segmentos de rodovias interestaduais (JIMENEZ-PALÁCIOS, 1999).

1.3 Vantagens do VSP

De acordo com Carvalho (2014) a modelagem sistêmica do VSP foi escolhida como a mais adaptada e a melhor para obtenção de resultados após testes de rodagem em rodovias pela *Environmental Protection Agency* (EPA) para servir de base ao MOVES. Sendo então, especialmente adequado aos casos quando se utiliza os dois componentes dinâmicos combinados (velocidade, aceleração), uma vez que:

- Foi concebido dados reais recolhidos experimentalmente, para veículos ou perfis dinâmicos.

- Igualmente projetado para utilização de dados recolhidos através de *Portable Emission Monitoring System (PEMS)*.
- Aplicável para cada veículo ou condutor independentemente do tamanho da amostra
- Sendo escalável para combinar dados de veículos com diferentes condutores.

1.4 Objetivo:

O objetivo é aplicar o método VSP para o cálculo da demanda de energia do veículo durante a condução de forma a estimar o consumo. Para isso, é feito um cálculo usando os valores de velocidade, aceleração e inclinação de segundo a segundo em uma programação de direção, juntamente com informações sobre o tipo de veículo em operação e assim se obter um valor de consumo próximo ao seu valor real.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 História

VSP é a sigla em inglês que se designe de *Vehicle Specific Power* e no português Potência Específica do Veículo, sendo este termo apresentado por Jimenez-Palácios (1999) o qual referencia a taxa instantânea de potência com relação a massa do veículo (CARVALHO, 2014).

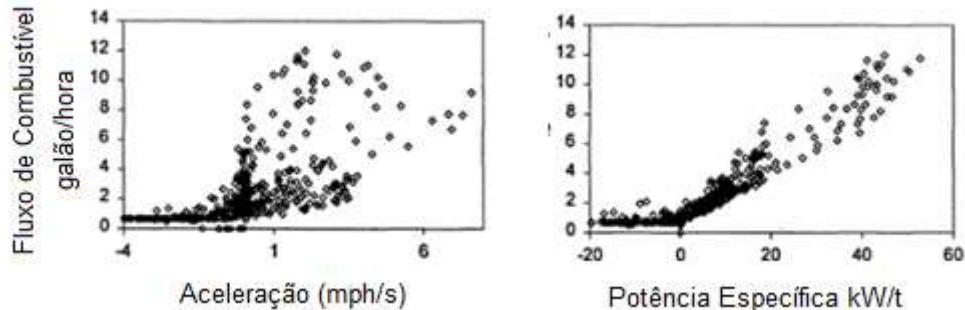
Utilizado em diversos parâmetros de estudos, mais apropriadamente em estudo de estimativas de emissões e demanda de energia do motor durante a condução. Este conceito é muito útil para se obter informações específicas sobre esses dois temas acima, gerando-se dados extras de informações de dinamômetro de chassis e modelagem de emissões.

Nos estudos de Jimenez-Palácios (1999) conclui-se que o VSP pode ser calculado de medidas como velocidade, aceleração, inclinação da via, resistências aerodinâmicas do veículo, rolagem do veículo, além do uso de estimativas.

A relação entre as emissões de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de nitrogênio (NOx), Hidrocarbonetos (HC) com o conceito VSP é bastante ampla para conhecimentos específicos ao termo de emissões. Ou seja, as variáveis velocidade, aceleração, potência absoluta e consumo de combustível não fornecem dados e informações relativas para estudos às emissões (JIMÉNEZ-PALÁCIOS, 1999).

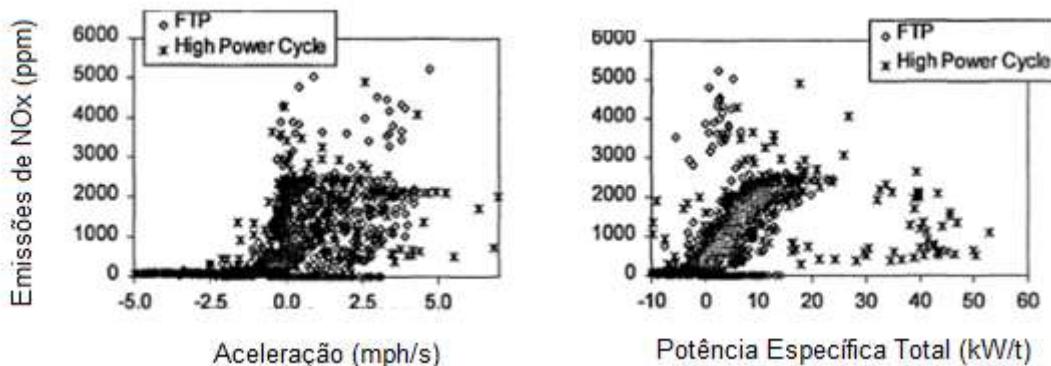
O VSP é um conceito ligado diretamente com a carga do motor e emissões do veículo. Este fato é ilustrado (Figura 2 e Figura 3), que mostram a variação de consumo (diretamente relacionado com emissões) e as emissões de NOx na saída do motor em função da aceleração e da potência específica para um dado veículo comercial leve.

Figura 2 – Consumo de combustível do motor em função da (a) aceleração e (b) VSP para ciclos de Procedimento de teste Federal (EUA).



Fonte: (JIMÉNEZ-PALÁCIOS, 1999).

Figura 3 – Emissões de NOx na saída do motor em função da (a) aceleração e (b) VSP para ciclos de Procedimento de teste Federal (EUA).



Fonte: (JIMÉNEZ-PALÁCIOS, 1999).

O VSP é calculado através das variáveis de velocidade e aceleração medidas segundo por segundo, considerando as características da via e do veículo, utilizando a unidade de medida quilowatt por tonelada (kW/t).

A potência instantânea se iguala ao produto da velocidade e uma aceleração equivalente, mais uma parcela de arrasto aerodinâmico, que é proporcional ao cubo da velocidade instantânea. Sendo assim, concluímos que o VSP é o consumo de energia do veículo por tonelada transportada, incluindo a massa própria do veículo (JIMÉNEZ-PALÁCIOS, 1999).

O conceito VPS, vem sendo aplicado amplamente em diversos estudos e adaptado em diferentes formas, provando ser um parâmetro muito útil para estimação das emissões dos veículos. A agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, o EPA utiliza deste conceito e desenvolve novos estudos em cima do conceito básico

do VPS nos desenvolvimentos dos ciclos de condução a estimativa de emissões através do software MOVES (Simulador de emissões de veículos a motor).

O autor é Zhai *et al.* (2008) propôs uma aplicação para desenvolver taxas de emissões de VSP para veículos pesados, já que o conceito VSP desenvolvido por Jimenez não abrange muito sobre a aplicação em veículos pesados. Desta forma foi proposto a aplicação para ônibus urbanos movidos a diesel.

Utilizando os mesmos conceitos que Maciel Filho (2013) abordou em sua dissertação, conforme os calculados apresentados na Equação 1, aplicam-se para as variáveis da equação do VSP, valores típicos de ônibus urbanos a diesel (MACIEL FILHO, 2013):

$$VSP = v * (a + g * \sin(\phi) + \Psi) + \zeta * v^3 \quad (1)$$

Onde:

- VSP = Potência Específica do Veículo (W/Kg)
- V = Velocidade (m/s)
- A = Aceleração do veículo (m/s²)
- g = Aceleração da gravidade (9,81 m/s²)
- ϕ = Inclinação da via (adimensional, em radianos);
- Ψ = Coeficiente de resistência à rolagem (adimensional);
- ζ = Termo do coeficiente de arrasto (em m⁻¹).
 - $\zeta = \rho_a * (C_D * (A / m))$

Onde:

- ρ_a = Densidade do ar (Kg/m³);
- C_D = Coeficiente de arrasto (Adimensional);
- A = Área frontal do veículo (m²);
- m = Massa do veículo (Kg);

2.2 Definição de Potência Específica do Veículo

A potência específica de um veículo é definida como a potência utilizada instantaneamente por uma parcela da massa do próprio veículo. Essa potência instantânea é gerada pelo motor quando a média do tempo tende ao valor zero, para superar a resistência ao rolamento e ao arraste aerodinâmico para fazer com que o veículo se locomova. Quando calculamos o poder específico de um determinado veículo, observa-se que uma amostra da velocidade é equivalente a aceleração, incluindo o tipo de estrada ou pista em que ele se encontra, pois dependendo do tipo de inclinação afetará a resistência ao rolamento e ao arraste aerodinâmico, e consequentemente a velocidade instantânea, já que ela é multiplicada três vezes pelo seu próprio valor. A potência específica tem a unidade de Watts por Quilograma (W/Kg) (JIMÉNEZ-PALÁCIOS, 1999).

Um dos modos de operações usados para o cálculo do VSP é o MOVES, que é um sistema de modelagem de emissões de última geração que estima emissões para fontes moveis em nível nacional, municipal ou para projetos de critérios de poluentes, gases de efeito estufa e tóxicos do ar. Usa-se o MOVES para o cálculo do VSP para saber a quantidade de tempo que um veículo gasta a cada um dos 23 compartimentos do modo de operação. Para cada modo de operação, ele possui uma taxa de emissão (em unidades de gramas emitidas por hora de operação) usado para calcular as emissões emitidas durante a condução (EPA, 2005).

Quando se calcula o consumo de combustível, usamos um modelo VSP aplicando conversão de fatores, e dependendo do tipo de combustível, calcula-se as emissões emitidas. Uma nova definição de Poder Específico feita por Jimenez-Paláciros (1999), onde o cálculo do VSP junta a Velocidade, Aceleração e Grau de Estrada (Aplicado em veículos Leves), conforme a Equação 2 (JIMENEZ-PALÁCIOS, 1999):

$$VSP[W/Kg] = \frac{Power}{Mass} = \frac{(d/dt)(E_{kinetic} + E_{potential}) + F_{rolling} * v - F_{aerodynamic} * v}{m} \quad (2)$$

Onde:

- $E_{kinetic}$ = Energia Cinética (J);
- $E_{potential}$ = Energia potencial (J);

- F_{rolling} = Força de Resistência ao Rolamento (N);
- $F_{\text{aerodynamic}}$ = Força de Resistência Aerodinâmico (N);
- m = Massa (Kg);

Com isso temos o cálculo final (Equação 3), criada por Jimenez-Palacios (1999):

$$= v (1.1 * a + 9.8 * \text{grade} + 0,132) + 3,02 * 10^{-4} * v^3 \quad (3)$$

Onde:

- v = Velocidade Instantânea (m/s);
- a = Aceleração (m/s^2);
- grade = Inclinação da Estrada (%).

A cada segundo em que o veículo se locomove pode se obter sua distribuição de energia, sendo possível fazer um agrupamento de pontos do VSP em 14 modos de potência (Quadro1), facilitando na visão de quantidade de combustível utilizado e na emissão de gases expelidos (CARVALHO, 2014).

Quadro 1 – Intervalos de Cada Modo do VSP

VSP mode	W/Kg	VSP mode	W/Kg
1	$\text{VSP} < -2$	8	$13 \geq \text{VSP} < 16$
2	$-2 \geq \text{VSP} < 0$	9	$16 \geq \text{VSP} < 19$
3	$0 \geq \text{VSP} < 1$	10	$19 \geq \text{VSP} < 23$
4	$1 \geq \text{VSP} < 4$	11	$23 \geq \text{VSP} < 28$
5	$4 \geq \text{VSP} < 7$	12	$28 \geq \text{VSP} < 33$
6	$7 \geq \text{VSP} < 10$	13	$33 \geq \text{VSP} < 39$
7	$10 \geq \text{VSP} < 13$	14	$\text{VSP} \geq 39$

Fonte: (CARVALHO, 2014).

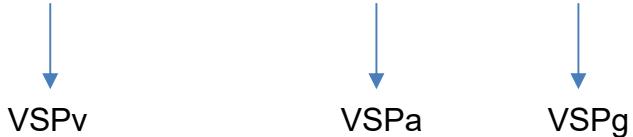
Esses resultados foram baseados em medições feitas em alguns tipos veículo. Nas primeiras fases dos testes foi utilizado o Sistema Portátil de Medição de Emissões - PEMS (*Portable Emissions Measuring System*), e no teste de medições finais foi

utilizado o Diagnóstico de bordo - OBD (*On-Board Diagnostic*), sendo possível obter conjuntos de variáveis coletadas em tempo real durante a locomoção do veículo por meio de um Data Logger, que é um registrador de dados (CARVALHO, 2014).

Embora o VSP seja adequado para este tipo de análise, sendo útil para combinar diferentes dados do veículo independentemente do tamanho da amostra, existem algumas limitações. Primeiro se agrupa todos os VSP com diferentes situações de direção com potências semelhantes em função da aceleração, velocidade e inclinação da estrada, obtendo o valor de potência específica resultando em um valor para o consumo de combustível distinto (CARVALHO, 2014).

Com isso ampliamos a Equação 1 para dividi-los em três termos independentes (Equação 4), correspondendo com suas variáveis VSPv (Velocidade), VSPA (Aceleração) e VSPg (Inclinação da Rodagem) (CARVALHO, 2014):

$$[0,000302 * v^3 + 0,132 * v] + [1,1 * v * a] + [v * g * \sin(\phi)] \quad (4)$$

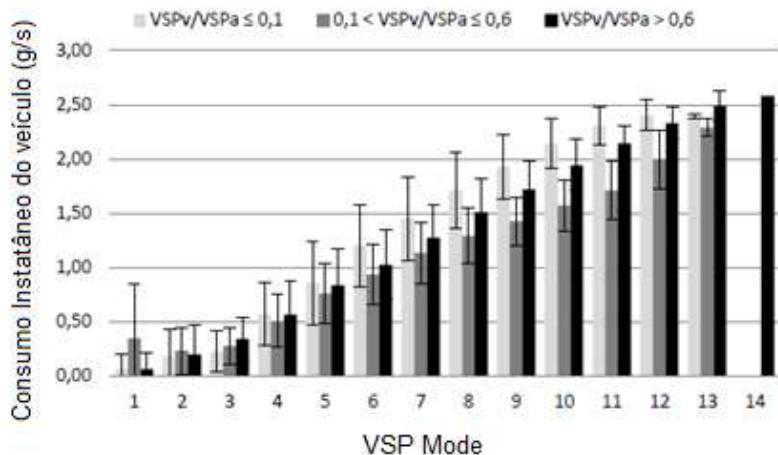


Com essa distinção entre as potências semelhantes, foi desenvolvido uma relação entre o VSPv e o VSPA (Equação 5), onde foi estudado sua influência no consumo de combustível, sendo a velocidade e a aceleração os termos mais importantes representando juntas mais de 70% da potência específica do veículo. (CARVALHO, 2014):

$$\frac{VSPv}{VSPA} = \frac{[0,000302 * v^3 + 0,132 * v]}{[1,1 * v * a]} \quad (5)$$

É possível identificar e ilustrar os valores dessa relação de uma maneira que facilite sua compreensão. Quando o valor encontrado na Fórmula 5 é menor que 0,1, gerando uma aceleração predominante, temos um consumo de combustível maior do que em outras situações (Figura 4). Também temos uma relação entre a contribuição de potência da velocidade e da aceleração, faz com que se tenha um consumo de combustível mínimo (CARVALHO, 2014).

Figura 4: Influência do VSPv/VSPa no Consumo Instantâneo



Fonte: (CARVALHO, 2014).

Com isso podemos aplicar um cálculo para saber a quantidade de emissão (Quadro 2), feita pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, onde mostra o valor de quilograma de CO₂ por litro de combustível, tendo em vista que o etanol é, aproximadamente, 30% menor que a gasolina sendo comparado com o volume.

Quadro 2 – Fator de Emissão do Combustível

Combustíveis	Kg CO ₂ /Litro	
	Emissões Mínimas	Emissões Máximas
Diesel	3,33	3,41
Gasolina 20% etanol	2,10	2,21
Gasolina 25% etano	2,00	2,11
Etanol Hidratado	0,49	0,61

Fonte: (CBCS, 2020).

Outra metodologia usada é proposta por Lai *et al.* (2012), que considera a potência específica do veículo um parâmetro para auxiliar na construção dos ciclos de condução, demonstrando a relação de proximidade entre a emissões do veículo com o padrão de condução.

Neste processo de estimativa das emissões com o conceito de VSP aplicado, caixas (VSP bins) são divididos, sendo que cada uma delas se associa com a taxa de emissão correspondente. A distribuição de VSP representa a proporção de tempo em cada bin “Caixa” no tempo total de operação.

Na metodologia de estudos do Lai *et al.* (2012), a proposta é a construção de ciclos de condução inclui três condições principais:

1. Identificar as micro viagens válidas
2. Selecionar as micro viagens
3. Construir os ciclos de condução

É uma adaptação da metodologia de micro viagens, considerando o parâmetro VSP.

Seguindo a aplicação desta metodologia é feito uma comparação entre as distribuições VSP de cada micro viagem com o conjunto de micro viagens que pertencem a um dado grupo de velocidade. Para verificar a similaridade das micro viagens foi utilizado o critério do erro quadrático médio (RMSE – erro de raiz quadrada média). Menores valores de RMSE mostram maior similaridade entre um micro viagem e a amostra total de dados. Sua fórmula é mostrada na Equação 6:

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=-30}^{i=30} (Binmv,i - Bintotal,i)^2}{N-1} \right]} \quad (6)$$

Onde:

- i é o identificador da “caixa” (Bin) de VSP entre -30 e 30kW/t;
- Binmv,i é a proporção da “caixa” i na micro viagem analisada (mv);
- Bintotal,i é a proporção da “caixa” i em todo o conjunto de dados (total);
- N é o número total de “caixas” de VSP, geralmente com 14 (variação de -20 a 20kW/t, somente valores inteiros).

Na metodologia de Lai *et al.* (2012) é proposto a construção de ciclos baseados em duas condições:

1. Ordenar as micro viagens segundo os valores crescentes de RMSE e em seguida, adicionar sequencialmente as micro viagens a partir de menores valores de RMSE até que a duração pré-determinada para o ciclo seja atingida.

2. Por fim, na metodologia de Lai *et al.* (2012) é realizado uma análise comparativa das estimativas e testes das emissões para os ciclos de condução propostos e ciclos de condução contidos no software usado para teste MOVES (Simulador de emissões de veículos a motor) e usado para o sistema de modelagem de emissões de fontes moveis da agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, o EPA

Como resultado, a média de emissões resultantes dos ciclos de condução desenvolvidos nos testes e estudos de Lai *et al.* (2012) foram de 5% inferiores em comparação aos ciclos padrões utilizados pelo MOVES.

A comparação foi realizada por Lai *et al.* (2012) com o propósito de indicar os erros potenciais de se aplicar ciclos com a ajuda do software MOVES diretamente, sem que seja feito a calibração baseado nas informações locais de condução.

2.2.1 Vantagens em utilizar o VSP no estudo de Emissões

Uma das características mais importantes para o estudo, que se torna uma grande vantagem, é que os parâmetros que não são medidos em estradas reais são desnecessários para calcular o poder específico do veículo com um nível de precisão aceitável. Pode-se comparar com outros estudos que já foram realizados, utilizavam dados não mensuráveis nas estradas como a velocidade do motor, potência mecânica, potência disponível e taxa de combustível (JIMENEZ-PALÁCIOS, 1999).

Quando falamos de carros ou caminhões leves que são movidos a gasolina, vários parâmetros operacionais são utilizados, principalmente a relação que existe entre o Ar/Combustível, que afeta diretamente no período da velocidade de queima, além de afetar também a potência do motor e a velocidade do motor. Porém a potência específica não tem como capturar todos os efeitos/parâmetros causados, entretanto captura uma parte mais significativa dela (JIMENEZ-PALÁCIOS, 1999).

1. A Potência Específica é proporcional a potência do motor. E a constante de proporcionalidade é o inverso da massa do veículo;
2. Em modelos de veículos mais modernos temos um controle em circuito fechado, que se operado adequadamente, a relação Ar/Combustível está

relacionado a potência específica. Quando a relação Ar/Combustível for rica a potência específica será alta devido ao comando de enriquecimento, já os valores negativos que podem surgir são para eventos de corte de combustível.

Temos também efeitos que influenciam na quantidade de emissões expelidas pelo veículo porém não são capturados pela nova definição de poder específico, como por exemplo: Velocidade do Motor; Perdas por Atrito do Motor; Perdas por Transmissão; Consumo de energia por Acessório (Como Ar-Condicionado); Perdas da Carga Útil (JIMÉNEZ-PALÁCIOS, 1999).

Esse é um dos fatos mais importantes para a utilização da Potência Específica no estudo de emissões, pois em testes e certificações de emissões em automóveis ou caminhões leves utiliza-se potência específica x tempo. Isso ocorre devido a todos os ciclos de condução em dinamômetro, que são utilizados em testes e certificados nos Estados Unidos da América (EUA), Europa e Japão, são definidos como um rastreamento do veículo por Velocidade e Tempo. Também temos a Aceleração que é especificado implicitamente, já que é derivado apenas da velocidade x curva de tempo (CARVALHO, 2014).

Como os ciclos de direção não incluem, em nenhuma das simulações, os efeitos de nível causados em cada tipo de estrada, faz com que a equação de potência específica seja definida a cada segundo para determinado veículo (JIMENEZ-PALÁCIOS, 1999).

2.2.2 Limitações do VSP

Com a presença de mesmos intervalos, sendo eles semelhantes em dadas situações diferentes de condução agrupadas relacionando a potência do motor, é considerável a obtenção de um mesmo valor de VSP sob condições totalmente diferentes (CARVALHO, 2014).

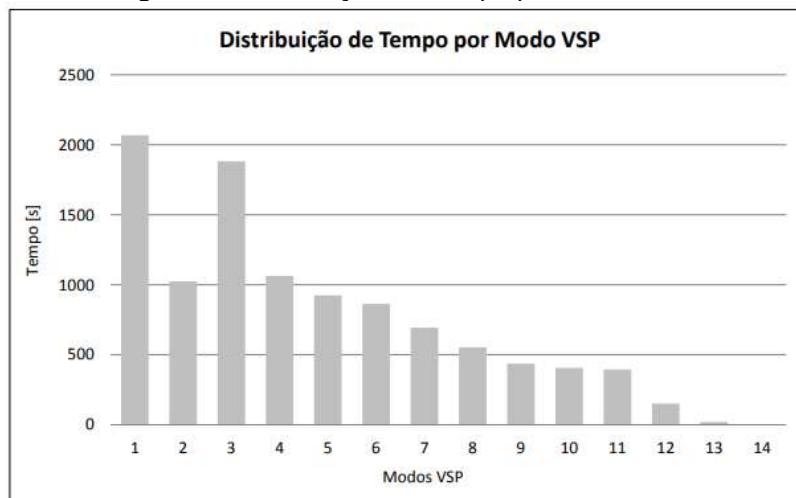
As seguintes variáveis do VSP como: Velocidade, Aceleração e Inclinação do veículo podem ser expostas a um mesmo valor de potência em uma situação de alta aceleração (transiente), de elevada inclinação do veículo em situações de subidas de rampa ou de alta velocidade constante (e com isso tendo a aceleração nula ou

reduzida). Concluímos então que intervalos diferentes o consumo de combustível e emissão de poluentes não devem ser iguais, e em situações de desaceleração ou travamento requer a mesma potência do motor que uma descida íngreme o correto é ser feito o corte de injeção (CARVALHO, 2014).

2.2.3 Influência dos Parâmetros no VSP

Foi estudado a influência exercida pela velocidade de rotação e por cada um dos fatores relacionados ao VSP: velocidade, aceleração e gradiente da estrada. Este estudo baseou-se nas variações obtidas ao nível do consumo de combustível verificado em sua análise teórica, sendo utilizado um conjunto de viagens feito pelo veículo Toyota Yaris, denominado “C. Mista SI” Veículo de ignição por centelha, para tentar reproduzir diferentes situações que o veículo pode ter durante um determinado percurso. Em seguida apresentam-se as distribuições VSP pelo tempo (Figura 5) (CARVALHO, 2014).

Figura 5 – Distribuição de Tempo por modo VSP.



Fonte: (CARVALHO, 2014).

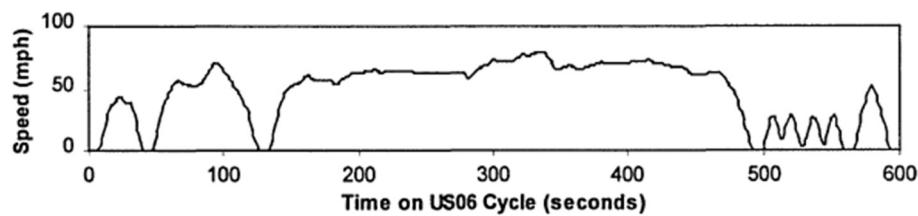
2.2.4 Valores de Potência Específica Testado no Dinamômetro

Os termos usados na equação de Potência Específica foi calculado para cada Ciclo de Ensaio para certificado de emissões da Norma ABNT NBR 6601, para medição da emissão de escapamento, pela Norma ABNT NBR 7024, para medição de autonomia, e seguindo os ciclos de condução congestionamento (NYCC),

adotados pela Agência de proteção ambiental dos EUA (USEPA), para comparar a importância relativa.

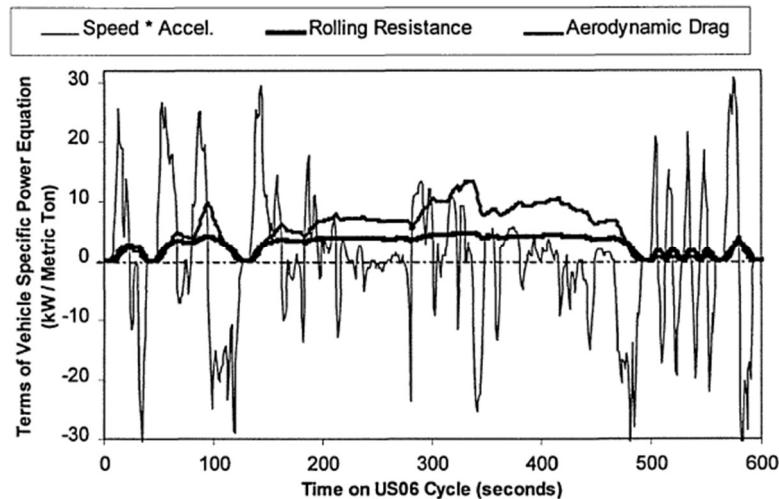
A Velocidade X Tempo (Figura 6) traçado deste tipo de ciclo e contribuição dos termos é mostrado nas figuras abaixo. Onde temos três termos de magnitude comparável. E o termo de Velocidade * Aceleração possui valores altos quando se tem a aceleração forte, já na desaceleração e na resistência aerodinâmico é dominante em alta velocidade (JIMÉNEZ-PALÁCIO, 1999).

Figura 6 – Rastreamento de velocidade x tempo para o ciclo de teste do dinamômetro US06



Fonte: (JIMÉNEZ-PALÁCIO, 1999).

Figura 7 – Valores dos três componentes da Potência Específica x tempo durante o Ciclo US06



Fonte: (JIMÉNEZ-PALÁCIO, 1999).

2.3 Regulamentação Europeia

2.3.1 Desenvolvimento e implementação do Termo de Emissões de Condução Real

O termo Emissões de Condução Real (*Real Driving Emissions* - RDE) foi desenvolvido pela comissão da União Europeia, chama-se o termo correto de Comitologia (Procedimento de comitê) conforme o estudo (EUROPA COMISSION, 2019) e foi dividido em quatro regulamentações distintas:

- **Primeira Etapa:** Decisão de uso de dados em tempos reais (votados positivamente pelo comitê técnico de veículos automotores – TCMV) tendo em vista que foi pensado primeiramente que o teste de RDE seria apenas para fins de monitoramento sem impacto na homologação real, que continuou a ser entregue com base em medições de laboratório (CAUDER e HAMMERSTEIN-GESMOLD, 2019).
- **Segunda Etapa:** Determinou-se que a introdução e uso do RDE causava um grande impacto real nas aprovações nas emissões dos veículos. Então foi aprovado pelo comitê técnico de veículos motorizados (TCMV) que as medições RDE de NOx seriam obrigatórias para os novos modelos de automóveis a partir de setembro/2017 na união Europeia. Além da contribuição para detecção de dados de emissões de partículas (PN) dos veículos diesel e veículos de injeção direta (Gasolina) (CAUDER e HAMMERSTEIN-GESMOLD, 2019).
- **Terceira Etapa:** Foi ajustado pelo comitê os métodos de teste para levar em conta que viagens curtas na cidade começando com um motor frio geram a maior parte da poluição. Então, para cobrir maior parte de condições de partidas a motor quente também foram incluídas. Além disso, foi imposto também que cada fabricante se declara o certificado de conformidade de cada veículos para transparência e entendimento para todos os cidadãos e autoridades públicas (CAUDER e HAMMERSTEIN-GESMOLD, 2019).

- **Quarta Etapa:** Foi reforçado a legislação do uso do RDE, garantindo um controle transparente e independente das emissões dos veículos durante a vida útil (CAUDER e HAMMERSTEIN-GESMOLD, 2019).

2.3.2 Parâmetros Dinâmicos Usados no Teste de RDE para Veículos Leves

Para que um teste tenha informações e dados reais, Quadro 2, é preciso a adaptação e inserção de dois limites sendo o primeiro, o limite superior que é dado por uma linha já com valor definido de 95° percentil do resultado da multiplicação da velocidade pela aceleração (GIONGO, 2019).

Quadro 2 – Alguns parâmetros dinâmicos do teste RDE para veículos leves

Parâmetro	Urbano	Rural	Estrada
Velocidade (km/h)	0 a 60	>60 a 90	>90 a 145
Distância mínima (km)	16	16	16
Distância, faixa (% do total)	29 a 44	33 +/-10	33 +/-10
Velocidade média (km/h)	15 a 40	-	-
Número de paradas	>10	-	-
Tempo de <i>idle</i>	10%	-	-
Variação de elevação (m)	100 (max)		
Altitude inicial máx. (m)	700		

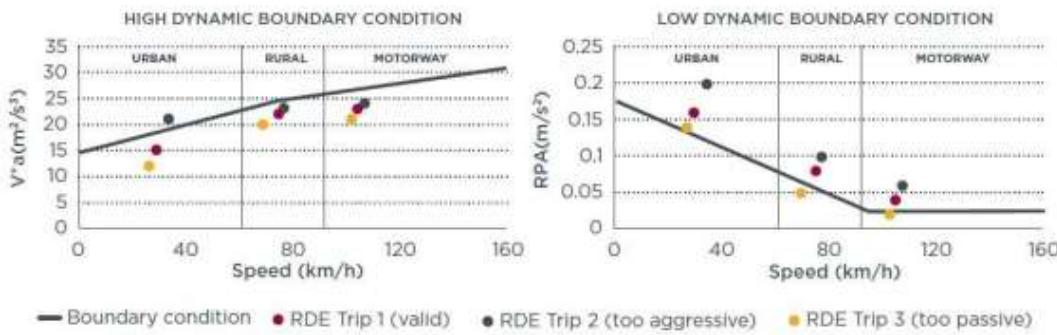
Fonte: (GIONGO, 2019).

Já o parâmetro mínimo é determinado por um valor chamado aceleração relativa positiva (RPA), que é dado como uma média dos valores de aceleração maiores que $0,1 \text{ m/s}^2$ sendo registrados durante o teste. Sendo assim, os parâmetros definidos são:

- Métrica de máxima: 95° Percentil do produto $v * a$ (velocidade X aceleração)
- Métrica de mínima: média da RPA

Desta forma, se um dos parâmetros do teste sair fora dos limites, o teste inteiro será descartado. E com isso temos as informações descritas na Figura 8. Que são os testes do RDE feito pelo Conselho Internacional de Transporte Limpo (ICCT).

Figura 8 – Condições dinâmicas de contorno para validação do teste RDE



Fonte: (ICCT, 2017).

Os três segmentos devem estar contidos entre as curvas encontradas na Figura 8, e os requisitos são constituídos e calculados, para cada faixa de: Velocidade Média, Produto da Velocidade pela Aceleração (V.A.) e Aceleração Positiva Relativa (RPA). Sendo cada segmento, deve contar com ao menos 150 pontos de aceleração positiva. É considerado também duas condições, Temperatura e Altitude (GIONGO, 2019).

- **Condição de Normalidade:** Faixa de temperatura é de 0 a 30 °C; Faixa de altitude de 0 a 700m;
- **A condição Estendida:** Temperatura -7 até 0°C e 30°C a 35°C; Altitudes 700 m até 1300 m;

Outras composições da rota RDE e determinação de condição do contorno dinâmico de validação do ensaio, é relacionada a distância percorrida (Quadro 3).

Quadro 3 – Condições e Parâmetros de Ensaio

QUESITO	UNID.	VALORES
Duração total do teste	min.	90 a 120
Distância mínima	Urbana	km
	Rural	km
	Rodoviária	km
Composição da rota	Urbana	%
	Rural	%
	Rodoviária	%
Velocidade média	Urbana	km/h
	Rural	km/h
	Rodoviária	km/h

Fonte: (GIONGO, 2019).

Deve ser mantida a velocidade acima de 100 km/h durante pelo menos 5 min. Referente as tolerâncias permissíveis para validação do equipamento PEMS (Quadro 4). Também temos outros parâmetros, mostrando outros valores aceitáveis de tolerância dependendo de parâmetros diferente (GIONGO, 2019).

Quadro 4 – Parâmetros X Tolerância

PARÂMETRO (Unidade)	TOLERÂNCIAS PERMISSÍVEIS
Distância (km)	250 m da referência de laboratório
THC (mg/km)	15 mg/km ou 15% de referência de laboratório, o que for maior
CH4 (mg/km)	15 mg/km ou 15% de referência de laboratório, o que for maior
NMHC (mg/km)	20 mg/km ou 20% de referência de laboratório, o que for maior
CO (mg/km)	150 mg/km ou 15% de referência de laboratório, o que for maior
CO2 (mg/km)	10 mg/km ou 10% de referência de laboratório, o que for maior

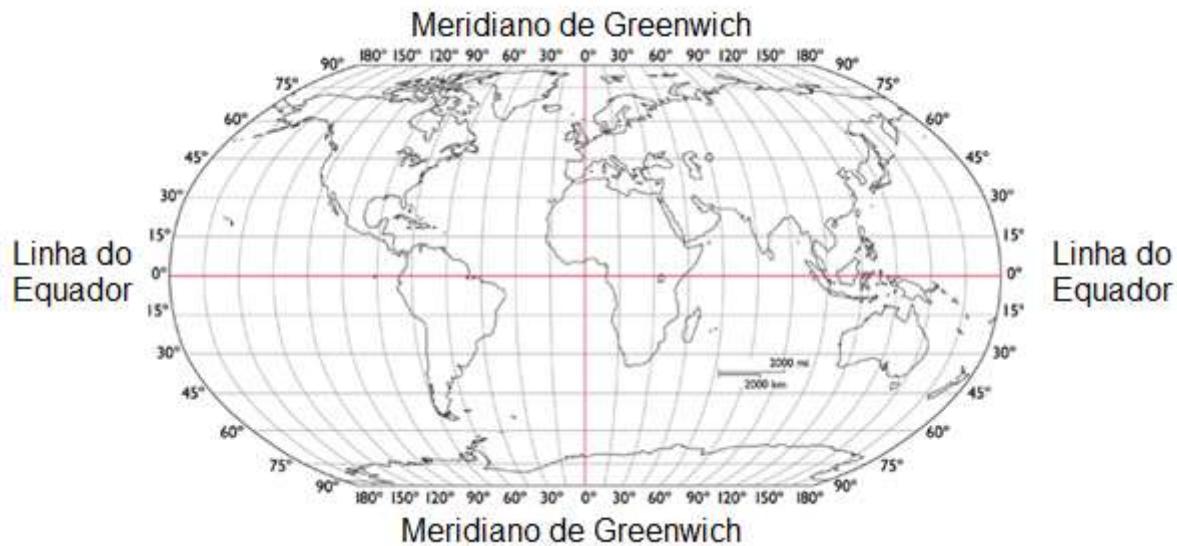
Fonte: (Adaptado - GIONGO, 2019).

2.4 Distância entre Locais

Quando queremos saber a distância entre dois pontos usamos a latitude e longitude como referência geográfica. A latitude é a distância de um ponto qualquer do globo até a Linha do Equador, uma linha imaginaria que é dividida entre os polos Norte e Sul. Já a longitude é a distância de um ponto até o Meridiano de Greenwich, outra linha imaginaria que divide o hemisfério Leste e Oeste. A Latitude e Longitude são ambas representadas em Graus ($^{\circ}$), partindo do ponto de 0° , sendo que a Latitude aumenta ou diminui 90° (Norte e Sul) e a Longitude aumenta ou diminui 180° (Leste e Oeste) (Figura 9) (ROA, 2017).

Com esse tipo de entendimento básico sobre os pontos de Latitude e Longitude é possível saber a distância em quilômetros entre dois locais sendo eles dentro de uma cidade, estado e país (ROA, 2017).

Figura 9 – Pontos da Latitude e Longitude em Graus.



Fonte: (ROA, 2017).

2.5 Sistema de Posicionamento

Muitos estudiosos tratam o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e o Global Navigation Satellite System (GNSS) como sinônimos, mas na verdade, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), é um sistema que utiliza satélites para localizar onde o receptor do sinal do satélite está naquele momento. O GPS funciona a partir de uma rede de 24 satélites que ficam distribuídos em seis planos, próximos a órbita do planeta Terra. Estes satélites enviam sinais para o receptor (o aparelho de GPS), e então, a partir disso, o aparelho interpreta esses sinais dizendo a exata localização de quem estiver utilizando o aparelho (SO FISICA, 2008), enquanto o GNSS é a constelação a qual estão englobados todos os rastreadores existentes no mundo (GPS, GALILEO etc.).

2.5.1 Variações do Sistema de Posicionamento Global

Existem vários sistemas de navegação por satélite: O GPS americano, o GLONASS russo, o Galileo da União Europeia, e o Compass da China.

2.5.1.1 Glonass

O Sistema de Localização Global russo é o concorrente do GPS, desenvolvido pela antiga União Soviética. Foi implementado no ano de 1976 e os primeiros satélites

lançados em 1982, só entrando em operação em 1993 e cobrindo o território russo apenas em 2010. Em 2011, seus 24 satélites habilitaram a cobertura global.

O GLONASS foi uma resposta direta ao desenvolvimento do GPS pelos Estados Unidos, visto que na época a Guerra Fria ainda estava no auge, assim como seu rival, a tecnologia de posicionamento via satélite foi voltada para uso exclusivamente militar, mas com o tempo foi liberada para dispositivos civis (CANALTECH GLONASS, 2020).

2.5.1.2 Galileo

Desenvolvido pela União Europeia, o Galileo é o sistema de navegação por satélite do continente, criado como um projeto civil equivalente ao norte americano GPS, ao GLONASS da Rússia e o Compass da China. O sistema possui 30 satélites, sendo 3 deles suplentes que entram em operação conforme a necessidade. O Galileo ainda conta com dois centros de controle situados em Munique, na Alemanha, e em Fucino, na Itália (CANALTECH GALILEO, 2020).

2.5.1.3 Compass

A China também desenvolveu o seu próprio sistema de satélites de posicionamento e navegação e o batizou de Compass ou Beidou-2. O Compass possuirá 35 satélites, sendo trinta deles localizados em órbita média, e os cinco restantes serão geoestacionários (CANALTECH COMPASS, 2020).

2.5.2 Funcionamento do GPS:

Os satélites, assim como os receptores GPS, possuem um relógio interno que marca as horas com uma precisão na casa dos nano segundo.

Os envios desses sinais ocorrem constantemente. A informação é enviada para o receptor por meio de sinais de rádio, que viaja a velocidade de 300 mil quilômetros por segundo (velocidade da luz) no vácuo. O receptor calcula quantos nano segundos estes sinais levaram para chegar até ele, desta maneira é possível identificar a localização atual. O sinal é enviado constantemente, assim, a posição sempre é atualizada (SO FISICA, 2008).

2.5.2.1 Triangulação

Neste processo, três satélites enviam o sinal para um receptor, que a partir destes sinais, calcula quanto tempo cada um deles levou para chegar até ele. Além de sua localização terrestre, o receptor GPS também consegue saber a altura do receptor em relação ao nível do mar, mas para que isso ocorra, é necessário um quarto satélite participante (SO FISICA, 2008).

Tanto os satélites quanto os receptores GPS possuem um relógio interno que registra as horas com precisão na casa de nano segundos.

Após captar os sinais dos satélites, o receptor calcula a distância entre eles pelo intervalo de tempo entre o instante local e o instante em que os sinais foram enviados. Levando em conta a velocidade de propagação do sinal, o receptor pode se encontrar na intersecção desses dados, permitindo a identificação do exato local em que o aparelho se encontra na Terra.

A partir daí, como o receptor de GPS já sabe a localização, ele compara a compara com um mapa (desenvolvido pela empresa fabricante aparelho), que demonstra o caminho a ser seguido (SO FISICA, 2008).

2.6 Fórmulas para o cálculo do VSP

Ao realizar um cálculo do VSP de forma simples e direta usando como base a Equação 3, são necessários alguns fatores que precisam ser previamente determinados para realizar esta equação de forma mais completa.

Distância (m): A Fórmula de Haversine (Equação 7) é a mais conhecida e básicas na área de navegação, fornecendo a distância existente entre dois pontos do globo terrestre, usando a latitude e longitude (DAYNEBATTEN, 2015):

$$\begin{aligned}
 d &= 2r \arcsin \left(\sqrt{\text{haversin}(\phi_2 - \phi_1) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \text{haversin}(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \\
 &= 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

- φ_1, φ_2 representam a latitude do ponto 1 e a latitude do ponto 2 (em rad.);
- λ_1, λ_2 representam a longitude do ponto 1 e longitude do ponto 2 (em rad.);
- r é o raio da esfera (m).

Velocidade (m/s) é a variação de posição de um determinado objeto, neste caso o veículo, em relação a função do tempo (Equação 8), sendo outro fator necessário para o cálculo do VSP (HELERBROCK, 2015):

$$v_m = \frac{\Delta S (S_{\text{final}} - S_{\text{inicial}})}{\Delta T (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}})} \quad (8)$$

- **ΔS** : intervalo de deslocamento – posição final menos a posição inicial (m/s);
- **ΔT** : intervalo de tempo – tempo final menos o tempo inicial;

Aceleração (m/s^2) é uma grandeza física vetorial que mede a mudança de velocidade em relação ao tempo, ou seja, para ser utilizado no cálculo do VSP, usa-se o Delta da Velocidade e o Time (Equação 9) para ter seu valor determinado (SILAS, 2015):

$$A = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$A = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (9)$$

- **A**: Aceleração (m/s^2);
- **Δv** : Variação de velocidade (m/s);
- **Δt** : Intervalo de tempo (s);
- **V**: Velocidade final (m/s);
- **V_0** : Velocidade inicial (m/s);
- **T**: Instante final (s);
- **T_0** : Instante inicial (s);

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Rastreador

Para este estudo será utilizado um aplicativo desenvolvido como rastreador GPS denominado o Geo Tracker, com funções:

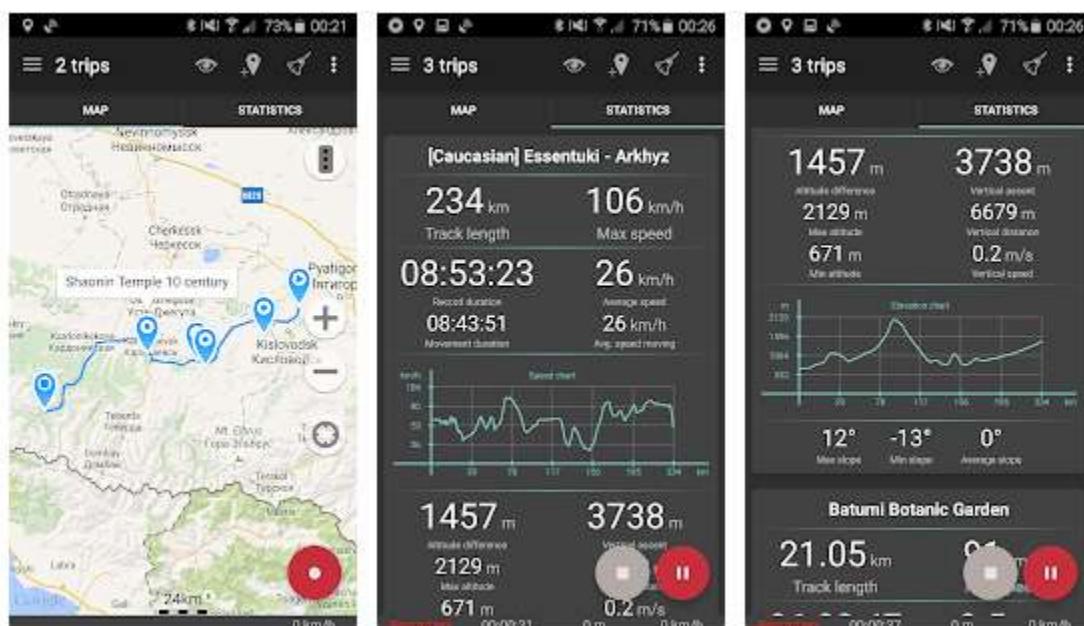
- Marcação de pontos importantes no percurso percorrido;
- Leitura de rotas em formato KML.

Os percursos são salvos em dois tipos de formato, sendo eles: GPX ou KML (Formato utilizado para a criação das tabelas), possibilitando que as informações registradas possam ser usadas em outros aplicativos, tais como: “Ozi Explorer” ou no “Google Earth”.

Ainda falando das funcionalidades de cálculo do Geo Tracker (Figura 13), temos:

- Velocidade máxima e média na pista durante todo o percurso;
- Altitude máxima e mínima;
- Distância vertical;
- Inclinação máxima, média e mínima;

Figura 13 – Imagens da captura de tela do Geo - Tracker



Fonte: (GEO TRACKER, 2020).

Usando a Equação 3, apresentada por Jimenez para cálculo da Potência Específica, aplica-se os valores de Velocidade, Inclinação e Distância, fornecidas pelo Geo Tracker, temos o valor de VSP associado com o valor total com o Quadro 1.

Este consumo tem uma linearidade com o combustível, porém o VSP não é uma função linear com o combustível, por isso é necessário realizar os cálculos segundo á segundo para se obter uma estimativa mais precisa do valor do consumo utilizado durante o uso do veículo.

Para realizarmos estes estudos, utilizamos um veículo CORSA ano 2008, motor 1.4 FLEX, utilizando combustível etanol.

4 RESULTADOS E DESCRIÇÕES

Quando se chega ao final de um determinado percurso, o aplicativo de navegação é finalizado para exportar os dados que ele fornece e começar a coleta dos dados. As informações que são utilizados para a primeira parte do cálculo estão na coluna Latitude, Longitude, Altitude e Data e Hora, que são as coordenadas, data e hora coletadas a cada 1Hz aproximadamente. Esses dados são coletados e formatados para que os dados de coordenadas fiquem separados em colunas (Quadro 5), pois quando os dados são fornecidos se obtém três dados/valores juntos, e para não haver erros durante as contas executadas pelo próprio Excel os dados são separados em 3 colunas diferente. É a coluna é formatada para aparecer apenas a data e hora.

Quadro 5 – Dados Iniciais do Geo Tracker

Latitude	Longitude	Altitude	Data e Hora
-46,504130	-23,668791	791,62	26/09/2020 00:26:25
-46,503953	-23,668594	807,71	26/09/2020 00:26:27
-46,503982	-23,668711	783,60	26/09/2020 00:26:28
-46,503942	-23,668804	776,01	26/09/2020 00:26:30
-46,503987	-23,668931	759,95	26/09/2020 00:26:31
-46,503539	-23,669127	772,00	26/09/2020 00:26:41
-46,503464	-23,669198	769,97	26/09/2020 00:26:44
-46,503375	-23,669280	767,09	26/09/2020 00:27:02
-46,503284	-23,669375	766,69	26/09/2020 00:27:05
-46,503148	-23,669351	766,42	26/09/2020 00:27:09
-46,503056	-23,669224	766,01	26/09/2020 00:27:11
-46,502955	-23,669096	765,77	26/09/2020 00:27:13
-46,502843	-23,668946	765,73	26/09/2020 00:27:15
-46,502787	-23,668871	765,75	26/09/2020 00:27:16
-46,502690	-23,668730	765,82	26/09/2020 00:27:18

Fonte: (Autoria Propria, 2020).

Quando os valores necessários são calculados, aplica-se o método VSP na sua fórmula simplificada, apresentada na **Equação: 3**. Com isso os valores são calculados

(Quadro 6), para verifica se os valores apresentados estão coerentes com que é esperado do próprio VSP, que normalmente tem seu valor entre -20 a +30 (W/Kg)

Quadro 6 – Cálculo do VSP

% ALT	VEL m/s	ACELER m/s ²	VSP (W/Kg) Final
-0,602666123	12,52766617	7,427353158	30,60956185
-0,062450367	5,284196368	-0,207502038	-3,698055887
-0,176813478	3,506520016	-0,022295183	-5,686114967
0,104371747	0,686648149	-0,096787314	0,719963947
-0,090452604	4,42220546	0,160093328	-2,531389708
-0,055019798	3,816807936	0,227620396	-0,581727477
-0,017565325	7,685596283	0,851447604	7,026870194
-0,011788168	8,058927928	0,477871868	4,527093027
-0,006520942	9,201124187	0,452747693	5,444164913
0,007607931	9,200924136	-0,134842163	0,771016875
0,014980313	8,34428487	-0,261070552	0,105612295
0,022820026	7,01138547	-0,169991997	1,286527794
0,039462413	5,448222404	-0,283286653	1,177255325

Fonte: (Autoria Propria, 2020).

Ao realizar este teste como exemplo pode-se observar que todos os valores estão coerentes com o esperado.

Para aplicação com o combustível Etanol (Quadro 7) foi feito uma relação do próprio etanol com a gasolina para poder estimar o valor de consumo. Esse valor foi calculado e relacionado com de acordo com a Densidade Energética (Figura 10) usando os valores de E00 (Gasolina pura) e de AEHC (Etanol hidratado), essa relação de valores foi feita com o combustível da gasolina usada na Europa, que foi utilizado nesse estudo, é o valor de referência, em ralação ao combustível etanol. Essa mudança no volume consumido ocorre por causa da diferença energética entre os combustíveis.

Figura 10: Densidades Energéticas dos Combustíveis

Tabela de Densidades Energéticas Combustíveis de Referência (MJ/L) ou (MJ/Nm3)	
E00	31,65
E22	28,99
AEHC	20,09
Diesel	35,65
GNV	35,24

Fonte: (INMETRO, 2011).

Quadro 7: Consumo Estimado de Etanol

	A	B	C
VSP Mode	VSP Menor 0,1	0,1 menor VSP menor 0,6	VSP maior 0,6
1	0,078770533	0,551393728	0,078770533
2	0,31508213	0,393852663	0,31508213
3	0,393852663	0,393852663	0,551393728
4	0,945246391	0,787705326	0,945246391
5	1,339099054	1,181557989	1,260328522
6	1,81172225	1,496640119	1,654181185
7	2,284345445	1,732951717	1,969263315
8	2,678198109	2,12680438	2,363115978
9	3,072050772	2,205574913	2,678198109
10	3,465903435	2,520657043	3,072050772
11	3,6234445	2,756968641	3,702215032
12	3,780985565	3,150821304	3,702215032
13	3,780985565	3,6234445	3,93852663
14	#	#	4,096067695

Fonte: (Autores, 2020 - adaptado de CARVALHO, 2014).

Com os dados de Velocidade e Aceleração do VSP definidos, pode se fazer uma tabela (Quadro 8) usando a Fórmula 4 para o cálculo dos termos e com o seu resultado aplicá-lo na Fórmula 5.

Quadro 8: Relação da Velocidade e Aceleração do VSP

VSPv (Velocidade)	VSPa (Aceleração)	VSPv / VSPa
0,742073777	-1,206129664	-0,615252
0,475881389	-0,085996356	-5,533739
0,090735327	-0,073104713	-1,241169
0,609848145	0,778762147	0,783099
0,520610858	0,955661666	0,544765
1,151599401	7,198270793	0,159983
1,221844594	4,236248433	0,288426
1,449798386	4,582366527	0,316386
1,449756635	-1,36473976	-1,062295
1,276904061	-2,396291767	-0,532867
1,029595151	-1,311067357	-0,785311
0,768004882	-1,697749556	-0,452366

Fonte: (Autoria Própria).

Usando o valor do VSP Mode, podendo ser ele entre 1 a 14, e relacionando seu valor com o Quadro 7, se obtendo um valor de massa total pelo tempo (g/s) do combustível usado para cada bin, Quadro 9, e assim podendo fazer um ajuste de base dos dados.

Quadro 9: Consumo Instantâneo de Combustível (g/s)

VSPv / VSPa	Vel. / Acel.	VSP Mode	g/s
-0,615252074	A	1	0,078770533
-5,533739	A	1	0,078770533
-1,241169319	A	2	0,31508213
0,783099368	C	1	0,078770533
0,544764823	B	2	0,393852663
0,159982784	B	6	1,496640119
0,288426095	B	5	1,181557989
0,316386386	B	5	1,181557989
-1,062295302	A	2	0,31508213
-0,53286669	A	2	0,31508213
-0,785310645	A	2	0,31508213
-0,452366416	A	2	0,31508213

Fonte: (Autoria Própria).

4.1 Teste em Campo

Com o fundamento teórico compreendido aplicamos os estudos descritos e iniciamos o teste em campo. O carro usado nos testes foi Chevrolet Corsa do ano de 2008 com um motor de 1.4. Quando esse veículo é abastecido com gasolina realiza em média 11Km por litro dentro da cidade e na estrada por volta de 15 à 16 Km por litro. Quando abastecido com etanol realiza 8 Km por litro na cidade e de 11 a 12Km por litro na estrada. Esses dados representam uma estimativa segundo o manual e perfil do uso regular do veículo

Primeiramente foi realizado um cálculo para descobrir o Volume em Litros com os dados de Massa Total do Combustível (g/s), baseada na Estimativa de Consumo deste teste, e a Densidade do Etanol com seu valor igual a 0,810, sendo referenciado pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível) 764 de 2018 (ANP, 2018). Com esse valor de Volume em Litros encontrado e dividido pela distância é assim encontrando o valor de Km/L.

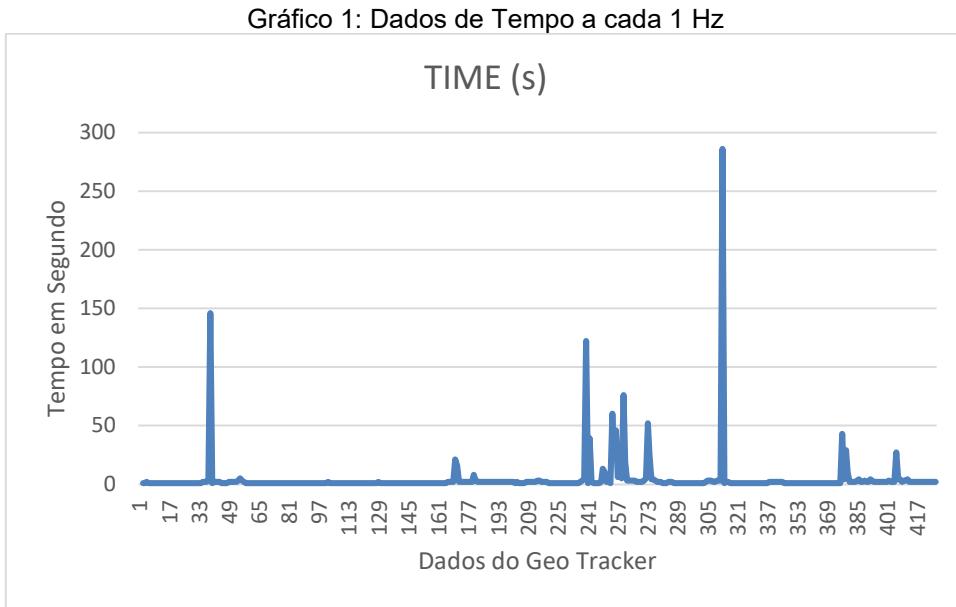
Ao realizar todos esses os pontos descritos, com os dados fornecidos pelo aplicativo de rastreamento durante o percurso, foi observado que o valor de consumo total estava incoerente com o esperado por esse veículo (Quadro 10), já que o consumo deveria ser de aproximadamente 8 Km, pois isso foi iniciado uma checagem de todos os dados para saber o que estava causando esse erro.

Quadro 10: Cálculo para o Consumo				
Massa Total	Dens. Etanol	Distância	Vol. (L)	Km/L
389,91	0,81	11	0,481375477	22,85118

Fonte: (Autoria Própria).

Com pode ser observado no Quadro 10 este consumo está incorreto para este tipo de veículo, sendo igual a 22,85118 Km/L, então deve-se realizar ajuste de bases para saber qual dado esta incoerente.

Analizando de forma mais minuciosa os dados fornecidos pelo aplicativo de rastreamento, verificando dado por dado, linha por linha, foi identificado que a coleta de dados, que deveria ser na casa de 1 Hz, ou seja, a cada 1 segundo, não estava seguindo este padrão (Gráfico 1), o que causa irregularidades entre um tempo e outro.



Fonte: (Autoria Própria).

Ao reconhecer a discrepância na coleta, realizamos a multiplicação de cada tempo, que estavam fora do padrão, por cada termo na massa do combustível (g/s). Cada resultado foi somado, permitindo averiguar o novo valor de consumo por litro do veículo (Quadro 11).

Quadro 11: Novo Cálculo do Consumo

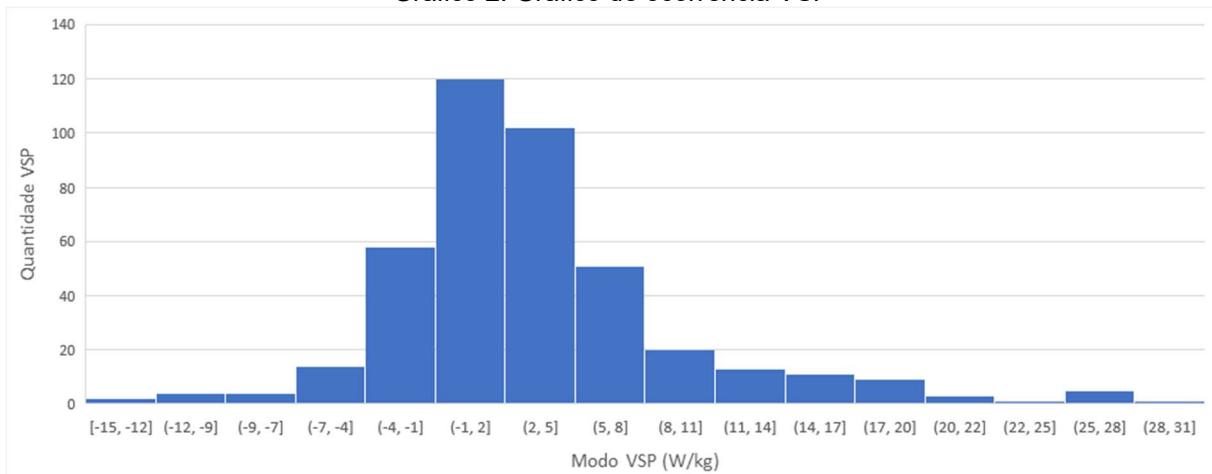
Massa Total	Dens. Etanol	Distância	Vol. (L)	Km/L
969,59	0,81	11	1,197020353	9,189485

Fonte: (Autoria Própria).

Embora os dados de tempo tenham sido multiplicados pela Massa de Combustível (g/s) e o consumo tenha diminuído, continua sendo um valor maior que o esperado para este veículo.

Para uma visualização melhor de cada incidência do modo VSP, foi feito uma ilustração (Gráfico 2) que mostra a quantidade de VSP por Modo, sendo indicado esses valores na linha vertical do gráfico.

Gráfico 2: Gráfico de ocorrência VSP



Fonte: (Autoria Própria).

Com essas novas discrepâncias localizadas, foi feito uma somatória com todos os dados de Massa do Combustível (g/s) onde a inclinação está fora do padrão, que são ao total 29 dados/linhas, sendo igual a 155,493 (g/s), esse valor é subtraído pelo valor total da Massa de Combustível (g/s), causando uma correção na distância percorrida neste trajeto, sendo seu valor igual a 9,2356 Km

Quando temos a distância corrigida podemos fazer um novo cálculo para o Consumo de Combustível (Quadro 12).

Quadro 12: Consumo Final

Massa Total	Dens. Etanol	Distância	Volume (g)	Vol. (L)	Km/L
969,59	0,81	9,2359	1197,02469	1,197024691	7,715714

Fonte: (Autoria Própria).

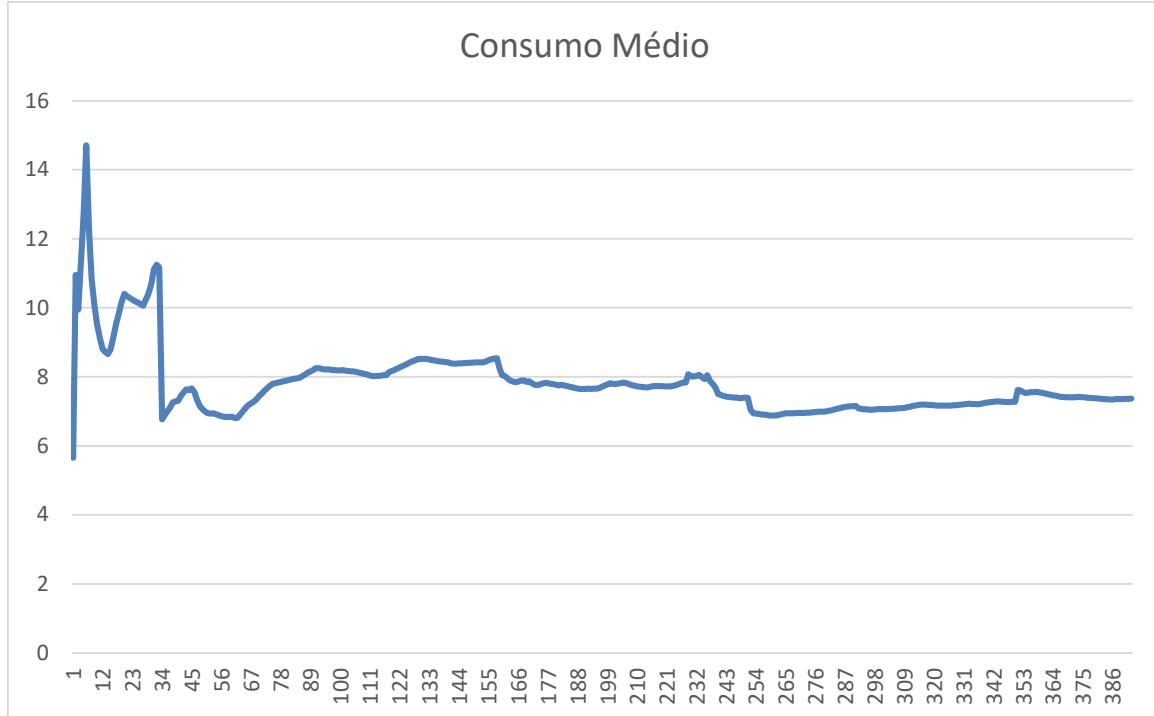
Como pode ser observado o valor de consumo chega a 7,71 Km/L. É um valor aceitável, pois está muito próximo do valor de consumo do veículo usado, com 96,25% de aproximação de seu valor real.

Embora o VSP possa facilitar na visualização de consumo do combustível, ele tem algumas limitações para este método. Neste teste o rastreador do próprio aplicativo não manteve a frequência de 1 Hz, alterando os dados de consumo e de algumas amostras que causavam as discrepâncias em seus dados, essas irregularidades alteravam seu ciclo de rodagem informando um consumo de combustível incorreto para veículo. Apesar de que esse valor de Consumo de Combustível (g/s) seja um valor médio, essas limitações influenciam no seu resultado,

mostrado no Quadro 10 e no Quadro 11. Então sempre deve ser ajustado o consumo com um real valor de rodagem é uma calibração dos valores de VSP e de bin, que são os dados de estimativa de consumo do etanol (Quadro 7).

Pode-se fazer um cálculo para o Consumo Médio do veículo e ilustrá-lo para melhor visualização (Gráfico 3). Para obter esses valores ponto a ponto os dados de Distância (m) e Massa do Combustível (g/s) devem ser convertidos em Distância em Quilômetros, dividindo suas amostras por 1000, e Volume em Litros, dividindo sua amostra pela Densidade do Etanol (0,810) e seu resultado dividir por 1000, e com isso podendo descobrir os dados do Consumo Médio ponto a ponto, que divide a Distância (Km) Acumulada e o Volume (L) Acumulado.

Gráfico 3: Consumo Médio



Fonte: (Autoria Própria).

Embora boa parte de seu resultado esteja na média de 8 Km/L, que é o consumo do veículo testado, os primeiros dados, que são aproximadamente de 3 minutos, não estão dentro do padrão desejado. Esse efeito é causado, principalmente, por causa dos dados da dinâmica do próprio veículo que afetam diretamente o VSP.

5 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

5.1 CONCLUSÃO

O desenvolvimento apresentado neste trabalho teve como objetivo principal o estudo da teoria do VSP (Vehicle Specific Power) e suas variáveis na influência de seus resultados, considerando que todos os dados de nossa pesquisa científica foram extraídos do software de rastreamento e para cálculos foi utilizado a planilha de cálculo de coordenadas.

Este estudo foi voltado para veículos de ignição por centelha, ao qual para experimento foi utilizado combustível gasolina para amostras de rodagem em situação real (em ambientes rurais e urbano), sendo que o veículo utilizado para os testes de rodagem foi em um veículo Flex.

Foi possível identificar que as variáveis (Velocidade, Aceleração, Inclinação) são influenciadoras predominantes em seu resultado. Esta afirmação tem base nos resultados obtidos.

Para fins de melhores resultados também criamos uma coluna com base no etanol tendo em vista, que este foi o tipo de combustível utilizado nos testes de rodagem em situação real (rodovias e vias urbanas) com a coleta de dados, como poder calorífico, etanol hidratado (AEHC) e gasolina pura (E00). Assim fizemos a comparação do VSP Mode x Consumo de etanol, baseado no seu VSP (w/kg) Final.

O resultado obtido teve uma diferença de 3,75% de seu valor total, portanto teve uma aproximação ideal, conforme os padrões referentes ao consumo do veículo.

Nesta metodologia identificamos que quando a aceleração prevalece a velocidade, o consumo de combustível é elevado, agora na situação oposta, o resultado muda, tendo a maior redução do consumo de combustível. E quando há uma igualdade nos resultados de aceleração e velocidade, o consumo de combustível prevalece a ser menor.

Concluímos então que a grande vantagem de utilização da metodologia VSP é a possibilidade de categorização de consumo de potência do veículo em cada situação apresentada como em classes de velocidades e acelerações diversificadas que após resultados apresenta um consumo de combustível instantâneo e distantes.

5.2 Limitações do Projeto

Como informado nos parágrafos anteriores, foram encontradas algumas limitações durante a execução da teoria de nossa pesquisa. Estas limitações atrapalham a execução perfeita dos dados apresentados e podem ser listadas como:

- Fator de Consumo o Mesmo para Qualquer Temperatura;
- Coleta de Dados Incorreta pelo Aplicativo;
- Má condição de sinal de rede no Geo Tracker(tivemos perdas de 1Hz em algumas partes do percurso durante a coleta de dados);
- Problemas com atualizações do Geo Tracker;

5.3 Trabalho Futuro

Como consideração final para uma futura continuação do nosso trabalho, tendo em vista dos resultados já realizados, sugerimos que:

Durante a pesquisa do método VSP foi abordado no estudo que o consumo específico do veículo também tem relação a rotação do motor (rpm) sendo esta, uma variável que pode influenciar em seu resultado em pesquisas mais aprofundadas.

Este parâmetro não é abordado na metodologia VSP, mas existem pesquisas que comprovam que esta variável é sim uma influenciadora nos resultados de consumo específico do veículo e para obter resultados mais precisos e robustos é viável a utilização do método I -VSP (“Improved Vehicle Specific Power”).

5.3.1 Metodologia I – VSP

Esta metodologia baseia-se na categorização do veículo, agrupando os pontos e situações de condução, sub- categorizando o modo de potência de cada classe de velocidade de rotação do motor e a relação entre velocidade x Aceleração do veículo.

Deste modo este método distingue as situações de potência iguais, comparando aos fatores influenciáveis acima (velocidade, aceleração e rpm) tendo como resultado um consumo de combustível instantâneos distantes.

Este método também é capaz de obter de consumo de combustível e emissões de GEE (Gases de efeito estufa) assim como a metodologia VSP.

Por fim é sugerido a pesquisa para analisar emissões de CO₂ por meio da metodologia do VSP é possível identificar utilizando suas seguintes variáveis já apresentadas na pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL.

Densidade do Etanol Hidratado. Disponível em: < <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2018/dezembro&item=ranp-764-2018>>. Acesso em: 01 de Nov. 2020.

CANALTECH BEIDOU. **O Que é Compass ou Beidou.** Disponível em: <<https://canaltech.com.br/curiosidades/O-que-e-Compass-ou-Beidou-2>>. Acesso em 29 Jul. 2020.

CANALTECH GALILEO. **O Que é Galileo.** Disponível em: <<https://canaltech.com.br/produtos/O-que-e-Galileo>>. Acesso em 29 Jul. 2020.

CANALTECH GLONASS. **O Que é o GLONASS.** Disponível em: <<https://canaltech.com.br/produtos/O-que-e-GLONASS>>. Acesso em 29 Jul. 2020.

CARVALHO, Rodrigo. **Metodologia de Cálculo de Consumos de Combustível e Emissões de Poluentes Baseada em Perfis de Condução.** Novembro de 2014. F: 97. Instituto Superior Técnico Lisboa, Lisboa (Portugal).

CAUDER e HAMMERSTEIN-GESMOLD. **Clean Mobility: Commission tables proposal on car emissions testing in real driving conditions.** Disponível em:< https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_19_2850>. Acesso em 22 de Out. 2020.

CBCS. **Conselho Brasileiro de Construção Sustentável.** Disponível em: <http://www.cbcbs.org.br/sbcs10/website/userFiles/palestras_sbcs_10/emissao_co2_transporte.pdf>. Acesso em 08 Jul. 2020.

DAYNEBATTEN. **Distance Between Latitude and Longitude Coordinates in SQL.** Disponível em: <<https://daynebatten.com/2015/09/latitude-longitude-distance-sql>>. Acesso em 12 Nov. 2020.

EPA. **Moves and Related Models. What is Vehicle Specific Power.** Disponível em: <<https://www.epa.gov/moves/what-vehicle-specific-power-vsp>>. Acesso em 22 Jul. 2020.

EPOCA. **Emissão de Co2 de Carros e Motos Cresce 192% no Brasil.** Disponível em:<<https://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-doplaneta/noticia/2016/09/emissao-de-co2-de-carros-e-motos-cresce-192-no-brasil-diz-pesquisa.html>>. Acesso em 30 Jul. 2020.

GEO TRACKER. **Google Play APP Store.** Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ilyabogdanovich.geotracker&hl=pt_BR>. Acesso em 29 Jul. 2020.

GIONGO, Airton. **Desafio Para a Implantação do Teste Real Drive Emissions na Realidade Brasileira.** Rio de Janeiro, 2019. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Disponível em: <http://www.pet.coppe.ufrj.br/images/documentos/dissertacoes/2019/DESAFIOS_PARA_A_IMPLANT_DO_RDE_NO_BRASIL-Dissertacao_de_Airton_Giongo_-_jul_19.pdf>. Acesso em 23 Out. 2020.

HELERBROCK, Rafael. **O que é velocidade média? - Brasil Escola.** Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-velocidade-media.htm>>. Acesso em 18 DE Nov. 2020.

ICCT. **Guidance note about on-road vehicle emissions remote sensing.** Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/RSD_Guidance_BorKlee.pdf>. Acesso em 28 Jul. 2020.

JIMENEZ-PALACIOS, José Luís. **Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing.** Fevereiro de 1999. F: 361. Instituto de Technologic de Massachusetts, Massachusetts (Estados Unidos da America).

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **O que é aceleração?** Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-aceleracao.htm>>. Acesso em 18 de Nov. 2020

LAI, Jinxuan, YU, Lei, SONG, Guohua, GUO, Pei, CHEN, Xumei. **Development of city-specific driving cycles for transit buses based on VSP distributions.** 91th **Transportation Research Board Annual Meeting.** Julho de 2013. Washington D.C.

LEGISLAÇÃO. Legislação Informatizada - Decreto Legislativo N° 144, de 2002 – Protocolo. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/2002/decretolegislativo-144-20-junho-2002-458772-protocolo-1-pl.html>> Acesso em 30 de Jul. 2020.

MACIEL FILHO, Francisco Fernando. **Construção de Ciclos de Condução para Estimativa de Emissões Veiculares para Ônibus Urbanos.** São Paulo 2013. F: 117. Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil).

Perguntas Frequentes. **Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais.** Disponível em: <<http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>>. Acesso em 16 Dez. 2020

ROA, Carlos Roberto. **Distância entre locais (Latitude e Longitude).** Disponível em: <[http://academicosdoexcel.com.br/2017/10/01/distancia-entre-locais-latitude-e-latitude/#:~:text=Tanto%20a%20latitude%2C%20como%20a,%2D180%C2%BA%20\(para%20este\).>](http://academicosdoexcel.com.br/2017/10/01/distancia-entre-locais-latitude-e-latitude/#:~:text=Tanto%20a%20latitude%2C%20como%20a,%2D180%C2%BA%20(para%20este).)>. Acesso em 12 de Nov. 2020.

SILVA, Darly Henriques. **Protocolo de Montreal e Kyoto: Pontos em comum e diferenças fundamentais.**, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-73292009000200009>. Acesso em 16 Dez. 2020.

SO FISICA. **GPS – O que é, como funciona.** Disponível em: <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/curiosidades/gps.php>>. Acesso em 29 Jun. 2020.

TRENTINI, Sergio. **Em 20 anos, cai uso do transporte coletivo no Brasil e emissões de carro e motos quase triplicam, 2016.** Disponível em: <<https://www.thecityfixbrasil.org/2016/09/28/em-20-anos-cai-uso-do-transporte-coletivo-no-brasil-e-emissoes-de-carros-e-motos-quase-triplicam/>>. Acesso em 16 Dez. 2020

YAO, Zhuo, WEI, Heng, LIU, Hao, LI, Zhixia. **Statistical Vehicle Specific Power Profiling For Urban Freeways.** Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/270849149>>. Acesso em 28 Jul. 2020.

ZHAI, Haibo, FREY, Christopher, ROUPHAIL, Nagui M. **A Vehicle-Specific Power Approach to Speed and Facility-Specific Emissions Estimates for Diesel Transit Buses.** *Environment Science Technology*, 42, p.7985-7991. Setembro de 2008. Universidade Estadual da Carolina do Norte, Carolina do Norte (Estados Unidos da América).