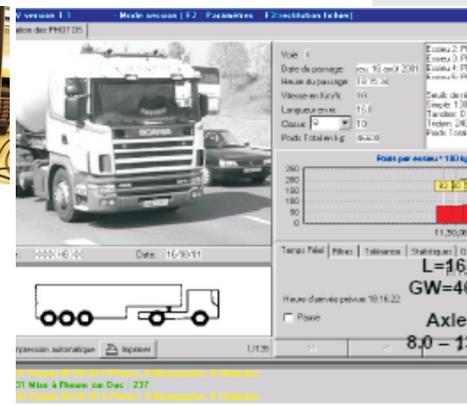


# Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento



**Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento**  
Convênio TT 102/2007

**Relatório de Avaliação dos Resultados Obtidos**

Outubro de 2009

**DNIT**

Departamento Nacional de  
Infra-Estrutura de Transportes



Laboratório de Transportes e Logística



**UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA**

**NEP**

Núcleo de Estudos de Pesagem

---

Convênio TT 102/2007 DNIT / UFSC  
**IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO**

**FICHA TÉCNICA**

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT**

Luiz Antonio Pagot  
Diretor Geral DNIT

Hideraldo Luiz Caron  
Diretor de Infraestrutura Rodoviária

Luiz Cláudio dos Santos Varejão  
Coordenador Geral de Operações Rodoviárias

João Batista Berretta Neto  
Coordenador de Operações

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL/DNIT/SC**

João José dos Santos  
Superintendente Regional de Santa Catarina

Edemar Martins  
Supervisor de Operações

Fernando Faustino de Souza  
Área de Engenharia e Segurança de Trânsito

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Alvaro Toubes Prata  
Reitor

Carlos Alberto Justo da Silva  
Vice-Reitor

Edison da Rosa  
Diretor do Centro Tecnológico

Antonio Edésio Jungles  
Chefe do Departamento de Engenharia Civil

**LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA - LABTRANS**

Amir Mattar Valente, Dr.  
Supervisor do Laboratório – LABTRANS/UFSC

**NÚCLEO DE ESTUDOS DE PESAGEM**

**EQUIPE TÉCNICA**

Valter Zanela Tani, Dr.  
Hélio Goltsman, Eng°. Eletrônico  
Márcio Roberto de Lima Paiva, Dr.  
Fernando da Rocha Pantoja, PhD.  
Flavio De Mori, Dr.  
Gustavo Garcia Otto, M.Eng.

---

---

## APRESENTAÇÃO

---

## **Apresentação**

Trata o presente relatório de um produto do Convênio 102/2007 – Projeto “Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento”, firmado entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT e a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

O projeto em tela prevê, como uma de suas mais importantes etapas, a realização de um experimento para avaliação do estado da arte internacional em sistemas de pesagem em movimento, sob condições brasileiras de operação.

Tendo em vista a experiência internacional, avaliada através de pesquisa da literatura especializada e, sobretudo, de uma viagem de estudo realizada pela equipe do projeto aos países Europeus mais avançados no assunto, decidiu-se focar o experimento nos sistemas de pesagem em movimento com múltiplos sensores (MS-WIM).

Neste Relatório é apresentada a avaliação do testes realizados em campo com as diversas tecnologias pré-selecionadas, aplicadas à utilização de múltiplos sensores, conhecida internacionalmente com MS WIM, como também a análise dos testes realizados em campo com o sistema de análise de deformação do pavimento instalado.

---

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

---



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT –	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
MS WIM –	Sistema de pesagem em movimento com múltiplos sensores
UFSC –	Universidade Federal de Santa Catarina
PBT –	Peso Bruto Total
PBTC –	Peso Bruto Total Carregado
TARA –	Peso do Veículo vazio

---

## LISTA DE FIGURAS

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Layout dos sensores na pista de teste.....	16
Figura 2 – Sensores de quartzo, cerâmico e polímero .....	17
Figura 3 – Sensores “strain gauge” medição de deflexão.....	17
Figura 4 – Sensores do sistema de análise de deformação em pavimento instalados.....	26
Figura 5 – Dados da 1ª passada do veículo 2C a 55 km/h. ....	27
Figura 6 – Dados da 2ª passagem do veículo 2C a 55 km/h. ....	28
Figura 7 – Dados da 3ª passada do veículo 2C a 55 km/h. ....	28
Figura 8 – Dados da 4ª passada do veículo 2C a 55 km/h. ....	29
Figura 9 – Dados da 5ª passada do veículo 2C a 55 km/h. ....	29
Figura 10 – Dados da 6ª passada do veículo 2C a 55 km/h. ....	30
Figura 11 – Dados da 7ª passada do veículo 2C a 55 km/h .....	30
Figura 12 – Dados da 8ª passada do veículo 2C a 55 km/h .....	31
Figura 13 – Dados da 1ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	32
Figura 14 – Dados da 2ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	33
Figura 15 – Dados da 3ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	33
Figura 16 – Dados da 4ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	34
Figura 17 – Dados da 5ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	34
Figura 18 – Dados da 6ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	35
Figura 19 – Dados da 7ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	35
Figura 20 – Dados da 9ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	36
Figura 21 – Dados da 10ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	36
Figura 22 – Dados da 11ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	37
Figura 23 – Dados da 12ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	37
Figura 24 – Dados da 13ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	38
Figura 25 – Dados da 14ª passada do veículo 3C a 50 km/h. ....	38
Figura 26 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 30 km/h, 14/10/09.....	54
Figura 27 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 50 km/h, 25/10/09.....	55
Figura 28 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 25/10/09.....	57
Figura 29 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 14/10/09.....	58
Figura 30 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 25/10/09.....	60
Figura 31 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 25/10/09.....	61
Figura 32 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 40 km/h, 25/10/09.....	63
Figura 33 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 50 km/h, 25/10/09.....	65
Figura 34 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 50 km/h, 25/11/09.....	67

Figura 35 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 40 km/h, 25/10/09.....	69
Figura 36 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 50 km/h, 25/10/09.....	70
Figura 37 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 50 km/h, 25/11/09.....	72
Figura 38 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 70 km/h, 25/10/09.....	74
Figura 39 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 40 km/h, 25/10/09.....	75
Figura 40 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 50 km/h, 25/11/09.....	77
Figura 41 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 70 km/h, 25/10/09.....	78
Figura 42 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 40 km/h, 25/10/09.....	80
Figura 43 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 50 km/h, 25/10/09.....	81
Figura 44 – Sensor longitudinal 1, 1ª passada do teste dia 23/10/09.....	83
Figura 45 – Sensor longitudinal 4, 1ª passada do teste dia 23/10/09.....	84
Figura 46 – Sensor transversal 2, 1ª passada do teste dia 23/10/09.....	85
Figura 47 – Sensor transversal 5, 1ª passada do teste dia 23/10/09.....	86
Figura 48 – Sensor longitudinal 1, 1ª passada do teste dia 25/11/09.....	87
Figura 49 – Sensor longitudinal 4, 1ª passada do teste dia 25/11/09.....	88
Figura 50 – Sensor transversal 2, 1ª passada do teste dia 25/11/09.....	89
Figura 51 – Sensor transversal 5, 1ª passada do teste dia 25/11/09.....	90
Figura 52 – Frequência de solicitação, s. longitudinal 1, 25/11/09.....	92
Figura 53 – Frequência de solicitação, s. longitudinal 4, 25/11/09.....	92



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Peso por eixo e PBT do veículo 3C utilizados nos testes dos dias 17 e 18 de agosto de 2009.....	20
Tabela 2 - Peso por eixo e PBT do veículo 3C em três balanças distintas.....	22
Tabela 3 - Peso por eixo e PBT do veículo 3C utilizado no teste do dia 25/10/2009.....	23
Tabela 4 - Pesos PBT e por eixo do veículo 3C utilizado nos testes de 25 a 27 de novembro de 2009.....	24
Tabela 5 - Dados de peso do veículo 2C do teste realizado no dia 23/10/2009.....	27
Tabela 6 - Dados de peso do veículo 3C do teste realizado no dia 25/11/2009.....	31
Tabela 7 - Dados do sistema quartzo a 30 km/h e pressão de 60 psi (14/10/09).....	41
Tabela 8 - Dados do sistema quartzo, sem carga e a 70 km/h (25/10/09).....	42
Tabela 9 - Dados do sistema quartzo com meia carga, a 50 km/h (25/10/09).....	43
Tabela 10 - Dados do sistema cerâmico com meia carga, a 40 km/h (25/10/09).....	44
Tabela 11 - Dados do sistema cerâmico com carga plena a 50 km/h (25/10/09).....	45
Tabela 12 - Dados do sistema cerâmico com carga plena, 50 km/h (25/11/09).....	46
Tabela 13 - Dados do sistema polímero, sem carga a 70 km/h (25/10/09).....	47
Tabela 14 - Dados do sistema polímero com meia carga, a 40 km/h (25/10/09).....	48
Tabela 15 - Dados do sistema polímero com carga plena, 50 km/h (25/11/09).....	49
Tabela 16 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 30 km/h, 14/10/09.....	53
Tabela 17 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/10/09.....	55
Tabela 18 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 70 km/h, 25/10/09.....	56
Tabela 19 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 60 psi, 14/10/09.....	58
Tabela 20 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/10/09.....	59
Tabela 21 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 70 km/h, 25/10/09.....	61
Tabela 22 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 40 km/h, 25/10/09.....	62
Tabela 23 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/10/09.....	64
Tabela 24 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/11/09.....	66
Tabela 25 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 40 km/h, 25/10/09.....	68
Tabela 26 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 50 km/h, 25/10/09.....	70

Tabela 27 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 50 km/h, 25/11/09. ....	71
Tabela 28 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 70 km/h, 25/10/09. ....	73
Tabela 29 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 40 km/h, 25/10/09. ....	75
Tabela 30 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/11/09. ....	76
Tabela 31 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 70 km/h, 25/10/09. ....	78
Tabela 32 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 40 km/h, 25/10/09. ....	79
Tabela 33 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 50 km/h, 25/11/09. ....	81



## SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução .....	15
1 Introdução .....	16
Capítulo 2 – Síntese dos Dados Coletados.....	18
2 Síntese dos Dados Coletados.....	19
2.1 Coleta de dados pesagem.....	19
2.1.1 Testes dos sistemas de pesagem realizados nos dias 17 e 18 de agosto de 2009 .....	20
2.1.2 Teste dos sistemas de pesagem realizados em 14 de outubro de 2009 .....	21
2.1.3 Testes dos sistemas de pesagem realizados em 25 de outubro de 2009 .....	23
2.1.4 Testes dos sistemas de pesagem realizados nos dias 25 a 27 de novembro de 2009 .....	24
2.2 Coleta de dados de deformação .....	25
2.2.1 Testes de deformação realizados em 23 de outubro de 2009 .....	26
2.2.2 Testes de deformação realizados em novembro de 2009.....	31
Capítulo 3 – Avaliação dos Dados Coletados .....	39
3 Avaliação dos Dados Coletados .....	40
3.1 Base de dados .....	40
3.1.1 Sistema Piezoelétrico Quartzo .....	40
3.1.2 Sistema Piezoelétrico Cerâmico .....	44
3.1.3 Sistema Piezoelétrico Polímero .....	47
3.2 Diretrizes utilizadas na avaliação dos dados.....	50
3.2.1 Avaliação dos dados de pesagem .....	50
3.2.2 Avaliação dos dados de deformação .....	51
3.3 Avaliação dos dados do Sistema Piezoelétrico Quartzo .....	53
3.4 Avaliação dos dados do Sistema Piezoelétrico Cerâmico.....	62
3.5 Avaliação dos dados do Sistema Piezoelétrico Polímero.....	73
3.6 Avaliação dos Dados de Deformação .....	82
Capítulo 4 – Considerações Finais.....	94
4 Considerações Finais.....	95

---

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

---

# 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório tem por objetivo de apresentar a avaliação e a análise dos resultados dos testes realizados em campo no intuito de avaliar os dados coletados pelos sistemas de pesagem em movimento com múltiplos sensores, instalados na pista experimental construída no km 418 da BR101SUL, como também o sistema de análise da deformação do pavimento instalado.

O sistema de múltiplos sensores, apresentado esquematicamente na Figura 1 contempla um total de 48 linhas de sensores, sendo 16 do tipo piezelétrico quartzo, 16 do tipo piezelétrico cerâmico e 16 do tipo piezelétrico polímero, 8 laços indutivos, 2 câmeras de vídeo. Além disso, o experimento inclui 7 sensores de deformação do pavimento (um de referência para controle de variação térmica) e 1 sensor de temperatura do pavimento.

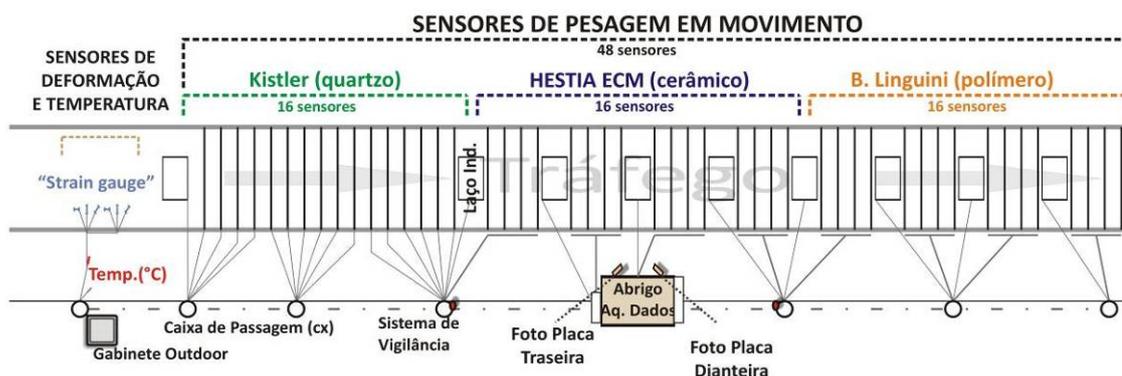


Figura 1- Layout dos sensores na pista de teste

A Figura 2 apresenta a visão dos sistemas de pesagem em movimento instalados sobre a pista experimental. Cada sistema é composto por sensores e um sistema de aquisição e tratamento de dados, dois deles usam o equipamento ECM Hestia e seus dados são encaminhados, via conexão serial, a um terceiro. Este realiza a aquisição e o tratamento os dados dos sensores quartzo e armazena os dados dos demais sensores, cerâmico e polímero.

A Figura 3 apresenta a visão dos sistemas de deformação instalados sobre a pista experimental. O sistema de aquisição de dados está instalado no armário outdoor, ao lado do local de instalação, ele realiza a coleta, tratamento e o armazenamento dos dados de deformação registrados. O sensor de temperatura se conecta, também, a este sistema.



Figura 2 – Sensores de quartzo, cerâmico e polímero



Figura 3 – Sensores “strain gauge” medição de deflexão

A partir da coleta de dados realizadas, apresentadas em detalhes no Relatório 5 deste convênio, selecionou de subconjuntos de dados que serão utilizados para a análise e a avaliação preliminar dos resultados obtidos, essencialmente, no que diz respeito a consistência e homogeneidade dos dados obtidos.

---

## **CAPÍTULO 2 – SÍNTESE DOS DADOS COLETADOS**

---

## 2 SÍNTESE DOS DADOS COLETADOS

O presente Capítulo tem por objetivo apresentar uma síntese da coleta de dados pelos diferentes sistemas de pesagem em movimento de múltiplos sensores e pelo sistema de análise de deformação instalados.

Os dados coletados pela pesagem foram armazenados em banco de dados e organizados de acordo com sua tecnologia. O sistema de análise da deformação do pavimento é independente, no que diz respeito a coleta, tratamento e armazenamento de dados. Todos os dados foram organizados de acordo com a data/hora do evento e permitem identificar o veículo nos diversos sistemas para um mesmo evento.

### 2.1 Coleta de dados pesagem

De acordo com a metodologia de testes elaborada, os veículos utilizados nos testes foram os mais representativos da frota do trecho, determinados por uma pesquisa de Identificação da Frota realizada entre os dias 24 de junho a 02 de julho de 2008 – BR101 Sul Km 418/419, são eles: classe 3C com 30,57%, 2S3 com 24,82%, 3S3 com 13,13% e 2C com 11,21%. do total de veículos. O veículo base utilizado para os testes controlados dos sistemas instalados foi o 3C, foram utilizados, também, os veículos 2C, 2S3 e 3S3.

O Plano de teste para o veículo tipo 3C foi balizado pelos seguintes procedimentos:

- 1) Três (3) carregamentos (medidos em balança estática, por eixo): Vazio (Tara), Meia-carga ( $\frac{1}{2}$  PBT legal), e Carga total (PBTC legal);
- 2) Para cada situação de carregamento o veículo deverá desenvolver Sete (7) Velocidades (km/h): 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80;
- 3) Para cada uma das situações de testes, deverão ser feitas 10 repetições, totalizando assim 210 passadas com o caminhão 3C na pista de testes.

Para cada uma das situações de testes foram registradas todas as informações referentes a:

- ⊙ Medida correspondente ao peso de cada eixo em cada sensor;
- ⊙ Velocidade do veículo;

- ⊙ Configuração de eixos: nº total de eixos e espaçamento entre eixos consecutivos;
- ⊙ Classe do veículo;
- ⊙ Fotos da placas dianteira e traseira;
- ⊙ Tempo: data, hora, minuto.

Durante o período de agosto a outubro de 2009 foram realizados os testes controlados, que são a base para avaliação das condições operacionais dos sistemas instalados e base para ajustes técnicos relacionados ao hardware e software instalado. Dentre os diversos testes realizados, foram considerados para a avaliação dos sistemas os testes realizados nos seguintes períodos:

- 1) 17 e 18 de agosto de 2009;
- 2) 14 de outubro de 2009;
- 3) 25 de outubro de 2009;
- 4) 25 a 27 de novembro de 2009.

Nos itens subseqüentes, os testes especificados acima, serão apresentados de forma sintética.

### 2.1.1 Testes dos sistemas de pesagem realizados nos dias 17 e 18 de agosto de 2009

Os testes dos dias 17 e 18 de agosto de 2009 foram realizados com o caminhão do tipo 3C, ele foi carregado com carga total distribuída uniformemente. O veículo foi pesagem na balança de trânsito lento do posto de pesagem (PPV 16.06) e o resultado está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Peso por eixo e PBT do veículo 3C utilizados nos testes dos dias 17 e 18 de agosto de 2009.

Pesagem	Massa em Kg		
	Eixo 1	Eixo em Tândem	PBT
1º Pesagem	4130	10713	14840
2º Pesagem	4120	10840	14960

Das observações relatadas no relatório de testes de campo (Convênio TT 102/07 Fase 5 – Relatório de Realização de testes em campo com as diversas tecnologias pré-selecionadas) resume-se as principais considerações:

- ⊙ Observou-se que o sistema piezelétrico quartzo estava operacional e o sistema piezelétrico polímero não. O sistema piezelétrico cerâmico apresentava comportamento errático e sem correlação do evento, *tag* data/hora.
- ⊙ Os sistema piezelétrico quartzo apresentou todas as medias por eixo/sensor, distância entre eixos correta, a classificação do veículo de acordo com o quadro de fabricantes de veículo; sendo que as velocidades observadas não apresentaram dados confiáveis;
- ⊙ O sistema de integração de dados não estava operacional em função do problema de identificação de protocolo de comunicação dos sistemas piezelétrico cerâmico e piezelétrico polímero.
- ⊙ No que tange ao sistema piezelétrico quartzo, apesar de instalados fisicamente 12 linhas de sensores, (24 sensores de 1,75 m) somente 8 linhas foram conectadas ao amplificador de carga face a sua limitação de capacidade. Assim, nas Tabelas 2 e 3 somente conterão dados consolidados de 8 linhas de sensores piezelétrico quartzo.
- ⊙ As velocidades programadas não foram na maioria das vezes atingidas, em função da condição do veículo de teste e da extensão da pista de teste.

### 2.1.2 Teste dos sistemas de pesagem realizados em 14 de outubro de 2009

Os testes do dia 14 de outubro de 2009 permitiram avaliar os novos sensores instalados e o segundo amplificador de carga. O teste foi realizado com o caminhão 3C de propriedade do DNIT e ficou estabelecida três velocidades de passadas: 30 km/h; 40 km/h; 50 km/h. O objetivo principal do testes foi avaliar o comportamento do sistema piezelétrico quartzo com todas as 16 linhas de se sensores instalados, dois amplificadores de carga e duas placas de aquisição de sinais da *National Instruments*.

Uma combinação entre duas pressões de insuflagem dos pneus foram parâmetros dos testes e um único tipo de carregamento foi adotado. Neste sentido foram programados e realizados um conjunto de 10 passadas em cada uma das

velocidades e 60 psi de pressão de insuflagem e um conjunto de 10 passadas em cada velocidade e 80 psi de pressão de insuflagem dos pneus.

O veículo 3C foi carregado com carga plena e pesado em três balanças distintas, as informações do peso por eixo e total (PBT) foram anotados e arranjados conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Peso por eixo e PBT do veículo 3C em três balanças distintas.

Pesagem	Massa em Kg			
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	PBT
Balança estática de plataforma				12830
Balança de trânsito lento do PPV	3500	4880	4700	13080
Balança estática por eixo	3180	4850	4715	12745

As observações feitas durante os testes podem ser resumidas em um conjunto de informações que auxiliam o entendimento do comportamento dos equipamentos no momento dos testes e das respectivas saídas de dados, a saber:

- ⊙ O que tange a aquisição de dados o sistema piezelétrico quartzo estava operacional e os sistemas piezelétrico cerâmico e polímero não;
- ⊙ A integração dos dados não estava operacional e por isso somente os dados com o sistema quartzo foram coletados;
- ⊙ O processamento dos dados do sistema quartzo apresentou todas as medidas por eixo/sensor, distância entre eixos correta, bem como a classificação do veículo de acordo com o quadro de fabricante de veículos;
- ⊙ As velocidade não apresentaram dados confiáveis após uma análise dos dados de velocidades apresentados na tela de visualização do sistema;
- ⊙ Ao longo do teste foram observados vários arquivos inválidos entre os arquivos armazenados na base de dados do sistema de aquisição. Dentre as hipóteses de causa, destaca-se:
  - Produzido por ruído produzido por correntes de aterramento nos amplificadores de carga e do sistema de aquisição de dados – DAQ;
  - ou, pela passagem de veículos pequenos como bicicletas e carroças, já que o sensor operava em sensibilidade máxima, hipótese mais forte pois a geração de arquivos *log* apenas acontece com a detecção de massas metálicas que passam pelo laço indutivo;

- ⊙ Houve dificuldades no controle de algumas velocidades executadas nos testes, como as menores que 30 km/h e as maiores do que 50 km/h.

### 2.1.3 Testes dos sistemas de pesagem realizados em 25 de outubro de 2009

Os testes realizados no dia 25 de outubro de 2009 tiveram o objetivo de avaliar todos os sistemas instalados com ênfase nos sensores piezelétrico cerâmico e polímero. O veículo utilizado foi o caminhão 3C do DNIT e a logística do teste usou uma combinação entre condições de carregamento e velocidade de passada.

As condições de carregamento adotadas foram com o caminhão vazio, com meia carga e com carga total e as velocidades de passadas variaram de 40 km/h a 70 km/h. O veículo foi pesado vazio, meia carga e carga plena na balança de trânsito lento do postos de pesagem de Araranguá (PPV 16.06). A Tabela 3 apresenta os valores da carga nos eixos e PBT anotados nos diferentes pesos de teste.

Tabela 3 - Peso por eixo e PBT do veículo 3C utilizado no teste do dia 25/10/2009.

Pesagem	Massa em Kg			
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	PBT
Vazio	3030	2200	2010	7240
Meia carga	3810	5310	5160	14280
Carga completa	4380	8400	8260	21040

Algumas questões importantes sobre os testes realizados em campo podem ajudar a interpretação dos resultados. As observações dos testes de campo são:

- ⊙ Os sensores funcionaram durante todo o experimento, mesmo quando observados nas tabelas dos resultados a ausência de dados em algumas linhas de sensores ou colunas de passadas;
- ⊙ Os sistemas piezelétrico cerâmico e piezelétrico polímero não estavam integrados, já que persistia o problema com o protocolo de comunicação no sistema de integração dos dados coletados pelos sistemas de pesagem instalados;
- ⊙ Registrou-se a ocorrência de falhas aleatórias com o sistema piezelétrico quartzo, apesar de estar operacional, onde deixou de registrar algumas passadas;

- ⊙ A aquisição dos dados com os sistemas piezométrico cerâmico e polímero foi feito com dois notebooks ligados individualmente, com auxílio de cabos coaxiais, nas unidades HESTIA;
- ⊙ Nos dados do sistema piezométrico quartzo foram registrados corretamente as informações de massa eixo/sensor, distância entre eixo e a classificação do veículo de acordo com o quadro de fabricantes de veículo. Por outro lado, as informações de velocidade não apresentaram dados confiáveis tendo em vista informações conflitantes apresentadas na tela de visualização do sistema;
- ⊙ Nos sistemas piezométrico cerâmico e polímero, as informações adquiridas e processadas independentemente pelos duas estações de processamento HESTIA;
- ⊙ Os dados de ambos os sistemas, cerâmico e polímero, apresentaram falhas aleatórias de processamento em todas as passadas deixando de registrar diversas linhas de informação.

#### 2.1.4 Testes dos sistemas de pesagem realizados nos dias 25 a 27 de novembro de 2009

Os testes realizados no período de 25 a 27 de novembro de 2009 tiveram como objetivo testar o funcionamento dos sistemas piezométrico cerâmico e piezométrico polímero após modificações efetuadas pela equipe técnica da empresa ECM, francesa, em conjunto com o representante comercial no Brasil.

O teste foram realizados com o caminhão 3C do DNIT com velocidades variando entre 22 km/h e 52 km/h, sendo a velocidade desejada em torno de 50 km/h. A equipe realizou testes adicionais com veículos do fluxo normal da rodovia, desviados para pista experimental de testes.

As condições de carregamento estabelecidos para nos testes foram vazio e com carga completa. A carga utilizada forma blocos de concreto, barreiras móveis de proteção de rodovias, posicionados no caminhão com auxílio de um caminhão com braço mecânico. A Tabela 3 apresenta os pesos anotados, conforme as duas condições de carregamento, na balança estática de plataforma, na balança de trânsito lento do PPV e na balança estática por eixo.

Tabela 4 - Pesos PBT e por eixo do veículo 3C utilizado nos testes de 25 a 27 de novembro de 2009.

Pesagem	Massa em Kg			
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	PBT
Vazio - Balança estática de plataforma				7200
Vazio - Balança de trânsito lento do PPV	3070	2250	2080	7400
Vazio - Balança estática por eixo	2906	2275	2085	7267
Carga Plena - B. est. de plataforma				20430
Carga Plena - B. tran. lento do PPV	2906	8910	8910	20570
Carga Plena - B. est. por eixo	2661	8964	8876	20501

As observações de campo auxiliam na avaliação dos resultados, pois relatam o conjunto de atividade de verificação e análise dos sistemas instalados, a saber:

- ⊙ Antes dos teste foi realização de uma verificação completa das instalações físicas e da eletrônica responsável pela aquisição e processamento dos sinais oriundos dos sensores;
- ⊙ Dentre os problemas solucionados após a verificação, destaca-se:
  - A frequência do laço indutivo não estava devidamente ajustada;
  - As estações HESTIA não estavam equipadas com os chaveamento que permite acionar o atraso no tempo de acionamento do laço indutivo;
  - Re-instalação dos conectores que recebe as informações geradas pelos sensores piezelétrico polímero;
  - Ajuste do protocolo de comunicação entre os diversos sistemas e a central de controle;
- ⊙ Durante o teste o sistema piezo quartzo não foi acionado;
- ⊙ Os sistemas piezelétrico cerâmico e polímero registraram as informações em cada passada do veículo de teste, com ausência de dados na sexta passada do eixo 2 nas linhas de sensores 1 e 2;
- ⊙ Os sistemas cerâmico e polímero apresentaram as medidas da massa por eixo/sensor, peso bruto total e distância entre eixos corretamente.

## 2.2 Coleta de dados de deformação

A metodologia utilizada nos testes com o sistema de aquisição e análise da deformação observada nos pavimentos durante passagem de um veículo consistiu em coletar dados de dois veículos, os mais representativos da frota, o 2C e 3C. Dois testes forma realizados, o primeiro, no dia 23 de outubro de 2009 com o veículo classe 2C, e o segundo, nos dia 26 e 27 de novembro de 2009 com o veículo classe 3C.

A Figura 4 mostra o local de testes com o sistema de análise das deformações em pavimento. Os sensores estão posicionados sobre uma linha virtual que coincide com a trilha de roda esperadas para a média dos veículos de carga, o seguinte alinhamento de sensores foi adotado: os sensores S1 e S4 são longitudinais a rodovia, os sensores S2 e S5 são ortogonais a via e os sensores S3 e S6 são posicionados diagonalmente em um ângulo de 45°. O sensor S0 e S7 são, respectivamente, o sensor de temperatura e o *strain gage* de compensação térmica.

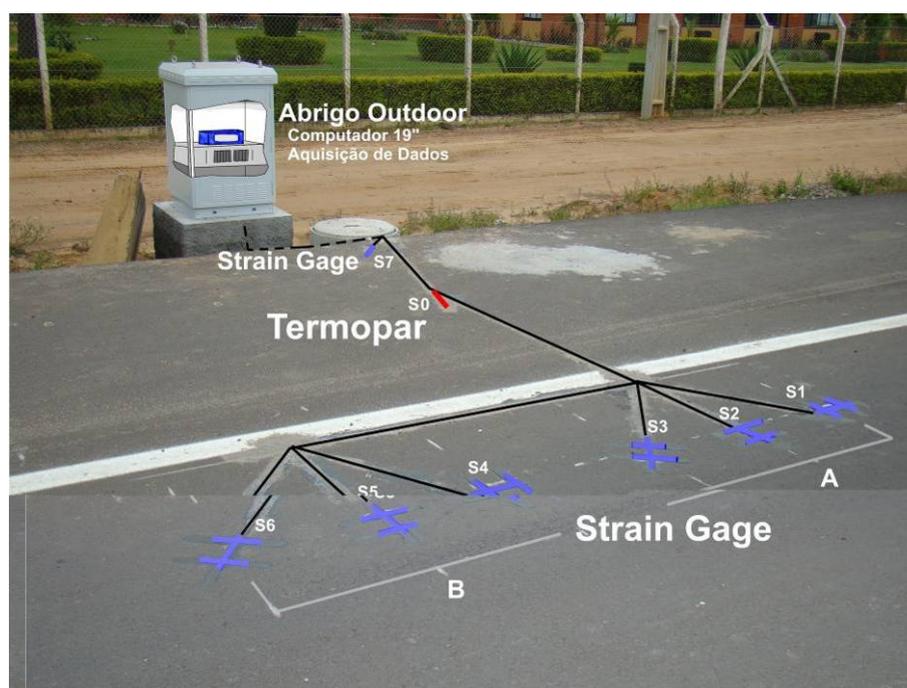


Figura 4 – Sensores do sistema de análise de deformação em pavimento instalados.

Os sensores S3 e S6 foram desligados no momento dos testes pois seu sinal não ofereceu boa correlação com as informações dos sensores S1 e S2 juntamente com os sensores S4 e S5, respectivamente. A forma deste sinal pode ser decomposta com os sinais dos sensores longitudinais e transversais.

### 2.2.1 Testes de deformação realizados em 23 de outubro de 2009

Os testes realizados no dia 23 de outubro de 2009 tiveram objetivo de testar o sistema com um todo no que diz respeito a aquisição de sinais de deformação. Para tal foi utilizado um caminhão com carga conhecida e pertencente ao grupo mais representativos da frota no trecho da rodovia. A Tabela 5 apresenta os dados de pesos do caminhão 2C conferido na balança de trânsito lento do PPV 16.06.

Tabela 5 - Dados de peso do veículo 2C do teste realizado no dia 23/10/2009.

Pesagem	Massa em Kg		
	Eixo 1	Eixo 2	PBT
Balança de trânsito lento do PPV	4690	9760	14450

Os dados coletados foram armazenados em tabelas contendo as informações de variação de voltagem por segundo. Para melhor visualização, os dados são apresentados na forma de gráficos onde a variação da voltagem do sensor ao longo do tempo, em segundos, é o eixo das ordenadas. O significado da variação do sinal representa a variação da forma do pavimento, deformação, no momento em que os eixos passam sobre os sensores.

Nos testes foram armazenados oito (8) passadas com carga plena e velocidade aproximadas 55 km/h. Cada um dos gráficos apresentados representa uma passada e aglutina as informações coletadas dos sensores S1 (longitudinal), S2 (transversal), S4 (longitudinal), S5 (transversal) e S7 (de referência térmica). As Figuras de 5 a 12 representam os valores, em volts, obtidos pelos sensores nas passadas com o veículo 2C.

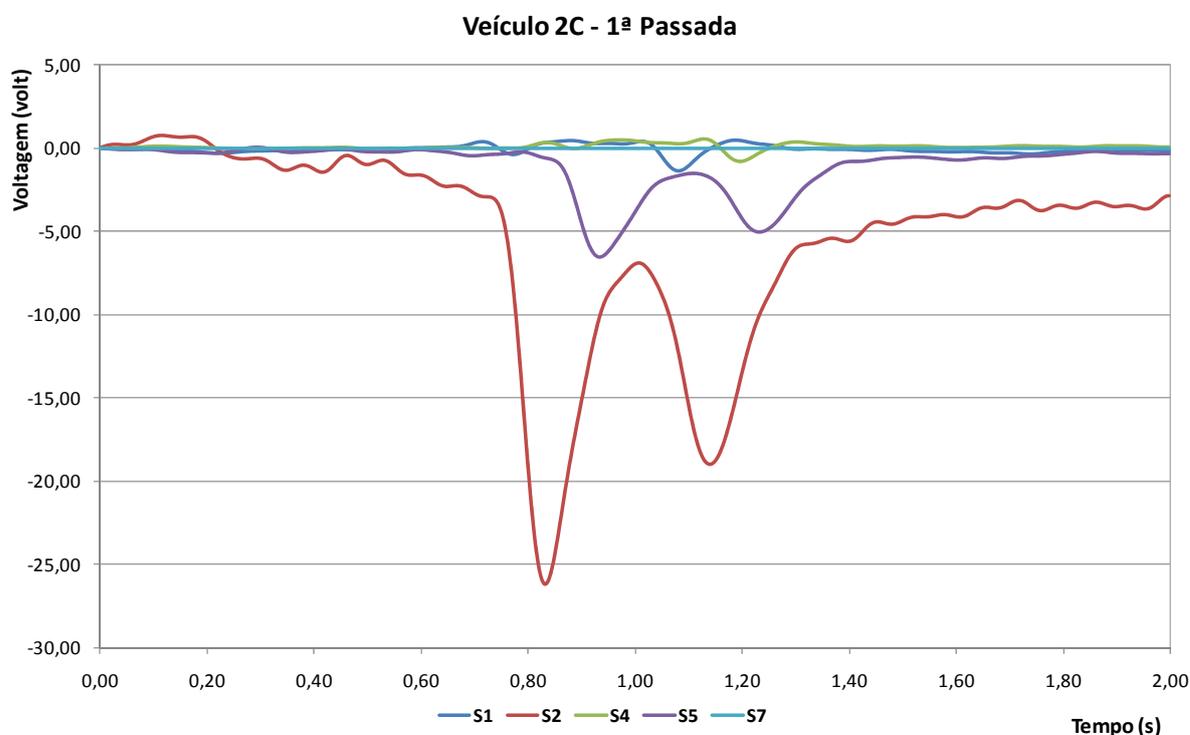


Figura 5 – Dados da 1ª passada do veículo 2C a 55 km/h.

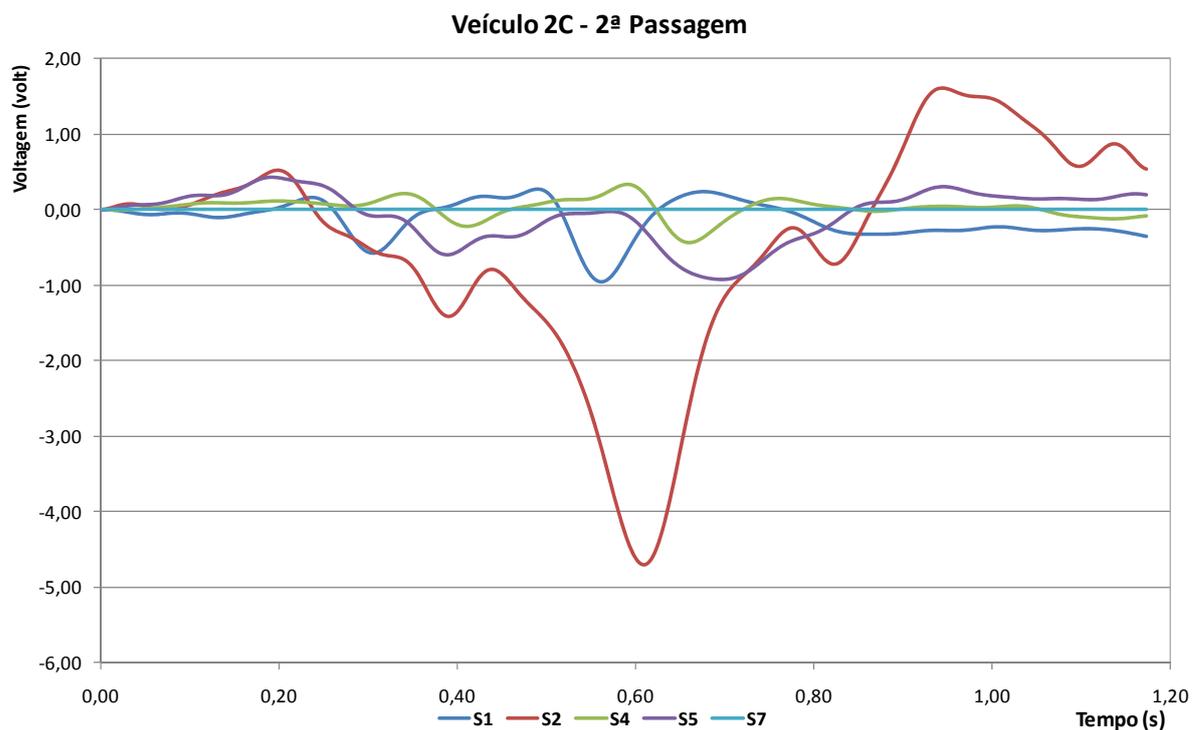


Figura 6 – Dados da 2ª passagem do veículo 2C a 55 km/h.

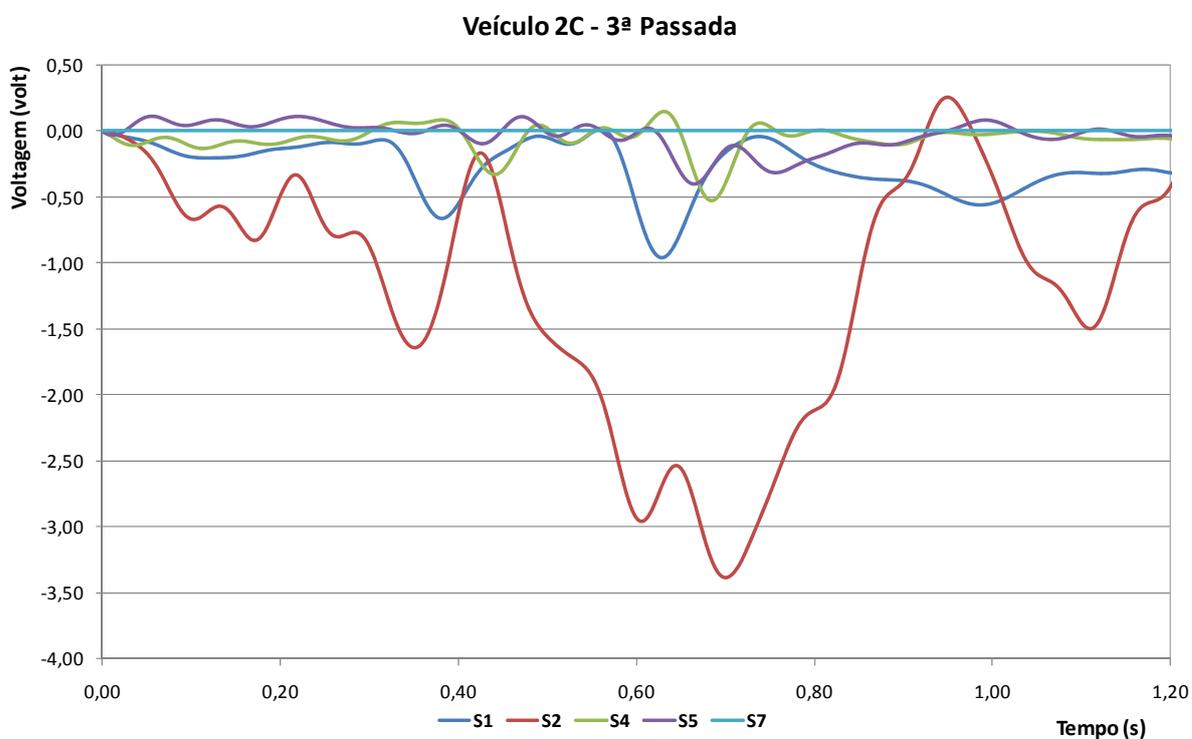


Figura 7 – Dados da 3ª passada do veículo 2C a 55 km/h.

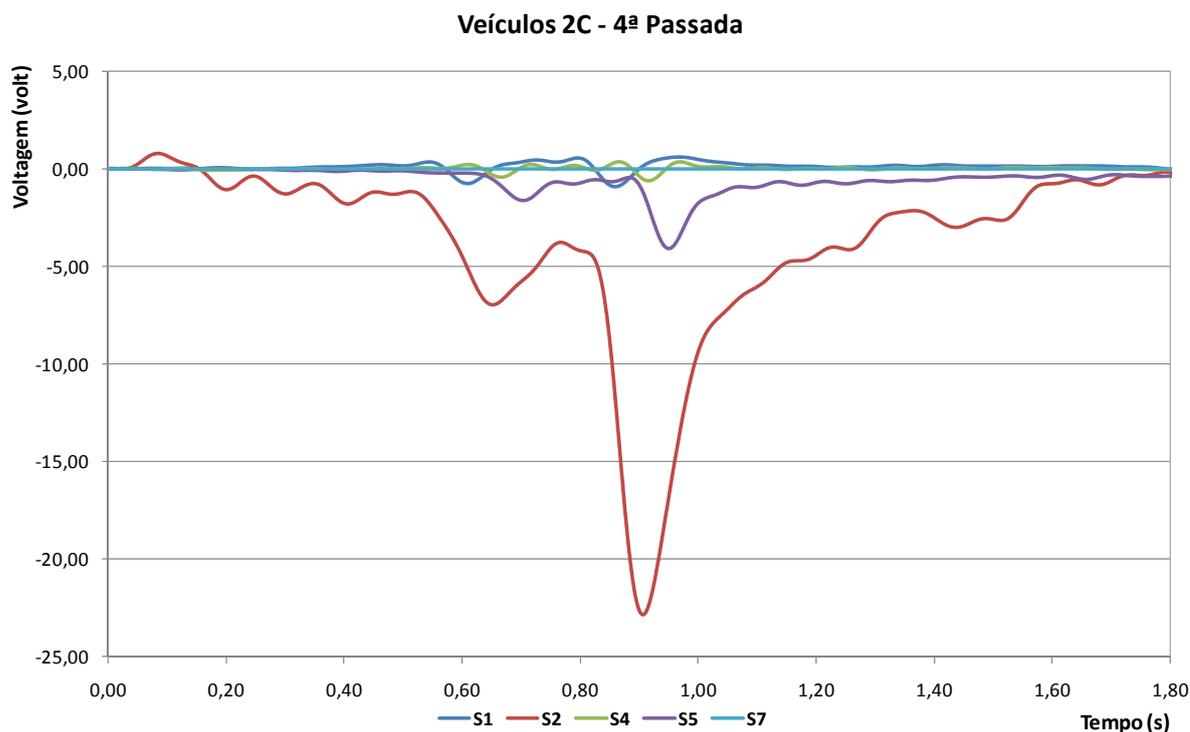


Figura 8 – Dados da 4ª passada do veículo 2C a 55 km/h.

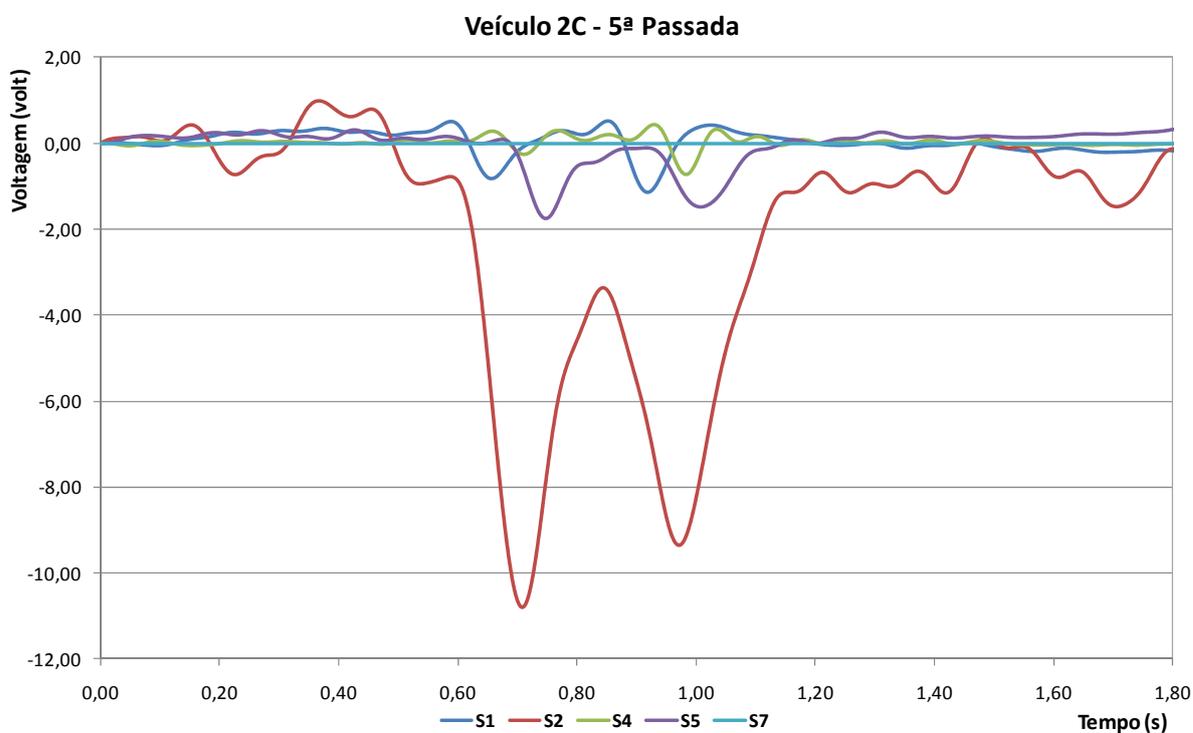


Figura 9 – Dados da 5ª passada do veículo 2C a 55 km/h.

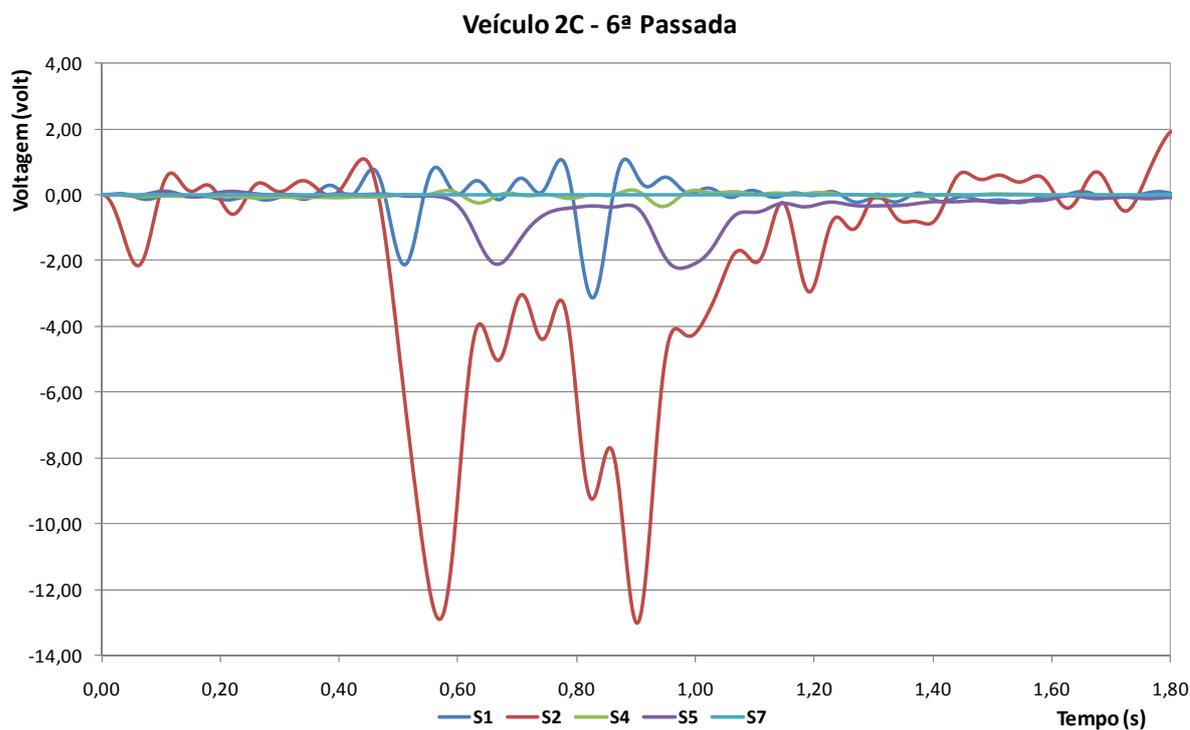


Figura 10 – Dados da 6ª passada do veículo 2C a 55 km/h.

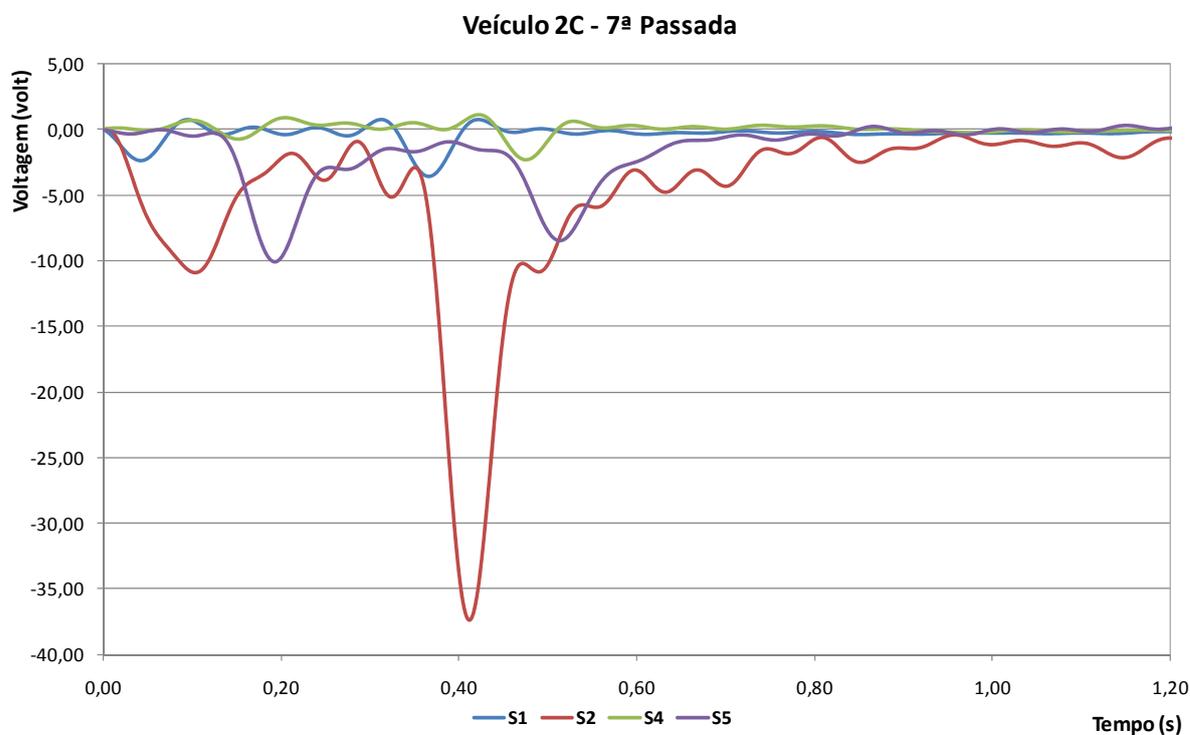


Figura 11 – Dados da 7ª passada do veículo 2C a 55 km/h

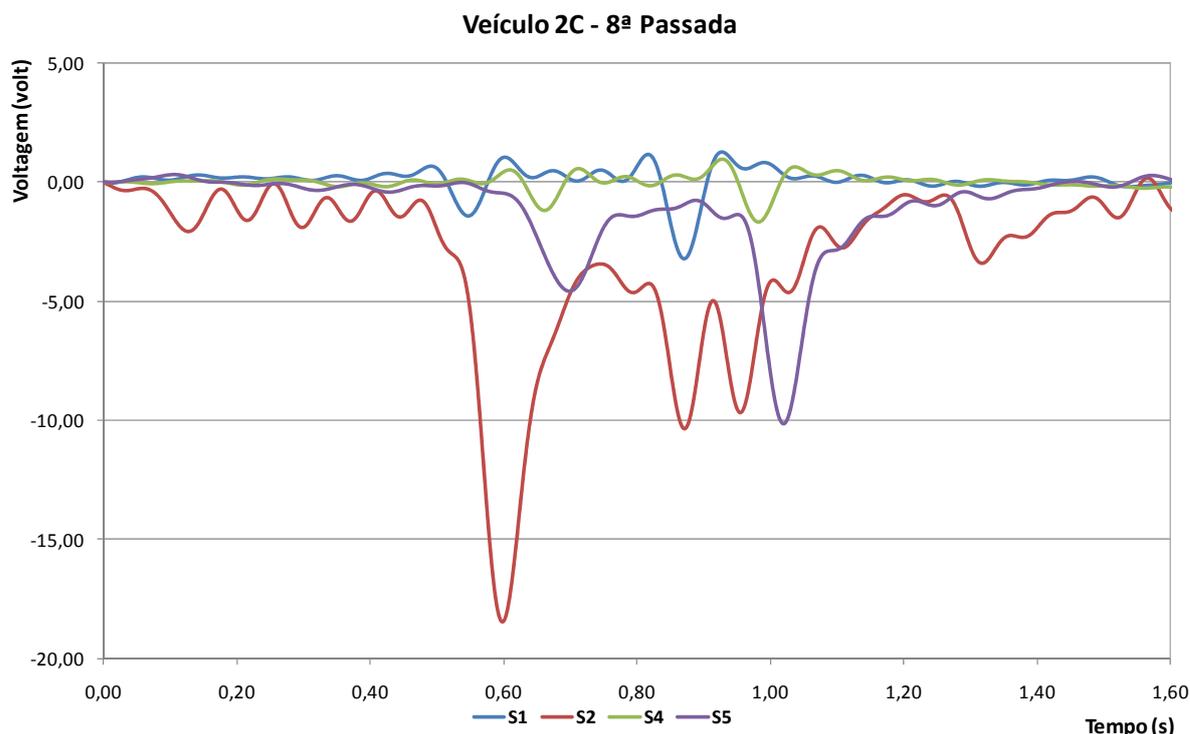


Figura 12 – Dados da 8ª passada do veículo 2C a 55 km/h

### 2.2.2 Testes de deformação realizados em novembro de 2009

Os testes realizados no dia 25 de novembro de 2009 tiveram objetivo verificar o comportamento do sinal obtido no conjunto de sensores na execução de testes com caminhões de eixos em tandem duplo. Assim, escolheu-se um caminhão com carga conhecida e pertencente ao grupo mais representativos da frota no trecho da rodovia. A Tabela 6 apresenta os dados de pesos do caminhão 3C conferido na balança de trânsito lento do PPV 16.06.

Tabela 6- Dados de peso do veículo 3C do teste realizado no dia 25/11/2009.

Pesagem	Massa em Kg			
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	PBT
Balança de trânsito lento do PPV	4380	8400	8260	21040

A melhor visualização dos dados é na forma de gráficos que apresentam a variação da voltagem do sensor ao longo do tempo, em segundos, no momento em que os eixos passam sobre os sensores. Durante os testes foram modificados os ganhos dos sensores para a verificação do melhor resultado

Nos testes foram armazenados quatorze (14) passadas com carga plena e velocidade aproximadas de 50 km/h. A passada de número 8 foi excluída da amostra

por apresentar problemas no armazenamento da informações, que não puderam ser recuperadas.

Cada um dos gráficos apresentados representa uma passada e aglutina as informações coletadas dos sensores S1 (longitudinal), S2 (transversal), S4 (longitudinal), S5 (transversal) e S7 (de referência térmica). As Figuras de 13 a 25 apresentam os gráficos com os valores de voltagem obtidos pelos sensores nas passadas com o veículo 3C.

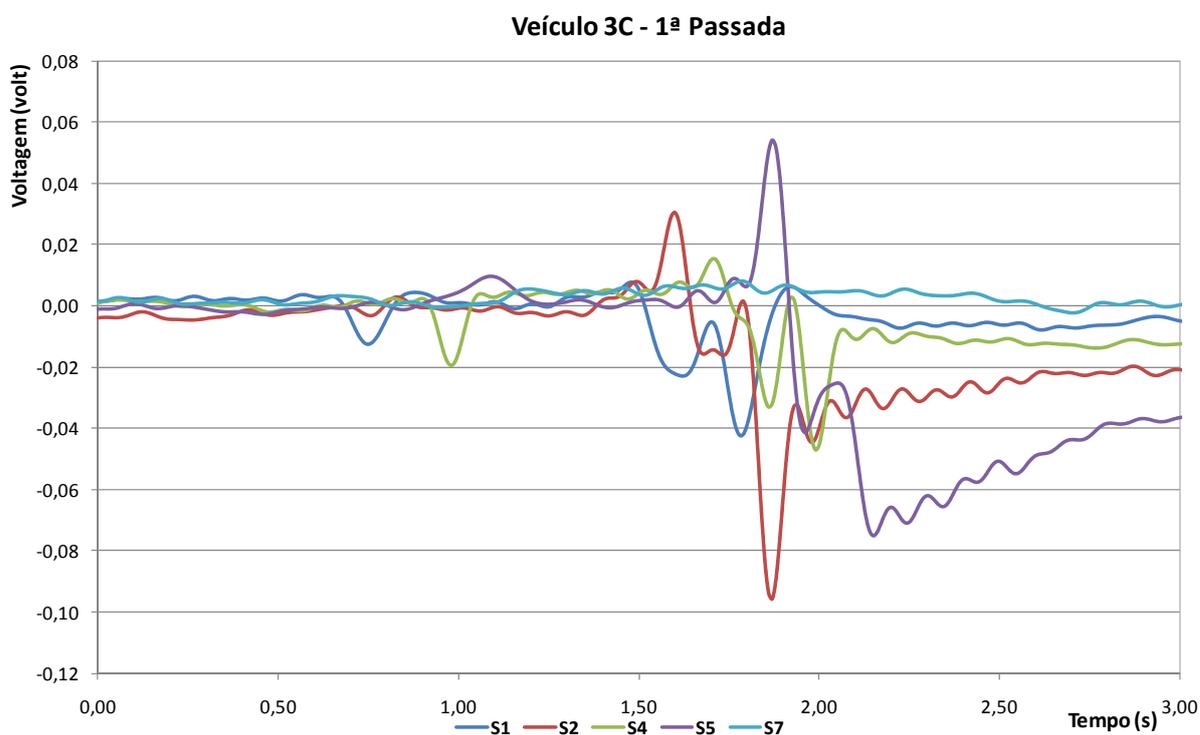


Figura 13– Dados da 1ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

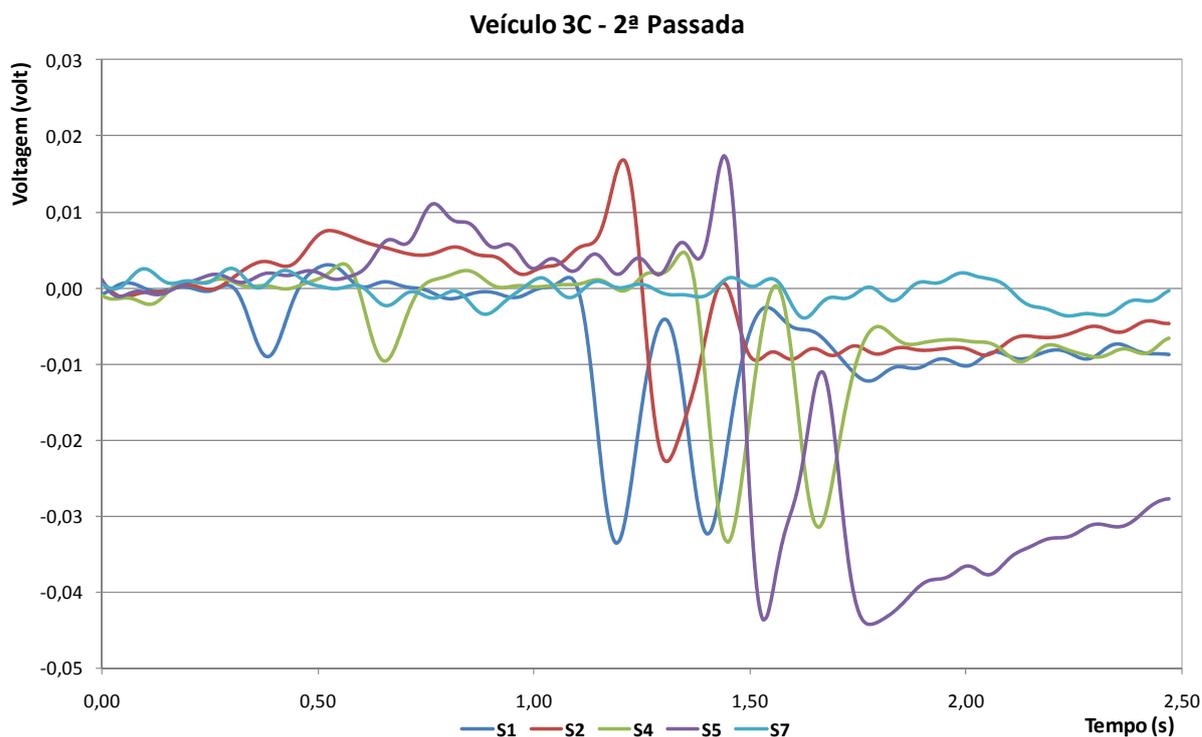


Figura 14– Dados da 2ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

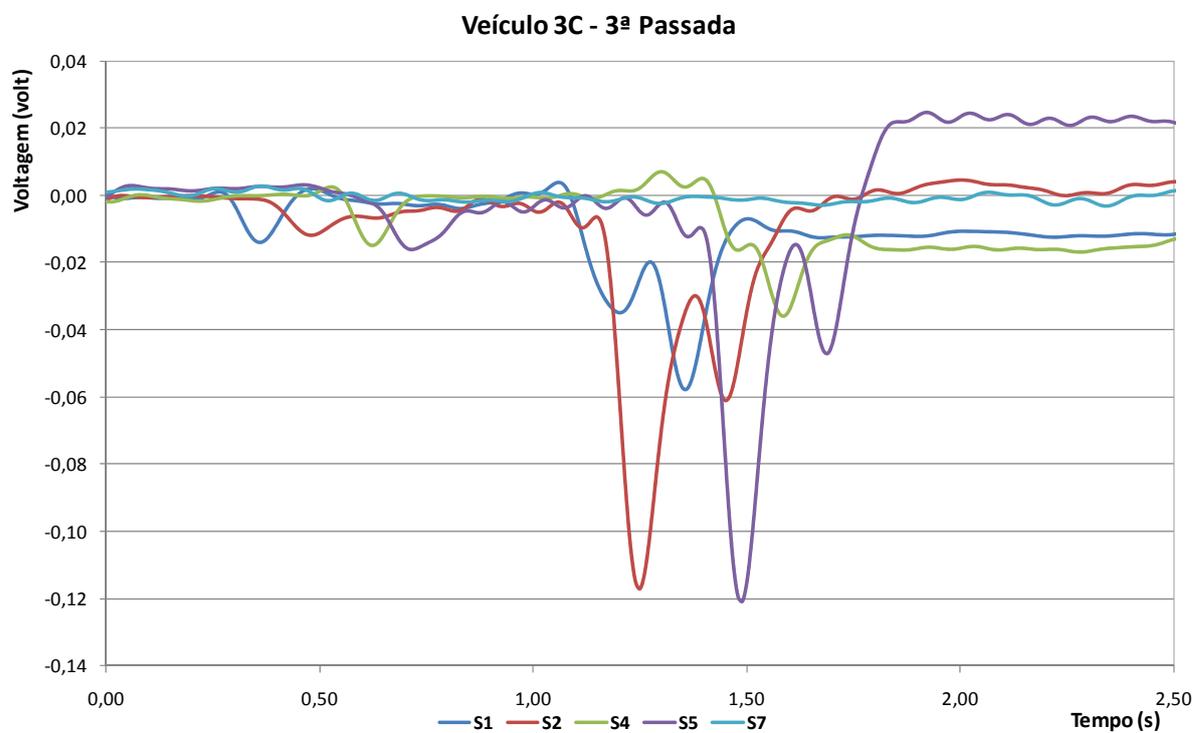


Figura 15– Dados da 3ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

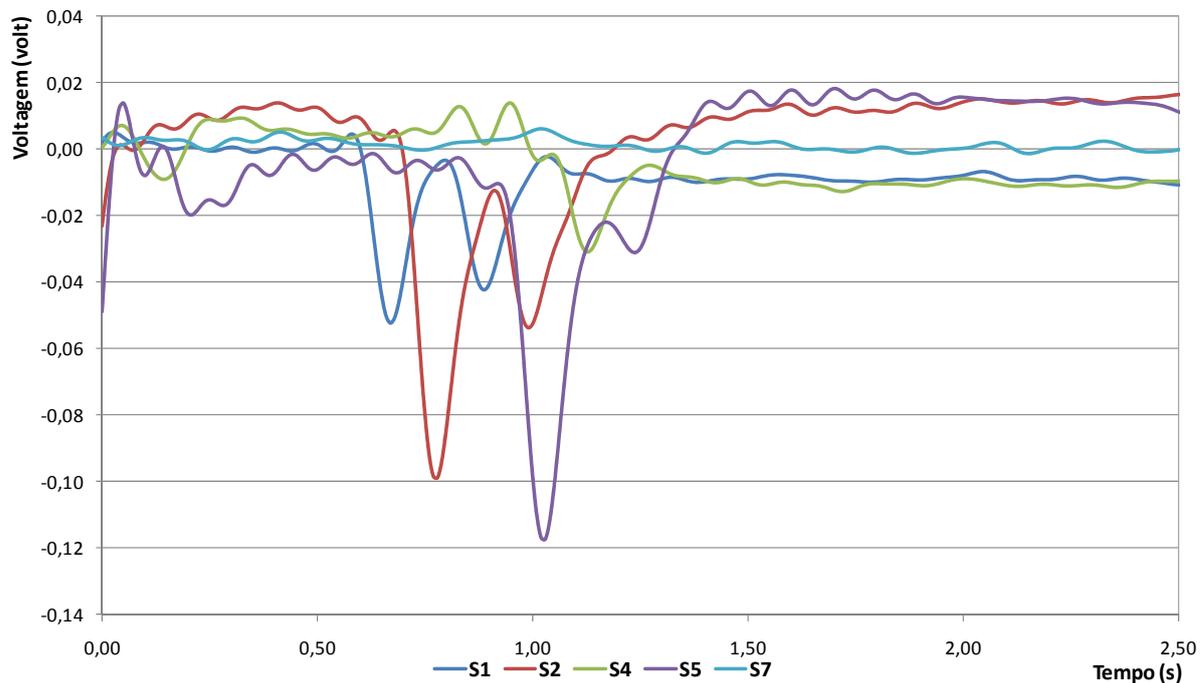
**Veículo 3C - 4ª Passada**

Figura 16– Dados da 4ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

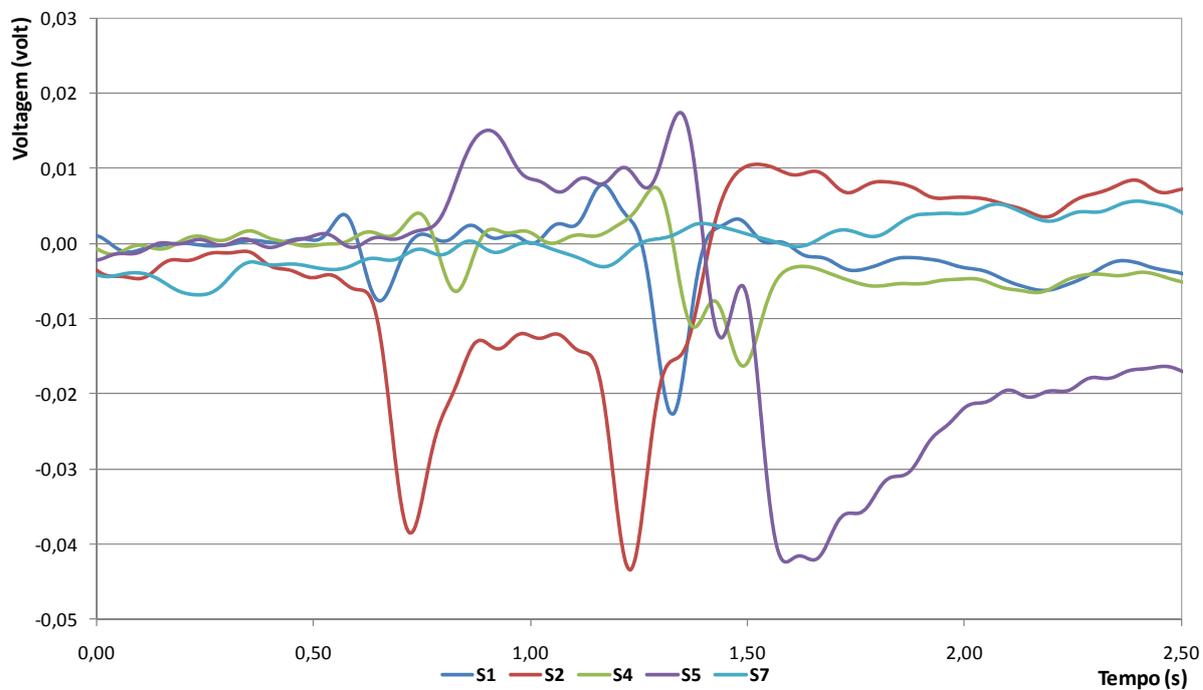
**Veículo 3C - 5ª Passada**

Figura 17– Dados da 5ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

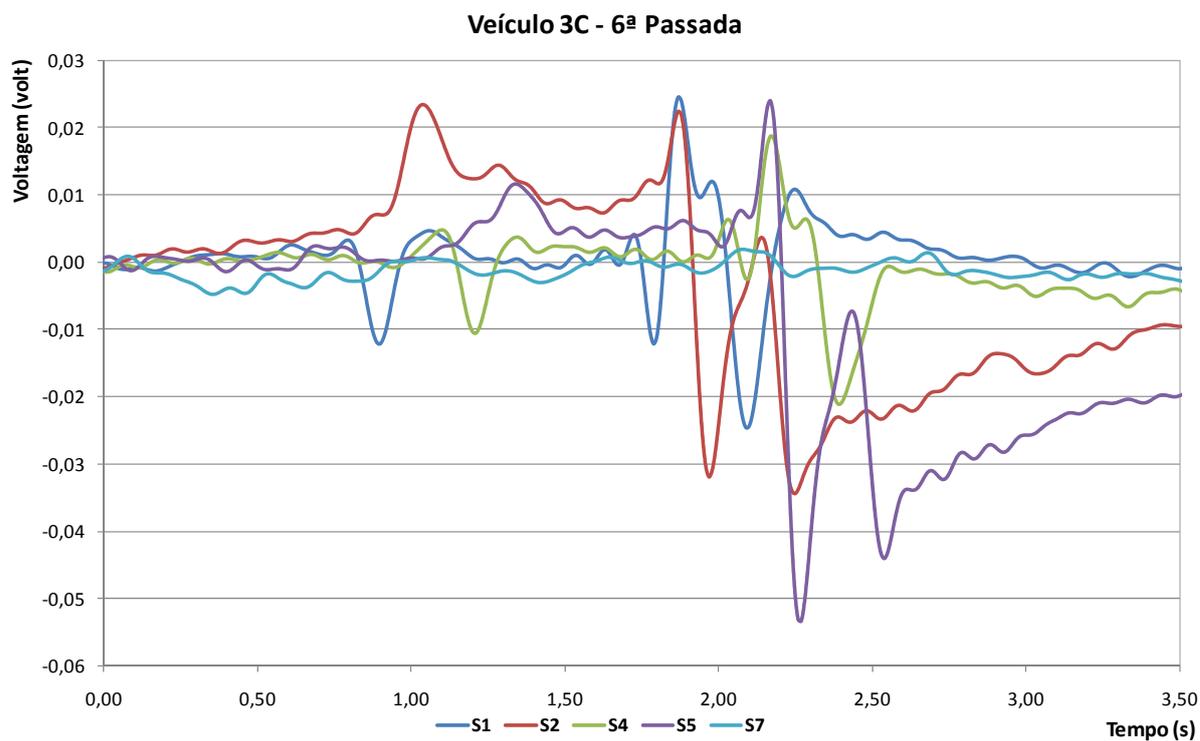


Figura 18– Dados da 6ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

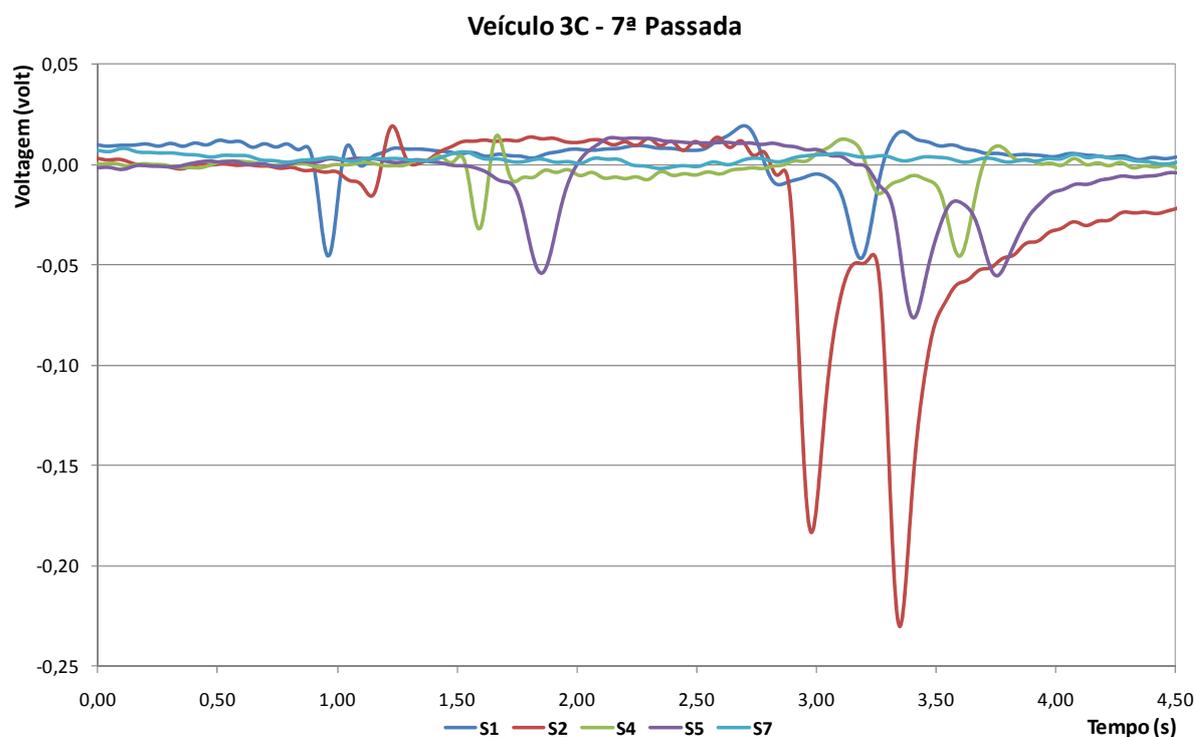


Figura 19– Dados da 7ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

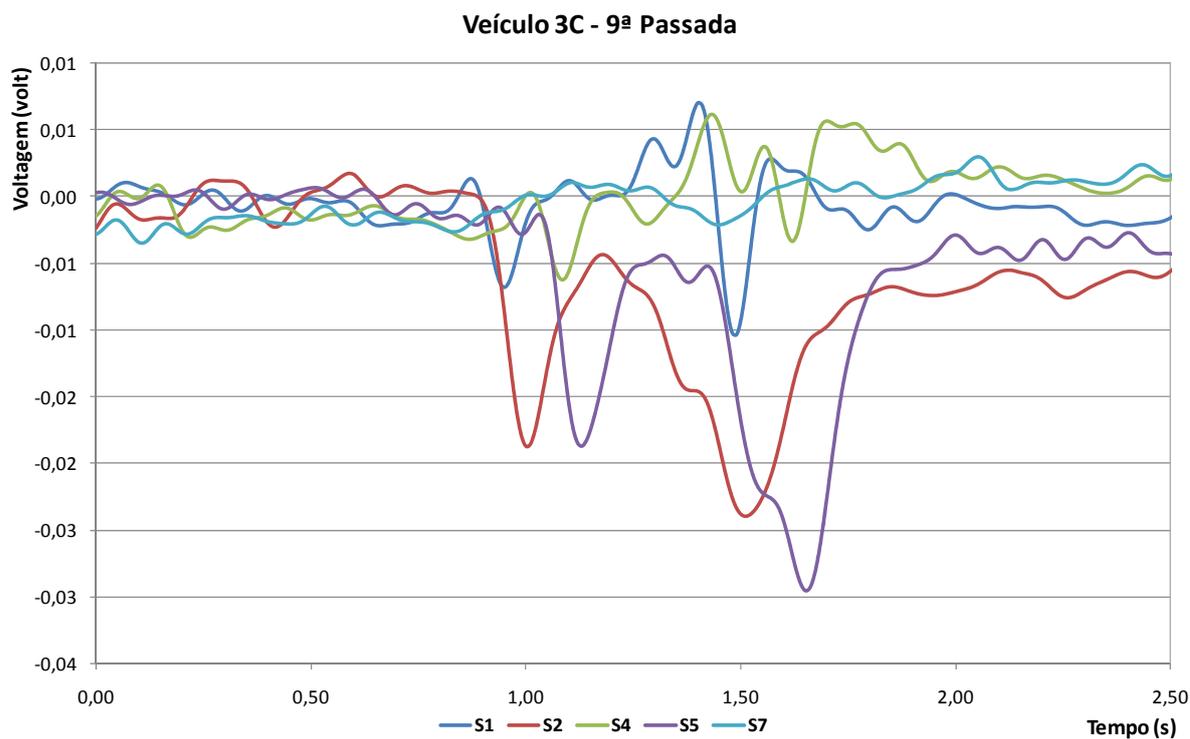


Figura 20– Dados da 9ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

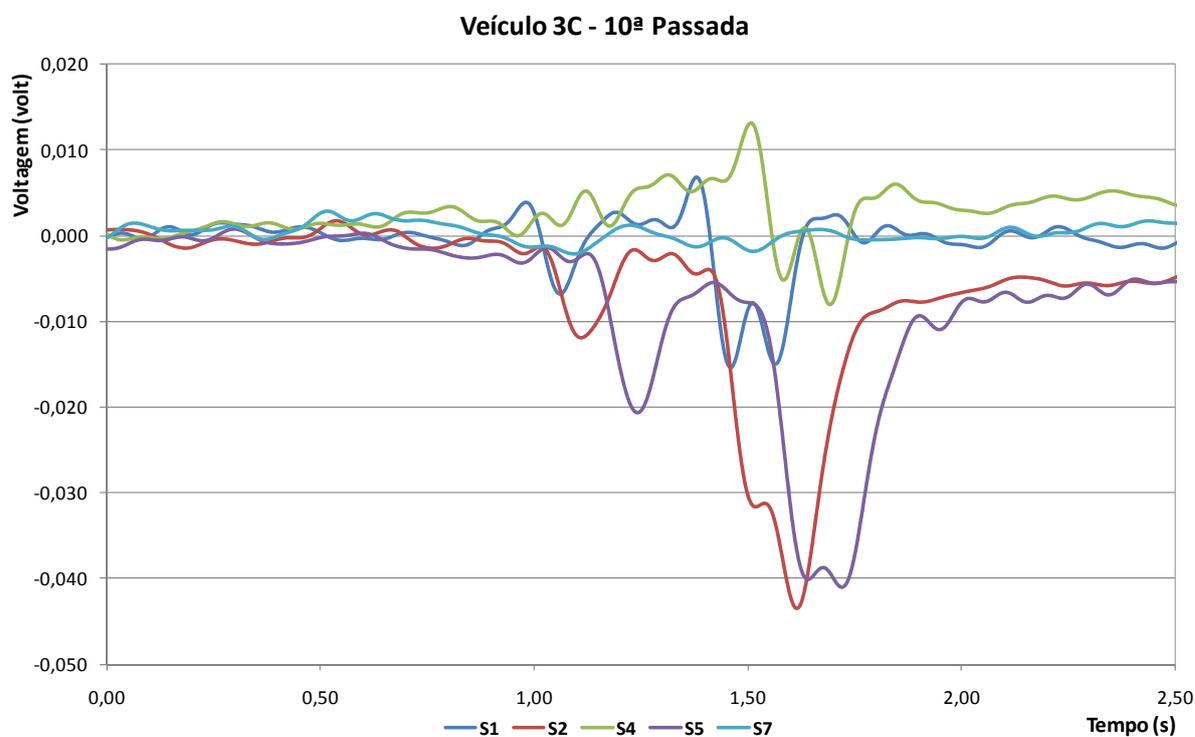


Figura 21– Dados da 10ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

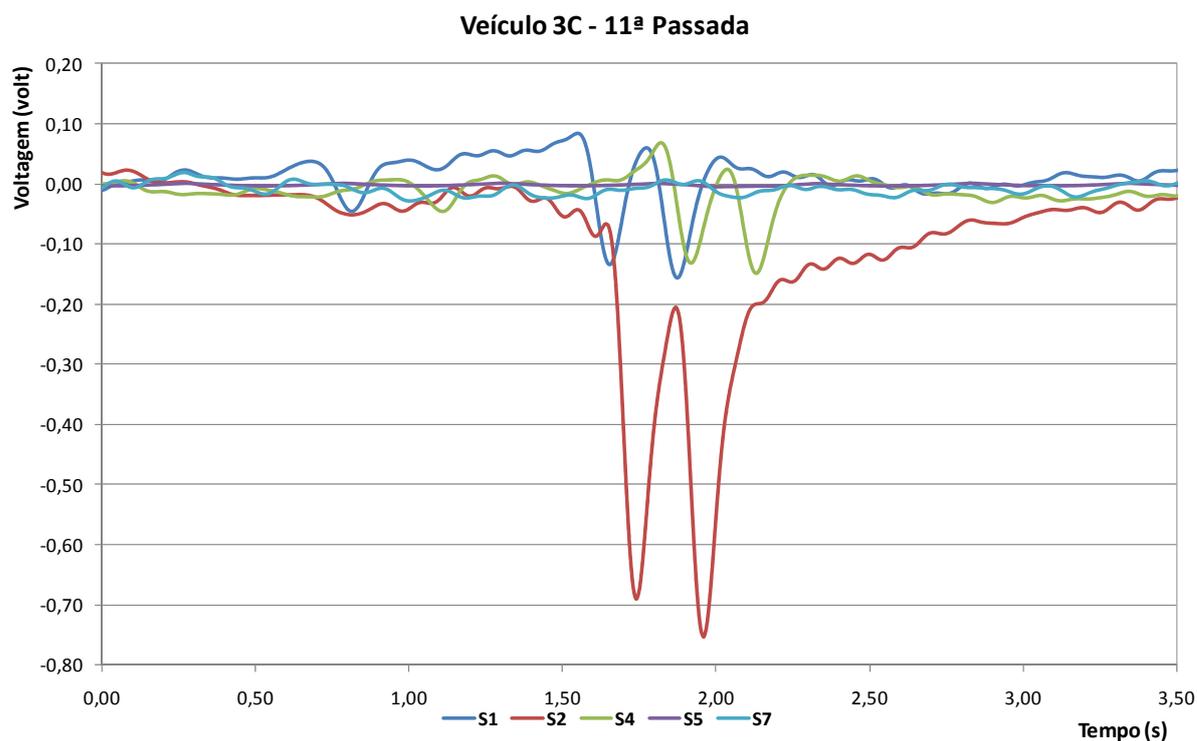


Figura 22– Dados da 11ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

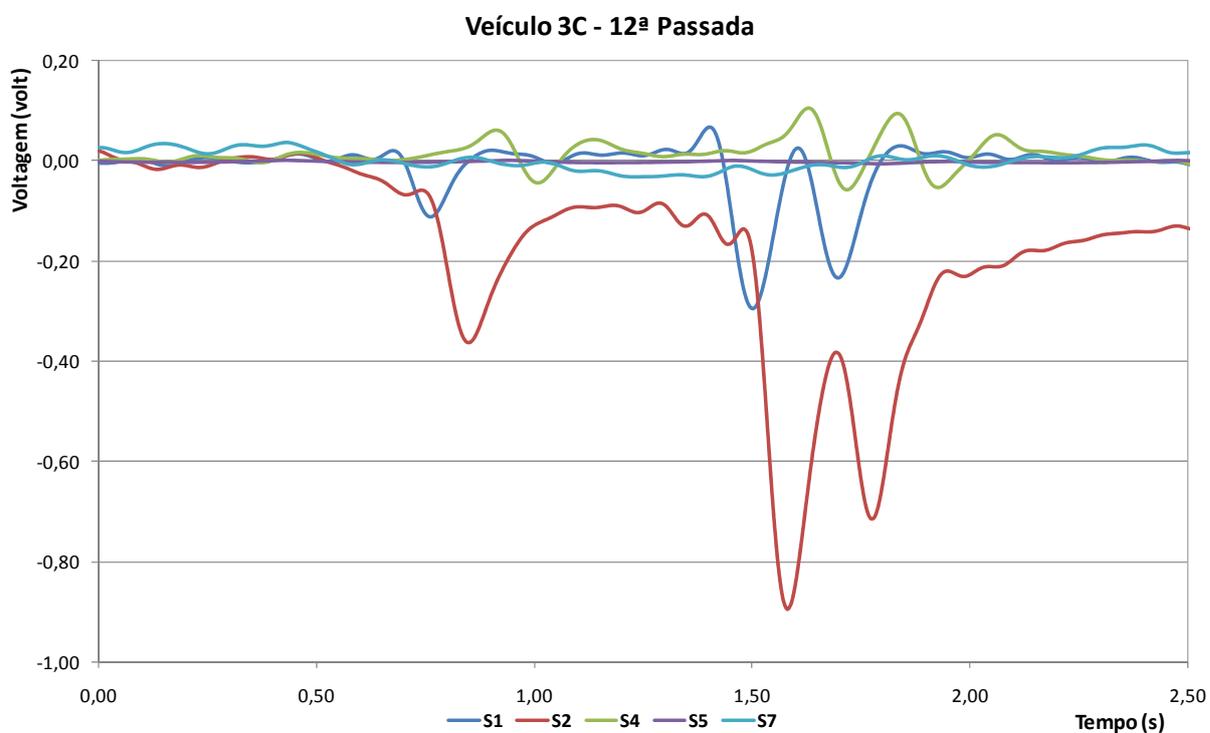


Figura 23– Dados da 12ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

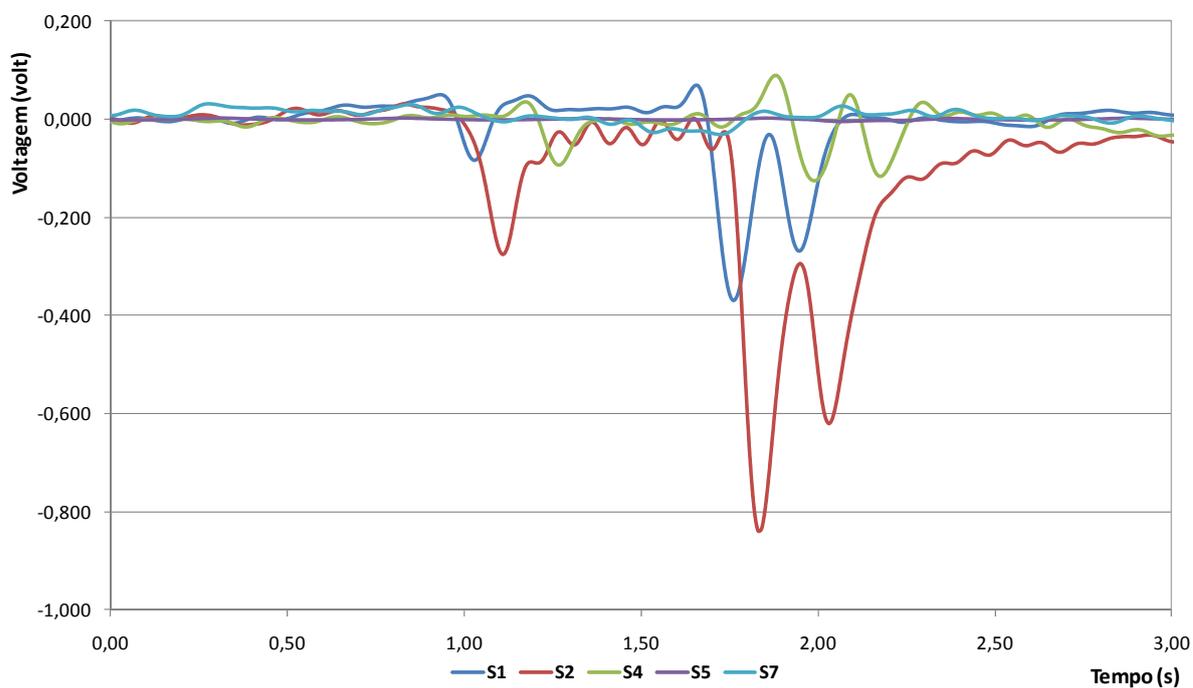
**Veículo 3C - 13ª Passada**

Figura 24– Dados da 13ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

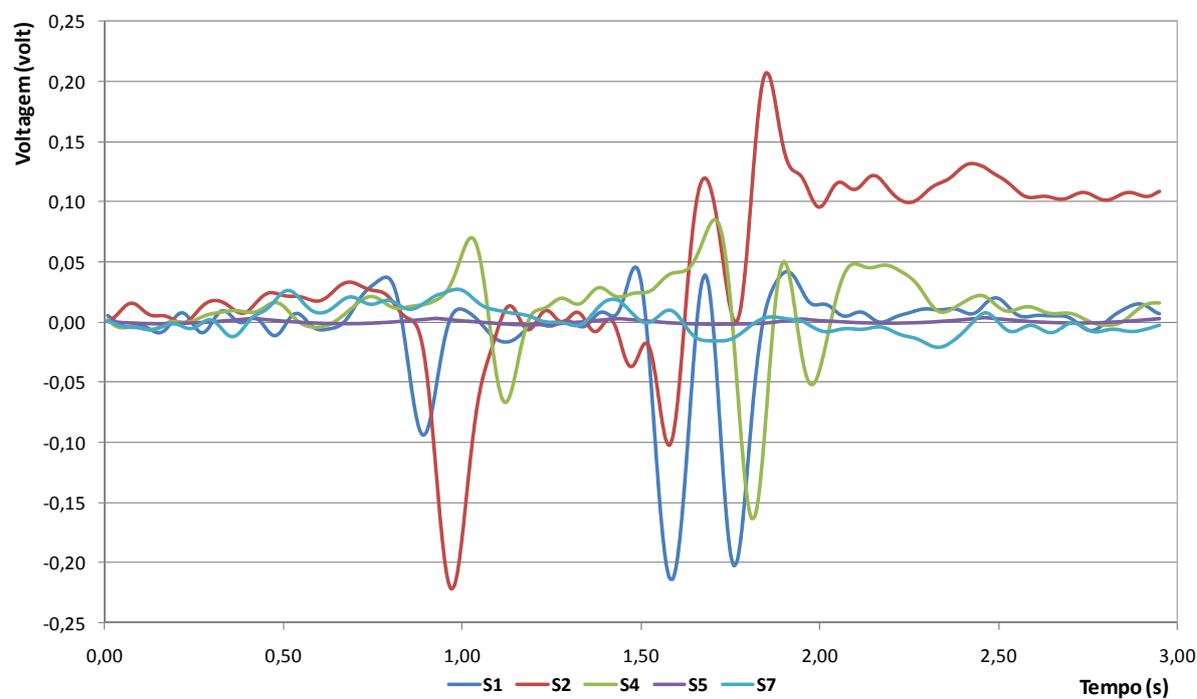
**Veículo 3C - 14ª Passada**

Figura 25– Dados da 14ª passada do veículo 3C a 50 km/h.

---

## **CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DOS DADOS COLETADOS**

---

### **3 AVALIAÇÃO DOS DADOS COLETADOS**

As variáveis envolvidas nos eventos consideram as características randômicas e os diferentes tipos de sensores. A interação entre a velocidade do veículo, os tipos de suspensão e suas respectivas frequências e as condições da superfície de rolamento sobre a área de testes com os sensores instalados são características randômicas e irão influenciar na análise dos dados coletados.

A análise dos dados coletados foi feita a partir de uma seleção de subconjunto representativo de informações que permitam avaliar a consistência e homogeneidade para cada tipo de sensor nos diversos testes realizados.

O objetivo da avaliação é a verificação da dispersão dos resultados, primeiramente com relação aos dados de um mesmo sensor em diferentes passadas dos eixos do veículo de teste e em seguida com relação a uma mesma passada nos diferentes sensores de mesma tecnologia.

Na avaliação, as informações são organizadas pelo tipo de tecnologia de sensor instalado, que inclui os respectivos sistemas de aquisição e tratamento de dados, e características dos testes realizados, tais como: o tipo de veículo; o carregamento e; a velocidade. Os dados armazenados representam o ganho de cada sensor em um determinado instante, o que é proporcional a força aplicada.

#### **3.1 Base de dados**

A avaliação será efetuada num sub conjunto de dados obtidos dos testes realizados, representativos dos demais conjuntos de informações coletadas. Para isto foram selecionados um grupo de três (3) testes para cada tipo de sensor em diferentes condições de velocidade, carregamento e pressão de insulflagem. O resultados das análises serão organizados conforme os tipo de veículo e o carregamento adotado.

##### **3.1.1 Sistema Piezoelétrico Quartzo**

Foram selecionados três conjunto de dados para avaliação das informações coletadas no sistema de pesagem em movimento com tecnologia piezoelétrico Quartzo.

A Tabela 7 apresenta os dados referente ao teste realizado no dia 14 de outubro de 2009 com carga plena, pressão de insulflagem de 60 psi e velocidade de 30 km/h.

Tabela 7- Dados do sistema quartzo a 30 km/h e pressão de 60 psi (14/10/09).

EIXO	Linha	Massa em kg									
		Número da passada									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2763	2973	2794	2786	2870	2943	3170	2798	2951	3081
	2	2935	2899	2927	2812	2946	3070	3162	2856	3134	3311
	3	3025	3008	2881	2629	2612	3037	3285	2772	2999	3468
	4	2783	2889	2936	2823	2726	2813	3080	2847	2871	3286
	5	2974	3005	2865	2630	2882	3203	3007	2740	3180	2960
	6	2805	2804	2832	2685	2807	2855	2853	2974	2726	2931
	7	2434	2785	3029	3011	2896	2684	2777	2921	2716	2687
	8	2960	2984	2856	2801	2933	3053	2998	2778	3146	2912
	9	2799	3100	2660	2473	2638	2786	3149	2840	2860	2910
	10	2708	2883	3118	3213	3024	2954	2985	3141	2946	2844
	11	2821	3058	2819	2808	2916	2972	3119	2722	2955	2878
	12	2850	3013	2466	2354	2390	2887	3185	2512	2767	2992
	13	2658	2834	3078	3114	2946	2987	3017	2810	3069	2872
	14	2766	2576	2830	2657	2840	3056	2700	2639	2901	2884
	15	2886	3106	3056	3037	3155	2955	3023	3469	2875	3071
	16	2644	2997	3017	3167	3140	2885	3079	3093	3001	2861
2	1	4296	4595	3850	3437	3507	3969	3629	3312	3822	4012
	2	3603	4020	3860	3529	3698	4448	4578	3970	4377	4781
	3	4463	4077	4088	4002	4623	4388	4795	4347	4810	4754
	4	4870	4649	3987	3405	3502	4138	3974	3396	4152	4132
	5	3406	3815	3189	3576	4641	4111	4459	4293	4172	4278
	6	4419	4095	3482	3616	4673	4098	3896	3686	4309	4014
	7	4671	4800	3966	2762	3473	4599	4400	3271	4480	4442
	8	3867	4265	4178	3527	4061	4911	4995	4371	4629	4622
	9	4713	4284	4176	4106	4112	4040	4156	3996	4193	3508
	10	4673	4647	4904	4209	3591	4134	3727	4094	3829	3788
	11	3756	4132	4339	4234	4055	4572	4819	4964	4259	4749
	12	3895	3959	3649	4109	4354	3872	4038	4436	4211	3830
	13	4684	5009	5323	4535	3624	4921	4580	4938	4617	4704
	14	3978	3907	4628	5133	4723	4218	4442	5723	4028	4219
	15	4523	4172	5020	5387	4947	4100	3821	4728	4246	3856
	16	4219	4554	4392	3986	4076	4069	3986	4272	3861	4090
3	1	3871	3547	4211	3851	4161	4358	4749	4432	4344	4859
	2	4878	3958	4021	4073	4520	4075	4281	4064	4285	4150
	3	4453	4690	4130	3651	3505	4125	4090	3786	3890	4144
	4	3409	3312	3880	3882	3703	3963	4271	4424	4128	4618
	5	5235	4856	4229	3553	3920	4655	4313	3541	4613	4206
	6	4303	4519	4640	3439	3385	4556	4410	4034	4258	4350
	7	3901	3721	4114	4119	4199	4201	4484	4968	4243	4279
	8	4622	4170	3982	4278	4004	3650	3567	4075	3728	3465
	9	3287	3788	3708	3351	3068	3582	3383	3487	3548	3580
	10	2994	3362	3622	4199	4369	4049	4251	4466	4255	4248
	11	4852	4526	3885	4080	4564	4383	4383	3949	4386	4280
	12	4235	4569	3894	2920	3327	4196	4122	3241	3957	3988
	13	3377	3347	3752	4679	5071	3405	3760	4714	3575	3568
	14	3985	4160	3935	3750	4273	3739	3441	3452	3928	3756
	15	3757	4184	3523	2926	3700	4313	4190	3524	4037	4689
	16	4022	4054	3400	3567	4604	4436	4914	4287	4514	4595
Vel. (km/h)		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Os dados referentes ao teste do dia 25 de outubro de 2009, utilizando um caminhão 3C descarregado (somente a tara do veículo) e velocidade de 70 km/h são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados do sistema quartzo, sem carga e a 70 km/h (25/10/09).

Eixo	Linha	Massa em kg										
		Número da passada										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1903	2326	2487	2264	1900	2294	2243	2286	2371	2442	2406
	2	2143	2692	2383	2772	1717	2503	2618	2467	2516	2484	2458
	3	2315	2405	2401	2736	1994	2540	2571	2583	2391	2417	2666
	4	2206	2333	2502	2238	2165	2329	2331	2383	2397	2419	2453
	5	2239	2602	2250	2591	1741	2532	2618	2529	2523	2455	2645
	6	2184	2148	2390	2381	1924	2426	2191	2289	2256	2318	2299
	7	2033	2017	2156	2100	1890	1958	1889	2098	2081	2065	1974
	8	2131	2428	2207	2668	1805	2393	2463	2333	2362	2219	2414
	9	2153	2302	2398	2424	1989	2358	2369	2343	2280	2444	2681
	10	2643	2452	2607	2384	2723	2476	2352	2570	2512	2520	2389
	11	2298	2486	2223	2548	1925	2345	2582	2379	2320	2492	2561
	12	1902	2054	2175	2275	1746	2233	2192	2134	2051	2213	2389
	13	2408	2595	2556	2384	2529	2440	2493	2441	2544	2520	2248
	14	2455	2399	2214	2654	2165	2422	2367	2517	2574	2097	2226
	15	2541	2332	2653	2624	2482	2601	2420	2582	2496	2526	2555
	16	2393	2659	2641	2337	2290	2486	2535	2558	2569	2724	2391
2	1	1495	2159	1785	1503	1335	1896	2160	1605	1731	2082	2055
	2	1721	2114	2746	2316	1679	2399	2055	2790	2780	2358	2109
	3	1660	1922	1451	1805	1488	1690	1588	1277	1356	1489	1839
	4	1653	1849	2309	2084	1779	1992	2013	2237	2079	1856	1870
	5	1552	2534	2234	2836	1114	2443	2301	2121	2302	2290	2363
	6	2037	1542	1866	1549	1807	1798	1711	1979	1784	1605	1777
	7	1271	1779	1810	1978	1265	1723	2121	1604	1812	1897	1491
	8	1877	2097	2107	2266	1734	2102	1837	2155	2293	2118	1930
	9	1634	2213	1868	1554	1268	2137	2199	1782	1795	1971	2241
	10	2287	1575	2211	2003	2127	1833	1833	2195	2180	1845	1722
	11	1360	1926	1592	1722	1264	1492	1895	1338	1589	1734	1815
	12	1530	1830	2062	2179	1374	2013	1908	2086	2055	1915	2105
	13	1222	1579	1690	2263	1003	1740	1864	1693	1851	1778	1738
	14	2599	1923	1931	1177	2444	1892	1645	2049	2000	1933	1968
	15	1205	1900	1927	2649	1032	1929	2135	1799	1811	1764	1652
	16	2365	1847	2223	1299	2502	2042	2104	2338	2492	2360	1967
3	1	1311	2015	1645	1931	1204	1930	1816	1559	1718	1919	1984
	2	2056	1858	2096	1858	2055	1977	1626	2124	1971	1708	1667
	3	1029	1939	1660	2113	958	1445	2199	1527	1514	1830	1775
	4	1878	1912	2050	1702	1994	2060	1754	2119	2355	2096	1972
	5	1305	1884	1961	1207	1303	1922	1940	1781	1824	1764	1790
	6	1727	1510	1431	2231	1805	1417	1731	1890	1685	1562	1433
	7	1521	2287	2223	1594	1157	2376	2271	2151	2567	2255	2103
	8	1925	1736	1764	2106	1852	1692	1753	1663	1649	1772	1818
	9	1165	1849	1701	1372	1070	1634	1979	1745	1718	1660	1676
	10	2145	1336	1393	2010	2137	1430	1179	1496	1636	1388	1327
	11	1213	2100	1881	1887	1112	2115	2235	1653	1823	1989	2279
	12	1582	1698	2026	1872	1531	1753	2004	2340	2066	1945	1919
	13	1500	1685	1801	2107	1362	1753	1582	1640	1667	1729	1831
	14	1791	1632	1823	1460	2043	1605	1578	1660	1649	1654	1517
	15	1501	2356	2236	1829	1294	2268	2440	2526	2400	2304	2080
	16	2180	1734	1591	2160	1849	1588	1419	1474	1537	1657	1775
Vel. (km/h)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	

A 0 contém dados do teste realizado dia 25 e outubro de 2009 utilizando um caminhão 3C, meia carga e velocidade de 50 km/h.

Tabela 9 - Dados do sistema quartzo com meia carga, a 50 km/h (25/10/09).

Eixo	Linha	Massa em kg					
		Número da passada					
		1	2	3	4	5	6
1	1	-	2727	2800	2783	2977	2926
	2	-	2707	3127	2939	3212	3066
	3	-	3105	2874	3115	3019	3063
	4	-	3019	3012	2791	2866	2809
	5	-	2854	3156	3038	3046	3103
	6	-	2972	2688	2924	2741	2686
	7	-	2768	2789	2535	2670	2636
	8	-	2735	2998	2928	2924	2901
	9	-	2973	2767	2929	2890	2921
	10	-	3229	3226	2974	3093	3017
	11	-	2691	3000	2747	2830	2968
	12	-	2601	2324	2824	2635	2750
	13	-	2907	3046	2888	3204	3060
	14	-	2782	3011	2948	2868	2775
	15	-	3279	2867	3130	2864	2882
	16	-	3096	3122	2992	3182	3161
2	1	-	4418	4412	4808	4771	4595
	2	-	4284	4518	4764	4405	4451
	3	-	4095	4560	3980	4450	4404
	4	-	4330	4099	4507	4304	4171
	5	-	4425	4303	4802	4686	5023
	6	-	4317	4645	4086	4240	4162
	7	-	4101	4225	4247	4259	3940
	8	-	4407	4125	4591	4631	4632
	9	-	4182	4425	4406	4853	4720
	10	-	4645	4681	4600	4182	4216
	11	-	4161	4057	4354	4051	4301
	12	-	3984	4307	4146	4540	4376
	13	-	4291	4544	4504	4476	4330
	14	-	4444	4385	4247	4203	4463
	15	-	4463	4539	4104	4411	4000
	16	-	4641	4572	4770	4855	4596
3	1	-	4321	4446	4205	4266	4251
	2	-	4090	4473	4137	4496	4196
	3	-	4392	4186	4749	4547	4414
	4	-	4070	4160	4354	4739	4733
	5	-	3952	4313	3910	4072	3911
	6	-	4277	3885	4402	3978	4061
	7	-	4496	4419	4677	5054	4928
	8	-	4301	4660	4418	4725	4428
	9	-	3751	3702	3842	3223	3592
	10	-	4162	3996	3906	4053	4097
	11	-	4566	4767	5002	5148	4896
	12	-	4304	4044	4748	4203	4658
	13	-	4144	3947	3866	3915	3868
	14	-	4336	4499	4208	4464	4198
	15	-	4624	4504	4856	4636	4751
	16	-	4713	4666	4680	4708	4763

### 3.1.2 Sistema Piezoelétrico Cerâmico

Foram selecionados três conjuntos de dados para avaliação do sistema cerâmico. O dados apresentados na Tabela 10, refere-se os dados do teste realizado no dia 25 de outubro de 2009 com meia carga sobre o veículo 3C na velocidade de 30 km/h.

Tabela 10- Dados do sistema cerâmico com meia carga, a 40 km/h (25/10/09).

Eixo	Linha	Massa em kg					
		Número da passada					
		1	2	3	4	5	6
1	1	1800	2300	2000	4700	2900	3200
	2	2500	2400	2000	4300	2900	3300
	3	5900	6400	6300	3800	3200	7700
	4	2400	3000	2900	3000	3300	3600
	5	3600	3300	3300	3500	4200	3400
	6	2900	3100	3300	4300	3800	3200
	7	2900	3000	3500	4000	8900	4300
	8	1900	3000	3800	3700	5100	4000
	9	6000	3400	3600	-	3500	3500
	10	3500	3700	4100	-	3300	3600
	11	3300	7200	8600	-	-	7700
	12	3200	5200	5200	-	-	5300
	13	-	-	-	-	-	-
	14	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	-
2	1	3300	3700	3600	6300	4200	4400
	2	4000	3600	4000	6400	4800	5100
	3	8600	9600	9100	4800	5800	10700
	4	4000	4800	5100	5300	4700	5000
	5	4400	5100	5300	5100	6400	5400
	6	4600	5000	4200	7500	6100	5600
	7	4800	4500	5900	5800	13000	6500
	8	5000	4700	5900	5400	8300	5900
	9	11600	5400	6000	-	5300	5800
	10	5700	5800	6100	-	5100	5500
	11	5000	14400	10700	-	-	12900
	12	4200	7500	7700	-	-	7900
	13	-	-	-	-	-	-
	14	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	-
3	1	3500	2700	3100	6800	4300	4400
	2	3900	4000	3200	6400	4800	5300
	3	7200	9200	9800	6100	7500	11100
	4	4200	4600	5400	4700	5000	6500
	5	4400	6000	5200	6300	6900	6200
	6	4000	5500	5100	6600	5500	7000
	7	4600	5000	5500	5200	15500	6600
	8	4000	4500	6100	5700	10200	5300
	9	12300	5700	6500	-	5100	5400
	10	5300	5000	5900	-	5200	5700
	11	5000	15000	14100	-	-	16200
	12	4000	9100	9900	-	-	10000
	13	-	-	-	-	-	-
	14	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	-
Vel. (km/h)		33	43	41	45	41	41

Os dados apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** referem-se ao teste do dia 25 de outubro de 2009 onde, foi utilizado o caminhão 3C, com a carga plena e velocidade de 50 km/h.

Tabela 11- Dados do sistema cerâmico com carga plena a 50 km/h (25/10/09).

Eixo	Linha	Massa em kg											
		Número da passada											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1	2600	2400	1900	2300	2600	2800	2300	1900	2400	2200	2300	
	2	2900	3000	2500	2800	3100	2600	2600	2200	2400	1800	1700	
	3	3100	3400	3200	3100	3300	3200	3200	1700	3100	3100	3900	
	4	2500	2800	2800	2500	2600	2700	2900	1900	2900	2000	4200	
	5	9800	9600	10200	9400	9700	9400	9300	9500	9300	9200	9300	
	6	5500	5400	6100	5400	5400	5100	5500	6800	5200	4300	4100	
	7	5000	4600	4600	4600	4700	5100	5400	5200	5600	3700	3600	
	8	5000	4300	6000	4400	4900	5100	4000	7700	4100	5100	5000	
	9	4400	4400	5800	4900	4700	4400	4000	6000	3700	5400	4600	
	10	4200	4800	4600	4700	4400	4300	5500	5200	5300	3900	4300	
	11	3900	4200	4700	3900	3800	-	5000	4200	5200	4500	-	
	12	4200	4500	3400	4600	4600	-	3800	3400	4300	4000	-	
	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	1	5400	5800	4600	5300	5800	5800	5400	4400	5800	5700	6000	
	2	7100	6800	7400	6900	7200	6600	6700	5600	6600	5300	6300	
	3	6600	6600	6200	6600	6700	7200	6400	4200	6300	6700	8200	
	4	6000	5500	5600	5900	5400	6000	5900	5000	5800	5900	6900	
	5	19300	19200	19400	19100	18300	18600	19200	19100	19200	16100	16100	
	6	10800	10500	12200	10400	10600	10400	11000	11400	9100	8800	8500	
	7	10000	9900	8600	9700	9700	10100	11500	10100	10400	8800	9200	
	8	10700	8000	12800	8500	11000	10600	8500	12700	8600	10800	10200	
	9	9400	9300	11400	9900	10400	10000	9900	10100	9600	10400	8200	
	10	8200	11100	8700	11000	8500	8700	12100	7400	10100	8100	8800	
	11	8900	9900	10400	9700	9500	-	11100	9600	9600	8500	-	
	12	8700	10000	8500	9400	9800	-	8800	7200	8300	7700	-	
	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	1	6000	5700	4800	5300	5900	5700	5700	4200	5400	5000	5400	
	2	6900	6000	6700	6200	6200	6000	6200	5400	5700	5600	5600	
	3	5800	5600	5800	5700	5600	6500	5800	4500	7000	6500	8100	
	4	6100	6200	5400	6100	6200	6400	5900	5300	6500	5700	8100	
	5	20800	20700	19800	20300	21000	20700	20500	15600	17700	17500	17000	
	6	11500	11600	11800	11200	11600	10700	11600	9400	10400	9700	10400	
	7	12400	9000	10700	9400	11800	12400	10700	10800	11000	9400	9200	
	8	11000	7500	13000	7900	12100	11400	8200	13000	8200	10400	9900	
	9	8800	11700	10600	12200	9300	9100	12300	10000	9800	9800	8800	
	10	8400	12300	7800	11000	8100	7800	12500	7900	11500	8500	8200	
	11	9400	11000	9800	10500	10800	-	11000	8800	9700	9000	-	
	12	8100	8300	7700	8600	7900	-	7600	5900	7600	6600	-	
	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vel. (km/h)		48	51	51	50	51	50	51	43	42	34	34	

A Tabela 12 apresenta os dados referente ao teste de 25 de novembro de 2009 com o caminhão 3C, carga plena e velocidade de 50 km/h.

Tabela 12- Dados do sistema cerâmico com carga plena, 50 km/h (25/11/09).

Eixo	Linha	Massa em kg					
		Número da passada					
		1	2	3	4	5	6
1	1	3100	3500	3200	3000	2400	2300
	2	2600	2600	3200	2200	2300	2300
	3	2600	3900	4000	3200	2500	2400
	4	2300	3600	2800	3500	3400	2700
	5	4100	4500	4600	4500	4000	2400
	6	2300	3100	3000	2900	2200	2600
	7	2200	2300	2200	2700	2600	4000
	8	2600	2500	3000	2800	2700	2200
	9	2200	3500	2700	2400	2200	3200
	10	1800	4400	2600	2100	2100	4300
	11	3000	3000	4000	3300	3400	1900
	12	3700	2200	4000	4400	5000	2000
	13	3000	3000	3400	3800	3000	3000
	14	3700	3300	3700	3600	3300	2700
	15	1800	3200	3200	3700	3100	3500
	16	2500	3300	3200	2900	2500	2700
2	1	9400	10600	9100	9300	8800	-
	2	10400	8300	8600	7300	8100	-
	3	10200	10500	10300	10200	9600	8400
	4	8000	11300	10500	9900	9300	8400
	5	13900	15500	14200	13800	14000	7000
	6	9200	15800	9600	10400	8200	8200
	7	7600	8600	9000	8000	7300	12200
	8	9700	9500	10300	8900	8600	8000
	9	8600	18200	10000	7700	7000	11600
	10	7100	13700	8600	7600	7000	14400
	11	11000	8600	12400	13300	11700	6700
	12	11700	8500	14300	14700	14900	6900
	13	12400	7300	11500	10000	10200	9600
	14	12100	10400	10400	10900	10700	8900
	15	400	13100	8300	11500	10300	10900
	16	10200	13500	10700	10100	8800	10600
3	1	16500	16700	18400	16900	9300	7800
	2	17900	15200	9100	16100	7900	7800
	3	18700	16100	10200	15100	9700	8500
	4	16600	16600	16900	17000	9700	8900
	5	21000	20400	21400	19200	13600	7200
	6	15000	20400	9900	14300	8400	7200
	7	15300	13100	14200	11500	7300	12000
	8	14200	13300	10000	12300	8500	7900
	9	16400	17900	9600	11400	12000	11900
	10	12500	17900	13100	11400	8400	11900
	11	18300	10700	13100	16600	12700	12600
	12	19600	13800	21100	16600	23200	9400
	13	11100	11500	10100	10700	10900	9700
	14	11100	13800	10400	15700	10600	9700
	15	2100	12300	9200	11300	9500	10200
	16	16200	9600	10700	7900	9200	10200
Vel. (km/h)		47	52	52	52	25	22

### 3.1.3 Sistema Piezoelétrico Polímero

Foram selecionados três conjuntos de dados para avaliação das informações coletadas no sistema polímero. A Tabela 13 mostra dados do teste realizado no dia 24 de outubro de 2009 com o caminhão 3C descarregado e velocidade de 70 km/h.

Tabela 13- Dados do sistema polímero, sem carga a 70 km/h (25/10/09).

Eixo	Linha	Massa em kg										
		Número da passada										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	2900	3200	3800	3500	3100	3900	3400	4400	4100	3700	3500
	2	2700	2700	3600	3200	2900	3400	2500	3600	3400	3200	2600
	3	2500	2800	3100	1900	1800	1900	1000	2500	2200	1700	800
	4	2100	2700	2200	1800	1300	1600	1900	2100	2000	1700	1900
	5	300	400	300	400	200	400	400	300	300	400	300
	6	800	600	600	700	800	600	600	600	500	700	600
	7	2500	2500	2900	2100	2200	2500	2200	2900	2700	2200	2200
	8	1900	2400	2600	1800	2000	1900	1800	1900	1800	2100	1800
	9	600	1800	1600	1500	700	1700	1900	2500	2300	1700	1800
	10	2400	2600	2700	2700	2500	2900	2500	3300	3400	2500	2400
	11	2700	2500	2900	2100	2100	2600	2000	3100	3100	2100	1900
	12	1300	2200	2500	2000	900	2200	1900	2400	2200	1900	1900
	13	4100	4500	4900	4900	3800	6000	4700	6200	5500	4700	5100
	14	2500	2200	2800	2100	2500	3300	2300	3600	3500	2500	2400
	15	-	2700	2700	2400	2300	2500	1800	2900	2900	1900	1700
	16	-	2800	2800	3000	1700	2400	2100	2500	2500	2200	2000
2	1	4000	3300	3900	3700	3700	4600	3100	3900	3700	3300	3000
	2	4000	3300	3900	3700	3700	4600	3100	3900	3700	3300	3000
	3	3100	2400	2800	2400	1900	2100	1600	2700	2700	1500	1500
	4	1900	2000	2500	1200	1900	2400	1300	1700	2000	1500	1400
	5	300	400	400	400	300	400	500	500	500	400	400
	6	300	400	400	400	300	400	500	500	500	400	400
	7	2500	2500	2500	2400	2700	2400	2400	2700	2700	2300	2400
	8	1800	1800	1900	700	1800	2100	1700	2000	2100	1400	1600
	9	1800	1900	1700	2000	1900	2000	1500	2000	1600	1500	1300
	10	1800	1900	1700	2000	1900	2000	1500	2000	1600	1500	1300
	11	2400	2200	2400	1000	2200	1500	1700	1700	2000	1900	1900
	12	1200	2300	1700	1700	700	2200	1800	1600	1800	1500	2100
	13	2700	3100	3200	3900	2900	4300	2900	2500	3400	3100	4000
	14	2700	3100	3200	3900	2900	4300	2900	2500	3400	3100	4000
	15	-	2100	2300	2900	1800	2000	1300	1600	1800	1400	1500
	16	-	2800	2700	1700	2000	1800	2200	2300	2000	2100	1900
3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	2800	2700	2900	1700	1900	3000	2000	2700	3000	2300	2400
	4	1800	1600	2100	1600	1300	1800	1100	1400	1700	900	1100
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	2100	2000	2200	1900	2200	1800	2100	2300	2000	1800	1500
	8	1400	1500	1500	1200	1200	1800	1200	1600	2000	1200	1400
	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11	2000	1900	1900	2100	1700	1700	1300	1200	1400	1400	1800
	12	1100	2100	2000	1200	1000	2000	1900	1700	2000	1700	1800
	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	2400	2600	2500	2000	2600	1500	1900	2300	2100	1700
	16	-	1900	1600	2000	1500	1000	1100	1000	700	1400	1300
Vel. (km/h)		70	71	69	59	69	71	71	71	70	70	69

Os dados da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** referem-se ao teste do dia 25 de outubro de 2009 onde foi utilizado o caminhão 3C, carregado com meia carga e velocidade de 40 km/h.

Tabela 14 - Dados do sistema polímero com meia carga, a 40 km/h (25/10/09).

Eixo	Linha	Massa em kg					
		Número da passada					
		1	2	3	4	5	6
1	1	3500	3900	4600	5100	3800	3900
	2	3300	3500	4000	4000	3100	3100
	3	1200	1200	2700	3900	3000	3100
	4	1500	1000	1500	3400	3100	3100
	5	500	400	600	600	600	600
	6	400	800	1100	1100	1200	1100
	7	2900	3000	3500	4300	3100	3200
	8	2900	2800	2500	2400	2900	2800
	9	2500	2100	3000	2700	3200	3200
	10	3100	3100	4000	4100	3900	4000
	11	2700	2800	3800	3700	2700	2700
	12	2500	2500	3100	3100	2700	2700
	13	5100	5100	5900	5400	5300	5300
	14	3000	2900	3700	2900	3000	2900
	15	-	3100	3500	3100	-	3100
	16	-	3400	3700	3500	-	3100
2	1	5600	6000	7000	6000	5600	6000
	2	5600	6000	7000	6000	5600	6000
	3	3000	3700	4700	5900	5300	4900
	4	3100	4200	4600	4100	4000	3900
	5	1000	900	1000	1000	1000	1000
	6	1000	900	1000	1000	1000	1000
	7	5400	4900	5700	5700	4300	5000
	8	4400	3700	5000	5100	4400	4200
	9	3800	4000	4900	5400	4500	5000
	10	3800	4000	4900	5400	4500	5000
	11	4000	4500	5300	5400	4900	4500
	12	3700	4300	4600	4000	4600	4600
	13	8100	7900	10300	7800	8200	8400
	14	8100	7900	10300	7800	8200	8400
	15	-	5000	5700	5800	-	4900
	16	-	4800	4100	5200	-	4400
3	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	2700	4200	4300	5200	4900	4400
	4	2800	3200	4700	4400	3900	4000
	5	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-
	7	5200	4100	5100	5900	4800	4800
	8	5000	4100	4800	5000	4300	4000
	9	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-
	11	4300	4800	5900	6000	5100	5200
	12	4500	4100	4200	4900	4100	4300
	13	-	-	-	-	-	-
	14	-	-	-	-	-	-
	15	-	4600	4600	4800	-	4200
	16	-	4600	4700	4200	-	4600
Vel. (km/h)		33	42	40	44	41	41

A Tabela 15 apresenta os dados referentes aos testes com o caminhão 3C no dia 25 de novembro de 2009, com meia carga e velocidade de 40 km/h.

Tabela 15- Dados do sistema polímero com carga plena, 50 km/h (25/11/09).

Eixo	Linha	Massa em kg						
		Número da passada						
		1	2	3	4	5	6	7
1	1	1900	800	900	2400	1700	2000	1000
	2	1500	1900	1600	2300	2100	1900	1500
	3	4200	2200	2800	2600	2200	2200	2500
	4	4300	2300	2500	2400	2600	2700	2300
	5	1900	1700	1100	3500	3800	4200	1500
	6	1700	2000	2100	1900	1900	1900	1300
	7	5200	3900	4000	2000	2100	2100	3500
	8	4700	1900	2100	2800	1800	2100	1900
	9	3600	3000	2800	1700	2000	1800	1600
	10	3800	4300	3800	1600	1700	1900	2800
	11	1800	1600	2100	2900	2700	2700	1700
	12	2800	1500	1600	3700	3800	3600	1700
	13	1500	2700	800	2200	2500	2800	1900
	14	2000	1600	1900	2500	2700	2800	1400
	15	3200	2800	2300	2400	1700	1900	2200
	16	2200	2600	9600	2800	2600	2600	2500
2	1	7500	6400	4500	6800	6700	7100	7000
	2	6300	6600	5000	7000	7100	7000	6900
	3	11300	7600	8100	7900	7600	7600	8100
	4	11600	7600	8200	8300	8100	8200	8200
	5	6400	6200	3200	13000	12000	12300	6300
	6	7200	7100	5600	6900	6600	6800	6900
	7	15700	12900	10900	6900	6500	6700	12400
	8	11200	7500	8300	7000	7100	7100	6800
	9	11900	10700	10000	6200	5800	5700	10300
	10	12100	12300	10100	6300	5800	5600	11700
	11	7600	5700	7600	10600	10000	10300	6200
	12	10600	6200	5400	11900	11900	12400	5800
	13	8700	9100	7300	8200	9900	9800	9000
	14	8600	7100	4800	7900	9200	9200	8400
	15	9200	10000	8400	9400	8900	9300	8200
	16	9800	9300	16900	9900	9200	8600	7800
3	1	6500	6900	5500	8100	14800	15000	7800
	2	6200	7100	5300	15500	16600	16800	6500
	3	10100	11500	7100	7700	14200	14000	7200
	4	11400	13300	8800	8500	7800	8000	8300
	5	6600	6900	3800	13700	13200	22500	5900
	6	6600	6900	5800	14000	13600	14200	7500
	7	14700	18000	10300	15400	15100	15200	13800
	8	10400	12500	7600	14500	15400	15100	13500
	9	11800	11600	10900	10000	11900	12300	11100
	10	12000	13700	10000	11500	11600	11200	11700
	11	7500	11200	6500	1100	10300	19200	10400
	12	9400	8300	5400	20800	21500	21700	11000
	13	7100	8700	6600	15300	10300	10100	9200
	14	7800	6300	3800	7800	9100	8500	8700
	15	9700	11000	8000	10300	17200	16700	14400
	16	9200	10800	16000	9300	7800	8500	13800
Vel. (km/h)		47	42	45	24	24	24	28

## 3.2 Diretrizes utilizadas na avaliação dos dados

As premissas e diretrizes utilizadas no processo de avaliação dos dados dos sensores de pesagem em movimento e de deformação do pavimento serão apresentadas neste item do relatório.

### 3.2.1 Avaliação dos dados de pesagem

A avaliação realizada procura verificar a homogeneidade nos valores de força encontrados durante os diversos testes realizados com os diferentes sistemas de pesagem em movimento. Assim, a avaliação utiliza a determinação das médias e dos respectivos desvios padrões dos valores medidos nas diversas passadas do caminhão teste sobre as linhas de sensores.

Uma medida útil para a comparação entre as diferentes passadas e diferentes sensores é a utilização do Coeficiente de Variação (CV). Esta é uma medida de dispersão que permite a comparação entre distribuições de valores distintos. Sua determinação é efetuada pelo quociente entre o desvio padrão sobre a média dos valores.

As avaliações são realizadas individualmente para cada conjunto de dados. Não são feitas comparações entre resultados de diferentes tecnologias de sensores. Sendo assim, os sistemas serão avaliados tomando-se por base o comportamento das medidas nas seguintes situações:

- ⊙ Mesmo eixo, diferentes passadas em todos os sensores;
- ⊙ Mesmo eixo, mesmo sensor em diferentes passadas.

O cálculo do coeficiente de variação leva em consideração a média e o desvio padrão dos dados de todos os sensores na avaliação de uma mesma passada. Não serão considerados para análise os dados dos sensores, ou linhas de sensores, faltantes ou igual a zero.

No caso da avaliação por linha de sensores, não considera as passadas que apresentem dados faltantes ou nulos.

O número de dados nas linhas deverá ser igual nas diferentes passadas dos testes selecionados, isto porque os resultados são função do coeficiente de variação, que depende diretamente da média e o desvio padrão destes valores.

A premissa de avaliação considera os eixos como pontos fixos para comparação por passadas e pelas diferentes linhas de sensores. Assim, o resultado da variação é o cálculo aplicado sobre os dados relacionados a um eixo e que o número de respostas é dependente do número de eixos encontrados.

Os resultados são organizados em tabelas e gráficos que representam os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação nos eixos por passada e por linha. Nas tabelas, no caso passada, as colunas representam as passadas por ordem de ocorrência e as linhas são organizadas por eixo, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV). As tabelas, no caso linha, as colunas representam os dados das linhas de sensores organizados por eixo, média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Os gráficos, no caso passada, apresentam nas ordenadas o número da passada, no caso de remoção de alguma coluna a numeração segue a ordem crescente normal, e nas abscissas os valores de coeficiente de variação. Cada passada apresenta os valores de todos os eixos do veículo de forma gráfica e em tabela.

Os gráficos, na avaliação por linha, apresentam nas ordenadas o número da linha do sensor, onde são removidas as linhas que não apresentam dados, e nas abscissas os respectivos coeficiente de variação. Para cada linha de sensor são apresentados os dados dos respectivos eixos do veículo.

### 3.2.2 Avaliação dos dados de deformação

A avaliação dos dados de deformação tem como objetivo verificar, por comparação entre os dados coletados, as saída dos dados dos sensores de mesmo alinhamento em relação ao eixo da trilha de roda. São utilizados o alinhamento longitudinal, nos sensores 1 e 4, e alinhamento transversal, nos sensores 2 e 5.

A unidade de saída de dados dos sistema é em volts, e a escala de ganho é real e de acordo com o fabricante. O ganho é alterado quando descobertos os fatores de calibração, que permitem relacionar o ganho de sinal com a deformação aplicada.

Os sinais dos sensores longitudinais e transversais permitem identificar o tipo de deformação aplicado ao pavimento, por consequência permite verificar o estado da tensão sobre o sensor em um determinado instante de tempo. Dois estados são identificados:

- ⊙ Estado de compressão – presente como valores de sinal positivos. Indica que o sensor está sobre um esforço de flexão que comprime o material asfáltico;
- ⊙ Estado de tração – valores de ganho de sinal negativos. Indica que o sensor está sobre um esforço de tração juntamente com o material;

A passagem de um eixo simples sobre um sensor de alinhamento longitudinal irá proporcionar, primeiro, um zona que comprime o material no instantes da sua aproximação. Em seguida, no momento que o eixo repousa sobre o sensor, uma zona de tração. E por fim, com o afastamento do eixo, uma zona de compressão novamente.

No caso dos sensores longitudinais, o dispositivo irá registrar um decréscimo do sinal, valores negativos, no momento em que o eixo passa sobre o sensor. Não se registra mudanças no comportamento do sinal nos instantes anterior e posterior a este evento. Ou seja, não é esperado o aparecimento de valores positivos no intervalo de tempo no sensores destes alinhamentos.

A avaliação será executada em uma passada representativa dos testes realizados. Os eventos serão selecionados dos dados coletados nos dias 23 de outubro e 25 de novembro de 2009, são eles:

- ⊙ Testes dia 23/10/09, executado pelo veículo 2C, carregado com carga plena na 1ª;
- ⊙ Testes dia 25/11/09, executado pelo veículo 3C, com carga plena na 1ª passada e na 7ª passada;

O estudo das deformações permite identificar as frequências reais de solicitações da força existente no contato pneu/pavimento em cada eixo, ou grupo de eixos, do veículo pertencente ao grupo de estudo. Ela indica o número de ocorrência do evento em um determinado intervalo de tempo. Os testes de fadiga e de módulo complexo a utilizam fator de teste, ou fator de aplicação da carga.

A sua determinação independe da escala aplicada aos valores coletados. A determinação do valor de frequência é pela construção de uma curva teórica sinusoidal justaposta á escala de tempo do resultado do ensaio. Será aplicado em duas passadas, com os veículos 2C e 3C, dos testes selecionados e em sensores longitudinais.

### 3.3 Avaliação dos dados do Sistema Piezelétrico Quartzo

Os dados do sistema piezelétrico quartzo estão divididos em três tabelas e três gráficos distintos referentes aos testes que ocorreram entre 14 e 25 de outubro de 2009, anteriormente apresentados. Todos os testes são oriundos da passagem do veículo 3C. O conjunto de informações são organizados, primeiramente, pelas passadas do veículo sobre todas as linhas e, em seguida, pela linha de sensor nas diversas passadas.

A Tabela 16 apresenta as informações dos testes realizados no dia 14 de outubro de 2009. O teste utilizou um veículo da classe 3C, carregado com carga plena e pressão interna dos pneus de 60 psi. Foram aproveitados integralmente os dados das dez (10) passadas realizadas.

Tabela 16 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 30 km/h, 14/10/09.

Passada		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1º Eixo	Média	2801	2932	2885	2813	2858	2946	3037	2870	2943	2997
	Desv. P	147	137	165	245	195	127	155	223	143	203
	CV	5%	5%	6%	9%	7%	4%	5%	8%	5%	7%
2º Eixo	Média	4252	4311	4189	3972	4104	4287	4269	4237	4250	4236
	Desv. P	448	353	569	662	505	320	421	658	288	401
	CV	11%	8%	14%	17%	12%	7%	10%	16%	7%	9%
3º Eixo	Média	4074	4048	3933	3770	4023	4105	4163	4028	4106	4173
	Desv. P	633	501	304	477	548	360	434	499	316	417
	CV	16%	12%	8%	13%	14%	9%	10%	12%	8%	10%
<b>Velocidade média</b>										<b>30</b>	<b>km/h</b>

Para efeito de análise dos dados da Tabela 16, o gráfico da Figura 26 apresenta os respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo. Os valores de variação no primeiro eixo são representados pelas colunas de cor azul, os do segundo eixo na cor vermelha e o terceiro na cor verde.

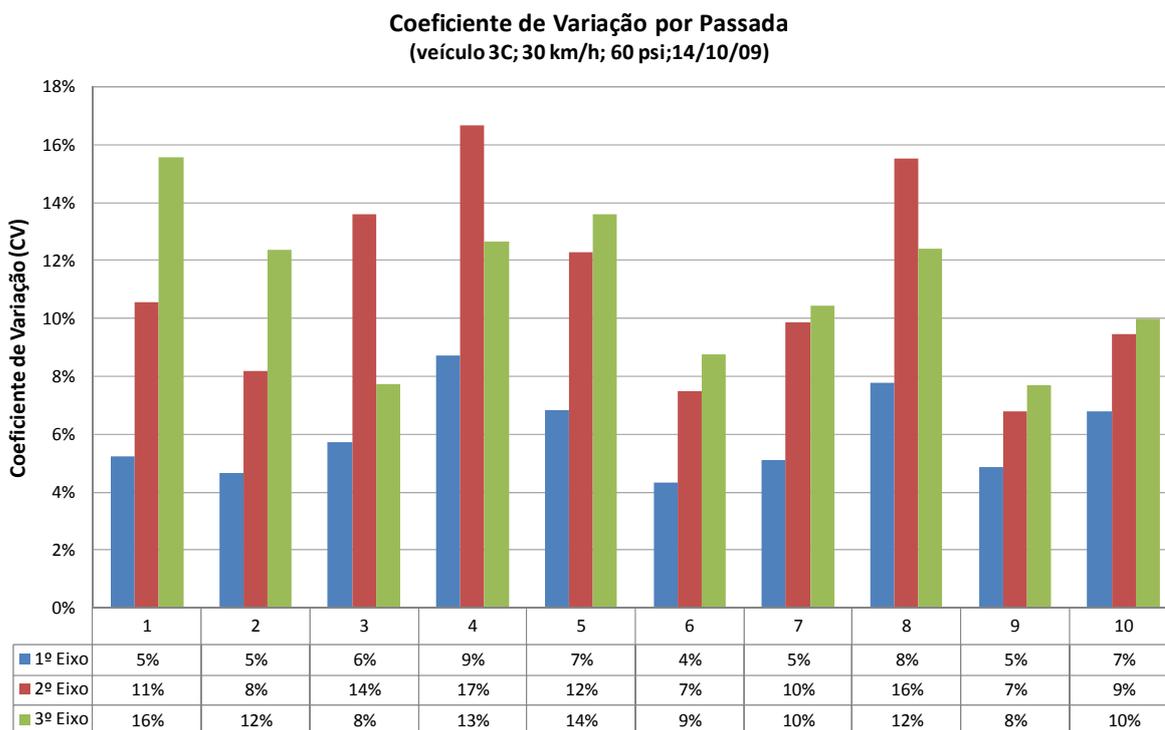


Figura 26 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 30 km/h, 14/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados permitem inferir:

- ⊙ Em todas as passadas o 1º eixo apresenta as menores variações se comparados com os demais eixos, sendo que o valor mínimo observado no 1º eixo é de 4%, no 2º eixo de 7% e no 3º eixo de 8%;
- ⊙ De maneira geral, a variação dos valores não passou de 9% para o 1º eixo, de 17% para o 2º eixo e 16% para o 3º eixo;
- ⊙ Os valores do 2º e 3º eixos não apresentam relação de grandeza homogênea entre as passadas, os dados do 2º variam mais que o 3º e vice-versa;
- ⊙ O 2º eixo teve variação superior aos demais eixos nas passadas 3, 4 e 8;
- ⊙ A variação do 3º eixo foi superior aos demais eixos nas passadas 1, 2, 5, 6, 7, 9 e 10.

A 0 contém as informações de média, desvio padrão e coeficiente de variação do teste realizado no dia 25 de outubro de 2009. O veículo utilizado é da classe 3C, com meia carga e velocidade de 50 km/h. São apresentados os dados das cinco (5) passadas aproveitadas.

Tabela 17- Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/10/09.

Passada		1	2	3	4	5
1º Eixo	Média	2903	2925	2905	2939	2920
	Desv. P	203	223	147	179	156
	CV	7%	8%	5%	6%	5%
2º Eixo	Média	4324	4400	4432	4457	4399
	Desv. P	188	197	278	248	278
	CV	4%	4%	6%	6%	6%
3º Eixo	Média	4281	4292	4372	4389	4359
	Desv. P	252	313	381	481	402
	CV	6%	7%	9%	11%	9%
<b>Velocidade média</b>				<b>50 km/h</b>		

A Figura 27 apresenta o gráfico composto pelos respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo. Os valores de variação no primeiro eixo são representados pelas colunas de cor azul, os do segundo eixo na cor vermelha e o terceiro na cor verde.

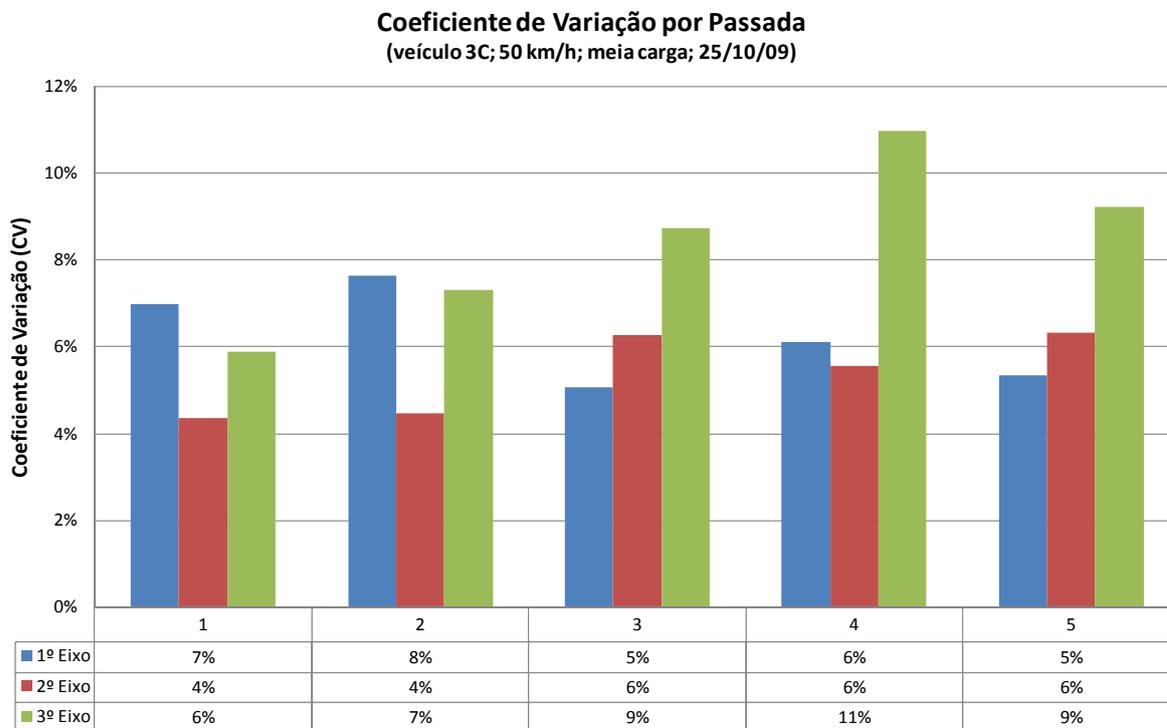


Figura 27– Coeficiente de variação (CV) por passada, 50 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, meia carga, 50 km/h permitem inferir:

- ⊙ Nas passadas 1, 2 e 4 os dados do 2º eixo apresenta os menores coeficientes de variação que os demais eixos;
- ⊙ O 3º eixo apresenta a menor variação nas passadas 3, 4 e 5;
- ⊙ Os valores mínimos observados no 1º eixo é de 5%, no 2º eixo é de 4%, no 3º eixo de 6%;
- ⊙ De maneira geral, a variação dos valores não passou de 8% para o 1º eixo, de 6% para o 2º eixo e 11% para o 3º eixo.

A Tabela 18 apresenta as informações dos testes realizados no dia 25 de outubro de 2009. O teste foi realizado com um veículo da classe 3C, sem carga e velocidade de 70 km/h. São apresentados os dados das dez (10) passadas realizadas com aproveitamento integral dos mesmos.

Tabela 18- Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 70 km/h, 25/10/09.

Passada		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1º Eixo	Média	2247	2389	2390	2461	2062	2396	2390	2406	2390	2397
	Desv. P	210	199	172	199	305	152	195	153	162	173
	CV	9%	8%	7%	8%	15%	6%	8%	6%	7%	7%
2º Eixo	Média	1717	1924	1988	1949	1576	1945	1961	1940	1994	1937
	Desv. P	417	259	317	468	468	249	208	390	356	253
	CV	24%	13%	16%	24%	30%	13%	11%	20%	18%	13%
3º Eixo	Média	1614	1846	1830	1840	1545	1810	1844	1834	1861	1827
	Desv. P	359	265	257	301	408	296	338	322	323	247
	CV	22%	14%	14%	16%	26%	16%	18%	18%	17%	13%
<b>Velocidade média</b>										<b>70</b>	<b>km/h</b>

A Tabela 28 apresenta o gráfico composto pelos respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo.

**Coefficiente de Variação por Passada**  
(veículo 3C; 70 km/h; vazio; 25/10/09)

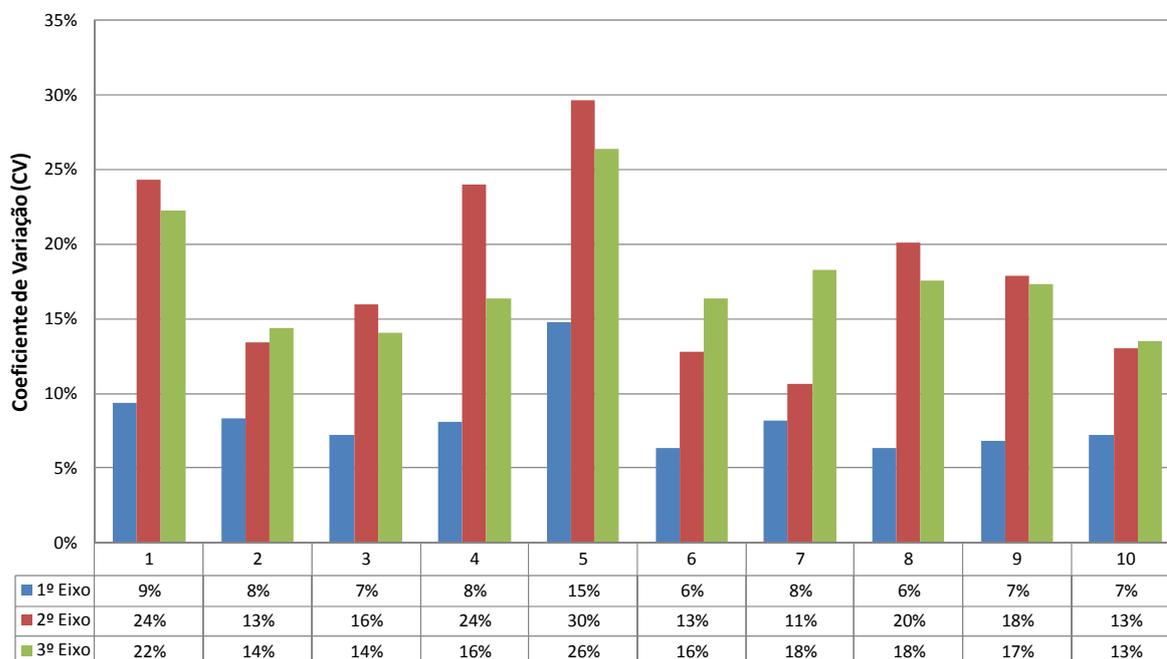


Figura 28– Coeficiente de variação (CV) por passada, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, vazio, 70 km/h permitem inferir:

- ⊙ Em todas as passadas o 1º eixo apresenta as menores variações se comparados com os demais eixos;
- ⊙ Os valores mínimos observados no 1º eixo é de 6%, no 2º eixo é de 11%, no 3º eixo de 13%;
- ⊙ Com exceção da 5ª passada, a variação dos valores não passou de 9% para o 1º eixo, de 24% para o 2º eixo e 22% para o 3º eixo.

A Tabela 19 contém as informações de média, desvio padrão e coeficiente de variação do teste realizado no dia 14 de outubro de 2009. O veículo utilizado é da classe 3C, com carga plena e velocidade de 30 km/h. São apresentados os dados das 16 linhas de sensores obtidos através de 10 passadas com todos os valores aproveitados.

Tabela 19 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 60 psi, 14/10/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1º Eixo	Média	2913	3005	2972	2905	2945	2827	2794	2942	2822	2982	2907	2742	2939	2785	3063	2988
	Desv P	137	158	269	165	177	86	179	113	205	151	122	292	144	146	169	156
	CV	5%	5%	9%	6%	6%	3%	6%	4%	7%	5%	4%	11%	5%	5%	6%	5%
2º Eixo	Média	3843	4086	4435	4021	3994	4029	4086	4343	4128	4159	4388	4035	4693	4500	4480	4151
	Desv P	398	435	308	495	477	374	692	461	295	450	380	245	446	574	528	209
	CV	10%	11%	7%	12%	12%	9%	17%	11%	7%	11%	9%	6%	10%	13%	12%	5%
3º Eixo	Média	4238	4231	4046	3959	4312	4189	4223	3954	3478	3981	4329	3845	3925	3842	3884	4239
	Desv P	405	281	357	418	548	444	334	357	212	488	295	516	643	271	502	479
	CV	10%	7%	9%	11%	13%	11%	8%	9%	6%	12%	7%	13%	16%	7%	13%	11%
<b>Velocidade média</b>																	<b>30 km/h</b>

A Figura 29 apresenta o gráfico composto pelos respectivos coeficientes de variação por linha e por eixo.

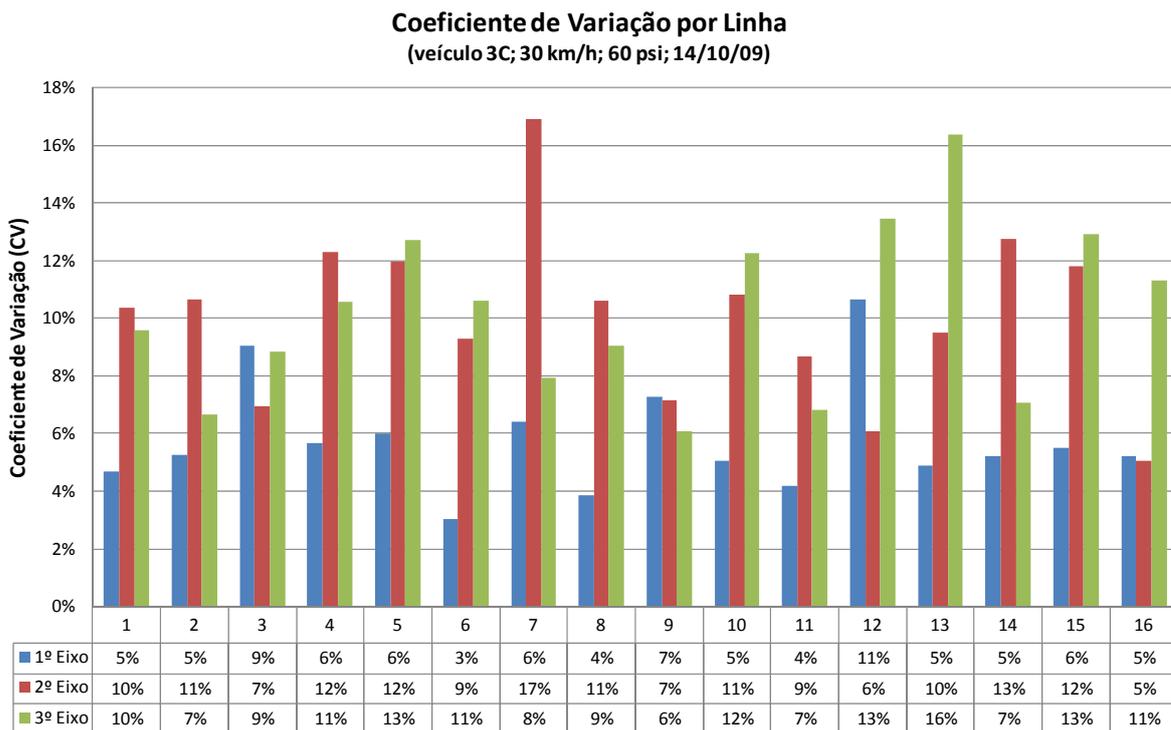


Figura 29 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 14/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 14/10/09, 60 psi, 30 km/h permitem inferir:

- ⊙ O 1º eixo apresenta os menores coeficientes de variação em comparação com os demais eixos em 12 linhas de sensores;
- ⊙ O 2º eixo apresenta menor variação entre os eixos em 6 linhas de sensores
- ⊙ O 3º eixo apresenta menor variação em 6 linhas, quando comparados aos demais eixos;
- ⊙ Os valores mínimos observados no 1º eixo é de 3%, no 2º eixo é de 5%, no 3º eixo de 6%;
- ⊙ Com exceção da 5ª passada, a variação dos valores não passou de 9% para o 1º eixo, de 17% para o 2º eixo e 16% para o 3º eixo.

A Tabela 20 contém as informações de média, desvio padrão e coeficiente de variação do teste realizado no dia 25 de outubro de 2009. O veículo utilizado é da classe 3C, com meia carga e velocidade de 50 km/h. São apresentados os dados das 16 linhas de sensores obtidos através de 5 passadas com todos os valores.

Tabela 20 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/10/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1º Eixo	Média	2842	3010	3035	2899	3039	2802	2680	2897	2896	3108	2847	2627	3021	2877	3004	3111
	Desv P	105	196	98	110	114	136	103	98	78	117	135	192	129	103	190	74
	CV	4%	7%	3%	4%	4%	5%	4%	3%	3%	4%	5%	7%	4%	4%	6%	2%
2º Eixo	Média	4601	4485	4298	4282	4648	4290	4155	4477	4517	4465	4185	4270	4429	4348	4303	4687
	Desv P	188	178	248	157	289	216	135	218	268	245	139	214	112	117	237	121
	CV	4%	4%	6%	4%	6%	5%	3%	5%	6%	5%	3%	5%	3%	3%	6%	3%
3º Eixo	Média	4298	4278	4458	4411	4031	4121	4715	4506	3622	4043	4876	4391	3948	4341	4674	4706
	Desv P	93	192	208	314	170	214	273	179	241	98	223	301	115	140	134	38
	CV	2%	4%	5%	7%	4%	5%	6%	4%	7%	2%	5%	7%	3%	3%	3%	1%
<b>Velocidade média</b>		<b>50 km/h</b>															

A Figura 30 apresenta o gráfico composto pelos respectivos coeficientes de variação por linha e por eixo.

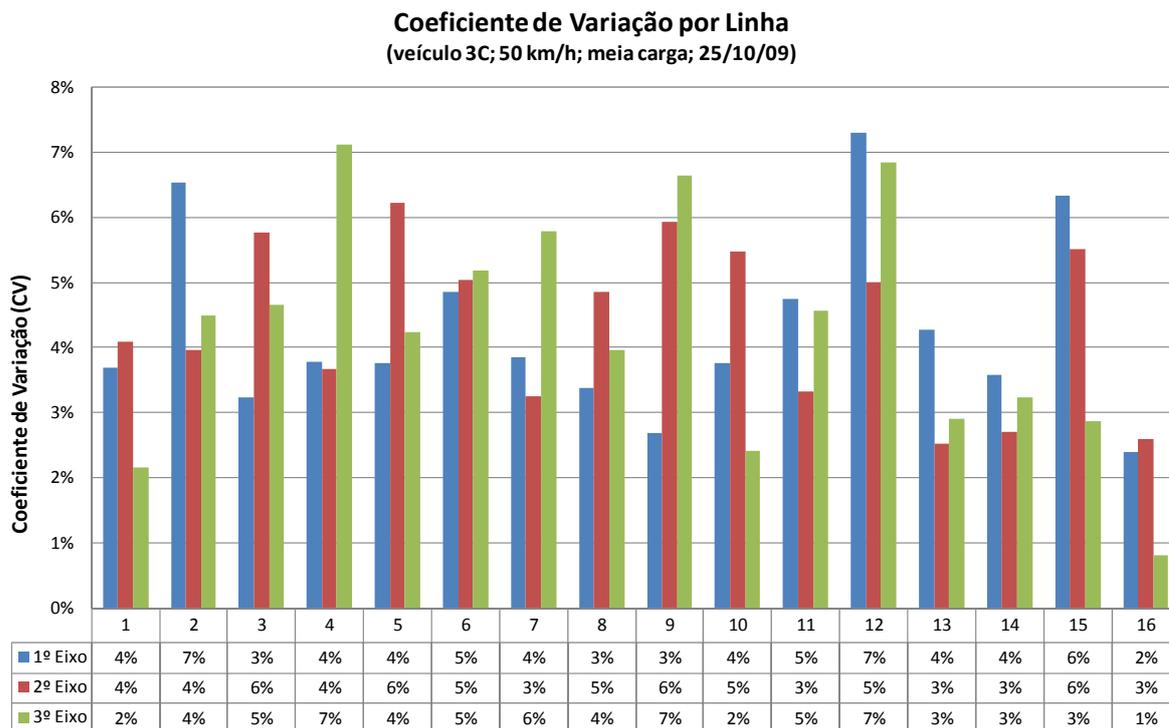


Figura 30– Coeficiente de variação (CV) por linha, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, meia carga, 50 km/h permitem inferir:

- ⊙ O 1º eixo apresenta as menores variações se comparados com os demais eixos, com exceção das linhas 2, 11, 12, 13, 14 e 15;
- ⊙ O 3º eixo apresenta menor variação para pelo menos um eixo em 12 linhas de sensores;
- ⊙ Os valores mínimos observados no 1º eixo é de 3%, no 2º eixo é de 5%, no 3º eixo de 6%;
- ⊙ Com exceção da 5ª passada, a variação dos valores não passou de 9% para o 1º eixo, de 17% para o 2º eixo e 16% para o 3º eixo.

A Tabela 21 contém as informações de média, desvio padrão e coeficiente de variação do teste realizado no dia 25 de outubro de 2009. O veículo utilizado é da classe 3C, vazio e velocidade de 70 km/h. São apresentados os dados das 16 linhas de sensores obtidos através de 10 passadas com todos os valores.

Tabela 21 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 70 km/h, 25/10/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Eixo	Média	2266	2432	2456	2341	2430	2255	2024	2311	2340	2512	2378	2124	2469	2372	2528	2508
	Desv P	195	288	201	105	267	142	88	222	174	116	192	180	99	178	93	141
	CV	9%	12%	8%	4%	11%	6%	4%	10%	7%	5%	8%	8%	4%	7%	4%	6%
2ª Eixo	Média	1801	2279	1597	1975	2190	1769	1705	2047	1878	1983	1612	1914	1675	1960	1800	2140
	Desv P	292	391	206	197	473	161	274	179	312	234	228	252	331	370	429	351
	CV	16%	17%	13%	10%	22%	9%	16%	9%	17%	12%	14%	13%	20%	19%	24%	16%
3ª Eixo	Média	1730	1909	1636	1990	1698	1675	2046	1794	1597	1589	1844	1885	1696	1674	2112	1724
	Desv P	275	178	398	181	283	245	430	131	280	347	384	234	192	161	403	255
	CV	16%	9%	24%	9%	17%	15%	21%	7%	18%	22%	21%	12%	11%	10%	19%	15%
<b>Velocidade média</b>																	<b>70 km/h</b>

A Tabela 31 apresenta o gráfico composto pelos respectivos coeficientes de variação por linha e por eixo.

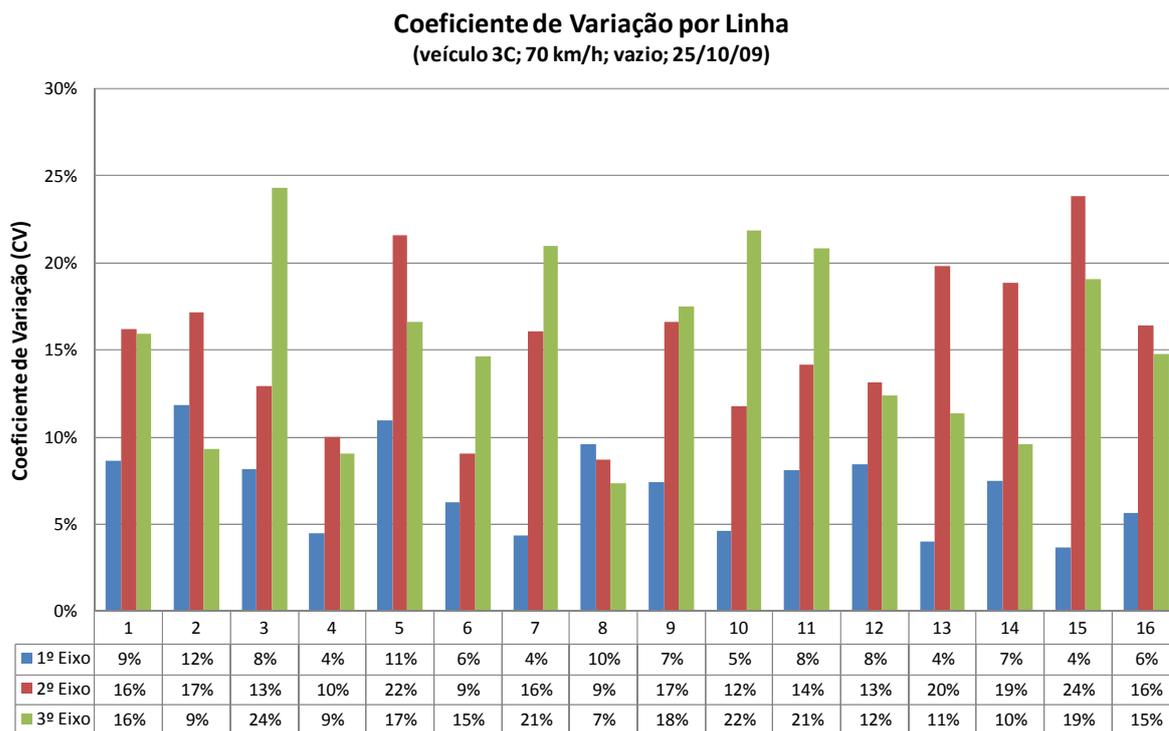


Figura 31 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, vazio, 70 km/h permitem inferir:

- ⊙ O 1º eixo apresenta as menores variações se comparados com os demais eixos nas linhas 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16;
- ⊙ Nas linhas 1, 2, 4, 5, 12, 13, 14, 15 e 16, o 2º eixo apresenta maior coeficiente de variação que os demais eixos;
- ⊙ O 3º eixo apresenta maior variação nas linhas 3, 7, 9, 10 e 11, quando comparado com os demais eixos;
- ⊙ Os valores mínimos observados no 1º eixo é de 4%, no 2º eixo é de 9%, no 3º eixo de 7%;
- ⊙ A variação dos valores não passou de 12 % para o 1º eixo, de 24% para o 2º eixo e 24% para o 3º eixo.

### 3.4 Avaliação dos dados do Sistema Piezelétrico Cerâmico

Os dados a serem avaliados no sistema piezelétrico cerâmico estão organizados em três tabelas e três gráficos que representam os testes realizados em campo nos dias 25 de outubro e 25 de novembro de 2009. Os dados são organizados, primeiramente, pelas passadas do veículo sobre todas as linhas e, em seguida, pela linha de sensor nas diversas passadas.

A Tabela 22 apresenta as informações dos testes realizados no dia 25 de outubro com veículo 3C e meia carga, a velocidade média registrada das passadas de 41 km/h. Os dados referem-se as 6 passadas realizadas e contêm informações dos três eixos do veículo.

Tabela 22 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 40 km/h, 25/10/09.

Passada		1	2	3	4	5	6
1º Eixo	Média	3325	3833	4050	3913	4110	4400
	Desv. P	1354	1576	1871	533	1810	1650
	CV	41%	41%	46%	14%	44%	37%
2º Eixo	Média	5433	6175	6133	5825	6370	6725
	Desv. P	2352	3075	2104	878	2599	2566
	CV	43%	50%	34%	15%	41%	38%
3º Eixo	Média	5200	6358	6650	5975	7000	7475
	Desv. P	2438	3313	3145	725	3464	3379
	CV	47%	52%	47%	12%	49%	45%
<b>Velocidade média</b>						<b>41</b>	<b>km/h</b>

A Figura 32 apresenta o gráfico composto pelos respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo. Os valores de variação no primeiro eixo são representados pelas colunas de cor azul, os do segundo eixo na cor vermelha e o terceiro na cor verde.

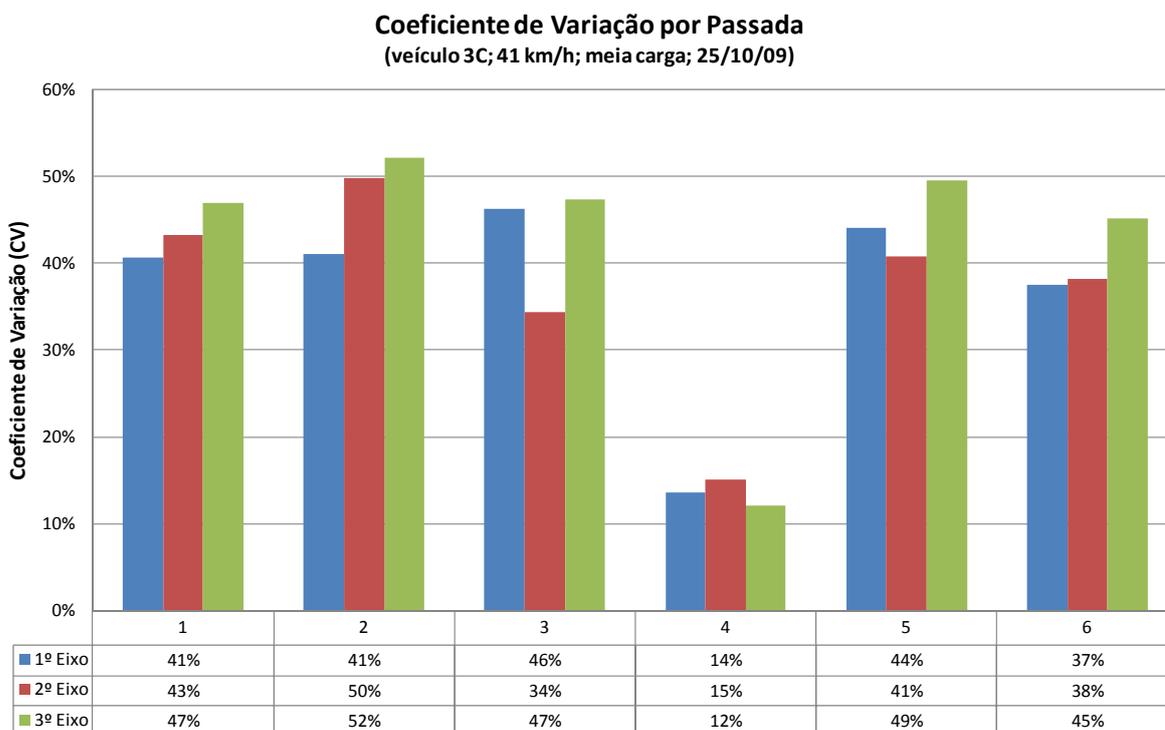


Figura 32 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 40 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, meia carga, 40 km/h permitem inferir:

- ⊙ O número de dados coletados durante as passadas 4 e 5 foi inferior às demais, ou seja o número de sensores que realizou a leitura de informação foi menor, assim os valores apresentados não podem ser comparados com os demais e serão excluído das comparações;
- ⊙ Existe a tendência para os valores do 1º eixo ter dispersão menor na comparação com os demais passadas válidas (colunas nº 1, 2, 3 e 6);
- ⊙ Os valores mínimos dos coeficientes de variação observados no 1º eixo é de 37%, no 2º eixo de 34% e no 3º eixo de 45%;
- ⊙ A variação dos valores dentro das passadas não passou de 46% para o 1º eixo, de 50% para o 2º eixo e 52% para o 3º eixo;

⊙ O 3º eixo apresenta, em média, dispersão maior do que os demais sensores.

A Tabela 23 apresenta as informações dos testes realizados no dia 25 de outubro com veículo 3C e plena carga, a velocidade de teste é considerada 50 km/h e velocidade média registrada 46 km/h dentro das passadas. Foram registrados as 11 passadas nos três eixos do veículo.

Tabela 23 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/10/09.

Passada		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1º Eixo	Média	4425	4450	4650	4383	4483	4470	4458	4642	4458	4100	4300
	Desv. P	1959	1853	2243	1881	1888	2016	1901	2549	1908	1987	2029
	CV	44%	42%	48%	43%	42%	45%	43%	55%	43%	48%	47%
2º Eixo	Média	9258	9383	9650	9367	9408	9400	9708	8900	9117	8567	8840
	Desv. P	3626	3640	4015	3593	3389	3736	3790	4282	3592	2949	2866
	CV	39%	39%	42%	38%	36%	40%	39%	48%	39%	34%	32%
3º Eixo	Média	9600	9633	9492	9533	9708	9670	9833	8400	9208	8642	9070
	Desv. P	4158	4296	4188	4134	4311	4558	4284	3573	3374	3367	3225
	CV	43%	45%	44%	43%	44%	47%	44%	43%	37%	39%	36%
<b>Velocidade média</b>											<b>46</b>	<b>km/h</b>

O gráfico que apresenta os respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo está apresentado na Figura 33, onde as barras em azuis representam os valores do 1º eixo, em vermelho o 2º eixo e verde o 3º eixo.

**Coeficiente de Variação por Passada**  
(veículo 3C; 46 km/h; c. plena; 25/10/09)

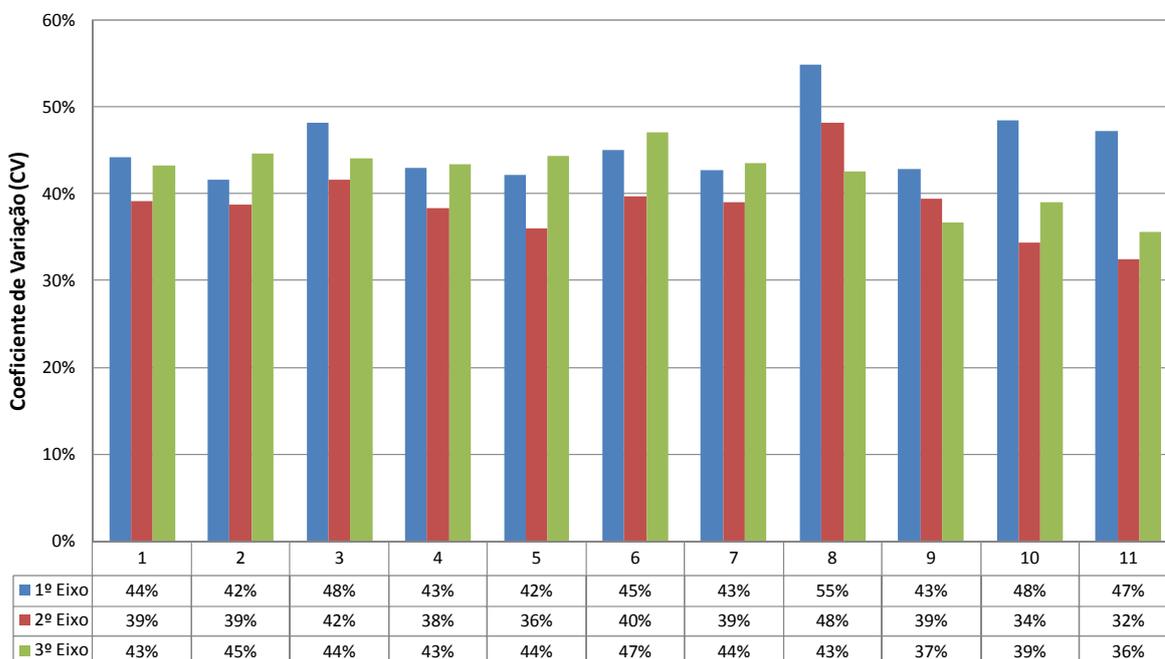


Figura 33– Coeficiente de variação (CV) por passada, 50 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, plena carga e 50 km/h permitem inferir:

- ⊙ O número de dados coletados durante as passadas 6 e 11 foi inferior às demais, apesar das variações estarem de acordo com as demais, assim os valores apresentados não podem ser comparados e serão excluído das avaliação;
- ⊙ Existe a tendência para os valores do 2º eixo ter dispersão menor na comparação com os demais passadas válidas (colunas nº 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10);
- ⊙ Os valores mínimos dos coeficientes de variação observados no 1º eixo é de 42%, no 2º eixo de 32% e no 3º eixo de 36%;
- ⊙ A variação dos valores dentro das passadas não passou de 55% para o 1º eixo, de 48% para o 2º eixo e 45% para o 3º eixo;
- ⊙ Os valores de variação são próximos na comparação entre o 1º e 3º eixo nas passadas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Nestes o 3º eixo é ligeiramente superior;
- ⊙ Nas passadas 8, 9 e 10, o 1º eixo apresenta variação maior que os demais eixos.

O teste de 25 de novembro de 2009 utilizou o veículo 3C carregado com meia carga e uma velocidade média registrada pelo de sistema em 42 km/h, onde a velocidade desejada era de 50 km/h. Ao todo, foram realizadas 11 passadas e registrados os valores de força medidos nos três eixos. A Tabela 24 apresenta os valores calculados da média, desvio padrão e coeficiente de variação em cada passada e eixo.

Tabela 24- Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/11/09.

Passada		1	2	3	4	5	6
1º Eixo	Média	2719	3244	3300	3188	2919	2763
	Desv. P	674	668	625	706	775	686
	CV	25%	21%	19%	22%	27%	25%
2º Eixo	Média	9494	11463	10488	10225	9656	9414
	Desv. P	3042	3178	1829	2220	2299	2259
	CV	32%	28%	17%	22%	24%	24%
3º Eixo	Média	15156	14956	12963	14000	10681	9556
	Desv. P	4485	3249	4243	3105	3767	1801
	CV	30%	22%	33%	22%	35%	19%
<b>Velocidade média</b>						<b>42</b>	<b>km/h</b>

O gráfico com os respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo está apresentado na Figura 34.

**Coeficiente de Variação por Passada**  
(veículo 3C; 42 km/h; c. plena; 25/11/09)

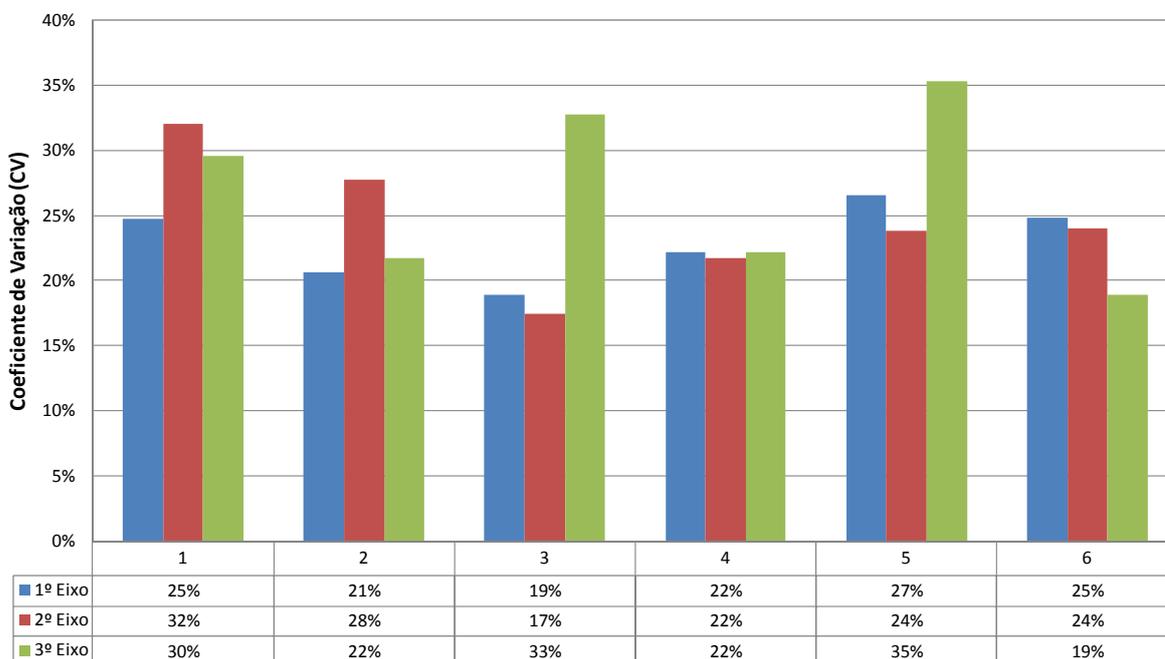


Figura 34 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 50 km/h, 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/11/09, carga plena e 50 km/h permitem inferir:

- ⊙ Na 6ª passada foi verificado a ausência de dados nos dois primeiros sensores na passada do 2º eixo, logo os valores de variação não podem ser comparados com as demais passadas;
- ⊙ A variação dos valores do 1º eixo só é menor nas passadas 1 e 2, nas demais passadas válidas, o 2º eixo apresenta variação inferior, ou próxima, ao 1º;
- ⊙ Os valores mínimos dos coeficientes de variação observados no 1º eixo é de 19%, no 2º eixo de 17% e no 3º eixo de 22%;
- ⊙ A variação dos valores dentro das passadas não passou de 25% para o 1º eixo, de 32% para o 2º eixo e 35% para o 3º eixo;
- ⊙ Os valores de variação são próximos na comparação entre o 1º e 2º eixo nas passadas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Nestes o 3º eixo é ligeiramente superior;
- ⊙ O 3º eixo apresenta dispersão acima de 30% nas passadas 1, 3 e 5.

A avaliação dos resultados por linha do sistema piezométrico cerâmico serão feitas a partir dos testes selecionados anteriormente apresentados.

O teste realizado no dia 25 de outubro de 2009, considera as doze primeiras linhas de sensores, descartando os últimos quatro devido a uma falha de aquisição dos últimos sensores em todos os eixos.

A Tabela 25 agrupa os resultados de média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) dos valores obtidos com as linhas de sensores nas diferentes passadas. A última linha da tabela apresenta o valor médio da velocidade calculada a partir da coleta em cada passada.

Tabela 25 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 40 km/h, 25/10/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1º Eixo	Média	2817	2900	5550	3033	3550	3433	4433	3583	4000	3640	6700	4725
	Desv P	1065	817	1710	403	339	520	2255	1068	1120	297	2340	1018
	CV	38%	28%	31%	13%	10%	15%	51%	30%	28%	8%	35%	22%
2º Eixo	Média	4250	4650	8100	4817	5283	5500	6750	5867	6820	5640	10750	6825
	Desv P	1082	1023	2300	454	649	1193	3150	1285	2687	371	4124	1758
	CV	25%	22%	28%	9%	12%	22%	47%	22%	39%	7%	38%	26%
3º Eixo	Média	4133	4600	8483	5067	5833	5617	7067	5967	7000	5420	12575	8250
	Desv P	1465	1147	1865	809	891	1076	4186	2212	3008	370	5123	2862
	CV	35%	25%	22%	16%	15%	19%	59%	37%	43%	7%	41%	35%
<b>Velocidade média</b>												<b>41</b>	<b>km/h</b>

O gráfico da Figura 35 mostra os valores de variação por linha organizados pelo número da respectiva linha de sensor e nos três eixos do veículo do teste.

**Coefficiente de Variação por Linha**  
(veículo 3C; 41 km/h; meia carga; 25/10/09)

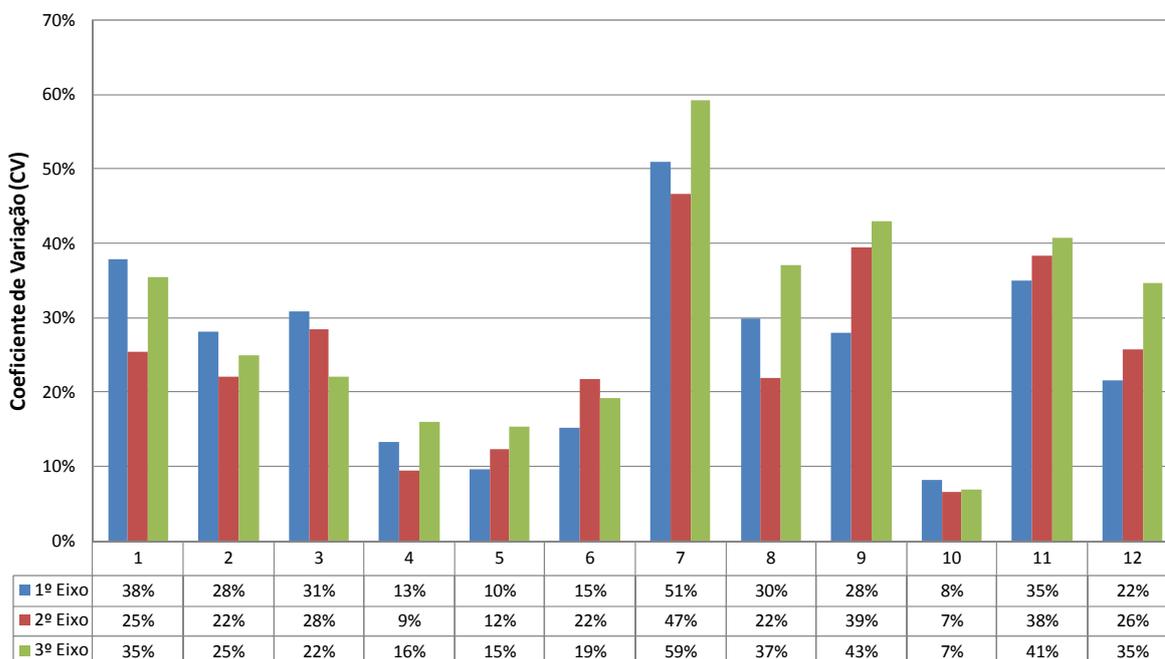


Figura 35 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 40 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, meia carga 40 km/h permitem inferir:

- ⊙ Os resultados das linhas 9 e 10 não contam valores em uma das passadas, da mesma forma nas linhas 11 e 12 estão ausentes dados de duas passadas;
- ⊙ Das oito linhas de sensores válidas para comparação, a 7ª linha apresenta os maiores valores de coeficiente de variação, maiores em todos os eixos. 1º eixo 51%, 2º eixo 47% e 3º eixo 59%;
- ⊙ O 2º eixo, nas linhas 1, 2, 3, 4, 7 e 8, apresenta menor variação nos eixos medidos, as exceções são as linhas 5 e 6;
- ⊙ Do valores válidos para comparação, com exceção a linha 7, o 1º eixo apresenta máxima de 38%, 2º eixo de 28% e 3º eixo de 37%;
- ⊙ A menor variação para o 1º eixo é de 10%, no 2º eixo de 9% e no 3º eixo de 15%.

A Tabela 26 mostra os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores da aquisição de cada linha de sensor nas passadas do veículo de teste. As passadas foram realizadas no dia 25 de outubro de 2009, com um veículo classe

3C carregado com plena carga, a velocidade media indicada na última linha da tabela é de 46 km/h, sendo 50 km/h a velocidade prevista.

Tabela 26 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 50 km/h, 25/10/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1º Eixo	Média	2336	2509	3118	2709	9518	5345	4736	5055	4755	4655	4378	4089
	Desv P	277	459	525	597	293	739	634	1046	719	505	504	473
	CV	12%	18%	17%	22%	3%	14%	13%	21%	15%	11%	12%	12%
2º Eixo	Média	5455	6591	6518	5809	18509	10336	9818	10218	9873	9336	9689	8711
	Desv P	520	646	944	474	1233	1124	793	1661	799	1499	761	925
	CV	10%	10%	14%	8%	7%	11%	8%	16%	8%	16%	8%	11%
3º Eixo	Média	5373	6045	6082	6173	19236	10900	10618	10236	10218	9455	10000	7589
	Desv P	533	466	928	744	1910	834	1246	2051	1308	1930	853	846
	CV	10%	8%	15%	12%	10%	8%	12%	20%	13%	20%	9%	11%
<b>Velocidade média</b>												<b>46 km/h</b>	

O gráfico da Figura 36 mostra os valores de variação por linha organizados pelo número da respectiva linha de sensor e nos três eixos do veículo do teste.

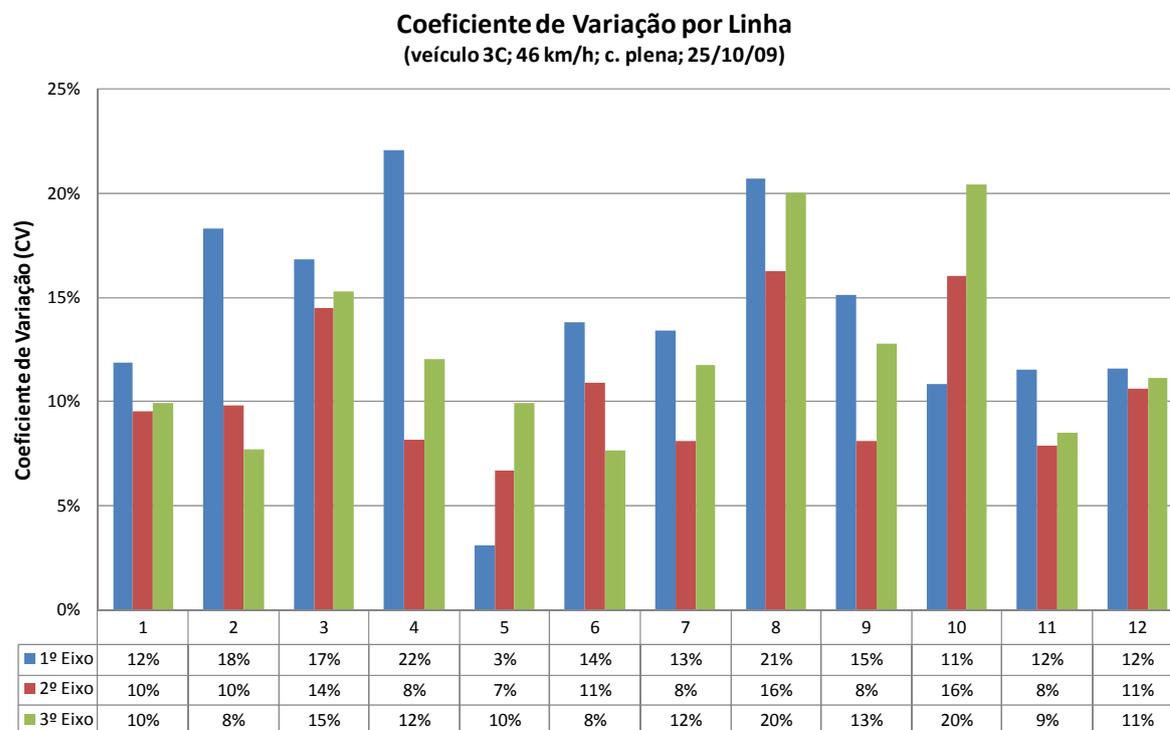


Figura 36 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 50 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, carga plena e velocidade 50 km/h permitem inferir:

- ⊙ Os resultados das linhas de sensores 11 e 12 foram calculados sem dados de duas passadas, ou seja duas passadas com valores nulos;
- ⊙ A variação do 1º eixo não é superior aos demais eixos somente nas linhas de sensor 5 e 10. este eixo apresenta, ainda, o maior valor registrado deste teste com a máxima de 22%;
- ⊙ O 2º eixo, nas linhas 1, 3, 4, 7, 8 e 9, apresenta menor variação que os demais eixos;
- ⊙ As variações máximas registradas para 1º eixo foi de 22%; 2º eixo de 16% e 3º eixo de 20%;
- ⊙ As mínimas registradas foram 3% no 1º eixo, 7% no 2º eixo e 8% no 3º eixo.

Os testes realizados no dia 25 de novembro de 2009 contou com um veículo de carga da classe 3C transportando uma carga, considerada carga plena ou próxima ao limite máximo legal. A velocidade considerada é de 50 km/h, sendo a registrada pelo sistema a velocidade média de 42 km/h. A Tabela 27 apresenta os dados calculados por eixo da média, do desvio padrão e do coeficiente de variação referente as passadas do veículo sobre as dezesseis linhas de sensores de tecnologia cerâmico.

Tabela 27 - Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 50 km/h, 25/11/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1º Eixo	Média	2917	2533	3100	3050	4017	2683	2667	2633	2700	2883	3100	3550	3200	3383	3083	2850
	Desv P	471	367	716	524	828	376	686	273	544	1165	693	1206	335	382	668	345
	CV	16%	14%	23%	17%	21%	14%	26%	10%	20%	40%	22%	34%	10%	11%	22%	12%
2º Eixo	Média	9440	8540	9867	9567	13067	10233	8783	9167	10517	9733	10617	11833	10167	10567	9083	10650
	Desv P	688	1146	779	1255	3037	2855	1787	829	4110	3399	2494	3440	1751	1031	4534	1553
	CV	7%	13%	8%	13%	23%	28%	20%	9%	39%	35%	23%	29%	17%	10%	50%	15%
3º Eixo	Média	14267	12333	13050	14283	17133	12533	12233	11033	13200	12533	14000	17283	10667	11883	9100	10633
	Desv P	4504	4562	4135	3872	5644	4971	2791	2610	3214	3095	2850	5093	662	2344	3618	2890
	CV	32%	37%	32%	27%	33%	40%	23%	24%	24%	25%	20%	29%	6%	20%	40%	27%
<b>Velocidade média</b>																<b>42 km/h</b>	

A Figura 37 mostra a representação gráfica dos coeficientes de variação por linha nos respectivos eixos do veículo.

**Coefficiente de Variação por Linha**  
(veículo 3C; 42 km/h; c. plena; 25/11/09)

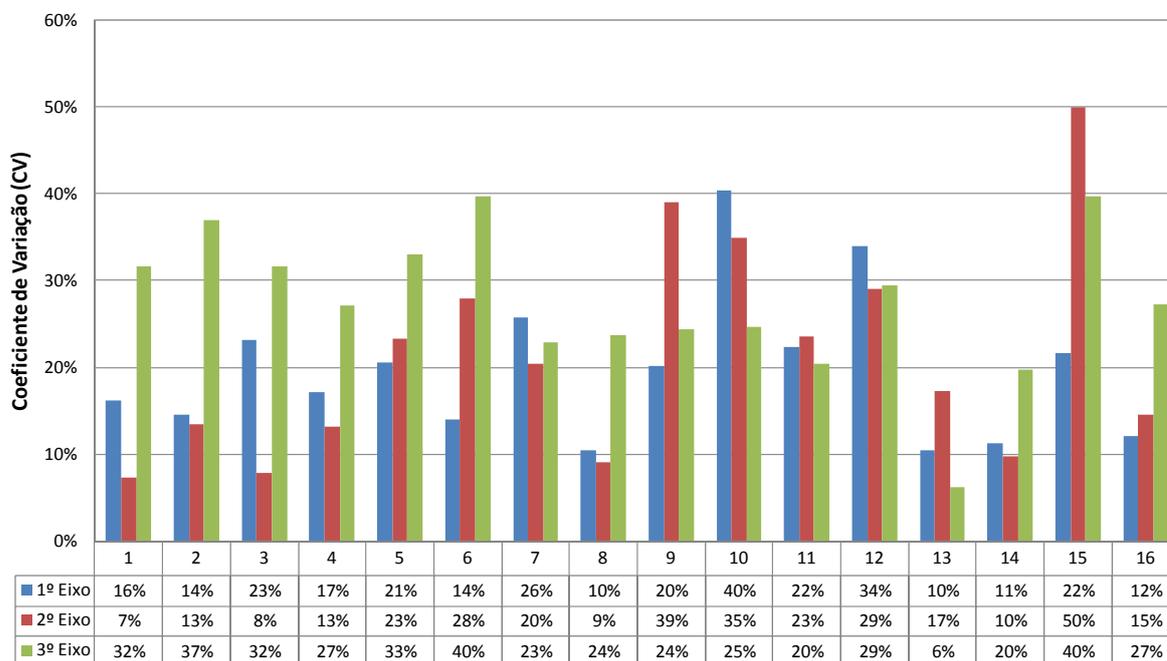


Figura 37 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 50 km/h, 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/11/09, carga plena e velocidade 50 km/h permitem inferir:

- ⊙ Nas primeiras linhas, sensores 1, 2, 3, 4, 5 e 6, assim como no sensor 8 e 16, o 3º eixo apresenta maior variação em comparação aos demais eixos;
- ⊙ A variação do 1º eixo é maior do que o 2º eixo, em uma comparação entre eles, nas linhas de sensores 1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 12 e 14;
- ⊙ O 2º eixo apresenta o maior um valor de dispersão da série na linha de 15, uma variação de 50%. Na mesma linha de sensor, a variação do 3º eixo é de 40%;
- ⊙ Os maiores valores de variação encontrados no teste são, para o 1º eixo, 40%, 2º eixo com 50% e 3º eixo 40%;
- ⊙ Os menores valores de variação são para o 1º eixo na ordem de 10%, para o 2º eixo de 7% e 3º eixo de 6%.

### 3.5 Avaliação dos dados do Sistema Piezelétrico Polímero

Acompanhando a mesma lógica adotada nos sistemas anteriores, a avaliação do sistema piezelétrico polímero utiliza os três testes executados nos dias 25 de outubro e 25 de novembro de 2009. Os dados são organizados, primeiramente, pelas passadas do veículo sobre todas as linhas e, em seguida, pela linha de sensor nas diversas passadas.

Os resultados da avaliação dos testes selecionados do sistema polímero estão apresentados na Tabela 28, que são referentes ao teste realizado no dia 25 de outubro com veículo 3C e vazio. A velocidade considerada é de 70 km/h, sendo a registrada pelo sistema a velocidade média de 69 km/h. Os dados referem-se as 11 passadas realizadas nos três eixos do veículo.

Tabela 28 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 70 km/h, 25/10/09.

Passada		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1º Eixo	Média	2093	2413	2625	2256	1925	2488	2063	2800	2650	2200	2056
	Desv. P	1030	944	1117	1075	966	1320	1015	1380	1270	1037	1126
	CV	49%	39%	43%	48%	50%	53%	49%	49%	48%	47%	55%
2º Eixo	Média	2179	2219	2325	2125	2038	2444	1875	2131	2219	1888	1981
	Desv. P	1134	872	1023	1225	1016	1335	831	949	994	924	1074
	CV	52%	39%	44%	58%	50%	55%	44%	45%	45%	49%	54%
3º Eixo	Média	1867	2013	2100	1775	1600	1963	1525	1725	1888	1600	1625
	Desv. P	592	394	472	446	421	605	417	565	669	466	399
	CV	32%	20%	22%	25%	26%	31%	27%	33%	35%	29%	25%
<b>Velocidade média</b>											<b>69</b>	<b>km/h</b>

A Figura 38 mostra a representação gráfica dos coeficientes de variação por linha nos respectivos eixos do veículo.

**Coefficiente de Variação por Passada**  
(veículo 3C; 69 km/h; vazio; 25/10/09)

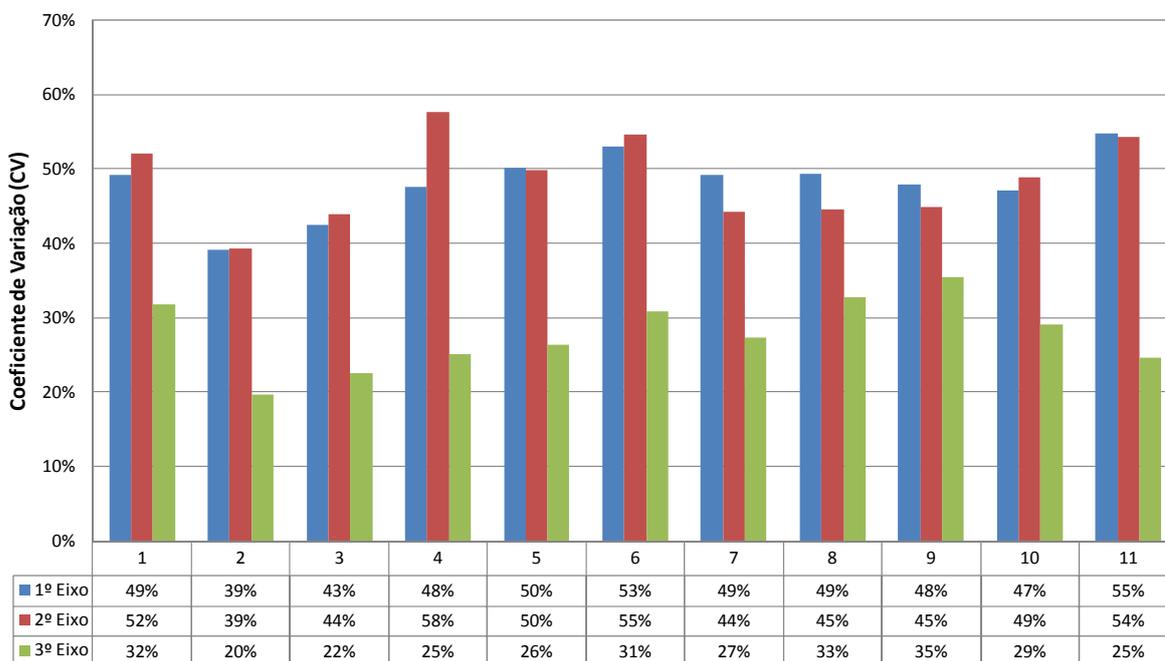


Figura 38 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 70 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, vazio, 70 km/h permitem inferir:

- ⊙ Em todas as passadas do 3º eixo não ocorreram registros de oito linhas de sensores, o que explica a menor variação na comparação com os demais eixos;
- ⊙ As maiores variações entre os eixos é de 55% no 1º e de 58% no 2º;
- ⊙ Os menores coeficientes de variação observados são 35% para o 1º eixo e 39% para o 2º eixo.

O teste realizado no dia 25 de outubro de 2009 utiliza o veículo de carga da classe 3C para trafegar a meia carga sobre os sensores instalados na pista de testes. A velocidade média registrada nas passadas é de 40 km/h. A Tabela 29 apresenta os dados calculados por eixo da média, do desvio padrão e do coeficiente de variação referente as passadas do veículo sobre linhas de sensores.

Tabela 29 - Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 40 km/h, 25/10/09.

Passada		1	2	3	4	5	6
1º Eixo	Média	2507	2600	3200	3331	2971	2994
	Desv. P	1255	1240	1327	1262	1109	1059
	CV	50%	48%	41%	38%	37%	35%
2º Eixo	Média	4329	4544	5381	5100	4721	4825
	Desv. P	2136	1931	2532	1894	2052	1988
	CV	49%	42%	47%	37%	43%	41%
3º Eixo	Média	4083	4213	4788	5050	4517	4438
	Desv. P	1083	494	530	641	483	414
	CV	27%	12%	11%	13%	11%	9%
<b>Velocidade média</b>						<b>40</b>	<b>km/h</b>

A Figura 39 mostra a representação gráfica dos coeficientes de variação por passada nos respectivos eixos do veículo.

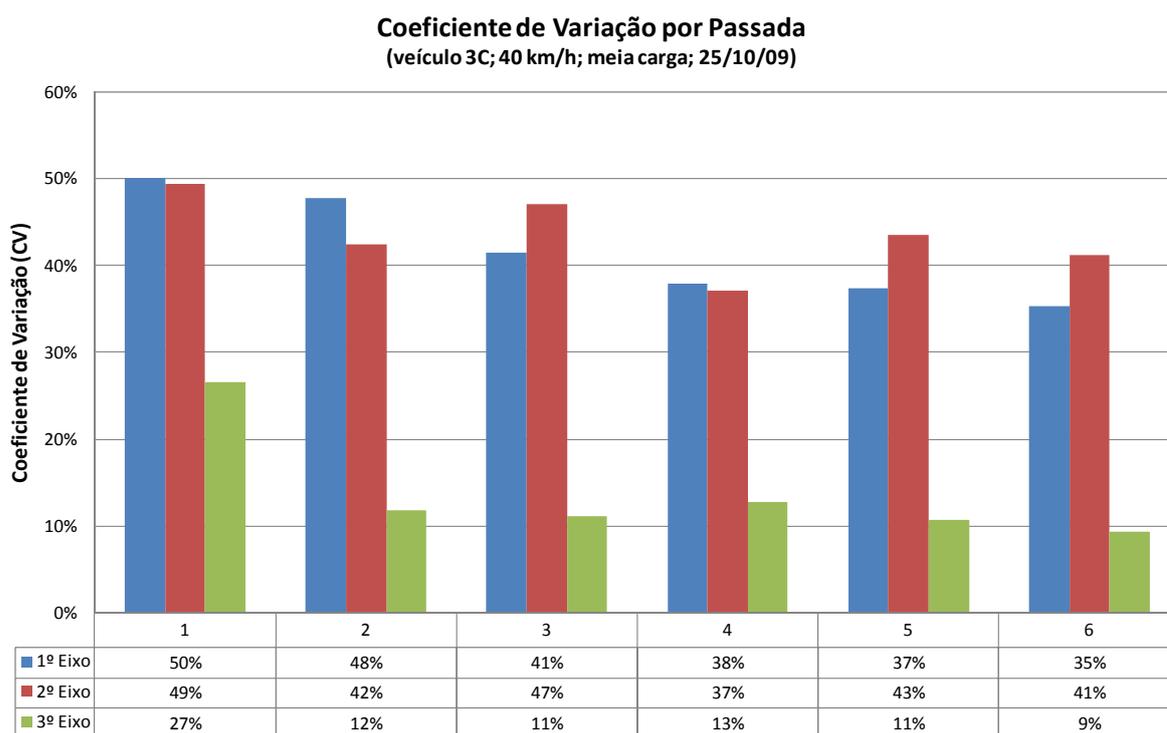


Figura 39 – Coeficiente de variação (CV) por passada, 40 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, meia carga, 40 km/h permitem inferir:

- ⊙ Em todas as passadas do 3º eixo não ocorreram registros de oito linhas de sensores, o que explica a menor variação na comparação com os demais eixos;
- ⊙ As passadas 1 e 5 apresentam falhas de aquisição em todos os eixos não permitindo comparação entre com as demais passadas;
- ⊙ As maiores variações, em comparação e nos eixos válidos das passadas 2, 3, 4 e 6, é de 50% no 1º e de 49% no 2º;
- ⊙ Os valores mínimos dos coeficientes de variação observados válidos para o 1º eixo é de 35%, no 2º eixo de 37%;
- ⊙ Os valores encontrados no 1º eixo tendem a diminuir dentro das passadas, enquanto o 2º e 3º se apresentam dispersos.

O teste de 25 de novembro de 2009 utilizou o veículo 3C carregado com carga plena e uma velocidade média de 33 km/h, onde a velocidade desejada era de 50 km/h. Ao todo foram realizadas 7 passadas. A Tabela 30 apresenta os valores calculados da média, desvio padrão e coeficiente de variação em cada passada e eixo.

Tabela 30- Dados de média, desvio padrão e CV por passada, 50 km/h, 25/11/09.

Passada		1	2	3	4	5	6	7
1º Eixo	Média	2894	2300	2625	2481	2369	2450	1956
	Desv. P	1250	902	2069	578	665	679	643
	CV	43%	39%	79%	23%	28%	28%	33%
2º Eixo	Média	9731	8269	7769	8388	8275	8356	8125
	Desv. P	2533	2221	3298	2038	1978	2079	1919
	CV	26%	27%	42%	24%	24%	25%	24%
3º Eixo	Média	9188	10294	7588	11469	13150	14313	10050
	Desv. P	2467	3234	3111	4601	3695	4459	2816
	CV	27%	31%	41%	40%	28%	31%	28%
<b>Velocidade média</b>							<b>33</b>	<b>km/h</b>

O gráfico com os respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo está apresentado na Figura 40.

**Coeficiente de Variação por Passada**  
(veículo 3C; 33 km/h; c. plena; 25/11/09)

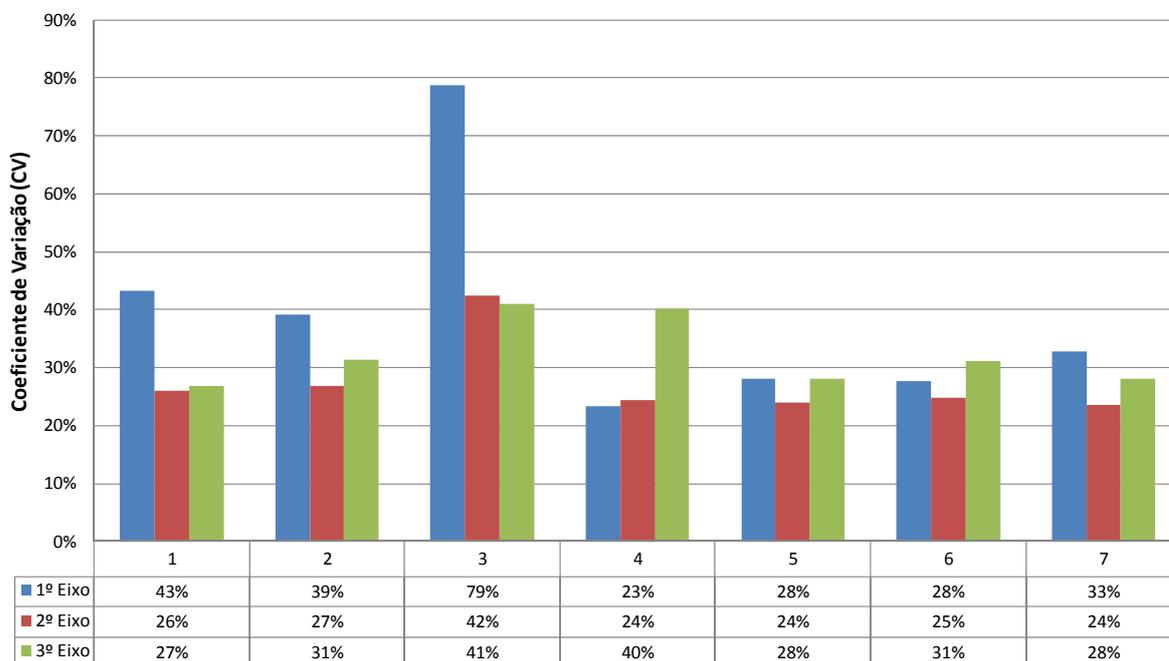


Figura 40– Coeficiente de variação (CV) por passada, 50 km/h, 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, carga plena, 50 km/h permitem inferir:

- ⊙ O valor de coeficiente de variação do 1º eixo foi superior ao demais eixos nas passadas 1, 2, 3, 5, 6 e 7;
- ⊙ O 2º eixo apresenta os menores valores nas passadas 1, 2, 5, 6 e 7;
- ⊙ Os maiores valores de variação são para o 1º eixo de 79%, 2º eixo de 42% e 3º eixo de 41%;
- ⊙ A menores coeficientes são para o 1º eixo de 23%, 2º eixo 24% e 3º eixos 27%.

A avaliação dos resultados por linha do sistema piezelétrico polímero serão feitas a partir dos testes selecionados anteriormente apresentados.

O teste realizado no dia 25 de outubro de 2009 considera todos os 16 sensores. A Tabela 31 agrupa os resultados de media, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) dos valores obtidos com as linhas de sensores nas diferentes passadas. A última linha da tabela apresenta o valor médio da velocidade calculada a partir da coleta em cada passada.

Tabela 31- Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 70 km/h, 25/10/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1º Eixo	Média	3591	3073	2018	1936	336	645	2445	2000	1645	2718	2464	1945	4945	2700	2380	2400
	Desv P	446	408	705	361	67	93	291	268	573	346	448	472	733	529	447	406
	CV	12%	13%	35%	19%	20%	14%	12%	13%	35%	13%	18%	24%	15%	20%	19%	17%
2º Eixo	Média	3655	3655	2245	1800	409	409	2500	1718	1745	1745	1900	1691	3273	3273	1870	2150
	Desv P	461	461	563	427	70	70	141	397	242	242	417	457	571	571	481	363
	CV	13%	13%	25%	24%	17%	17%	6%	23%	14%	14%	22%	27%	17%	17%	26%	17%
3º Eixo	Média	-	-	2491	1491	-	-	1991	1455	-	-	1673	1682	-	-	2160	1350
	Desv P	-	-	461	365	-	-	230	266	-	-	304	397	-	-	384	414
	CV	-	-	19%	24%	-	-	12%	18%	-	-	18%	24%	-	-	18%	31%
<b>Velocidade média</b>																	<b>69 km/h</b>

O gráfico que apresenta os respectivos coeficientes de variação por linha e por eixo é a Figura 41, as barras em azuis representam os valores do 1º eixo, em vermelho o 2º eixo e verde o 3º eixo.

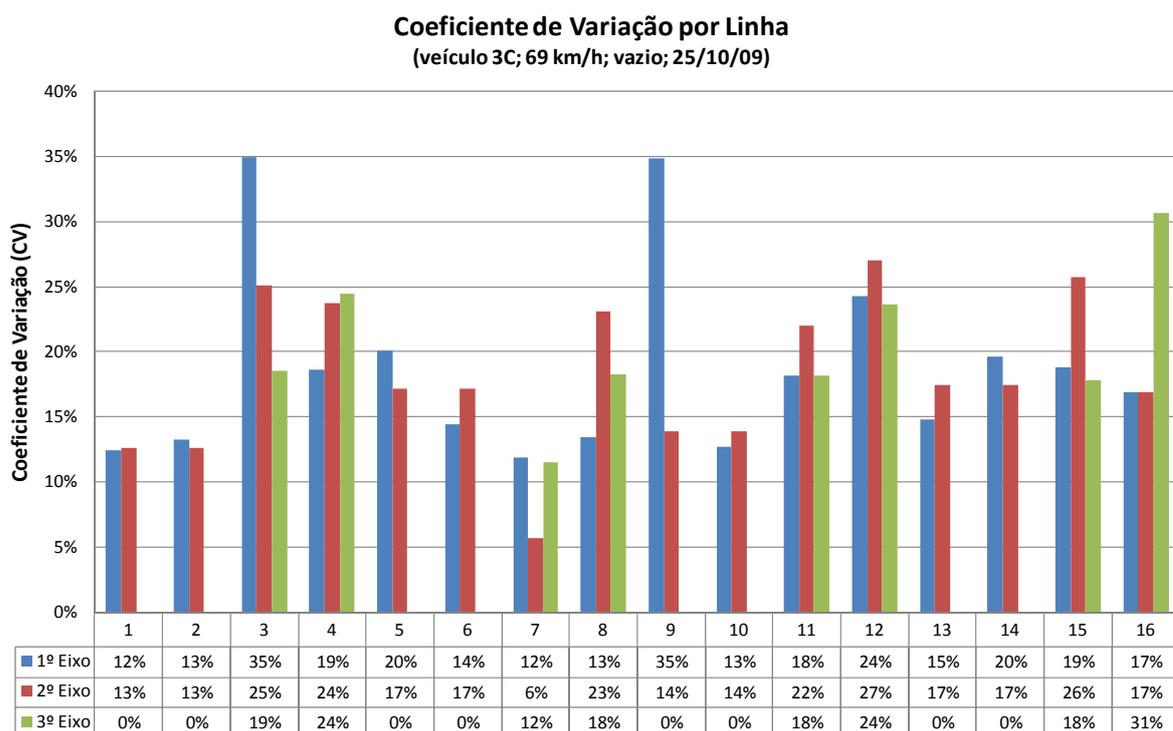


Figura 41– Coeficiente de variação (CV) por linha, 70 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, vazio, 70 km/h permitem inferir:

- ⊙ Estão faltando os valores pertencentes ao grupo do 3º eixo nas linhas de sensor 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13 e 14;
- ⊙ Os maiores valores, válidos de variação são para o 1º eixo de 35%, 2º eixo de 27% e 3º eixo de 31%;
- ⊙ A menores coeficientes são para o 1º eixo de 12%, 2º eixo 6% e 3º eixos 12%;
- ⊙ A variação do 1º eixo é maior, comparado com os outros eixos, nas linhas 3, 4 e 7;
- ⊙ A variação do 2º é maior nas linhas 8, 11, 12 e 15;
- ⊙ Para o 3º eixo, nos dados válidos, nas linhas 4 e 16;

A Tabela 32 mostra os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores da aquisição de cada linha de sensor nas passadas do veículo de teste. As passadas foram realizadas no dia 25 de outubro de 2009, com um veículo classe 3C carregado com meia carga, a velocidade media indicada na última linha da tabela é de 40 km/h.

Tabela 32- Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 40 km/h, 25/10/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1º Eixo	Média	4133	3500	2517	2267	550	950	3333	2717	2783	3700	3067	2767	5350	3067	3200	3425
	Desv P	596	415	1094	1044	84	302	516	214	436	469	532	273	295	314	200	250
	CV	14%	12%	43%	46%	15%	32%	15%	8%	16%	13%	17%	10%	6%	10%	6%	7%
2º Eixo	Média	6033	6033	4583	3983	983	983	5167	4467	4600	4600	4767	4300	8450	8450	5350	4625
	Desv P	513	513	1063	496	41	41	543	520	616	616	535	379	931	931	465	479
	CV	8%	8%	23%	12%	4%	4%	11%	12%	13%	13%	11%	9%	11%	11%	9%	10%
3º Eixo	Média	-	-	4283	3833	-	-	4983	4533	-	-	5217	4350	-	-	4550	4525
	Desv P	-	-	866	717	-	-	591	455	-	-	649	308	-	-	252	222
	CV	-	-	20%	19%	-	-	12%	10%	-	-	12%	7%	-	-	6%	5%
<b>Velocidade média</b>																<b>40</b>	<b>km/h</b>

O gráfico com os respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo está apresentado na Figura 42.

**Coefficiente de Variação por Linha**  
(veículo 3C; 40 km/h; meia carga; 25/10/09)

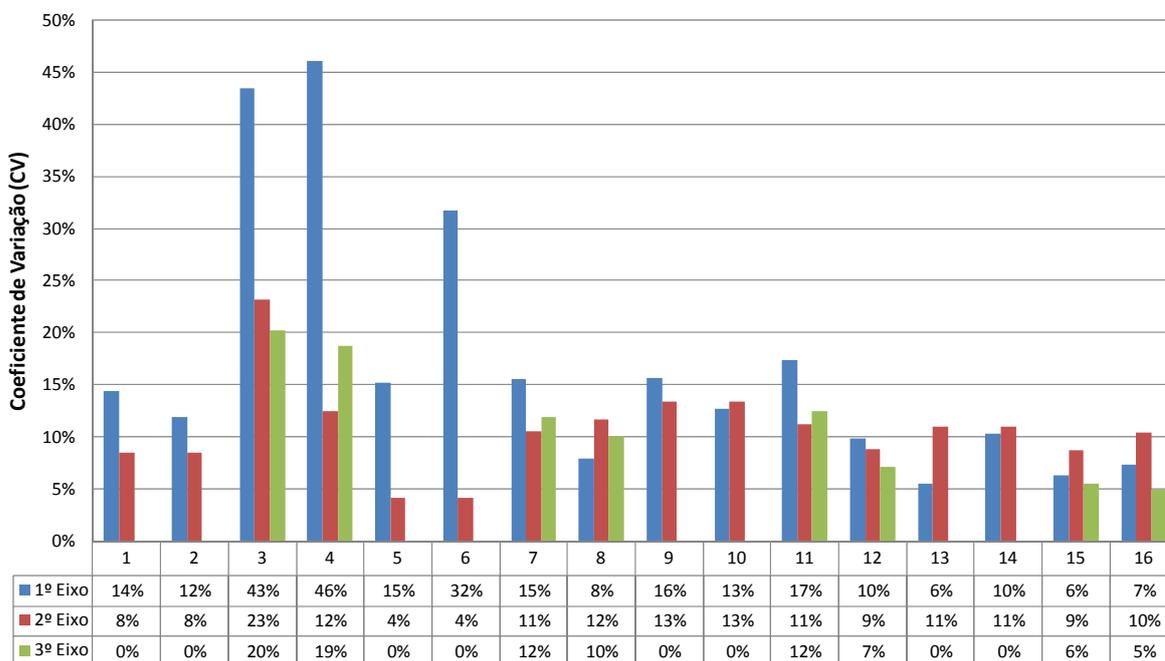


Figura 42– Coeficiente de variação (CV) por linha, 40 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, meia carga, 40 km/h permitem inferir:

- ⊙ Estão faltando os valores pertencentes ao grupo do 3º eixo nas linhas de sensor 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13 e 14;
- ⊙ Os maiores valores, válidos de variação são para o 1º eixo de 46%, 2º eixo de 23% e 3º eixo de 20%;
- ⊙ A menores coeficientes são para o 1º eixo de 6%, 2º eixo 9% e 3º eixos 5%;
- ⊙ A variação do 1º eixo é maior que os demais eixos nas linhas de sensores 3, 4, 7, 11 e 12;
- ⊙ A variação do 2º eixo é maior nas linhas 8, 15 e 16;

O teste de 25 de novembro de 2009 utilizou o veículo 3C carregado com carga plena e uma velocidade média de 33 km/h, onde a velocidade desejada era de 50 km/h. A Tabela 33 apresenta os valores calculados da média, desvio padrão e coeficiente de variação por eixos em cada linha de sensor.

Tabela 33- Dados de média, desvio padrão e CV por linha, 50 km/h, 25/11/09.

Linha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1ª Eixo	Média	1617	1883	2700	2800	2700	1917	3217	2567	2483	2850	2300	2833	2083	2250	2383	3733
	Desv P	637	299	777	748	1288	133	1341	1102	765	1241	540	1056	783	485	556	2881
	CV	39%	16%	29%	27%	48%	7%	42%	43%	31%	44%	23%	37%	38%	22%	23%	77%
2ª Eixo	Média	6500	6500	8350	8667	8850	6700	9933	8033	8383	8700	8633	9733	8833	7800	9200	10617
	Desv P	1049	795	1460	1458	4099	580	3858	1624	2792	3170	1962	3115	991	1677	533	3113
	CV	16%	12%	17%	17%	46%	9%	39%	20%	33%	36%	23%	32%	11%	21%	6%	29%
3ª Eixo	Média	9467	11250	10767	9633	11117	10183	14783	12583	11417	11667	9300	14517	9683	7217	12150	10267
	Desv P	4291	5579	3036	2217	6816	4128	2494	3084	833	1206	6016	7587	3138	1918	3852	2981
	CV	45%	50%	28%	23%	61%	41%	17%	25%	7%	10%	65%	52%	32%	27%	32%	29%
<b>Velocidade média</b>																	<b>33 km/h</b>

O gráfico com os respectivos coeficientes de variação por passada e por eixo está apresentado na Figura 40.

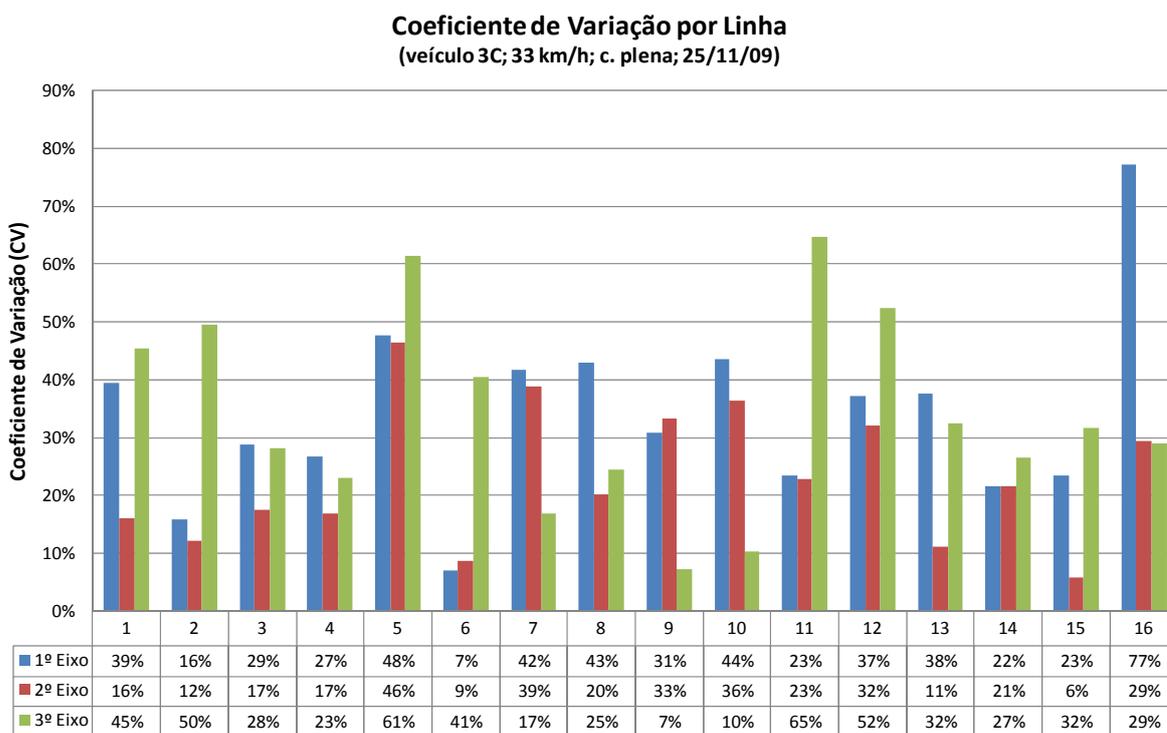


Figura 43 – Coeficiente de variação (CV) por linha, 50 km/h, 25/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/10/09, carga plena, 50 km/h permitem inferir:

- ⊙ O 1º eixo apresenta os maiores valores de variação, em comparação com os demais eixos, nas linhas de sensores 3, 4, 7, 8, 10, 13 e 16;

- ⊙ Os maiores valores de variação para o 3º eixo são nas linhas 1, 2, 5, 6, 11 e 13;
- ⊙ Os maiores coeficientes de variação encontrados são para o 1º eixo de 77%, 2º eixo de 46% e 3º eixo de 65%;
- ⊙ As menores variações são para o 1º eixo de 7%, 2º eixo 6% e 3º eixos 7%.

### **3.6 Avaliação dos Dados de Deformação**

Os dados coletados do sistema de deformação descreve a solicitação ocorrida no pavimento asfáltico, dentro do intervalo de tempo onde ocorre a passagem do veículo e todos os seus eixos.

A seguir são apresentados as passadas do veículo 2C e do veículo 3C nos testes selecionados dos dias 23 de outubro e 25 de novembro de 2009, respectivamente.

Nos dados são identificados:

- ⊙ O tipo de veículo;
- ⊙ O tipo de solicitação encontrada;
- ⊙ As diferenças entre as medidas longitudinais e transversais;

Ao final da análise será apresentada a identificação das frequências de solicitação encontradas em cada eixo nos dois sensores longitudinais do teste com o caminhão 3C do dia 25/11/09. Esta medida é utilizada nos ensaios com aplicação cíclica de carga, principalmente no estudo da deterioração do pavimento, que é necessário os testes de fadiga e modulo complexo.

O primeiro resultado apresentado é referente ao teste realizado no dia 23/10/09, onde foram realizadas passadas com um caminhão da classe 2C com carga plena e velocidade próxima a 50 km/h. A Figura 44 apresenta o sinal em volts da aquisição do sensor longitudinal 1 e apresenta todo o intervalo do evento.

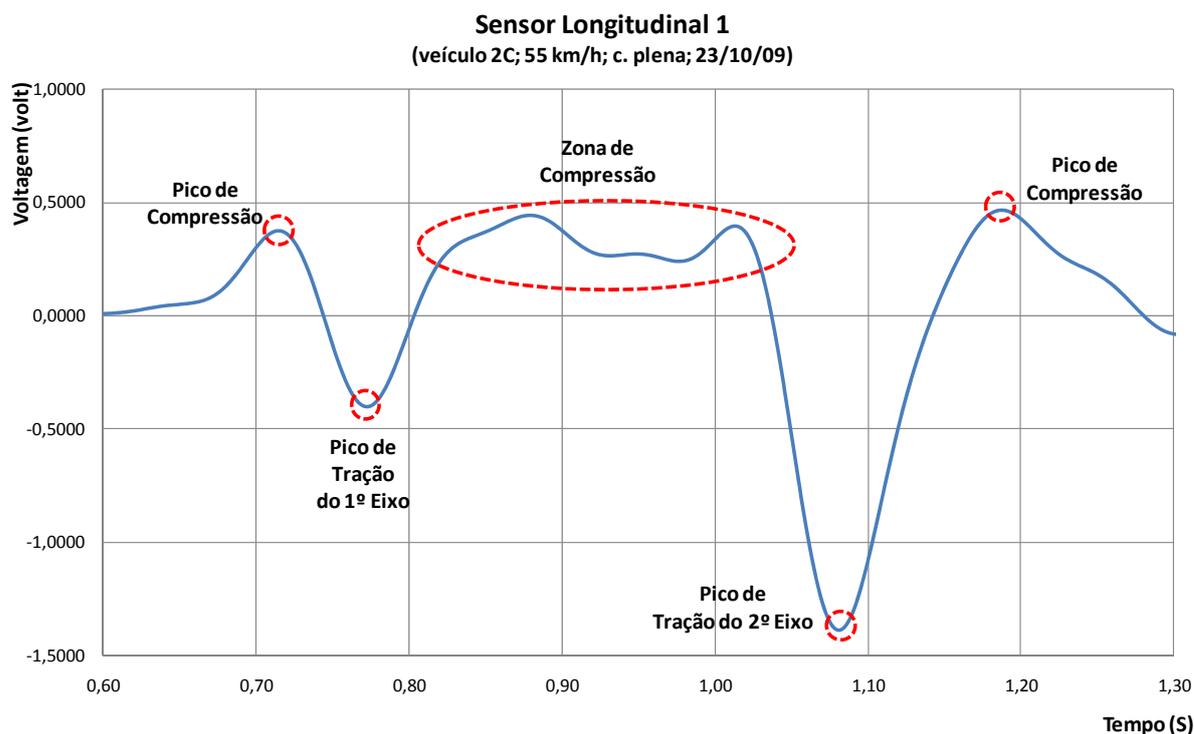


Figura 44– Sensor longitudinal 1, 1ª passada do teste dia 23/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 23/10/09, carga plena, 50 km/h, sensor longitudinal 1, 1ª passada, veículo 2C permitem inferir:

- ⊙ O sinal permite identificar todos os dois eixos do veículo de teste pela forma de um pico de tração (valor negativo) no momento da solicitação do rodado sobre o sensor;
- ⊙ O valor mínimo no pico de tração é diretamente proporcional a magnitude da deformação ocorrida na camada de rolamento do pavimento;
- ⊙ A forma do sinal que representa a solicitação do 1º eixo comprova a existência de picos de compressão antes e após a aplicação da força no contato pneu/pavimento;
- ⊙ O sinal correspondente a ação do 2º eixo é iniciado na zona de compressão, em que se somam as ações do 1º, seguido por um pico de tração e, por fim, um pico de compressão;
- ⊙ Entre os dois eixos verifica-se a ocorrência de uma zona de compressão que varia no tempo, este estado está ligado ao tempo necessário para o sinal do

sensor voltar ao valor de repouso e a superposição das solicitações aplicadas.

A Figura 45 apresenta o sinal em volts da aquisição do sensor longitudinal 4 da 1ª passada do veículo de teste 2C.

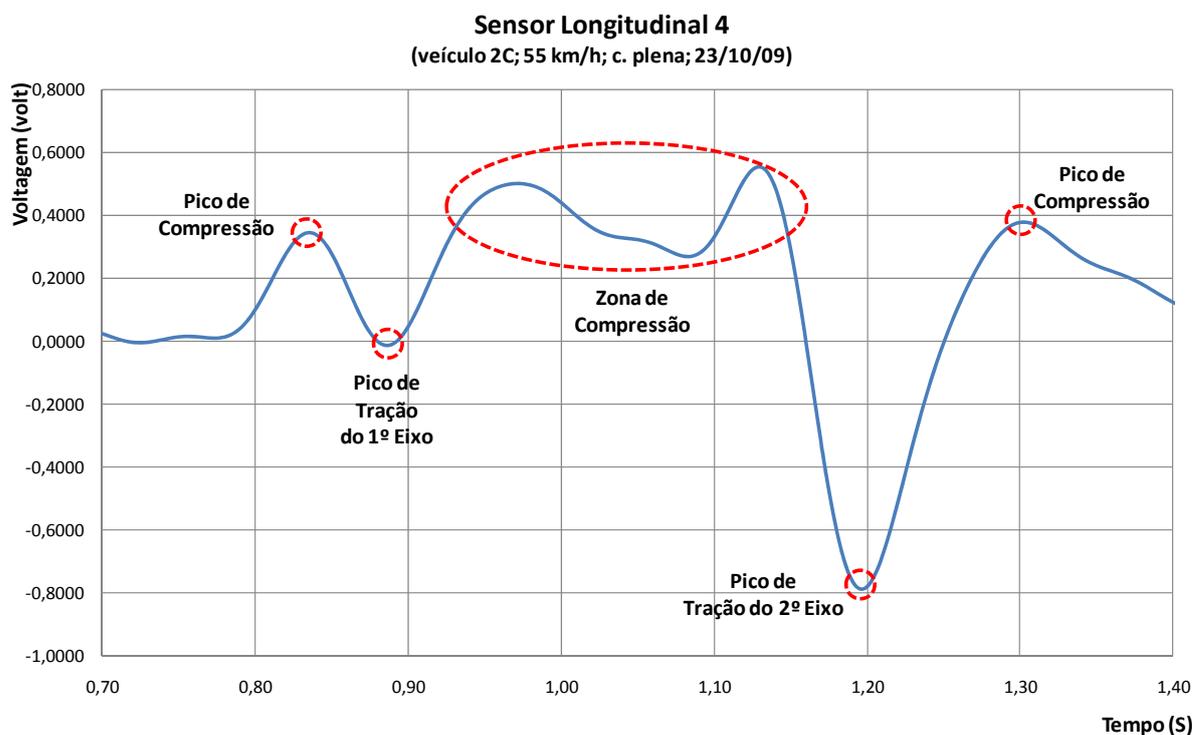


Figura 45 – Sensor longitudinal 4, 1ª passada do teste dia 23/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 23/10/09, carga plena, 50 km/h, sensor longitudinal 4, 1ª passada, veículo 2C permitem inferir:

- ⊙ O sinal comporta-se conforme o primeiro sensor longitudinal apresentado, os picos de tração permitem a identificação dos eixos do veículo;
- ⊙ O valores nos picos de tração são diretamente proporcionais a deformação aplicada ao pavimento;
- ⊙ A forma do sinal no 1º eixo comprova a existência de picos de compressão antes e após a aplicação da força no contato pneu/pavimento. Os picos de compressão são devido as forças que se acumulam a frente do pneu no momento do deslocamento;
- ⊙ A zona de compressão reforça a interferência entre os dois eixos no sinal do sensor com picos no início e no fim;

A Figura 46 apresenta o sinal em volts da aquisição do sensor transversal 2 da 1ª passada do veículo de teste 2C.

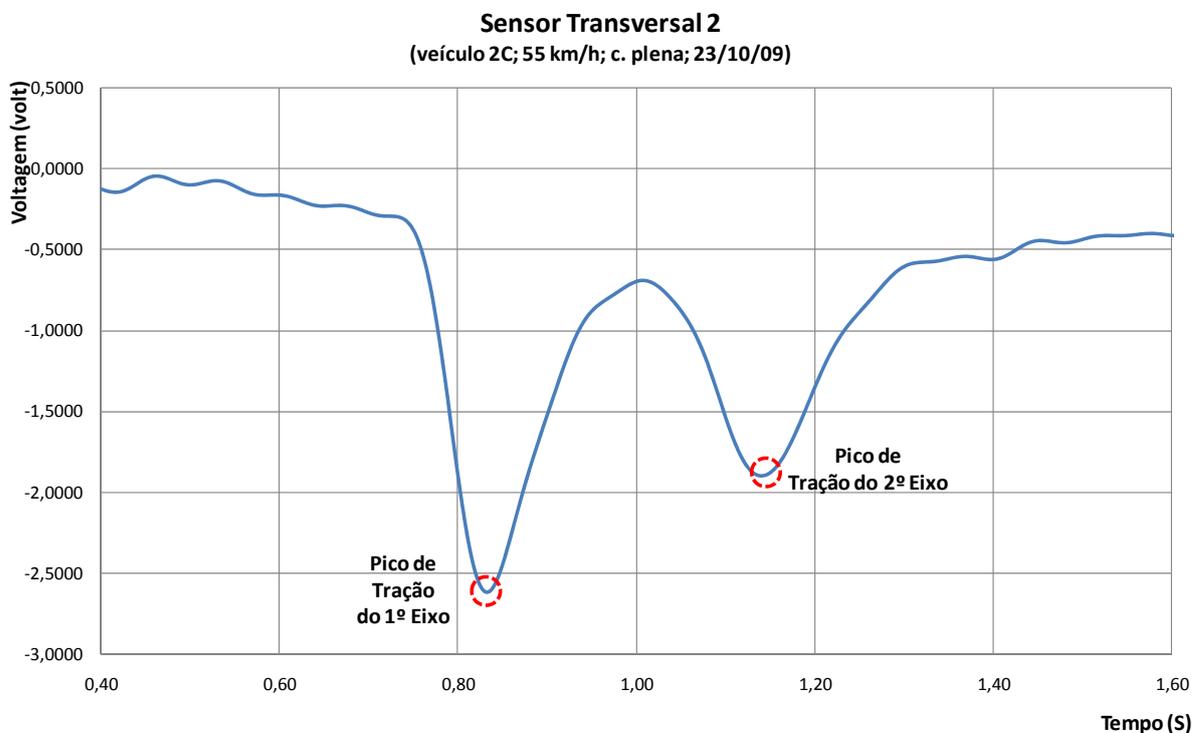


Figura 46 – Sensor transversal 2, 1ª passada do teste dia 23/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 23/10/09, carga plena, 50 km/h, sensor longitudinal 2, 1ª passada, veículo 2C permitem inferir:

- ⊙ O sinal transversal permite identificar todos os dois eixos do veículo de teste pela forma de picos de tração (valor negativo) no exato momento que o eixo solicita o sensor;
- ⊙ O valor mínimo no pico de tração é diretamente proporcional a magnitude da deformação ocorrida na camada de rolamento do pavimento;
- ⊙ A forma do sinal no sensor transversal não apresenta picos de compressão, pois o deslocamento do pneu sobre o pavimento não apresenta esforços de compressão no sentido transversal;
- ⊙ Não existe, no sinal de sensores de alinhamento transversal, zonas de compressão, mas fica evidente a influência dos eixos que não permite o retorno do sinal ao repouso.

A Figura 47 apresenta o sinal em volts da aquisição do sensor transversal 5 da 1ª passada do veículo de teste 2C.

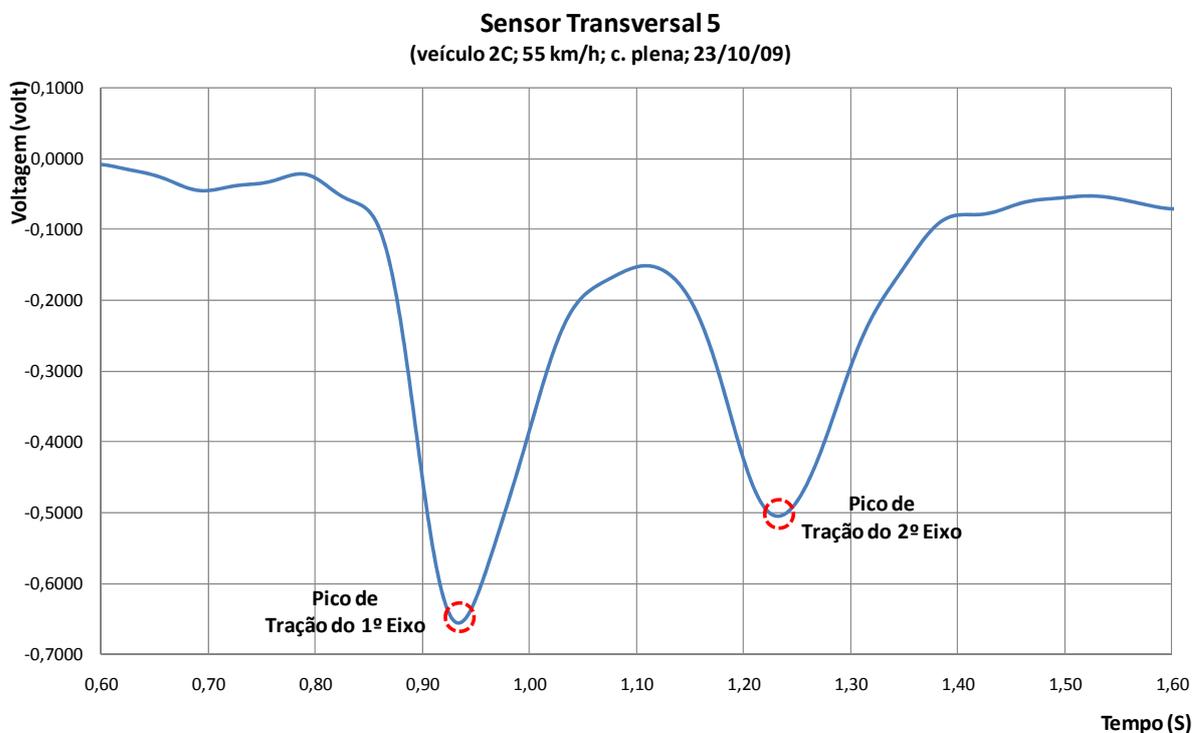


Figura 47– Sensor transversal 5, 1ª passada do teste dia 23/10/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 23/10/09, carga plena, 50 km/h, sensor transversal 5, 1ª passada, veículo 2C permitem inferir:

- ⊙ O sinal transversal permite identificar todos os dois eixos do veículo de teste pela forma de picos de tração (valor negativo) no exato momento que o eixo sobrepõe o sensor;
- ⊙ O valor mínimo no pico de tração é diretamente proporcional a magnitude da deformação ocorrida na camada de rolamento do pavimento;
- ⊙ A forma do sinal no sensor transversal não apresenta picos de compressão, pois o deslocamento do pneu sobre o pavimento não apresenta esforços de compressão no sentido transversal;
- ⊙ Não existe, no sinal de sensores de alinhamento transversal, zonas de compressão, mas fica evidente a influência dos eixos que não permite o retorno do sinal ao estado repouso.

O segundo resultado é referente ao teste realizado no dia 25/11/09, onde foram realizadas passadas com um caminhão da classe 3C com carga plena e velocidade próxima a 50 km/h. A Figura 48 apresenta o sinal em volts da aquisição do sensor longitudinal 1.

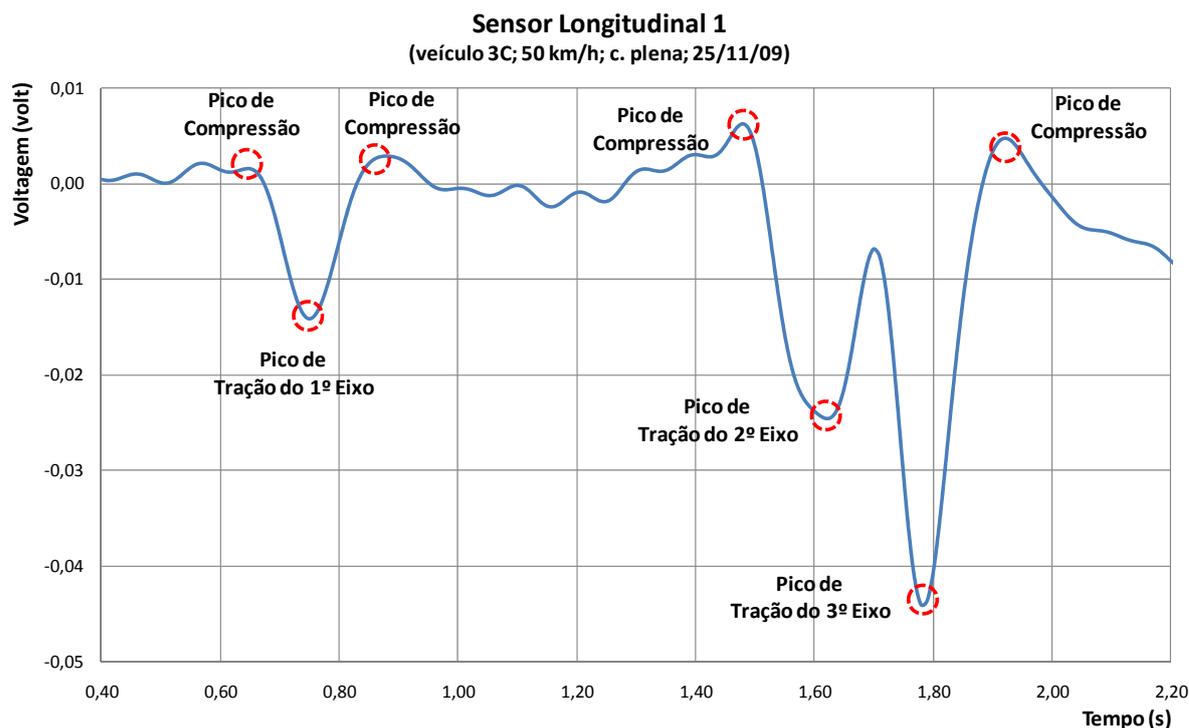


Figura 48 – Sensor longitudinal 1, 1ª passada do teste dia 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/11/09, carga plena, 50 km/h, sensor longitudinal 1, 1ª passada, veículo 3C permitem inferir:

- ⊙ O sinal permite identificar todos os três eixos do veículo de teste pela forma de pico de tração (valor negativo) no exato momento que o eixo passa sobre o sensor. São identificados os eixos 1, 2 e 3;
- ⊙ O valor mínimo no pico de tração é diretamente proporcional a magnitude da deformação ocorrida na camada de rolamento do pavimento;
- ⊙ A forma do sinal que representa a solicitação do 1º eixo comprova a existência de picos de compressão antes e após a aplicação da força no contato pneu/pavimento;

- ⊙ No espaço de tempo entre o 1º eixos e o 2º e 3º eixos não apresentou uma zona definida de compressão;
- ⊙ O sinal, no espaço de tempo de aquisição do 2º e 3º eixos, é típico para eixos muito próximos, pois um influencia o resultado do outro. Mesmo assim é possível identificar os picos de cada;
- ⊙ São verificadas as existências de picos de compressão antes e após as passadas dos eixos 2 e 3.

A Figura 49 apresenta o sinal em volts da aquisição do sensor longitudinal 4 da 1ª passada do veículo de teste 3C.

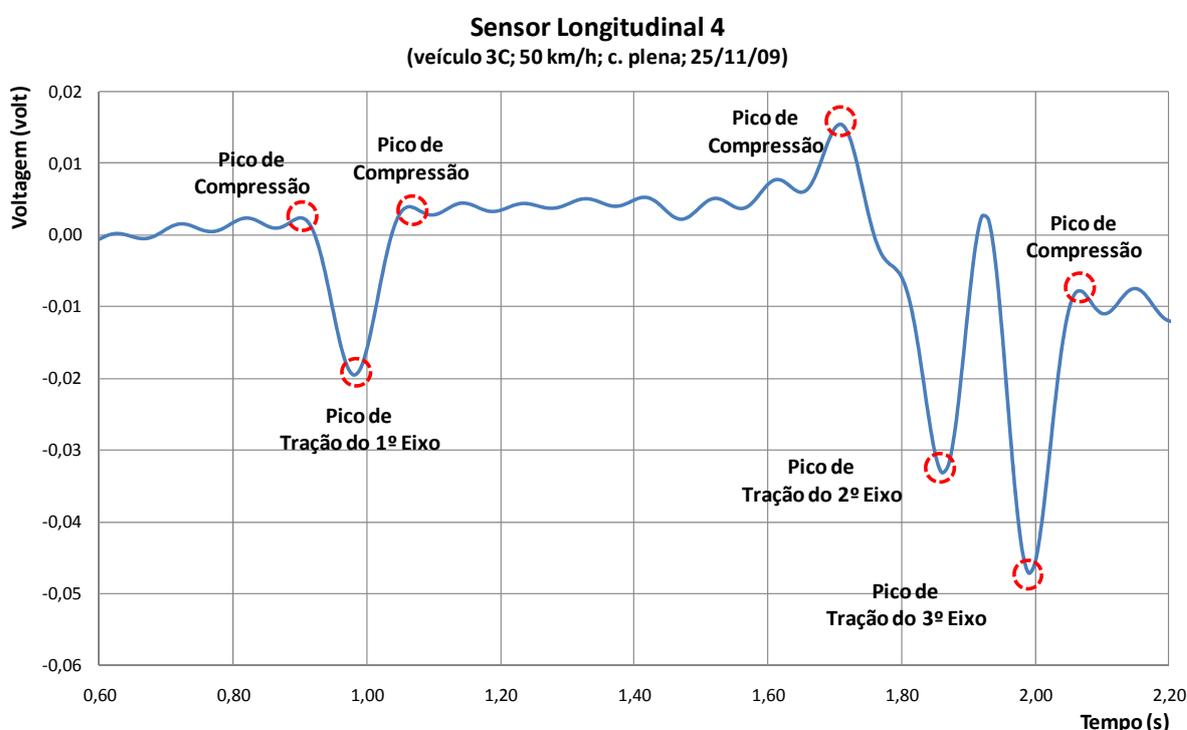


Figura 49 – Sensor longitudinal 4, 1ª passada do teste dia 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/11/09, carga plena, 50 km/h, sensor longitudinal 4, 1ª passada, veículo 3C permitem inferir:

- ⊙ O sinal permite identificar todos os três eixos do veículo de teste pela forma de pico de tração (valor negativo) no exato momento que o eixo passa sobre o sensor. São identificados os eixos 1, 2 e 3;

- ⊙ O valor mínimo no pico de tração é diretamente proporcional a deformação ocorrida na camada de rolamento do pavimento;
- ⊙ A forma do sinal que representa a solicitação do 1º eixo comprova a existência de picos de compressão antes e após a aplicação da força no contato pneu/pavimento;
- ⊙ No espaço de tempo entre o 1º eixos e o 2º e 3º eixos apresentou uma zona compressão estável;
- ⊙ O sinal, no espaço de tempo de aquisição do 2º e 3º eixos, é típico para eixos muito próximos, pois um influencia o resultado do outro. Mesmo assim é possível identificar os picos de cada;
- ⊙ São verificadas as existências de picos de compressão antes e após as passadas dos eixos 2 e 3.

A Figura 50 apresenta o sinal em volts da aquisição do sensor transversal 2 da 1ª passada do veículo de teste 3C.

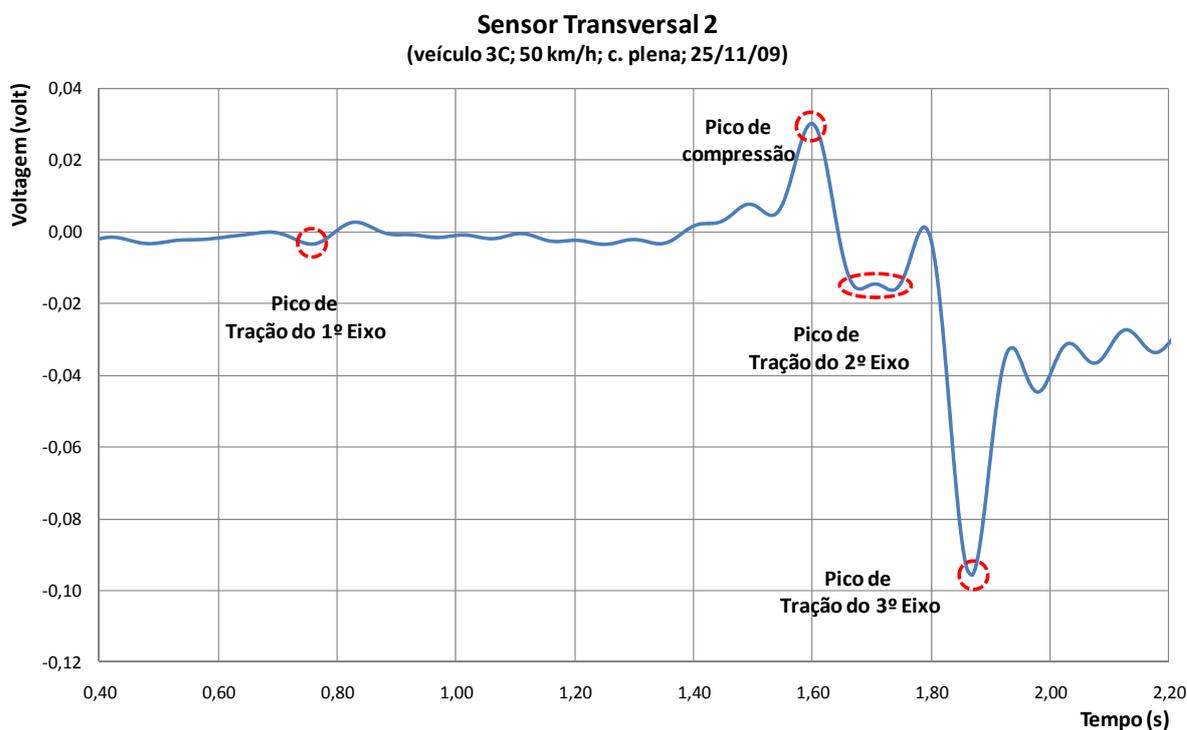


Figura 50 – Sensor transversal 2, 1ª passada do teste dia 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/11/09, carga plena, 50 km/h, sensor transversal 2, 1ª passada, veículo 3C permitem inferir:

- ⊙ O sinal do sensor transversal 2 apresenta um valor inesperado para o 1º eixo, uma das causas prováveis é o deslocamento lateral do veículo com relação ao eixo que passa sobre os sensores;
- ⊙ O sinal permite identificar todos os dois eixos do veículo de teste pela forma de pico de tração (valor negativo) no exato momento que o eixo passa sobre o sensor. São identificados os eixos 1, 2 e 3;
- ⊙ No espaço de tempo entre o 1º eixo e o 2º e 3º eixos não apresentou uma zona compressão estável;
- ⊙ O sinal, no espaço de tempo de aquisição do 2º e 3º eixos, é típico para eixos muito próximos, pois um influencia sobre o resultado do outro;
- ⊙ E verificado a existência de um pico de compressão antes da passagem dos eixos traseiros do veículo.

A Figura 51 apresenta o sinal em volts da aquisição do sensor transversal 5 da 1ª passada do veículo de teste 3C.

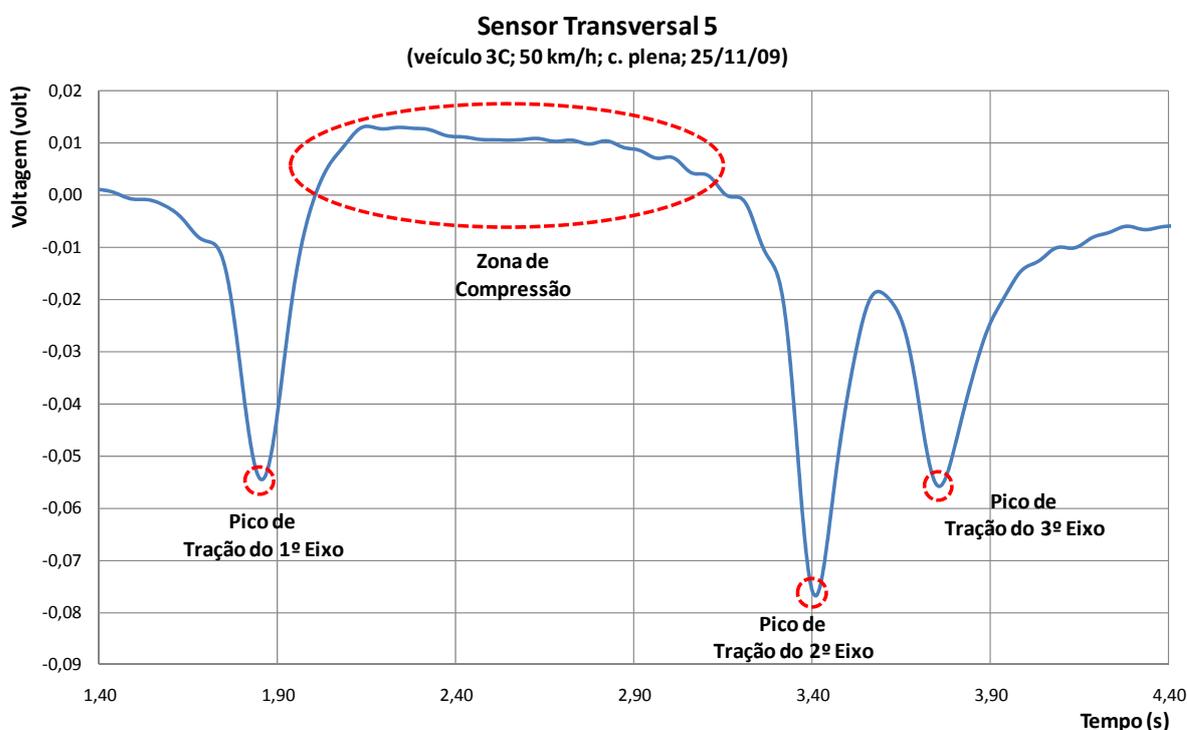


Figura 51 – Sensor transversal 5, 1ª passada do teste dia 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir dos dados coletados no teste do dia 25/11/09, carga plena, 50 km/h, sensor transversal 5, 1ª passada, veículo 3C permitem inferir:

- ⊙ O sinal permite identificar todos os três eixos do veículo de teste pela forma de pico de tração (valor negativo) no exato momento que o eixo passa sobre o sensor. São identificados os eixos 1, 2 e 3;
- ⊙ O valor mínimo no pico de tração é diretamente proporcional a deformação ocorrida na camada de rolamento do pavimento;
- ⊙ No espaço de tempo entre o 1º eixos e o 2º e 3º eixos apresentou uma zona compressão estável;
- ⊙ O sinal, no espaço de tempo de aquisição do 2º e 3º eixos, é típico para eixos muito próximos, pois um influencia o resultado do outro. Mesmo assim é possível identificar os picos de cada;

A seguir são apresentadas verificação das freqüências de sollicitação. Primeiramente é apresentado a avaliação do sensor longitudinal 1 na 1ª passa do teste do dia 25/11/09, Figura 52. Para cada eixo do veículo foi construída uma onda sinusoidal com mesma amplitude e freqüência de oscilação que a onda encontrada do respectivo eixo.

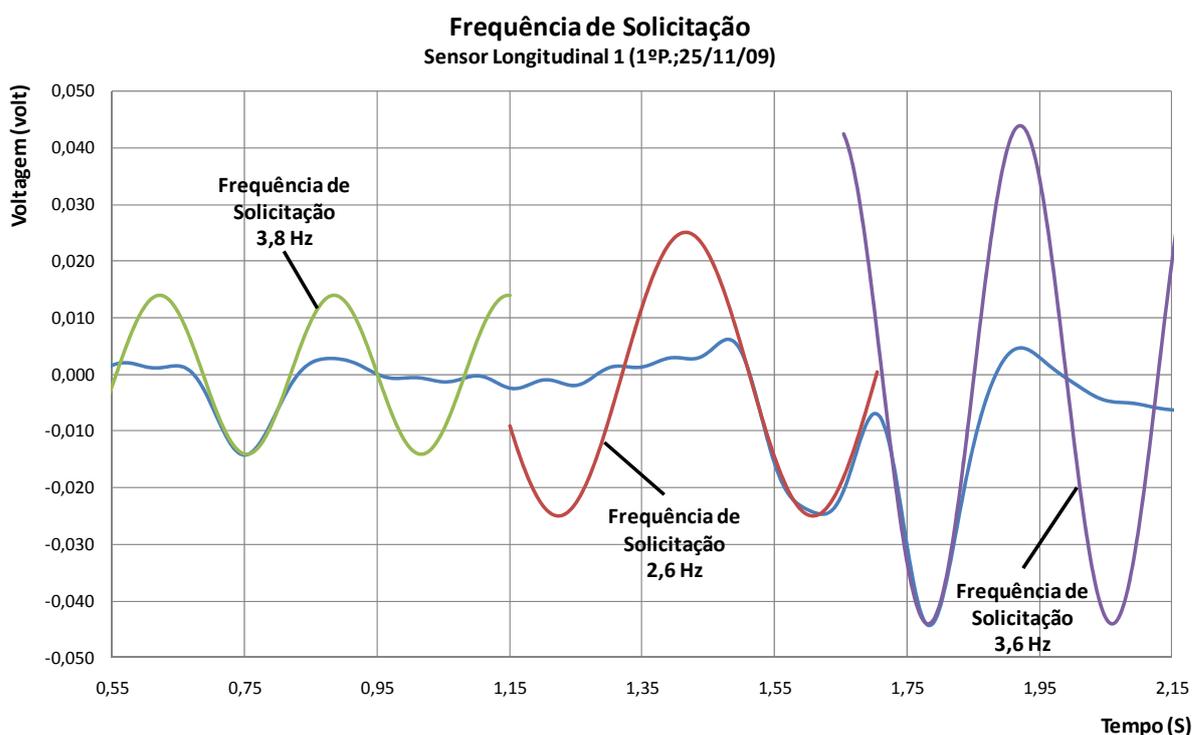


Figura 52 – Frequência de solicitação, s. longitudinal 1, 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir do estudo da frequência de solicitação permitem inferir:

- ⊙ Os valores das frequências encontrados são relativamente próximos entre si, as diferenças estão na amplitude da onda;
- ⊙ A onda equivalente ao esforço aplicado pelo 1º eixo possui uma frequência de solicitação de 3,8 Hz;
- ⊙ A onda equivalente ao esforço do 2º eixo possui uma frequência de 2,6 Hz;
- ⊙ A onda, para o 3º eixo, possui uma frequência de 3,6 Hz.

A Figura 53 apresenta o sinal em volts do sinal de deformação do sensor longitudinal 4, do teste dia 25/11/09, com as respectivas frequências de solicitação no 1º, 2º e 3º eixos.

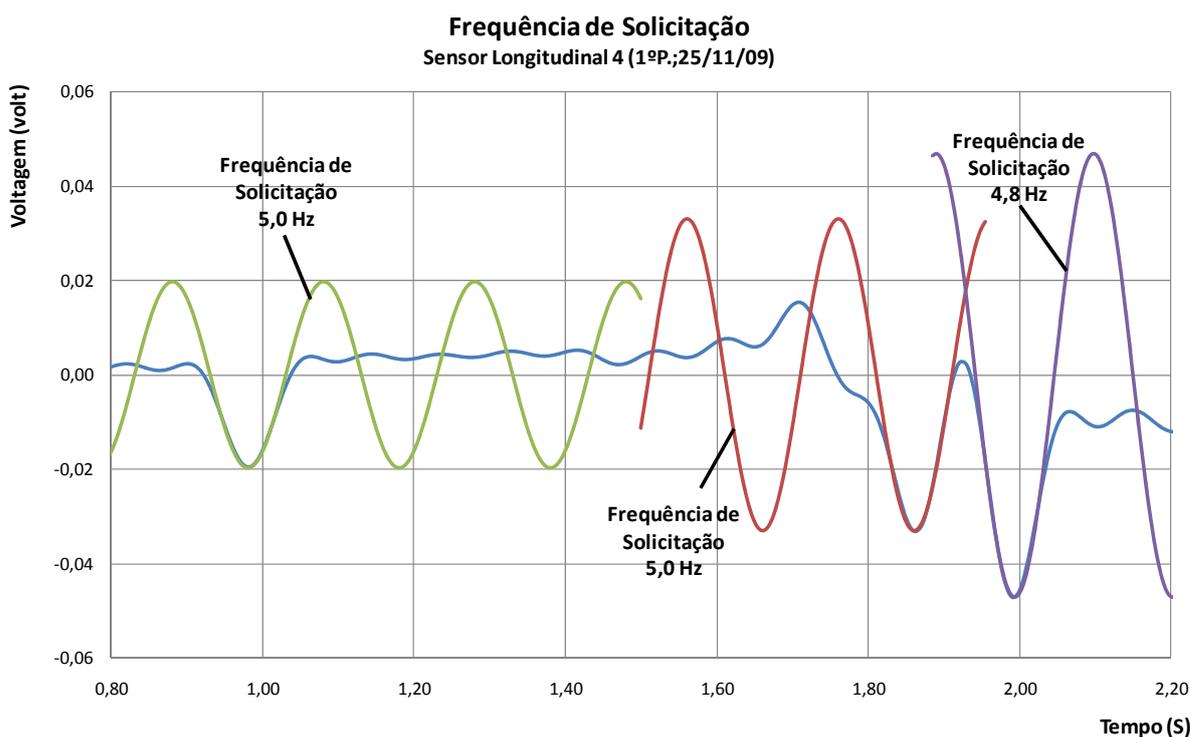


Figura 53 – Frequência de solicitação, s. longitudinal 4, 25/11/09.

A análise das informações geradas a partir do estudo da frequência de solicitação permitem inferir:

- ⊙ Os valores das frequências encontrados são relativamente próximas entre si, as diferenças estão na amplitude da onda;

- ⊙ A onda equivalente ao esforço aplicado pelo 1º eixo possui uma frequência de solicitação de 5,0 Hz;
- ⊙ A onda equivalente ao esforço do 2º eixo possui uma frequência de 5,0 Hz;
- ⊙ A onda, para o 3º eixo, possui uma frequência de 4,8 Hz.

A frequência representativa, para termos de aplicação de carga em simulações de laboratório, é do maior esforço aplicado ao pavimento, ou seja, corresponde a situação mais crítica. Geralmente esta situação crítica é correspondente ao eixo com maior carga, no caso dos veículos de carga corresponde aos últimos eixos.

---

## **CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

---

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados obtidos pelos diversos tipos de sensores teve por objetivo avaliar os aspectos operacionais de cada um dos sistemas, piezométrico quartzo, cerâmico e polímero, e mensurar a homogeneidade dos valores adquiridos, por meio dos coeficientes de variação (VC), levando-se em consideração a média e o desvio padrão, primeiramente por passada e posteriormente por linha de sensores.

Quanto ao aspectos operacionais dos sistemas de pesagem instalados, podemos afirmar que as 48 linhas de sensores funcionaram de maneira satisfatória e é possível realizar a aquisição de sinais.

Os hardwares de aquisição de dados do sistema quartzo, placa da *National Instruments* e amplificadores de sinais da Kistlers, bem como o respectivo software de operação, programado em linguagem *Lab View*, funcionaram de maneira satisfatória e dentro dos padrões esperados.

Foram feitos ajustes nos hardwares de aquisição de dados do sistema piezométrico cerâmico, na sua estação de aquisição e tratamento de sinais HESTIA, no *delay* dos sensores mais afastados do laço indutivo e no *trigger* do sistema, o que permitiu melhorar a aquisição de dados, como as perdas de informações dos últimos eixos apresentadas nas tabelas.

No sistema de aquisição e tratamento de sinais dos sensores piezométrico polímero, estação HESTIA, foram ajustados os ganhos de sinais e mal contato dos conectores, o que permitiu a aquisição sem perda de informação.

Ambas as estações HESTIA estão adquirindo dados dentro dos padrões esperados em acordo com a especificação do fabricante, ou seja, permite a aquisição e tratamento de dados de todos os sensores. A informação de cada veículo é enviada por meio da integração de dados para o *data logger*.

O coeficiente de variação possibilita entender o comportamento de todos os sistemas instalados. Nas análises apresentadas os resultados confirma que os valores variam aleatoriamente seja na análise por passada, seja na análise por linhas.

A avaliação por passada permite demonstrar como se comporta a variação dos dados dos 16 sensores de cada sistema em uma única passada, ou seja, o mesmo veículo na mesma velocidade com a mesma carga e mesmo número e distância entre eixos.

As avaliações por passada do sistema quartzo evidenciam um comportamento diferenciado entre valores obtidos para cada eixo do veículo. O valor referente a variação do 1º eixo difere do ocorrido com o 2º e 3º eixo, pois, para o primeiro eixo a condição de excitação do sensor é de repouso.

A condição de excitação dos sensores ocorrem de maneiras distintas nos eixos em tandem, principalmente nos últimos eixos do grupo. O sinal do sensor necessita um período de tempo para, após excitado, retornar ao repouso. Então, ocorre uma interferência no sinal e aquisição no momento de aquisição do 2º e 3º eixo, e está é uma características encontradas nos veículos com dois ou mais eixos.

As avaliações por passada do sistema cerâmico não evidenciaram uma interferência significativa nos eixos em tandem, pois, os coeficientes de variação dos eixos apresentaram variações próximas para cada passada. O menor coeficiente de variação por passada encontrado foi 17%, no 2º eixo da passada 3 do teste dia 25 de novembro, ou seja, resultados do “pós” ajustes nos equipamentos.

A avaliação por passada dos dados do sistema polímero não confirma a tendência de menor coeficiente de variação para o 1º eixo. Nos testes dos dias 25 de outubro de 2009 ocorreram problemas de perda de dados em algumas linhas de sensores, principalmente os que se referem ao 3º eixo. Em todos os testes apresentados as variação calculadas dos valores coletados estão coerentes entre si. O teste do dia 25 de novembro, as variações dos eixos, no geral, foi menor que os dados apresentados nos demais testes, desconsiderando a falha de aquisição do 3º eixo.

A avaliação por linha demonstra o comportamento de um único sensor nas diversas passadas, ou seja, o mesmo sensor com o mesmo veículo, com a mesma carga, mas velocidades aproximadas, o que permite verificar a variação que um sensor pode ter.

O sistema quartzo, na avaliação dos valores por linha, não permite concluir que uma mesma linha de sensor possui uma variação constante dentre os testes, ou que é menor que os demais sensores, pois, todos variam de forma dispersa e aleatória. O

1º eixo tende a ter a menor variação que os demais eixos em todos os testes, mas entre o 2º e o 3º eixo não tende a ter uma relação de grandeza bem definida.

A avaliação por linha do sistema cerâmico não permite concluir que o menor coeficiente de variação pertence ao 1º eixo. Algumas linhas mostram o coeficiente do 2º eixo inferior aos eixos 1º e 3º. Nenhuma linha de sensor apresentou sistematicamente uma menor variação em todos os eixos nos testes observados.

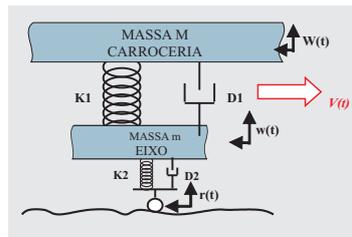
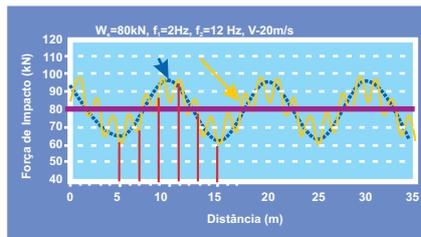
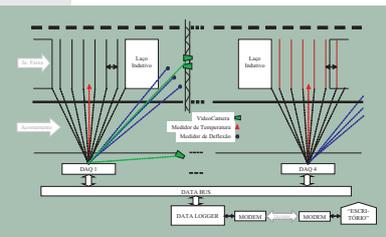
No sistema polímero, a avaliação por linha nos testes do dia 25 de outubro de 2009 ficou prejudicada pela ausência de valores do 3º eixo. Já em 25 de novembro, o 2º eixo apresenta as menores variação nas observações dos dados dos testes.

A análise dos dados de deformação permite identificar as solicitações que o rodado dos veículos aplicam a estrutura do pavimento. Os sensores de alinhamento longitudinal mostra a ação do pneu no momento em que aplica os esforços de tração e compressão na seção da camada de rolamento. A forma clássica para o sinal transversal é apresentado nos sensores 2 e 5 do teste com o caminhão 2C, e que contém apenas esforços de tração. Os sensores transversais apresentam intensidade dos esforços próximos ao apresentado pelos sensores longitudinais.

O estudo da frequência de solicitação permite determinar a velocidade de aplicação da carga sobre o pavimento. Os resultados encontrados apontam para uma frequência de 4 Hz em todos os eixos. Se considerados o pior caso de solicitação, no eixo com maior deformação, o valor permanece próximo a todos os eixos, na ordem de 4,2 Hz.

## **Ações de Continuidade**

A avaliação dos dados coletados nos sensores instalados na pista experimental remete para a necessidade da continuação das coletas de dados por um período contínuo e mais longo, de forma a se ter uma massa de dados que permita avaliar com mais propriedade os sistemas de pesagem em movimento com múltiplos sensores instalados.



**DNIT**



**NEP**