



DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO PARA
VERIFICAÇÃO DE INTEGRIDADE E DESEMPENHO EM
MOTOTAXÍMETROS

Eduardo Lopes de Souza Junior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Marcelo Martins Werneck

Rio de Janeiro

Abril de 2016

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO PARA
VERIFICAÇÃO DE INTEGRIDADE E DESEMPENHO EM
MOTOTAXÍMETROS

Eduardo Lopes de Souza Junior

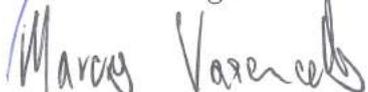
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
ELÉTRICA.

Examinada por:


Prof. Marcelo Martins Werneck, Ph.D.


Prof. Fernando Antônio Pinto Barúqui, D.Sc.


Prof. Maurício Nogueira Frota, Ph.D.


Prof. Marcos Trevisan Vasconcellos, D.Sc.


Prof. Regina Célia da Silva Barros Allil, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
ABRIL DE 2016

Souza Junior, Eduardo Lopes de

Desenvolvimento e validação de dispositivo para verificação de integridade e desempenho em mototaxímetros/Eduardo Lopes de Souza Junior. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XXI, 147 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Marcelo Martins Werneck

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Elétrica, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 90 – 98.

1. instrumentação. 2. metrologia. 3. incerteza de medição. I. Werneck, Marcelo Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

*Aos meus pais, por todo seu
amor e pela grandeza de espírito
em manterem-se santos diante
dos momentos de devaneio de
seu filho.*

Agradecimentos

Acima de tudo ao Deus Pai, todo-poderoso, nosso criador, que à sua vontade permitiu-me finalizar este trabalho para a glória de vosso nome.

À minha querida Sanae, esposa que dedicou seu tempo e saúde para poupar o que a COPPE exigiu para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos do INMETRO, que acreditaram neste trabalho e apoiaram os ensaios e preparativos: Felipe Padilha, Bruno Erthal, Fabiano Leitão, Paulo Brandão, Marlos Losik, Almeida, Eduardo Ribeiro, Andréia, Alexandre Arosa, Luciano, Célio, Roberto, Francisco Siqueira, Paulo Couto, Jesus e Joaquim.

Ao CAEx, pelo apoio na pista de ensaios em Marambaia, sem a qual o método de medição não teria uma prova de conceito.

À BASC, onde os ensaios de velocidade foram executados com segurança, pelo esmero e coordenação do Grupo de Infantaria.

Ao Marc Panades, da empresa Moto Design, doador dos capacetes para os pilotos de teste.

À Fabus, fabricante do mototaxímetro, que forneceu a mototocicleta para testes, um mototaxímetro e a primeira proposta de pista de ensaio curta.

Aos colegas da COPPE, Germano, Domingos, Fábio e Rodrigo, que estiveram presentes no período acadêmico, pelo apoio nas horas mais difíceis e pela troca de conhecimentos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO PARA
VERIFICAÇÃO DE INTEGRIDADE E DESEMPENHO EM
MOTOTAXÍMETROS

Eduardo Lopes de Souza Junior

Abril/2016

Orientador: Marcelo Martins Werneck

Programa: Engenharia Elétrica

Os governos podem proteger os interesses da sociedade através da metrologia legal, com o controle metrológico legal dos instrumentos de medição (IM). Nas verificações dos instrumentos de medição executam-se ensaios de funcionamento e em alguns modelos também é necessário verificar a integridade de *software*. Neste trabalho é desenvolvido o Dispositivo Automático de Verificação de Integridade de software e Desempenho (DAVID), simulador capaz de checar a integridade de software de IM e o funcionamento do mototaxímetro (MT) e servirá para as inspeções em serviço, contribuindo com a garantia metrológica. No MT, de funcionamento similar ao taxímetro, o resultado da medição é dependente do raio do pneu. A literatura descreve uma dependência da geometria do pneu com a velocidade, pressão e carga aplicada. As contribuições das grandezas de influência do pneu na medição de distância são obtidas experimentalmente em uma pista controlada de 1 km, seguindo normas internacionais e comparadas com métodos de verificação em estudos anteriores. Este estudo serve para avaliar o método proposto no regulamento metrológico que ensaia o MT em uma pista de 12,5 m. A ferramenta implementada em LabVIEW calibra automaticamente o DAVID em todo o intervalo de valores do mensurando, para a rastreabilidade da medição. Os resultados obtidos confirmam a validade do teste proposto. A indicação da distância apresentou uma variação de 0,8%, com uma incerteza de medição de 0,02%, menor que o erro máximo admissível de 4% estabelecido no regulamento.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A MOTOTAXIMETER'S
INTEGRITY AND PERFORMANCE VERIFICATION DEVICE

Eduardo Lopes de Souza Junior

April/2016

Advisor: Marcelo Martins Werneck

Department: Electrical Engineering

Governments can protect the society through the national metrology policy, with the legal metrological control of measuring instruments (MI). During conformity assessment tests, the performance of MI is evaluated. On some types of MIs it is also necessary to apply the software integrity check. In this work the "Dispositivo Automático de Verificação de Integridade de software e Desempenho" (DAVID) is implemented. It consists of a simulator that performs software integrity check of applicable MI and runs the performance tests for the mototaximetro (MT). The DAVID will be used in service inspections, contributing with the metrological control of MI. The MT's operation is similar to the taximeter. The measurement result is dependent on the tire radius which, according to the literature, shows dependence with speed, tire pressure and applied load. The contribution of the tire's influence quantities in distance measurements are obtained experimentally in a 1 km reference track, following ISO standards and compared with verification methods in previous studies. This work evaluates the method contained in the metrological regulation which proposes the testing of the MT on a 12,5m track. The implemented LabVIEW tool automatically calibrates the DAVID throughout its measuring interval to provide metrological traceability. The results obtained confirmed the validity of the performance test proposed in the regulation. The distance indication presented a variation of 0,8%, with a measurement uncertainty of 0,02%, below the maximum permissible measurement error of 4% provided in the metrological regulation.

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Símbolos	xx
Lista de Abreviaturas	xxi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2 Revisão Bibliográfica	4
2.1 Metrologia Legal	4
2.2 Princípio de funcionamento do mototaxímetro	9
2.3 Raio dinâmico do pneu	13
2.4 Verificação de desempenho	17
2.4.1 Ensaio em pistas de referência, com 1 km e 2 km	18
2.4.2 Ensaio em simulador de pista com roletes	18
2.4.3 Ensaio com GPS	20
2.4.4 Ensaio em pista curta com dispositivo simulador	21
2.5 Verificação de integridade	22
3 O David	26
3.1 Compatibilidade eletromagnética	29
3.2 A calibração	33
4 Metodologia e ensaios experimentais	40
4.1 Pista real	41
4.2 Pista curta	41
4.2.1 Erro em função da altura do batente em pista curta	45
4.3 Configuração do <i>hardware</i> de medição de pista	47

4.3.1	O transdutor de posição	48
4.3.2	Ensaio dos sensores ópticos	52
4.4	Ensaio de comunicação com o DAVI	55
4.5	Calibração do DAVID	59
4.6	Procedimento de soldagem da placa SMD	61
5	Resultados experimentais	65
5.1	Resultados do levantamento das pistas de ensaio	65
5.2	Resultados do ensaio do transdutor de posição com barreira óptica . .	70
5.3	Resultado de medição do coeficiente W dinâmico em pista longa . . .	73
5.4	Resultado de medição do parâmetro W em pista curta	76
5.5	Resultado do ensaio de compatibilidade eletromagnética	78
5.6	Resultado de calibração	81
5.6.1	Confiabilidade metrológica	81
5.6.2	Calibração do DAVID	82
5.7	Resultado da soldagem da placa SMD	85
6	Conclusões	87
6.1	Proposta para trabalhos futuros	89
	Referências Bibliográficas	90
A	Listagem dos códigos fonte do leitor de <i>encoder</i>	99
A.1	<i>Hardware</i>	99
A.2	<i>firmware</i>	103
B	Medição da pista de ensaio de concreto	104
B.1	Medida do comprimento da pista longa (1 km)	104
C	Cálculo do coeficiente W	110
C.1	Cálculo do coeficiente W dinâmico na pista longa	110
C.2	Cálculo do coeficiente W na pista curta	118
D	Circuitos elétricos do DAVID	120
D.1	Suporte para gravação e depuração do microcontrolador	124
E	Diagramas, máquinas de estado e código fonte do firmware do DAVID	129
E.1	Diagrama de mensagens	129
E.2	Máquinas de estado	136
E.3	Código fonte	144
E.4	Cálculo de Incerteza para calibração do DAVID	145

Lista de Figuras

1.1	Proposta deste estudo destacado na elipse.	2
2.1	Linha do tempo assinalando as efemérides.	8
2.2	Aquisição de pulsos do transdutor acoplado à roda da motocicleta. . .	10
2.3	Aquisição da velocidade angular no veículo. (a) Acoplamento da motocicleta através da engrenagem ligado ao cubo da roda (caracol). (b) Acoplamento com transdutor magnético na transmissão.	10
2.4	Proteção do sinal do transdutor usando criptografia (Adaptado de [29]).	11
2.5	Proteção do sinal do transdutor usando criptografia encapsulada em <i>fieldbus</i> (Adaptado de [30]).	11
2.6	Intervalos de ensaio para determinar V_t . Aprovam-se os instrumentos dentro do intervalo $V_t - 2 \text{ km/h} \leq V_t \leq V_t + 2 \text{ km/h}$	12
2.7	Conector do mototaxímetro para ensaio de desempenho, integridade de <i>software</i> e alimentação do dispositivo verificador (adaptado de [4]).	13
2.8	Diagrama construtivo dos pneus diagonal e radial (adaptado de Wikimedia Commons). (a) fios a 40° em relação à banda de rodagem. (b) fios a 90° em relação à banda de rodagem.	14
2.9	Diagrama de deflexão do pneu sob carga (adaptado de [35]).	14
2.10	Gráficos da variação da deflexão vertical. (a) Deflexão em função da pressão de inflação do pneu. (b) Deflexão em função da carga vertical aplicada.	15
2.11	Diagrama do raio dinâmico (adaptado de [33]).	16
2.12	Ensaio de verificação em máquina com roletes. (a) Veículo-taxi em ensaio. (b) Mototaxi em ensaio.	19
2.13	Trajetórias prováveis do veículo, com o uso do GPS (adaptado de [19]).	20
2.14	Pista curta de 12,500 m.	21
2.15	Verificação de integridade de <i>software</i> , com teste de sementes aleatórias (adaptado de [45]).	24
2.16	Verificação de integridade de <i>software</i> , com teste de faixas aleatórias (adaptado de [45]).	24

3.1	Mensagens e sinais do DAVID durante a verificação dos instrumentos de medição. (a) Em verificação de integridade de <i>software</i> . (b) Nos ensaios de desempenho.	26
3.2	Circuito equivalente ao circuito do simulador de pulso 5.	31
3.3	Circuito de proteção de pulso 5.	31
3.4	Simulação da tensão de alimentação durante a falha de <i>Load Dump</i> (a) O circuito de proteção registra o valor máximo de 18V após a chave CMOS. A tensão após a chave Q2 é mantida pelo capacitor de reserva. (b) O regulador manteve a tensão de saída estável no intervalo da perturbação.	32
3.5	Diagrama simplificado dos dados de entrada e de programação da ferramenta de calibração.	36
3.6	Fluxograma simplificado do algoritmo em LabVIEW da ferramenta de calibração.	37
3.7	Mensagens do protocolo de comunicação com o termohigrômetro HTR-170.	37
3.8	Caixa de conexões com diagrama elétrico simplificado das ligações do DAVID aos outros instrumentos.	38
4.1	Pista curta, com 12,5 m e guia em aço utilizada nos ensaios com a motocicleta.	42
4.2	Pista curta, com 12,5 m utilizada nos ensaios com a motocicleta. (a) As fitas limitam o intervalo de ensaio. (b) Os batentes removíveis limitam o comprimento da pista.	42
4.3	Ensaio com a pista curta. (a) A entrada deve ser conduzida com velocidade até 10 km/h. (b) As fitas acionam o dispositivo de leitura automática e limitam a distância de ensaio.	43
4.4	Duas pistas para ensaio de verificação. (a) A pista utiliza a guia como referência de percurso. (b) A pista define o percurso com o perfil em aço.	44
4.5	Proposta de sinalização da pista curta apenas com batentes. (a) O piloto conduz o veículo até parar no batente. (b) O perfil não interfere na medição e traz segurança na instalação.	44
4.6	Proposta de sinalização da pista curta apenas com batentes. (a) Croqui do batente e suas cotas. (b) Detalhe do batente construído.	45
4.7	Pista curta com batentes. O primeiro batente altera o comprimento total da pista no intervalo $P1 - P2$	46
4.8	Detalhe do percurso P1-P2 com o pneu passando sobre o batente.	47
4.9	Diagrama de blocos do leitor de <i>encoder</i> e transdutor de posição.	48

4.10	Valor do fator de reflectância para cada material da pista de ensaio (adaptado de [59]).	49
4.11	Valor da reflectância para pista de asfalto novo (adaptado de [60]).	50
4.12	Posição de montagem do transdutor. Uso de refletor prismático reduz o efeito da luz difusa proveniente do sol.(adaptado de Yesterdays Antique Motorcycles)	51
4.13	Determinação da velocidade do veículo. A referência de distância está montada sobre o carro mostrado em detalhe (adaptado de [28]).	52
4.14	Desenho das máscaras refletivas para identificar comportamento dos transdutores. (a) A máscara A identifica respostas falsas em eventos rápidos. (b) A máscara B mostra qual a largura mínima para ensaios.	53
4.15	Montagem do transdutor no chassi da motocicleta. A barreira com a referência de distância fica na pista.	54
4.16	Montagem do <i>encoder</i> no chassi da motocicleta. (a) O <i>encoder</i> é conectado com a roda através de um cabo. (b) A montagem do <i>encoder</i> na moto é a base para todo o instrumento de medição.	55
4.17	Diagrama de blocos com a solução de comunicação serial.	56
4.18	Diagrama de Sequência de mensagens para ensaio de desempenho do mototaxímetro, em modo horário.	57
4.19	Diagrama de máquina de estados principal. Somente é permitido um ensaio por seção	58
4.20	Leiaute de calibração do DAVID em bancada. A leitura do termohigrômetro é feita pelo DAVID e encaminhada através da conexão <i>bluetooth</i> durante o ensaio.	59
4.21	Leiaute da bancada de ensaios.	60
4.22	Tela inicial do programa de calibração do DAVID. Os dados coletados e o andamento do ensaio são apresentados ao operador.	60
4.23	Perfil de soldagem para a liga Sn62Pb36Ag02 (adaptado de [62]).	62
4.24	Diagrama de blocos do controlador do forno para soldagem SMD.	63
4.25	Diagrama esquemático do controlador do forno SMD.	63
4.26	Recorte em máquina CNC da máscara para aplicação da solda em pasta. O poliéster de 250 μm foi recortado com uma broca com a ponta plana.	64
5.1	Gráfico com os gradientes das pistas. (a) Pista de concreto, praticamente plana, com duas depressões a 500 m e 1000 m. (b) Pista de asfalto. Possui um declive nas três primeiras seções.	67

5.2	Gráfico com o perfilamento das pistas. (a) Pista de concreto. A depressão a 400 m é menos crítica que a localizada em 980 m. (b) Pista de asfalto. Possui uma elevação no intervalo de 0 a 300 m.	68
5.3	Gráfico com os gradientes longitudinais das pistas em intervalos de até 20 m. (a) Pista de concreto. (b) Pista de asfalto.	69
5.4	Resposta dos transdutores à máscara de fitas A. (a) Máscara de ensaio A instalada na pista. (b) Dimensões da máscara A. (c) Ambos lêem corretamente. (d) Transdutor LED falha na discriminação à partir de 50 km/h.	71
5.5	Resposta dos transdutores à máscara de fitas B. (a) Máscara de ensaio B instalada na pista. (b) Dimensões da máscara B. (c) Ambos lêem corretamente. (d) Transdutor <i>laser</i> falha na detecção à partir de 70 km/h.	72
5.6	Resposta dos transdutores quanto à detecção com a máscara B.	72
5.7	Contribuição das fontes de incerteza. A repetição é majoritária, frente à medição da pista e resolução do <i>encoder</i>	74
5.8	Perímetro dinâmico do pneu dianteiro. As variáveis aplicadas foram a pressão do pneu, carga de passageiro e velocidade de deslocamento.	74
5.9	Perímetro dinâmico do pneu radial 195/65 R14, $P_g = 1,9135$ m. Os ensaios avaliaram a variação de pressão de inflação do pneu (adaptado de [28]).	75
5.10	Limites de erro máximo admissível para medições em serviço. O valor de 4% é o máximo regulamentado [4].	75
5.11	Limite de erro máximo reajustado para as medições atuais. W varia $\pm 0,80\%$ com os parâmetros avaliados.	76
5.12	Resultado médio de W com a pista curta, com variação na pressão de inflação do pneu (W_{maximo} e W_{minimo}). Os limites do RTM (L_s e L_i) são apresentados para comparação [4].	76
5.13	Aplicação do critério de rejeição no conjunto de medidas coletadas em pista curta.	77
5.14	Conexões do DAVID durante o ensaio de EMC.	79
5.15	Resultado dos ensaios de EMC. (a) Descargas pelo ar com potencial de 8 kV. (b) Aplicação da perturbação conduzida. (c) Mensagens de confirmação do funcionamento.	80
5.16	Resposta da proteção para Load Dump.	80
5.17	Curva do erro em função da frequência. Há um erro sistemático que precisa ser ajustado.	83

5.18	Curva do erro percentual em função da frequência. Existe uma tendência linear dominante devido ao erro sistemático. A componente aleatória nem é perceptível.	84
5.19	Curva do erro em função da frequência. O erro sistemático foi corrigido. A tendência é devido à aproximação da correção.	85
5.20	Curva do erro percentual em função da frequência. A componente aleatória é dominante.	85
5.21	Perfil de temperatura para soldagens de SMD. (a) Perfil para solda 62%Sn – 36%Pb – 2%Ag. (b) Perfil para cura de resina epóxi (4000HFV), antes da soldagem.	86
5.22	Resultado da aplicação de solda em pasta com a máscara de poliéster. (a) Detalhe do volume e recorte de solda em pasta depositada sob cada <i>pad</i> . (b) Solda pronta, sem ponte entre terminais adjacentes. (c) Pasta sobre <i>pads</i> e epóxi depositado para fixação dos componentes. (d) Placa após soldagem e cura do epóxi.	86
A.1	Controlador do leitor de <i>encoder</i>	100
A.2	Diagrama esquemático do filtro e detector de quadratura.	101
A.3	Diagrama esquemático da fonte e conexões de entrada.	102
B.1	Diagrama causa-efeito da medição do comprimento da pista.	105
C.1	Combinação dos parâmetros avaliados no ensaio com a pista de 1 km.	110
C.2	Diagrama causa-efeito da medição do coeficiente <i>W</i> da motocicleta.	112
D.1	Vistas do protótipo do Dispositivo Simulador (DAVID). (a) Vista com a placa no invólucro. (b) Vista com as identificações de produção.	120
D.2	Diagrama esquemático da CPU do DAVID.	121
D.3	Diagrama esquemático da interface de proteção EMC.	122
D.4	Diagrama esquemático da fonte de alimentação e proteção contra <i>load dump</i>	123
D.5	Detalhe do alinhamento dos conectores.	124
D.6	Conexão elétrica da cama de pregos com o depurador de <i>firmware</i> . (a) Dois modelos de conexão. (b) Depurador ICD conectado.	125
D.7	Cama de pregos pronta para ensaio, ao lado do primeiro protótipo DAVID.	126
D.8	Dimensões das placas de acrílico, cotas de furação e corte.	127
D.9	Dimensões das placas de acrílico, cotas de furação e corte.	128

E.1	Diagrama de Sequência de mensagens para tratamento das mensagens. As mensagens A2 são encaminhadas diretamente para o mototaxímetro. As mensagens A4 são interpretadas pois tratam-se de mensagens de ensaio. As mensagens de erro recebem o tratamento adequado em cada agente controlador (DAVID ou ferramenta de verificação).	130
E.2	Diagrama de Sequência de mensagens para ensaio de verificação de integridade de <i>software</i> com faixas aleatórias de memória. O número de faixas aleatórias é repetido i vezes.	131
E.3	Diagrama de Sequência de mensagens para ensaio de verificação de integridade de <i>software</i> com semente e memória de programa completa. O número de sementes aleatórias é repetido i vezes.	132
E.4	Diagrama de Sequência de mensagens para aquisição do valor W da motocicleta.	133
E.5	Diagrama de Sequência de mensagens para ensaio de desempenho do mototaxímetro em modo quilométrico.	134
E.6	Diagrama de Sequência de mensagens para ensaio de desempenho do mototaxímetro em modo horário.	135
E.7	Máquina de estados principal. A máquina de protocolos DAVID e a máquina de protocolos RTM393 dividem recursos do microcontrolador. Durante o ensaio as máquinas de ensaio ou calibração assumem o controle exclusivamente.	137
E.8	Máquina de estados de controle e processamento das mensagens do protocolo de comunicação estabelecido no RTM 393 [4].	138
E.9	Máquina de estado de controle e processamento das mensagens entre o DAVID e a ferramenta de verificação.	139
E.10	Máquina de estados que controla o ensaio de levantamento do parâmetro W da motocicleta.	140
E.11	Máquina de estados que controla o ensaio de desempenho no modo quilométrico.	141
E.12	Máquina de estados que controla o ensaio de desempenho no modo Horário.	142
E.13	Máquina de estados para calibração do DAVID. Este ensaio é realizado em laboratório em conjunto com o programa de calibração escrito em linguagem LabVIEW.	143
E.14	Resultado de calibração automática do DAVID. Esta cópia do certificado representa os valores medidos para a constante $k = 12000$ pulsos/km.	146

E.15 Resultado de calibração automática do DAVID. Esta cópia do certificado representa os valores medidos para a constante $k = 12000$ pulsos/km com a correção em D_d 147

Lista de Tabelas

3.1	Tabela de aceleração de motocicletas utilizadas no serviço de mototáxi	28
4.1	Comparação entre os transdutores disponíveis	51
5.1	Resultado da expressão da incerteza da medição para cada seção da pista longa	66
5.2	Resumo dos resultados de avaliação das pistas curtas de ensaio, com batente e com guia em aço	78
5.3	Tabela com os dados de medição para confiabilidade metrológica . . .	81
5.4	Resultado da aplicação dos critérios de rejeição. Nenhuma medição foi considerada discrepante.	82
B.1	Dados de levantamento de pista de concreto na BASC. Os valores observados foram coletados entre 8h e 10h em dia nublado.	104
B.2	Resultado da expressão da incerteza da medição para cada seção da pista longa	109
C.1	Resultados do cálculo do teste-F e dos desvios da média, antes da análise do erro experimental	111
C.2	Resultados do cálculo do teste-F e dos desvios da média	112
C.3	Expressão da incerteza de medição do valor W , para cada combinação de parâmetros ensaiados na pista de concreto	113
C.4	Valores calculados do perímetro dinâmico	113
C.5	Número de pulsos coletados, por seção de pista na BASC/RJ. Ensaio com o Piloto A sem passageiro na motocicleta.	114
C.6	Número de pulsos coletados, por seção de pista na BASC/RJ. Ensaio com o Piloto A com passageiro na motocicleta.	115
C.7	Número de pulsos coletados, por seção de pista na BASC/RJ. Ensaio com o Piloto B sem passageiro na motocicleta.	116
C.8	Número de pulsos coletados, por seção de pista na BASC/RJ. Ensaio com o Piloto B com passageiro na motocicleta.	117

C.9	Número de pulsos coletados na pista curta, com variação da pressão de inflação do pneu. Ensaio conforme previsto no RTM [4].	118
C.10	Medição das pistas de ensaio curta, com batente e com guia em aço .	119

Lista de códigos-fonte

3.1	Configuração do erro sistemático no microcontrolador	38
3.2	Código-fonte da ferramenta de calibração	39
A.1	Código-fonte da ferramenta de leitura do <i>encoder</i> na pista	103
E.1	Código-fonte do DAVID	144

Lista de Símbolos

V_t	Velocidade de transição entre medição horária ou quilométrica [km/h], p. 11
G	Carga vertical aplicada ao pneu, p. 14
R_g	Raio geométrico, p. 17
R_w	Raio dinâmico do pneu, p. 16
V_w	Velocidade de deslocamento do veículo, p. 16
W	Número de pulsos gerados pelo transdutor do veículo por quilômetro [pulso/km] ou [rot/km], p. 10
W_k	Número de pulsos por revolução, p. 17
W_w	Velocidade angular da roda, p. 16
f	Deflexão vertical do pneu, p. 14
k	Número de pulsos obtidos pelo mototaxímetro correspondente a 1km. [pulso/km], p. 9
p_0	Pressão do pneu completamente descarregado sobre uma superfície rígida, p. 14
p_a	Pressão de inflação do pneu, p. 14
p_g	Perímetro da roda, calculado com o raio geométrico, p. 13
TVS	<i>Transient voltage supressor</i> , p. 30

Lista de Abreviaturas

ABS	<i>Anti-lock braking system</i> , p. 20
AM	Avaliação de Modelo, p. 5
BASC	Base Aérea de Santa Cruz, p. v
CAEx	Centro de Armas do Exército, p. v
DAVID	Dispositivo Automático de Verificação de Integridade de software e Desempenho, p. 2
EFTA	<i>European Free Trade Association</i> , p. 1
EMA	Erro Máximo Admissível, p. 6
EMC	<i>Electromagnetic compatibility</i> , p. 32
Fabus	Fabricante de taxímetros, p. v
GPS	<i>Global Position System</i> , p. 20
ICD	<i>In-Circuit Development</i> , p. 124
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, p. 2
INTI	<i>Instituto Nacional del Tecnología Industriale</i> , p. 40
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i> , p. 40
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal, p. 1
RTM	Regulamento Técnico Metrológico, p. 2
SMD	<i>Surface-Mount Device</i> , p. 3
WELMEC	<i>A co-operation between the legal metrology authorities of the Member States of the European Union and EFTA</i> , p. 1

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A metrologia, como ciência, permeia o que é relativo às medições em todos os campos de aplicações [1]. Utilizamos a metrologia em quase todas as atividades, desde a compra do pão e leite pela manhã até a medição da energia elétrica que nos conforta à noite. Em metrologia legal, a metrologia aplicada aos instrumentos de medição estabelece critérios e requisitos legais em uma estrutura de regulamentos [2].

Estes instrumentos regulamentados, devem seguir às especificações técnicas harmonizadas pela Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) visando a integração ao mercado mundial e regional, assim como a redução de barreiras técnicas. Para obter medições confiáveis é necessário a verificação de conformidade às normas metrológicas [2].

Os benefícios imediatos de uma medição confiável incluem a proteção de relações comerciais, redução nas disputas entre fornecedores, redução com perdas de insumos, controle de fraude, coleta de taxas em sistemas produtivos, dentre outros [2]. Para garantir a confiabilidade metrológica são necessárias etapas de controle que intervêm no instrumento de medição a partir de sua fabricação, utilização, reparo, até o término de operação.

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), nas suas atribuições em metrologia legal, deve prover a garantia metrológica através de regulamentos e métodos de medição [3]. Em 2012 o mototaxímetro foi regulamentado como novo instrumento de medição por demanda da sociedade. No Regulamento Técnico Metrológico (RTM) de mototaxímetro foi estabelecida a exigência de uma conexão exclusiva para os ensaios de controle metrológico, onde é possível

executar o ensaio de funcionamento até 150 km/h, a verificação do erro em função do tempo e a verificação de integridade de *software* [4].

A utilização da motocicleta para fins de transporte individual, carga ou passageiros possui alto fator de risco de acidentes [5–7]. Isto motivou a execução dos ensaios de desempenho, para a determinação do erro em função da distância percorrida, através de simulações aplicadas na conexão prevista no RTM [4].

O Dispositivo Automático de Verificação de Integridade de *software* e Desempenho (DAVID), no contexto apresentado, é uma solução viável de automação em instrumentação para a verificação metrológica e promove:

- a uniformização do procedimento de verificação de *software* em instrumentos de medição;
- a garantia metrológica com execução do método de avaliação de desempenho em mototaxímetros;
- rastreabilidade metrológica das medições realizadas, nas verificações subsequentes, aos padrões nacionais através da calibração automatizada [8]; e
- redução dos riscos laborais aos agentes metrológicos.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento e validação do dispositivo automático de verificação de integridade de *software* e desempenho, para uso em mototaxímetros. Os instrumentos de medição que utilizam o mesmo protocolo de comunicação que o mototaxímetro também podem ser verificados com o simulador. O DAVID é utilizado em conjunto com uma ferramenta de *software*, que apresenta os resultados de medição e controla as etapas da verificação subsequente do instrumento de medição, ilustrado na Figura 1.1.



Figura 1.1: Proposta deste estudo destacado na elipse.

1.3 Estrutura da dissertação

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica e os métodos de verificação metrológica em taxímetros, correlacionando-os ao princípio de funcionamento do mototaxímetro. A ferramenta de verificação de integridade é apresentada como garantia contra fraudes em instrumentos de medição com programa permanente em memória não volátil (*firmware*). O comportamento do raio dinâmico de pneus apresentado auxilia o entendimento dos resultados dos ensaios realizados com a motocicleta.

No Capítulo 3, é apresentado o DAVID e suas funcionalidades na execução dos ensaios de verificação subsequente. Também são descritas as estratégias de proteção contra as interferências presentes na instalação automotiva. Este capítulo descreve a avaliação da calibração dos sinais elétricos de velocidade gerados pelo DAVID e como estes sinais são obtidos através de uma ferramenta de *software*.

O Capítulo 4 descreve como foram executadas as etapas de caracterização do comportamento do mototaxímetro em funcionamento. O pneu da motocicleta faz parte do instrumento de medição e a avaliação de suas grandezas de influência (velocidade, pressão de inflação e carga) validam o método de verificação previsto na legislação atual. Foram desenvolvidas ferramentas de *software* para efetivar o método de calibração do DAVID de forma automatizada. Um instrumento de medição foi desenvolvido para a coleta dos dados de ensaio em pista de testes com a motocicleta. São apresentadas também as características de funcionamento do forno de soldagem SMD para atender às características de construção do DAVID.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados do comportamento dinâmico do mototaxímetro em relação às grandezas de influência com as medições em pista controlada. Foi proposto uma alteração para facilitar a montagem da pista de ensaio de 12,5 m e realizada a análise experimental comparativa entre os dois métodos. Os resultados de calibração do DAVID são discutidos assim como as correções necessárias. O Capítulo 6 é o espaço de conclusão do trabalho onde foi apresentada a comparação com os métodos de verificação metrológica existentes.

Nos apêndices encontram-se as informações para tornar a leitura mais completa, onde no Apêndice A estão os circuitos do dispositivo de ensaio em pista. Nos Apêndices B, C e E.4 estão os cálculos de incerteza de medição, enquanto os Apêndices D e E possuem as informações para a construção e programação do DAVID.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Na pesquisa realizada, verificou-se a importância da instrumentação eletrônica no fortalecimento da indústria brasileira, onde a Universidade detém a atribuição de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias além de interligar os centros de pesquisa às empresas [9]. O INMETRO, por sua vez, deve fomentar a indústria nacional com os métodos adequados para que a competitividade brasileira esteja em paridade tecnológica com os outros países e harmonizada ao comércio internacional [3].

A Seção 2.1 apresenta a metrologia legal, descreve as condições do serviço de mototaxi e como foi implementado o controle metrológico para o instrumento de medição mototaxímetro.

A Seção 2.2 descreve o funcionamento do mototaxímetro, suas fragilidades e a interface de verificação, adotada no Brasil.

A Seção 2.3 mostra como a geometria do pneu pode variar com as grandezas de influência, que alteram o resultado das medições da distância percorrida pela motocicleta.

A Seção 2.4 apresenta e compara os métodos de verificação metrológica em instrumentos de medição taxímetros.

A Seção 2.5 apresenta os métodos de verificação de integridade de *software* utilizados no Brasil.

2.1 Metrologia Legal

A medição de grandezas relacionadas às atividades do homem moderno depende de sistemas de medição e os governos utilizam um conjunto de métodos de verificação

e controle para obter resultados com credibilidade aceitável. Acreditar nos resultados de medição traz redução de custos com retrabalho e uma harmonização entre mercados favorecendo uma troca justa de mercadorias e compatibilidade de insumos industriais. A garantia de credibilidade depende da aplicação de regulamentos e normas quando estas atividades possuem exigências obrigatórias [1].

Em metrologia legal, os instrumentos de medição e seus métodos de supervisão metrológica são regulamentados pelos órgãos governamentais e no Brasil esta é uma atribuição do INMETRO e seus órgãos delegados [10, 11].

Antes mesmo de serem utilizados pela sociedade, os instrumentos de medição sujeitos à metrologia legal devem passar por uma verificação obrigatória de adequação aos regulamentos metrológicos em uma Avaliação de Modelo (AM) e caso o modelo esteja conforme e aprovado, recebe um certificado (Portaria de Aprovação) com as características descritivas do instrumento. Uma das etapas do controle metrológico é a verificação, onde os resultados de medições, inspeção visual e de comportamento dos instrumentos são itens avaliados para garantir sua aptidão para o uso conforme predeterminado na Portaria de Aprovação de Modelo [12]. Os instrumentos de medição podem sofrer alterações em seu funcionamento devido à diversos fatores e para cada tipo de instrumento de medição é determinado um intervalo mínimo de verificações para avaliar se os erros apresentados não ultrapassam os limites estipulados em regulamento. No Brasil a verificação periódica obrigatória é anual enquanto que nos instrumentos reparados o prazo é imediato. Isto leva a um número muito grande de verificações a realizar no país [10]. Os instrumentos de medição eletrônicos atuais possuem, em sua maioria, componentes de *software* embarcados em microcontroladores ou microprocessadores que são responsáveis pela aquisição, processamento e apresentação dos resultados e são classificados como instrumentos do tipo P [13]. Para instrumentos de medição das classes de risco B, C ou D [13], além da realização de ensaios de desempenho metrológico para se garantir a credibilidade dos resultados obtidos, é necessário que a versão do *software* embarcado seja verificada pela autoridade competente, de forma a confirmar se o modelo em uso corresponde ao que está regulamentado. Os atuais regulamentos técnicos metrológicos em vigência estabelecem a exigência de verificação de integridade de *software* dos seguintes instrumentos: medidores eletrônicos de energia elétrica [14], sistema distribuído de medição de energia elétrica [15], medidores de umidade de grãos [16], instrumentos de pesagem automática de veículos [17] e mototaxímetros [4]. A partir da revisão dos regulamentos metrológicos dos medidores de velocidade de veículos e também de bombas medidoras de combustível líquido, pretende-se que estes instrumentos também tenham o controle de *software* obrigatório.

Garantia da medição para sociedade

Os instrumentos de medição devem atender aos regulamentos técnicos metrológicos e possuir um comportamento de medição em campo previamente estipulado. Entretanto, para que a relação de consumo seja justa, o desvio de erro não deve favorecer a nenhuma das partes envolvidas. É conhecido através de verificações metrológicas que os resultados de medições podem ser ajustadas no instrumento para usar o valor de erro máximo permitido estabelecido pelo INMETRO [18] e utilizar a precisão do instrumento em favor do detentor do serviço. Estudos mostram que taxistas ajustam seus instrumentos de medição para obter o máximo de vantagem com o erro máximo admissível [19].

De acordo com a análise estatística aplicada a medidores de energia elétrica, uma faixa ampla de erro máximo admissível (EMA) pode permitir a um fabricante que tenha controle de qualidade de produção aplicar uma correção de erro positiva, em favor do detentor do instrumento para obter lucros. O fabricante no estudo atende ao regulamento pois os instrumentos estão dentro do erro permitido. Entretanto, torna a relação injusta ao aplicar uma correção de erro positiva em favor do distribuidor de energia. Estimou-se no estudo um impacto social com uma compensação anual de aproximadamente USD 3.453.600,00 [20].

Segurança e controle metrológico

Há muito tempo tem-se buscado a plena verificação dos instrumentos em todo o território nacional, no entanto a diversidade de locais de instalação dificultam o trabalho em campo do agente metrológico [10].

A verificação metrológica atualmente praticada no Brasil é feita com a execução de ensaios em campo ou a acreditação de terceiros através de registros [21]. Em alguns casos a verificação metrológica somente é executada em fiscalização após a denúncia de fraudes [3, 20].

Atualmente, no Brasil, devido à classificação de risco exigida pela autoridade metrológica competente, a verificação de integridade de *software* é obrigatória em cinco classes de instrumentos a saber: mototaxímetros; medidores eletrônicos de energia; medidores de umidade de grãos; instrumentos de pesagem automática de veículos rodoviários e medidores de velocidade [4, 15–17], onde os sistemas distribuídos de medição de energia elétrica e mototaxímetro possuem modelos aprovados. Apesar de possuírem o controle metrológico de *software*, alguns modelos de medidores de energia elétrica aprovados apresentam um método verificação de integridade incompatível com a necessidade de se executar a verificação de integridade de *software*

em campo. Para a verificação de integridade de *software*, em alguns modelos, é necessário remover o microcontrolador do instrumento e utilizar um programador para ler o conteúdo da memória de programa. Há a possibilidade de causar danos ao instrumento ou ao metrologista responsável pelo ensaio, o que torna impraticável a verificação metrológica sem a remoção do instrumento do local de instalação [22].

Os ensaios de desempenho são previstos em norma para todos os instrumentos com modelos aprovados pelo regulamento metrológico legal. O método atual para ensaio de taxímetros exige a utilização de uma pista de testes, com um comprimento de 1 km, sem obstáculos que interfiram na velocidade do veículo [23]. Soma-se a isto a dificuldade imposta pela limitação do número de agentes metrológicos, a quantidade de instrumentos a verificar e a disponibilidade de espaço para realização dos ensaios, o que restringe ou até inviabiliza a realização dos ensaios obrigatórios. Dessa forma, torna-se evidente que, para obtenção de um controle metrológico eficaz, é necessário estabelecer métodos de verificação que atendam aos regulamentos e que permitam a realização dos ensaios de *software* e de desempenho no mesmo local onde o instrumento de medição é avaliado, sem a sua remoção do ponto de instalação ou que não exija o seu transporte para um laboratório.

Segurança do metrologista

Em meados da década de 1990, impulsionado pelo empreendedorismo brasileiro e devido às falhas no planejamento da mobilidade urbana, o uso de motocicletas para o transporte público de passageiros floresceu nos estados do nordeste. Nos anos seguintes a idéia se propagou para outros estados do Brasil e por mais de dez anos, tanto governo quanto sociedade apresentaram suas considerações para regulamentar ou extinguir a atividade. O impasse regulatório proibia a prestação de serviço de mototáxi [24], enquanto afirmava-se que a regularização poderia tornar o transporte seguro. Intrinsecamente a motocicleta é um veículo perigoso que pode causar acidentes com vítimas [5]. A fragilidade da proteção oferecida pela motocicleta ao condutor pode agravar os acidentes e a incidência de colisões com vítimas está na pouca visibilidade deste pequeno veículo para outros motoristas em um trânsito competitivo, em que o espaço do trânsito é compartilhado por automóveis, motocicletas e pedestres [7, 25]. Após mobilização sindical, foi promulgada a Lei 12009 que regulamenta a atividade de mototaxista. Em 2011, a sociedade legalmente representada pelos profissionais e seus sindicatos demandou do INMETRO a regulamentação metrológica para o instrumento de medição mototaxímetro. A linha de tempo com as efemérides é mostrada na Figura 2.1.

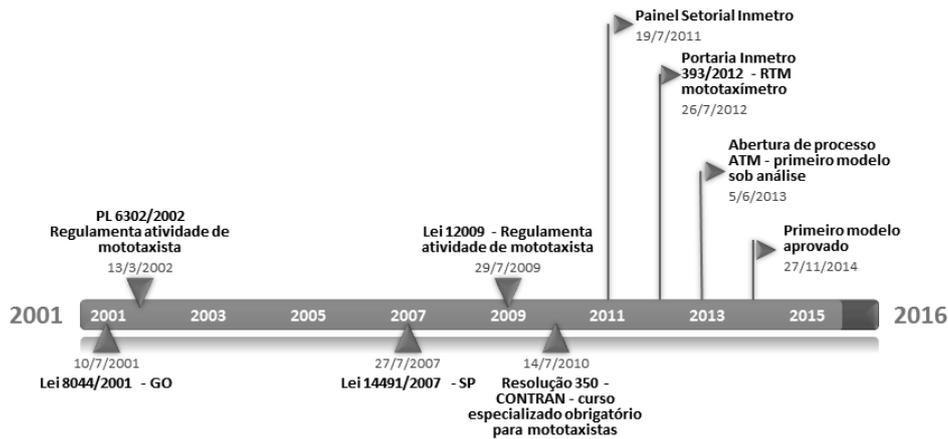


Figura 2.1: Linha do tempo assinalando as efemérides.

Em 2008, antes da promulgação da Lei 12.009/2009, foi divulgado que o número de acidentes fatais com motocicletas aumentava desde 1996. Em dez anos o aumento foi de 726 para 6970 fatalidades em 2006, com uma frota de 7,9 milhões de veículos. Este valor informado pelo Ministério da Saúde não estratifica a finalidade de uso do veículo e não se pode imputar os acidentes somente aos mototaxistas [7].

Estudos mostram que o uso de motocicletas para o transporte de passageiros causou em apenas um ano 10,5% de acidentados de trabalho em uma amostra de 300 trabalhadores entrevistados na Bahia. Estes profissionais entrevistados são habilitados para a profissão de mototaxista e autorizados pela prefeitura. Estima-se que o número de acidentes seja maior, pois temendo causar prejuízo à categoria os mototaxistas subnotificam os eventos [6].

O serviço de mototáxi é oferecido na maioria das pequenas cidades brasileiras, entretanto, a oferta do serviço é irregular, pois em algumas cidades sem o transporte público regulamentado que possuem até 30 mil habitantes o custo da viagem está entre R\$ 1,00 e R\$ 2,00 [7]. No Rio de Janeiro, mesmo com a falta de regulamentação, foi divulgado que há 40 mil passageiros que utilizam diariamente o serviço oferecido por 4,5 mil mototaxistas, com um custo de até R\$ 99,99 [26].

Considerando a realidade do trânsito brasileiro conforme apresentado anteriormente, a segurança é um fator a considerar com a utilização de um instrumento de medição instalado em uma motocicleta.

Os ensaios das verificações metrológicas dos mototaxímetros em serviço, devem ser realizados em condições de referência equivalentes ao funcionamento normal do veículo [4]. Para não expor os agentes da rede metrológica aos riscos de uso

deste veículo foi adotada a medida coletiva de manusear a motocicleta desligada em velocidade inferior a 10 km/h, pois não é permitido que o procedimento de trabalho seja a única forma de proteção [4] [27].

No RTM foi previsto a substituição da pista de ensaio com 1 km, utilizada em taxímetros, por uma pista de referência de 12,5 m para reduzir o risco de acidentes do metrologista nas verificações dos mototaxímetros [4].

O instrumento mototaxímetro foi escolhido para realização do estudo de caso por não possuir ainda um modelo aprovado em uso e a redação do seu RTM prever uma interface de comunicação para verificação. Este instrumento não está regulado pelas resoluções do MERCOSUL, sendo possível utilizá-lo como estudo de referência com a agilidade necessária para implementar as alternativas de controle metrológico. Ainda é possível integrar a ferramenta de verificação no sistema de monitoramento de verificações proposto em outro estudo, para identificar a execução e abrangência das verificações no Brasil [10].

2.2 Princípio de funcionamento do mototaxímetro

O princípio de funcionamento do taxímetro e do mototaxímetro baseia-se na conversão em valores monetários, proporcional à contagem de tempo de utilização do veículo de aluguel, somado à distância percorrida, através de constantes (tarifas) estipuladas pelo poder público concedente. A Figura 2.2 mostra a relação de pulsos da roda com a distância percorrida (constante W), onde é possível perceber que a resolução do instrumento pode ser melhorada quando é utilizado um transdutor com maior número de pulsos por revolução ou utilizar a amostragem das bordas [9]. No mototaxímetro é ajustado programaticamente uma constante (k) que converte o valor de pulsos de entrada em um valor de distância percorrida e por se tratar de uma variável legalmente relevante é protegida de alterações indevidas, onde somente as oficinas de reparo credenciadas fazem ajustes [4]. Espera-se um ajuste perfeito entre as duas constantes k e W para que a distância seja computada corretamente, onde no regulamento admite-se um erro máximo de 1 %.

Um estudo mostra que a medição de velocidade através do sistema de aquisição do veículo pode levar a uma baixa acurácia, causando uma relação por vezes injusta entre o proprietário do serviço de carro de aluguel e o passageiro, comparável à tomada direta do eixo da roda, como é implementado na motocicleta da Figura 2.3a [4, 28]. A constante W nos automóveis é obtida da medição dos pulsos provenientes

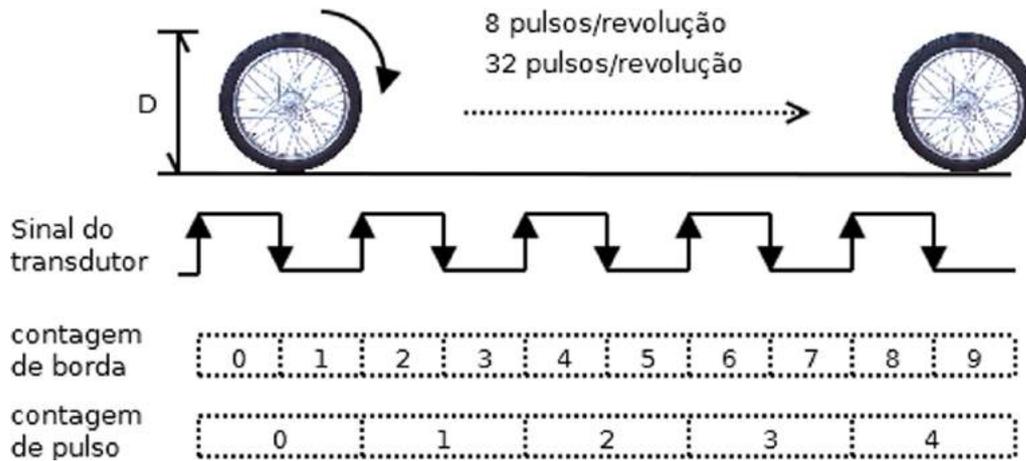


Figura 2.2: Aquisição de pulsos do transdutor acoplado à roda da motocicleta.

da caixa de mudança de marchas ou do sistema de controle do veículo como na Figura 2.3b.

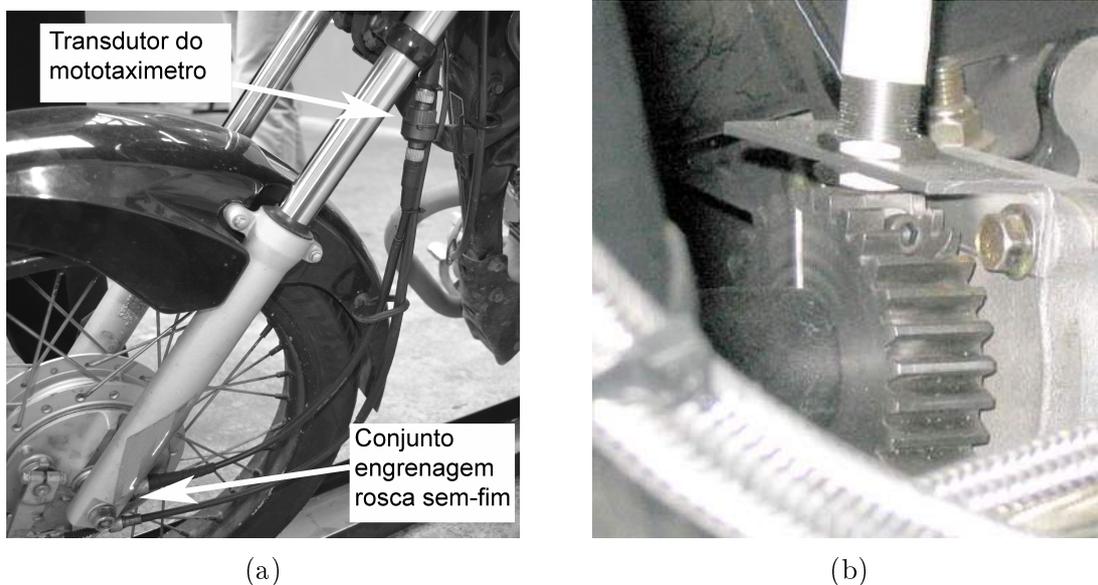


Figura 2.3: Aquisição da velocidade angular no veículo. (a) Acoplamento da motocicleta através da engrenagem ligado ao cubo da roda (caracol). (b) Acoplamento com transdutor magnético na transmissão.

A distância percorrida é a grandeza de entrada que tem a maior parcela no custo do serviço de transporte de aluguel, podendo causar maior impacto pois depende de uma conversão entre os pulsos do conjunto pneu/transdutor e o instrumento de medição. O caminho elétrico entre o transdutor e o instrumento de medição representa uma fragilidade que é explorada pelos fraudadores com a modificação da constante W através de inserção de pulsos de interferência ou com a inserção de microprocessadores no caminho do sinal do transdutor, que pode ser protegida conforme a Figura 2.4 [29].

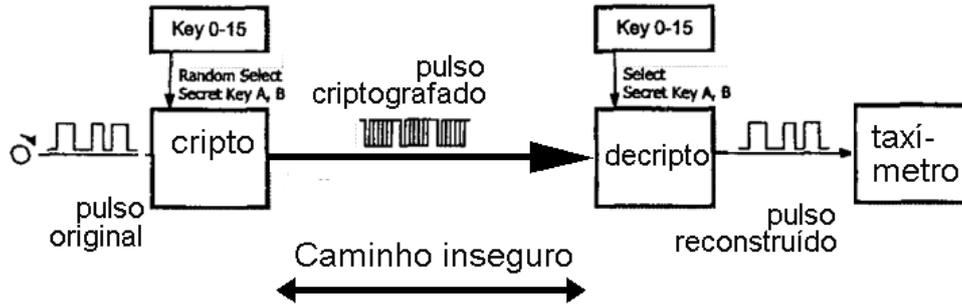


Figura 2.4: Proteção do sinal do transdutor usando criptografia (Adaptado de [29]).

Esta solução de criptografia está prevista no regulamento de taxímetros e é apresentada na Figura 2.5 [30]. O encapsulamento dos pulsos do transdutor em uma mensagem criptografada inibe a ação de fraudes simples tornando o instrumento de medição menos vulnerável.

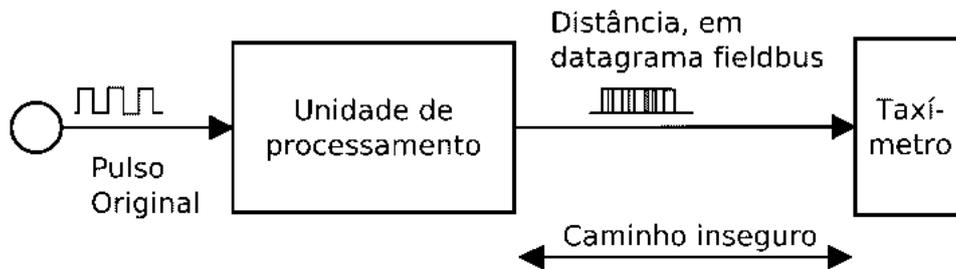


Figura 2.5: Proteção do sinal do transdutor usando criptografia encapsulada em *fieldbus* (Adaptado de [30]).

O resultado da comparação da velocidade de deslocamento do veículo com a constante V_t (velocidade de transição) determina se o incremento da fração de tarifa é calculada pelo modo horário ou pelo modo quilométrico. O valor de V_t é o limiar de transição, calculado pela equação (2.1) [4]:

$$V_t = \frac{\text{Valor da tarifa Horária (R\$/h)}}{\text{Valor da tarifa Quilométrica (R\$/km)}} \quad (2.1)$$

O valor monetário, apresentado no dispositivo indicador do mototaxímetro, é incrementado em função do tempo de utilização quando o veículo está parado ou em velocidade de deslocamento menor que a constante V_t . Para a velocidade de deslocamento superior à constante V_t deve ser utilizada a tarifa quilométrica no cálculo do valor monetário de cada acréscimo de fração.

De acordo com a Constituição Federal, são os municípios que têm a competência para autorizar o serviço público de transporte coletivo, por meio de concessão ou permissão [31]. Ainda permite que a administração local determine os valores tarifários do serviço, influenciando diretamente na programação do instrumento e seu funcionamento. Desta forma, é necessário que para cada cidade uma faixa de velocidades deve ser testada em cada valor de tarifa, de acordo com o erro máximo admissível, como apresentado na Figura 2.6 [4].

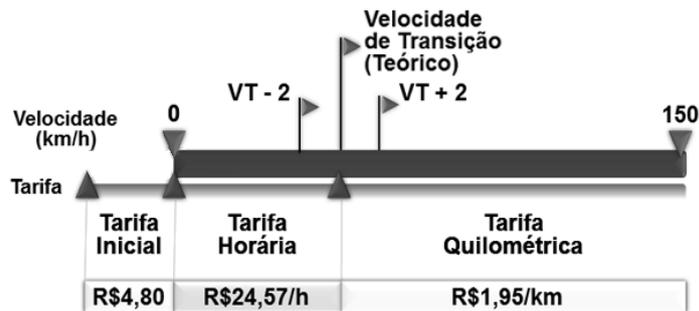


Figura 2.6: Intervalos de ensaio para determinar V_t . Aprovam-se os instrumentos dentro do intervalo $V_t - 2 \text{ km/h} \leq V_t \leq V_t + 2 \text{ km/h}$.

Já foi proposto um método de verificação automática de taxímetros dividindo o ensaio em duas etapas: o ensaio para determinação do erro em função do tempo e o erro em função da distância, como previsto no Regulamento técnico metro-lógico, utilizando-se de uma plataforma de roletes para impulsionar o veículo em avaliação [4]. Em regulamento internacional foi prevista a verificação de acurácia, dispondo o taxímetro de uma interface de testes funcionais para monitorar o desempenho do instrumento ao injetar sinais para simular o deslocamento do veículo e para a leitura dos impulsos correspondentes ao tempo decorrido [30].

No Brasil, o grupo de trabalho (GT) formado por técnicos do INMETRO e fabricantes de taxímetros decidiu adicionar à esta interface uma comunicação bidirecional para leitura automática dos parâmetros de tarifas e mostrador do motaxímetro, prevendo então a leitura de todas as variáveis presentes no mototaxímetro, com as ligações elétricas da Figura 2.7.

Além de tornar possível o ensaio de desempenho automatizado de forma não invasiva, pode-se implementar os ensaios de verificação de integridade de *software* em campo, sem a necessidade de remoção do instrumento para o laboratório como apresentado na Seção 2.5.

pino	função
1	+12V
2	Entrada serial (TTL)
3	Saída serial (TTL)
4	Vago
5	Aterramento
6	Vago
7	Saída de pulsos
8	Entrada de pulsos
9	Vago

Figura 2.7: Conector do mototaxímetro para ensaio de desempenho, integridade de *software* e alimentação do dispositivo verificador (adaptado de [4]).

2.3 Raio dinâmico do pneu

A distância percorrida pelo veículo é obtida pelo mototaxímetro através do número de pulsos recebidos pelo transdutor acoplado ao pneu conforme citado anteriormente. A distância percorrida por cada volta da roda p_g pode ser determinada, se considerarmos o pneu como um disco rígido com diâmetro D , pela equação da circunferência em uma revolução completa na equação (2.2) [32]:

$$p_g = \pi \cdot D \quad (2.2)$$

O pneu não é rígido e apresenta deformações devido às propriedades dos seus componentes. Sua construção não é feita simplesmente com um molde onde coloca-se borracha similar a um pão de forma, mas através da montagem de diversas camadas de têxteis, aço e borracha totalizando mais de duzentos itens [33], conforme a Figura 2.8. O pneu diagonal que possui a lona cruzada entre os talões tende a deformar-se mais sob carga que o pneu radial estruturado que recebe um reforço de cintas ao longo da circunferência e as lonas que ligam os talões têm um ângulo próximo de 90° [34].

Experimentalmente, conseguiu-se determinar uma equação para o pneu diagonal que relaciona sua deflexão vertical devido à força aplicada verticalmente e a pressão de inflação quando apoiado em uma superfície rígida, representado na Figura 2.9 [35]. A partir da característica universal do pneu obteve-se a equação (2.3) [35]:

$$\frac{f^2}{G} = C_1 + \frac{C_2 \cdot f}{p_a + p_0} \quad (2.3)$$

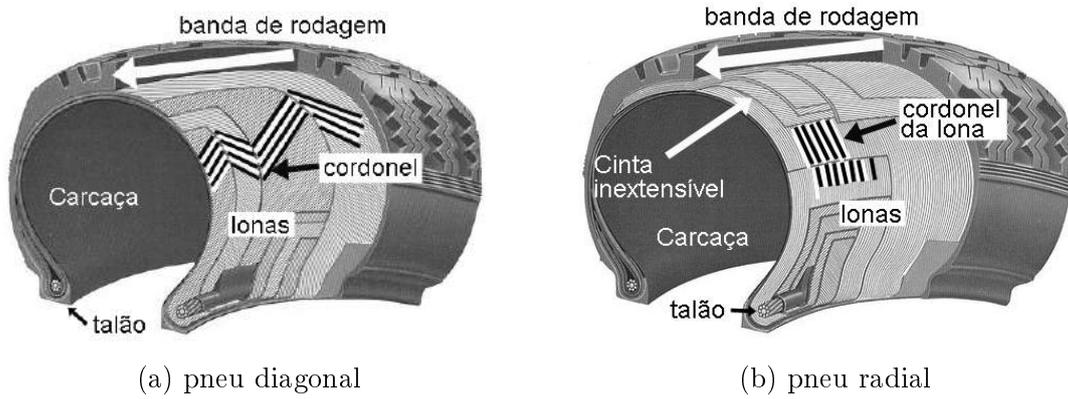


Figura 2.8: Diagrama construtivo dos pneus diagonal e radial (adaptado de Wikimedia Commons). (a) fios a 40° em relação à banda de rodagem. (b) fios a 90° em relação à banda de rodagem.

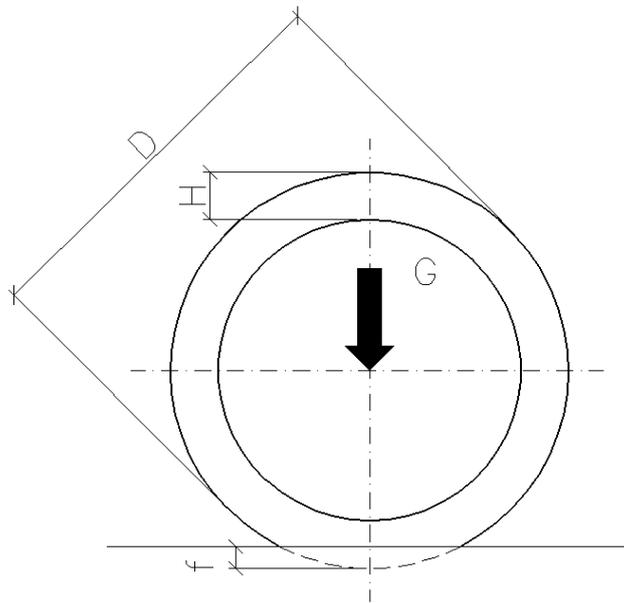


Figura 2.9: Diagrama de deflexão do pneu sob carga (adaptado de [35]).

Reescrevendo a equação (2.3) para isolar a deflexão vertical do pneu:

$$f = \frac{C_2 \cdot G}{2 \cdot (p_a + p_0)} + \sqrt{\left[\frac{C_2 \cdot G}{2 \cdot (p_a + p_0)}\right]^2 + C_1 \cdot G} \quad (2.4)$$

Onde:

f é a deflexão vertical do pneu;

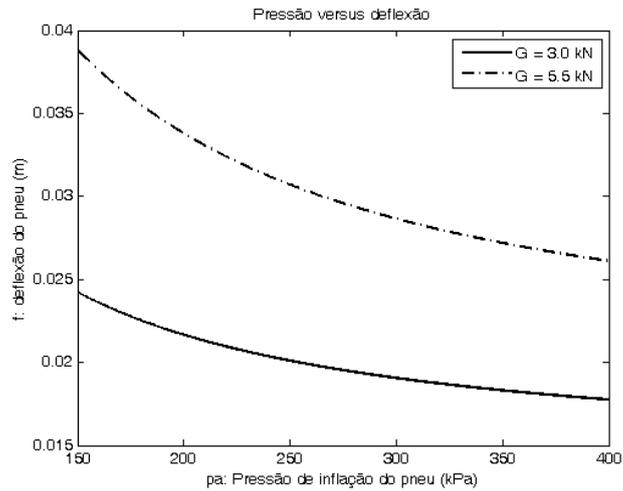
C_1 e C_2 são constantes do pneu e variam para cada configuração largura/altura;

G é a carga vertical aplicada ao pneu;

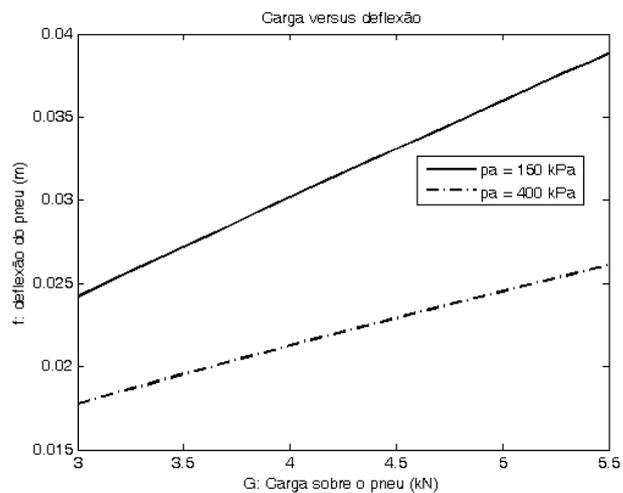
p_a é a pressão de inflação do pneu;

p_0 é a pressão do pneu completamente descarregado sobre uma superfície rígida e depende da construção e do material do pneu;

Com os dados experimentais disponíveis do pneu 5.50 - 16 e a equação (2.4), temos como representar graficamente a deflexão vertical com a variação da pressão de inflação do pneu na Figura 2.10a enquanto na Figura 2.10b temos a deflexão vertical em função da variação de carga [35]. A partir da tabela paramétrica do pneu 5.50 - 16 obtemos as seguintes características: $p_0 = 30$ kPa; $C_1 = 65 \cdot 10^{-6} \text{ m/kN}$; $C_2 = 0,97 \text{ m}^{-1}$; $G = 3$ kN a 5,5 kN e $p_a = 150$ kPa a 400 kPa.



(a)



(b)

Figura 2.10: Gráficos da variação da deflexão vertical. (a) Deflexão em função da pressão de inflação do pneu. (b) Deflexão em função da carga vertical aplicada.

Na Figura 2.10b é perceptível que o pneu diagonal sofre uma deformação linear com a carga aplicada. A deformação depende da dureza do pneu que é uma característica de sua construção e da pressão de inflação. Como o ensaio foi realizado em um pneu não radial, onde as fibras dispostas diagonalmente permitem uma maior flexibilidade do pneu para absorver as vibrações durante o uso, esta deflexão é maior

quando o pneu está com menor pressão. Na Figura 2.10a a variação da deflexão com a pressão não é linear, mas a dureza aumenta com a pressão e o pneu deflexiona menos com as variações de carga em um pneu mais inflado.

Esta condição de aproximação é estática, e não leva em consideração o raio dinâmico quando há um movimento angular. No entanto, a medição de comprimento para a tarifação no mototaxímetro é realizada com o veículo em movimento em velocidade superior a V_t . Levando em consideração as condições normais de uso é preciso identificar a influência do comportamento dinâmico do pneumático, onde a velocidade de deslocamento, a pressão de inflação do pneumático e até mesmo as condições de carga que alteram o valor do raio [36].

Considerando o pneu em movimento representado na Figura 2.11 o raio do pneu em rotação ou raio dinâmico é função da velocidade angular e da velocidade de deslocamento [33], conforme a equação (2.5):

$$R_w = \frac{V_w}{W_w} \quad (2.5)$$

Onde:

R_w é raio dinâmico do pneu;

V_w é a velocidade de deslocamento do veículo e

W_w é a velocidade angular da roda.

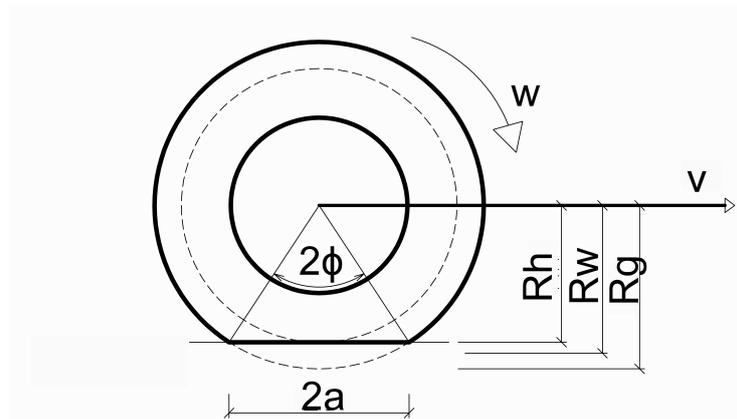


Figura 2.11: Diagrama do raio dinâmico (adaptado de [33]).

O raio geométrico R_g pode ser encontrado experimentalmente através da medida do perímetro do pneu montado no aro e sem carga [34]. Ajustando a equação (2.2) determina-se o valor de R_g com:

$$R_g = \frac{p_g}{2 \cdot \pi} \quad (2.6)$$

Onde:

p_g é o perímetro geométrico da roda sem carga, obtido através de medição com trena e

R_g é o raio geométrico.

Devido à forma de construção do pneu radial que contribui para a maior dureza do pneu a deformação sob carga é menor, enquanto os modelos diagonais deformam mais sob carga que os pneus radiais, estima-se que a relação entre o raio geométrico e o raio dinâmico é de aproximadamente [33]:

$$R_w \approx 0,96 \cdot R_g \quad (2.7)$$

nos pneus diagonais. Em pneus radiais temos:

$$R_w \approx 0,98 R_g \quad (2.8)$$

Os pneus diagonais são instalados em motocicletas de baixa potência (125 cc a 150 cc) que atingem velocidades até 120 km/h [37].

Considerando um deslocamento em linha reta, pode-se determinar o valor do raio dinâmico R_w através de medidas experimentais com a aquisição da velocidade linear do veículo em uma pista com superfície plana com tamanho conhecido. Usando a equação (2.5), sabendo que o intervalo de tempo Δt é o mesmo para medir a distância percorrida ΔX e coletar o número de revoluções do pneu, temos que:

$$R_w = \frac{V_w}{W_w} = \frac{\frac{\Delta X}{\Delta t}}{\frac{\text{revoluções}}{\Delta t}}, \quad \text{desenvolvendo, temos:} \quad (2.9)$$

$$R_w = \frac{\Delta X \cdot W_k}{n_p} \quad (2.10)$$

Que relaciona o raio efetivo ao número de pulsos em uma pista de tamanho conhecido, onde:

ΔX é o tamanho da pista;

W_k é o número de pulsos por revolução, determinado experimentalmente e

n_p é o número de pulsos coletado no intervalo determinado por ΔX .

2.4 Verificação de desempenho

O valor monetário à pagar depende, conforme apresentado, do resultado da medição do tempo decorrido e da distância percorrida pelo veículo. A avaliação da

conformidade dos instrumentos, dos erros de medição, instalação e operação dos instrumentos devem ser realizados pelo órgão metrológico fiscalizador com atenção para evitar o desperdício de recursos [30]. A partir dos valores de erro máximo admissível são feitas comparações com os valores de medição do mototaxímetro que dependem da instalação na motocicleta (distância percorrida) e em etapa separada são avaliados os parâmetros que não dependem do veículo (erro por tempo decorrido, valores de tarifas, funcionamento dos controles do instrumento e verificação de integridade de *software*) [4]. Tratando-se de uma novidade, o método de verificação do mototaxímetro será comparado com os métodos disponíveis para o taxímetro, que possui comportamento semelhante.

2.4.1 Ensaio em pistas de referência, com 1 km e 2 km

No Brasil, os ensaios de verificação do erro em função do tempo decorrido são realizados com um cronômetro acionado manualmente. Este método afeta diretamente os requisitos metrológicos em regulamento que admitem erro máximos de $\pm 1,5\%$ ou $\pm 9s$ para intervalos menores que 10 min. Estes valores não correspondem à precisão dos instrumentos de medição, mas ao método de avaliação [23]. As avaliações do erro em função da distância percorrida nas cidades brasileiras utilizam uma pista demarcada com 1 km e 2 km, onde o veículo deve trafegar acima da velocidade de transição (V_t) para minimizar a influência da medição em modo horário. Este método restringe as condições das pistas, que não devem possuir limitadores de velocidade, curvas acentuadas e outros obstáculos que alterem a velocidade de ensaio. Em algumas cidades, não há disponibilidade de espaço nas ruas para a enorme frota tornando necessário utilizar autódromos para a verificação metrológica dos instrumentos [38]. Sem esta disponibilidade de local adequado, as verificações metrológicas são realizadas em atraso, expondo a população à medições sem rastreabilidade [39, 40].

2.4.2 Ensaio em simulador de pista com roletes

Em alguns países, o ensaio de verificação do erro em função da distância percorrida é realizado com o veículo sobre um equipamento com roletes. Um dos rolos é tracionado por um motor, conforme a Figura 2.12a. O sensor mede a rotação de um dos rolos, que possui o perímetro conhecido. Consideram-se que as rodas estão apoiadas sobre os roletes, sem haver escorregamento. Estima-se o erro em função da distância percorrida pela equação (2.11) [41]:

$$D_n = 100 \cdot \frac{(D_0 + n \cdot d) \cdot (1 + C) - Z_n}{Z_n} (\%) \quad (2.11)$$

Onde D_n é o erro acumulado para os trechos de ensaio (%), D_0 é distância inicial do ensaio(m), n é o contador de frações, d é a distância percorrida para cada trecho (m), C é a constante de correção do pneu, Z_n é o valor percorrido em metros, quando há incremento no valor de indicação.

A distância acumulada percorrida Z_n é registrada a cada mudança de fração do taxímetro e este evento depende do acionamento manual do simulador de pista. O coeficiente de correção C é necessário pois o pneu apresenta um raio dinâmico menor que em uma pista plana de asfalto, pois há dois pontos de apoio nos roletes, que alteram o formato do pneu, conforme a Figura 2.12b [42].

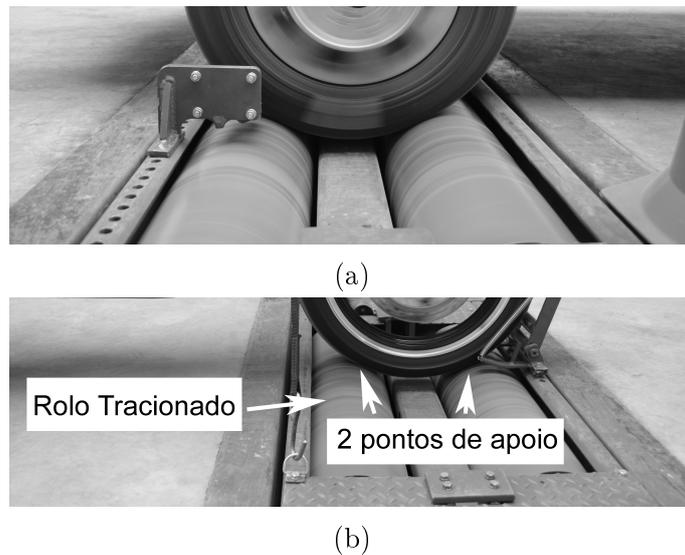


Figura 2.12: Ensaio de verificação em máquina com roletes. (a) Veículo-taxi em ensaio. (b) Mototaxi em ensaio.

Este equipamento exige a instalação em ambiente coberto para proteção da infraestrutura dos roletes, motores e transdutores. Em alguns casos, o sistema de desbloqueio automático de rodas não fornece os dados de velocidade para o taxímetro, impossibilitando o uso de roletes para a verificação de instrumentos instalados nestes veículos [42].

Estudos mostram que o ensaio de verificação do erro em função do tempo decorrido é realizado em laboratório. O taxímetro é desmontado e uma das linhas de conexão do dispositivo indicador é acoplado a um cronômetro. Com o incremento do valor da indicação do taxímetro, o cronômetro é acionado e registra o intervalo de tempo para comparação com o erro máximo admissível previsto no regulamento [41].

2.4.3 Ensaio com GPS

Estudos mostram a possibilidade de utilizar um sistema de medição de distância com GPS para executar os ensaios de verificação de erro em função da distância percorrida. Este sistema visa substituir o método com roletes, que possui limitações de uso em veículos com ABS, são instalações caras e que limitam a quantidade de ensaios [19, 42, 43].

Foi proposto que a distância de referência na pista de ensaio, antes fornecida por um odômetro, seja substituída pela medição com GPS. O valor apresentado pelo GPS é impreciso e varia a cada medição, além de depender de fatores externos ao instrumento (número de satélites, velocidade do veículo e trajetória de deslocamento). A variabilidade elevada destas medições tornam os dados imprestáveis, sem o devido tratamento, para a verificação metrológica de instrumentos de medição.

Devido à imprevisibilidade das informações do GPS, as medidas são consideradas dados *fuzzy*. Logo, as medições não são garantidas que estão dentro do erro máximo admissível, mas podem ser identificadas se ultrapassarem o limite permitido. Combinando a inércia do veículo com a informação da posição mais provável que o GPS fornece, é possível determinar o melhor caminho e os limites de todas as possíveis trajetórias, conforme a Figura 2.13. Os círculos representam a estimativa provável do erro em cada posição fornecida pelo GPS. É preciso limitar o traçado da pista de ensaio, para evitar curvas acentuadas que elevam o erro da medição.

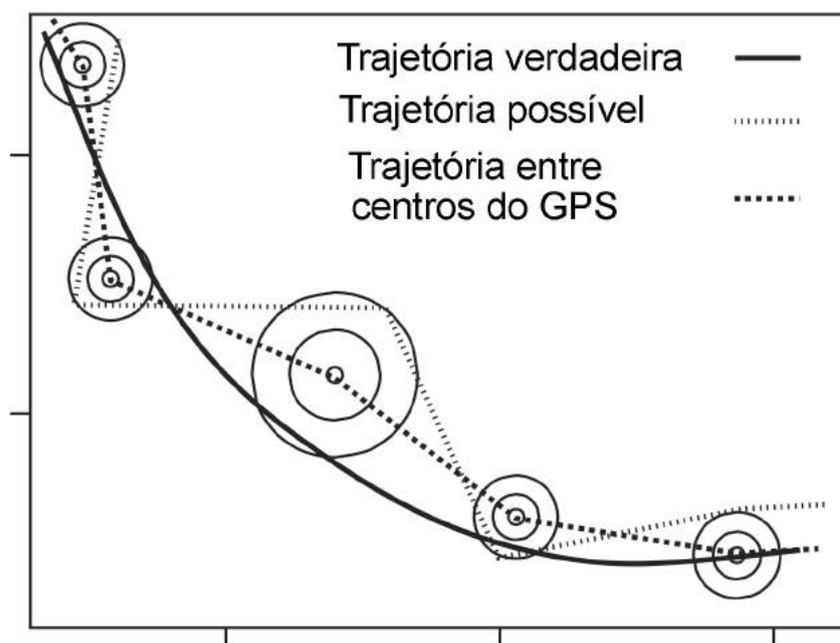


Figura 2.13: Trajetórias prováveis do veículo, com o uso do GPS (adaptado de [19]).

No ensaio de verificação metrológica, o detentor do taxímetro deve realizar o percurso com o registrador GPS enquanto monitora o valor de indicação do taxímetro. A distância percorrida pelo veículo é armazenada no sistema baseado em GPS pode ser transferida para um computador que avalia se o erro da medição ultrapassou o erro máximo admissível [43]. Caso o sistema de medição identifique que os valores apresentados pelo GPS estão acima do limite de comparação, o ensaio é descartado e deve ser repetido [42].

2.4.4 Ensaio em pista curta com dispositivo simulador

Conforme apresentado anteriormente, as condições de ensaio para determinação do erro em função da distância percorrida são proibidas na verificação de mototaxímetros [4]. A versão brasileira do regulamento de mototaxímetros utiliza a recomendação da OIML para a verificação metrológica. É integrado ao instrumento de medição uma interface destinada à verificação onde é conectado um dispositivo simulador [30]. Esta interface é utilizada apenas nas verificações e permanece lacrada, sem interferir no funcionamento do instrumento de medição.

Com um dispositivo simulador interligado no mototaxímetro é possível determinar o valor da constante W do veículo. A leitura do sinal do transdutor ao percorrer uma pista calibrada como referência é suficiente para conhecer a condição de trabalho da motocicleta, conforme a Figura 2.14. A comparação da medição de W com o valor k programado no mototaxímetro determina se o instrumento de medição cumpre o requisito metrológico disposto no regulamento (razão entre k e $W \leq 1\%$).



Figura 2.14: Pista curta de 12,500 m.

Através de mensagens de sinais elétricos e mensagens em protocolo predefinido é possível simular o deslocamento equivalente à pista real de 1 km e 2 km. To-

dos os incrementos de valor de indicação são monitorados. Isto permite determinar a distância percorrida com a resolução máxima de 1000/12000 m, sabendo que $W_{\text{mínimo}} \geq 12000$ pulsos/km [4]. É possível identificar o valor de V_t do instrumento e realizar o ensaio completamente em modo quilométrico, o que não é viável no ensaio com a pista real.

A verificação do erro em função do tempo também utiliza o simulador [4]. Este equipamento é capaz de medir intervalos de tempo em microsegundos, de forma automática. Utilizar o sinais disponíveis na interface de verificação elimina a necessidade de abertura do instrumento de medição em laboratório. O ensaio torna-se possível a qualquer momento, sem as incertezas associadas ao acionamento manual de um cronômetro.

Parte dos requisitos metrológicos do mototaxímetro foram herdados do regulamento metrológico de taxímetros [23]. Com o dispositivo simulador as incertezas associadas são reduzidas. Atualmente é admissível um erro de ± 9 s para o tempo decorrido menor ou igual a 10 min. Os acionamentos manuais não são necessários, desta forma os erros máximos admissíveis não correspondem à acurácia atual dos instrumentos de medição, quando utilizado a verificação automatizada [4].

A verificação de integridade de *software* foi prevista no RTM, com comandos específicos, para implementação dos métodos desafio-resposta apresentados na Seção 2.5.

2.5 Verificação de integridade

Os instrumentos de medição eletrônicos, em sua maioria, são sistemas de medição com *software* embarcado. Isto significa que o comportamento do instrumento depende das rotinas de código gravadas em sua memória de programa. O *software* é considerado legalmente relevante, se controlar o comportamento, o resultado das medições e os parâmetros metrológicos legalmente relevantes do instrumento de medição [8, 13, 44].

Os instrumentos microcontrolados podem permitir a atualização de *software*, que podem ser mudanças autorizados ou através de tentativa de burla. A possibilidade de um instrumento de medição possuir mais de uma versão de *software* embarcado com o mesmo modelo cria um desafio para o controle metrológico. Torna-se necessário verificar se a versão instalada no instrumento em serviço corresponde à mesma versão

que foi apresentada no processo de AM, onde o comportamento do instrumento é avaliado em conformidade ao código fornecido pelo fabricante [4, 44].

Quando o instrumento de medição está em serviço, fica exposto às diversas possibilidades de tentativa de burla, mecânicas ou eletrônicas. Apesar dos esforços dos fabricantes para proteger os instrumentos de diversos tipos de ataques, ainda é possível que a carga de um novo *software* malicioso seja realizado. O uso de uma ferramenta que identifique alterações no *software* embarcado durante as verificações subsequentes e inspeções não impede a tentativa de fraude, mas identifica o infrator e seus atos [22].

Uma das maneiras mais simples de identificar alterações no conteúdo do programa é a comparação direta da memória com o binário do programa original. No entanto, esta técnica introduz duas fragilidades importantes. O código original deve circular livremente nos equipamentos de verificação, expondo o código à cópias não autorizadas. E ainda, permite que a leitura da memória de programa do instrumento facilite a engenharia reversa para novas fraudes [45].

Considerando que os microcontroladores podem ter restrições na capacidade de processamento e que é necessário a leitura da memória de programa, dois métodos foram propostos para a verificação de integridade de *software*. Ambos usam algoritmos criptográficos na transferência de conteúdo entre o instrumento de medição e a ferramenta de verificação, na intenção de tornar o código original inacessível [45].

No primeiro método, mostrado na Figura 2.15, o conteúdo da memória completa é associada a uma semente aleatória de tamanho fixo. Aplicando o algoritmo criptográfico, previamente aceito pelo organismo de controle metrológico, cada par de semente e binário original gera uma entrada na tabela. Esta tabela compreende todas as combinações desafio-resposta que serão utilizadas nas verificações de integridade de *software* do instrumento. Assim, o código original não fica exposto e o número de combinações inibe o ataque *Replay*, pois o instrumento sob verificação não possui recursos de memória de armazenamento suficiente para todas as combinações [45].

O segundo método, apresentado em resumo na Figura 2.16, visa atender os instrumentos que armazenam as variáveis de configuração e dados de medição (voláteis) no espaço físico que também comporta a memória de programa [45]. Desta forma, alguns trechos identificados pelo fabricante, são excluídos da verificação de integridade de *software*. O número adequado de intervalos aleatórios garante que o dispositivo

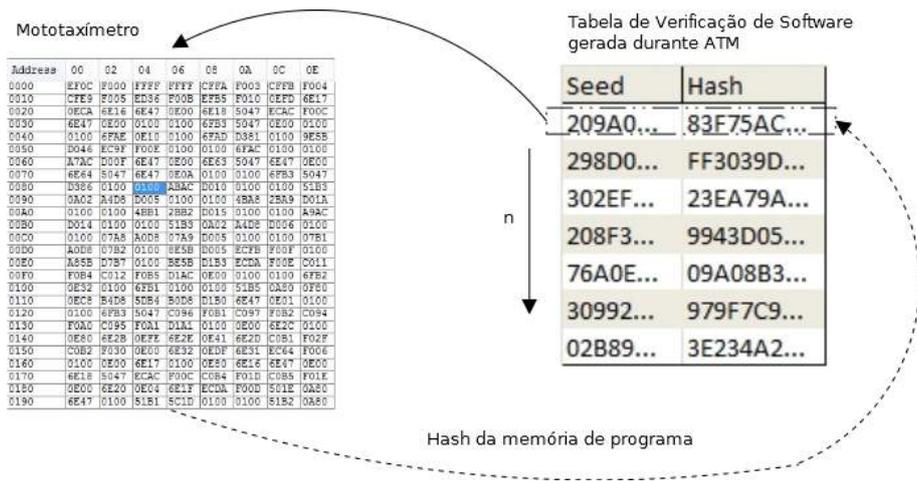


Figura 2.15: Verificação de integridade de *software*, com teste de sementes aleatórias (adaptado de [45]).

não poderá armazenar todas as respostas possíveis, substituindo assim a necessidade da semente. A tabela utilizada na verificação contém a combinação de intervalos de memória e a resposta do conteúdo associado, na forma de resumo criptográfico.

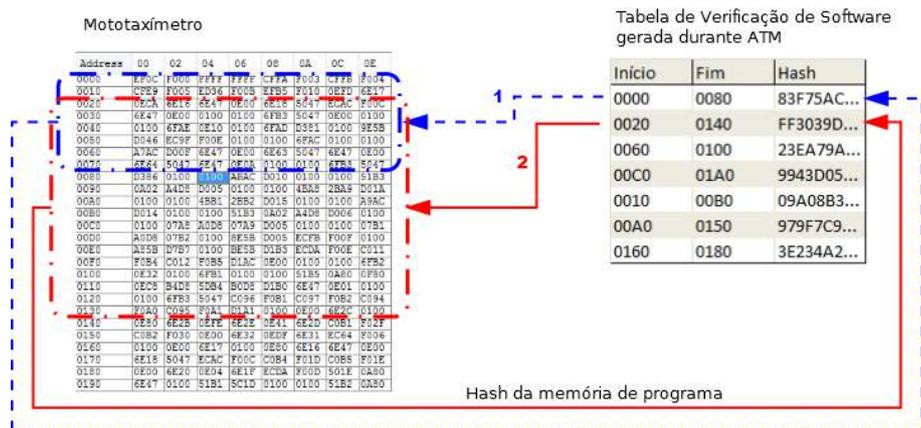


Figura 2.16: Verificação de integridade de software, com teste de faixas aleatórias (adaptado de [45]).

Para tornar possível a troca de mensagens entre o instrumento de medição e a ferramenta de verificação é necessário um protocolo predeterminado de comunicação. A utilização de verificação de *software* em instrumentos de medição eletrônicos iniciou-se com os medidores de energia elétrica. Como não foi definido um protocolo comum, há uma profusão de formatos de mensagens para a comunicação com estes instrumentos [45]. No RTM de mototaxímetros foi definido um protocolo de comunicação que prevê a possibilidade de uso da ferramenta de verificação de *software* divulgada em estudo recente [45].

Para contornar a multiplicidade de protocolos disponíveis, o dispositivo simulador (DAVID) está preparado para tratar as mensagens de duas formas. Ao identificar o protocolo correspondente ao RTM de taxímetros, o conteúdo é analisado para garantir sua integridade. As mensagens com formatos diferentes são retransmitidas imediatamente, em modo transparente de comunicação, permitindo o uso de outros protocolos.

Capítulo 3

O David

O DAVID é um dispositivo simulador dotado de uma *interface* de comunicação para a realização de verificação de integridade de software do instrumento de medição e terminais para verificação de erros de medição com a geração de sinais que emulam o mensurando e captura dos sinais provenientes do instrumento sob ensaio, conforme mostra a Figura 3.1. Este dispositivo pretende auxiliar o agente fiscalizador na atividade de verificação metrológica com a realização de ensaios de forma automática. Está prevista a aplicação do DAVID na avaliação de modelo, verificação inicial e subsequente obrigatória de mototaxímetros ou na verificação de integridade de *software* de simuladores de pista dotados de banco de rolos [4].

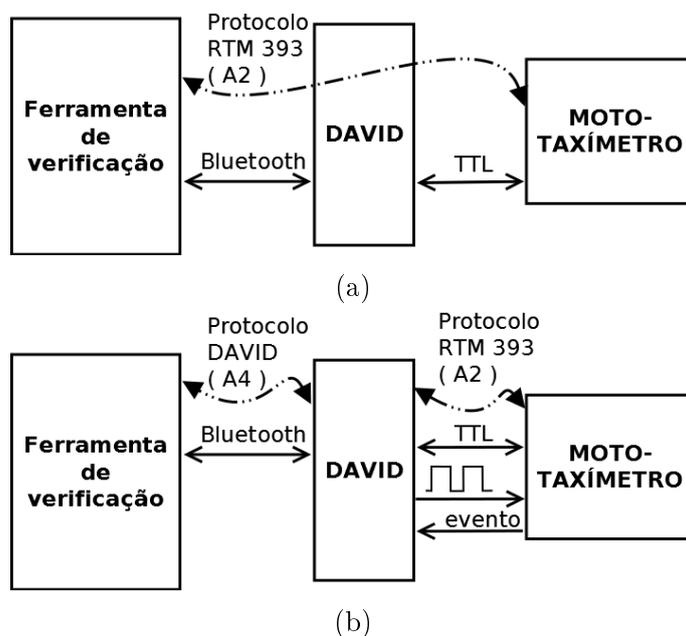


Figura 3.1: Mensagens e sinais do DAVID durante a verificação dos instrumentos de medição. (a) Em verificação de integridade de *software*. (b) Nos ensaios de desempenho.

Todas as mensagens recebidas pelo DAVID são lidas e identificadas conforme o diagrama apresentado na Figura 3.1. A discriminação de cada datagrama identifica a ação necessária. A análise das mensagens com o cabeçalho A2 é feita para determinar a integridade do conteúdo, antes da retransmissão do conteúdo para o instrumento de medição sob ensaio. As mensagens provenientes da ferramenta de verificação são retransmitidas integralmente, caso os comandos endereçados à outro instrumento de medição sejam diferentes do protocolo do mototaxímetro.

O ensaio de verificação de integridade de *software* é comandado pela ferramenta de verificação.

Esta aplicação, que pode estar em um PC ou outra plataforma móvel, possui as tabelas com os intervalos de memória a testar ou a tabela com as sementes, conforme o método escolhido para cada instrumento.

A tabela com os intervalos de memória de programa de teste de ferramenta de verificação tabela intervalos de memória de programa tabela com valores de desafios (sementes)

O DAVID não interfere no tráfego de mensagens de verificação de *software* mas analisa a integridade do conteúdo, onde o mototaxímetro é avaliado quanto às respostas obrigatórias aos comandos descritos no protocolo do RTM [4]. As mensagens com o cabeçalho A2 correspondem aos comandos de avaliação do mototaxímetro e são transferidas diretamente, sem intervenção do DAVID, conforme a Figura 3.1a. O tratamento das mensagens recebidas da ferramenta de verificação foi implementado no modelo da Figura E.1 do Apêndice E.1.

Quando é utilizado o método de faixas de memória aleatórias para verificação de integridade de *software*, a sequência de mensagens da Figura E.2 deve ser seguida. A identificação da versão do instrumento de medição determina qual o arquivo de configuração com as combinações desafio-resposta deve ser utilizado. Este arquivo de configuração selecionado armazena a tabela em registros e será utilizado pela ferramenta de verificação. De acordo com o número de desafios estabelecido, perguntas com a faixa de memória selecionada são encaminhadas ao mototaxímetro através do comando HASH(). Este comando também identifica o microprocessador que deve responder às perguntas. O instrumento de medição somente é aprovado se todas as mensagens forem respondidas sem erro.

Procedimento análogo é realizado na verificação com o método de sementes aleatórias, apresentado na Figura E.3 do Apêndice E.1. No entanto, o arquivo de configuração possui a tabela com as sementes aleatórias e a respostas definidas. As respostas correspondem ao ensaio de toda a memória do instrumento de medição.

Para cada mensagem de desafio, um novo valor de semente é encaminhado para o mototaxímetro, que deve combinar com a memória de programa para obter a resposta provável de um sistema íntegro.

Nos ensaios de determinação do erro em função do tempo decorrido e distância percorrida, o DAVID participa ativamente da geração de sinais de excitação e monitora cada estado do mototaxímetro. Os erros de medição obtidos na verificação de mototaxímetros são comparados com os erros máximos admissíveis previstos no RTM [4]. A ferramenta de verificação solicita o ensaio através de comandos com cabeçalho A4, enquanto o DAVID controla o procedimento de medição de maneira autônoma conforme a Figura 3.1b, utilizando a interface de verificação metrológica.

Cada mensagem do protocolo é executada conforme os diagramas apresentados nas Figuras E.4 a E.6 do Apêndice E.1. O *layout* das conexões foi apresentado anteriormente na Figura 1.1.

O RTM determina que os ensaios de verificação de desempenho do mototaxímetro devem ser realizados com a velocidade máxima declarada do instrumento para minimizar o tempo de execução [4]. Não é possível iniciar o ensaio de determinação do erro em função da distância imediatamente com a velocidade máxima de 150(km/h), pois esta variação de velocidade é incompatível com o comportamento de uma motocicleta real. Esta aceleração deve ser interpretada como uma tentativa de fraude e detectada pelo mototaxímetro, conforme previsto no RTM [4].

A estratégia utilizada para não acionar o sistema de detecção de burla no mototaxímetro foi simular um valor de aceleração menor que a máxima aceleração de uma motocicleta de 150 CC disponível no mercado brasileiro, mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Tabela de aceleração de motocicletas utilizadas no serviço de mototáxi

Fabricante	Modelo	Tempo (s) (0 a 40 km/h)	Aceleração calculada (m/s^2)
Honda	CG150 Mix	4,6	2,4
Dafra	RTR 150 Apache	4,9	2,27
Yamaha	YBR 125	5,4	2,05

No intervalo de teste de 0 até V_t (km/h) a aceleração utilizada é igual a $2 m/s^2$; durante o intervalo de $V_t - 2$ km/h a $V_t + 2$ km/h a velocidade variou em intervalos discretos de $1 \text{ km/h} \cdot s^{-1}$ até que o instrumento indicar que estava no modo Quilo-

métrico. Após a identificação da velocidade de transição, a aceleração retornou para 2 m/s^2 . Esta solução é apresentada no Algoritmo 1.

Algoritmo 1 Detectar a Velocidade de Transição real do mototaxímetro, (V_t)

Entrada: Velocidade inicial, ($V_{inicial}$)

Velocidade final, (V_{final})

Velocidade de transição ideal, (V_{ti})

Coefficiente do veículo, (W)

Saída: Velocidade de transição, (V_t)

$V_t \leftarrow 0$

$V_{tmax} \leftarrow V_{ti} + 3$

$V_{tmin} \leftarrow V_{ti} - 3$

$V_{atual} \leftarrow V_{inicial}$

enquanto $V_{atual} < V_{final}$ **faça**

Gerador (Hz) $\leftarrow f(V_{atual}, W)$

aguarde 1 segundo

Ler o mototaxímetro

$modo \leftarrow$ modo de operação do mototaxímetro

se ($modo =$ quilométrico) **E** ($V_t = 0$) **então**

$V_t \leftarrow V_{atual}$

senão se $V_{atual} < (V_{tmin} - 7)$ **então**

$V_{atual} \leftarrow V_{atual} + 7$

senão se $V_{atual} < V_{tmin}$ **então**

$V_{atual} \leftarrow V_{tmin}$

senão se $V_{atual} < V_{tmax}$ **então**

$V_{atual} \leftarrow V_{atual} + 1$

senão se $V_{atual} \geq V_{tmax}$ **então**

$V_{atual} \leftarrow V_{atual} + 7$

fim se

fim enquanto

retorna V_t

A cada valor de tarifa quilométrica programada no mototaxímetro o DAVID recalcula o valor teórico de V_t e determina através do Algoritmo 1 se a velocidade de transição determinada pelo mototaxímetro está em conformidade com o limites estabelecidos no RTM.

3.1 Compatibilidade eletromagnética

O RTM de mototaxímetros estipula as interferências causadas por condições ambientais ou por outros dispositivos elétricos em que o instrumento de medição deve ser ensaiado [4]. O DAVID não será utilizado com os mesmos níveis de severidade que o mototaxímetro. Durante os ensaios de verificação metrológica previstos no RTM o motor da motocicleta deve permanecer desligado. No entanto, foram previs-

tas proteções para tornar o DAVID não susceptível à transientes elétricos presentes na motocicleta ou em caso de desatenção aos procedimentos de ensaio.

Foi incluído no DAVID proteções para os transientes conduzidos [46, 47]. Nos terminais de comunicação serial foi utilizado um circuito de grampeamento contra descargas eletrostáticas o (IC4), mostrado na Figura D.3. Estudos apontam a eficiência da técnica de absorção, que foi adotada neste projeto [48]. Para aumentar a impedância de entrada na alta frequência, presente nas descargas ESD, foram incluídos ferrites (*beads*) nas entradas de sinal do conector de verificação.

Foi utilizada a estratégia de reinicialização (*RESET*), em caso de travamento do microcontrolador por causa de alterações dos contadores internos, memória ou *latches* de porta de entrada/saída. A monitoração da execução do programa principal é feita com o *watch-dog* interno. O microcontrolador também utiliza um relógio RC secundário em caso de falha da fonte de *clock* principal. Em caso de falta do *clock* externo é transmitido pela interface de comunicação *bluetooth* a resposta de erro A5 para que a ferramenta de verificação reconheça o estado de falha do DAVID.

Em trabalhos anteriores foi descrita a proteção de sobretensão na linha de alimentação de circuitos automotivos. Em caso de falha na conexão da bateria, os pulsos do alternador podem alcançar mais de 100 V e se distribuem na linha de alimentação da motocicleta durante o ensaio, se o motor estiver ligado. Estes pulsos de alta energia (*Load Dump*) estão previstos em norma e foram simulados no circuito apresentado na Figura 3.2 [47]. Para facilitar o transporte e manuseio o DAVID precisa ser pequeno, logo o circuito foi implementado em SMD. A solução escolhida para proteção contra *Load Dump* foi o uso de uma chave CMOS ao invés da técnica de absorção de energia que precisa de componentes grandes [49].

Na presença do pulso 5, quando a tensão de alimentação superar o valor de 21 V a chave CMOS será aberta para a proteção dos reguladores. A chave CMOS está representada pelo transistor (Q2) da Figura 3.3. Esta abertura está projetada para 65 % da máxima tensão de entrada permitida pelos reguladores. O limiar de acionamento da chave CMOS é calculado com os resistores do regulador shunt (D2) [50]. Em caso de falha na chave CMOS, a tensão maior que 30 V, é grampeada pelo supressor de surtos D5 *transient voltage supressor* (TVS) limitando a tensão de entrada nos reguladores. O resistor (R10) limita a corrente sobre o regulador ou sobre o TVS até que o fusível reiniciável (F1) proteja o circuito da sobrecorrente.

A solução com chave de abertura é adequada para o DAVID que possui baixo consumo. A chave irá dissipar pouca energia durante o funcionamento normal pois

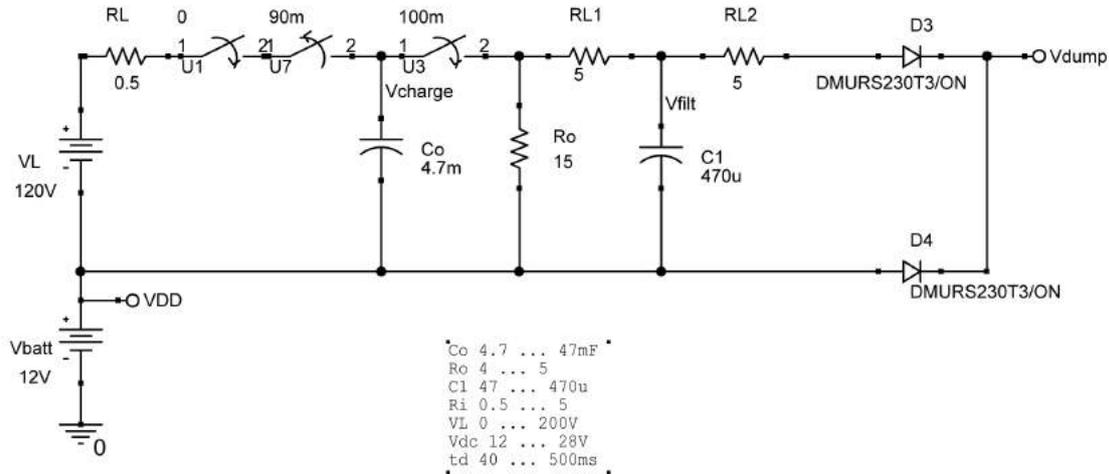


Figura 3.2: Circuito equivalente ao circuito do simulador de pulso 5.

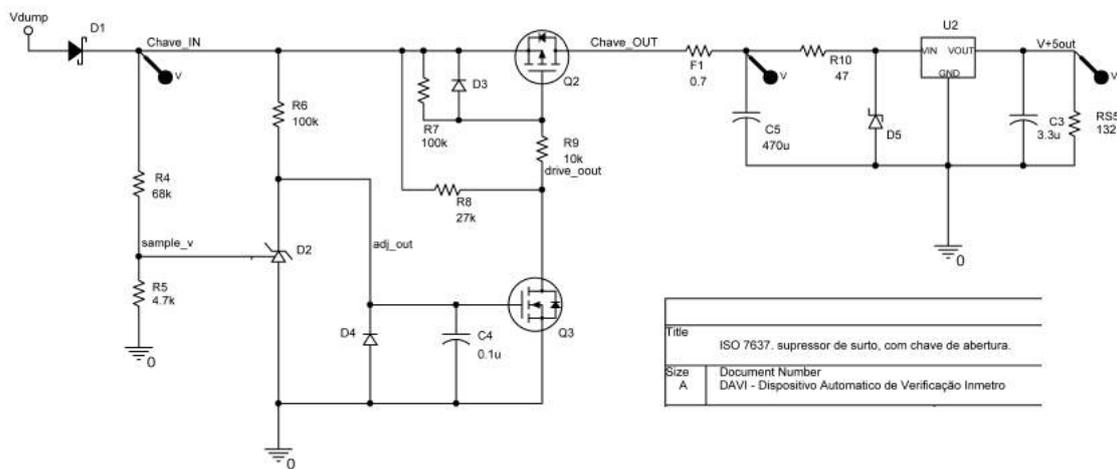


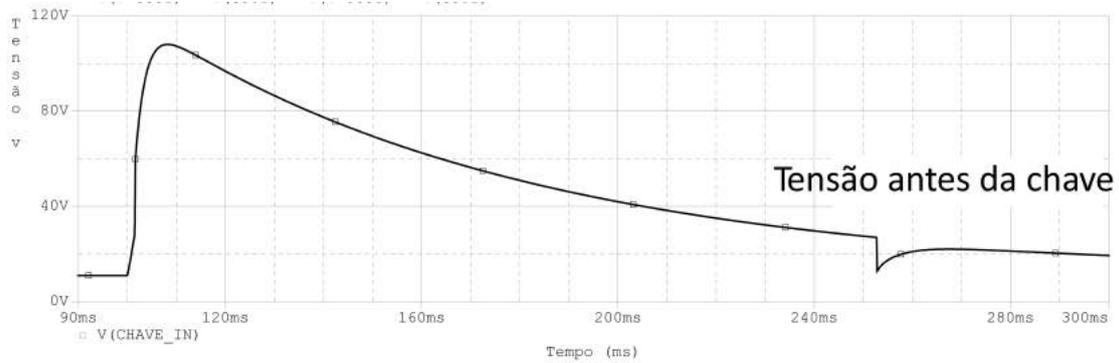
Figura 3.3: Circuito de proteção de pulso 5.

a corrente total do dispositivo é de 3mA. Para manter os circuitos funcionando durante a proteção, o capacitor de reserva (C5) foi adicionado para manter a tensão mínima dos reguladores. Conhecendo a corrente de carga, a tensão no capacitor (C5) quando a chave (Q2) abre, o tempo de *Load Dump* e a tensão mínima de entrada do regulador foi possível calcular o valor do capacitor de reserva.

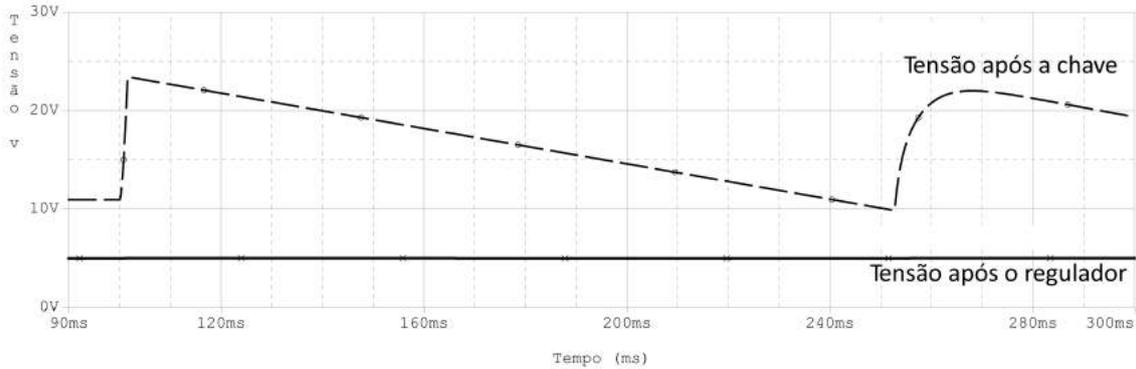
Com o intervalo de interrupção de 500 ms, valores adequados de capacitância estão entre $330 \mu\text{F}$ e $470 \mu\text{F}$. Um capacitor pequeno irá desligar os reguladores e um valor grande gera correntes de surto nos componentes (D1 e Q2). No entanto, foi escolhido o valor de $470 \mu\text{F}$, pois os capacitores eletrolíticos diminuem seu valor com o envelhecimento e aumento da temperatura.

Aplicando o pulso 5 na entrada de alimentação do DAVID, conforme a Figura 3.4a é registrado o valor máximo de 110 V na entrada da chave. A chave CMOS atua

como esperado, abrindo o circuito quando a tensão de entrada atinge 22 V e a tensão de saída do regulador manteve-se estável durante a descarga do capacitor de reserva, conforme a Figura 3.4b. Uma carga resistiva foi suficiente para simular consumo do microcontrolador e rádio *bluetooth*. Em simulação, não houve interrupção ou queda na tensão regulada que alimenta o microcontrolador.



(a)



(b)

Figura 3.4: Simulação da tensão de alimentação durante a falha de *Load Dump* (a) O circuito de proteção registra o valor máximo de 18 V após a chave CMOS. A tensão após a chave Q2 é mantida pelo capacitor de reserva. (b) O regulador manteve a tensão de saída estável no intervalo da perturbação.

Durante os testes experimentais os resultados foram coletados com um osciloscópio. O funcionamento do DAVID foi testado com as conexões da Figura 5.14, enquanto o programa com o Algoritmo 2 monitorou se houve interrupção nas transmissões de leituras do DAVI. Nenhuma falha na apresentação dos resultados é evidência que o DAVI não é susceptível às interferências eletromagnéticas.

Algoritmo 2 Detectar se houve perturbação nos pulsos gerador durante ensaio de EMC

Saída: Mensagem incremental com o número de pulsos

contador \leftarrow 0

laço

SINAL \leftarrow 0

npulsos \leftarrow 0

para *i* = 0 **to** 50 **faça**

PINO_SAIDA \leftarrow *SINAL*

SINAL \leftarrow **not***SINAL*

aguardar 1 ms

LER *PINO_ENTRADA*

se *PINO_ENTRADA* \neq *PINO_SAIDA* **então**

npulsos \leftarrow *npulsos* + 1

fim se

fim para

imprime "Número atual: *contador* Pulsos: *npulsos*"

fim laço

3.2 A calibração

Para obtermos a confiabilidade metrológica de um método de calibração é preciso efetuar a validação do método através de evidências que mostrem que os resultados são adequados ao que se pretende medir [21]. Apenas fornecer o certificado com o valor médio que é o valor mais provável do mensurando, incluindo a incerteza no ponto de calibração, não é garantia de validade do resultado. É preciso estabelecer um método para validar os requisitos de confiabilidade.

O resultado da calibração do DAVID, cujo mensurando é a velocidade (*km/h*), é dependente da frequência gerada pelas rotinas internas do microcontrolador. Estes valores de frequências são convertidos por multiplicação com a constante *k* e apresentados com o valor de velocidade correspondente. A maior influência deste método são as variações devido aos erros de aproximação e arredondamentos além dos erros sistemáticos do gerador. Neste trabalho não foi avaliado a influência da variação de temperatura ambiente sobre a fonte de relógio, mas os valores estão registrados para comparação futura.

Pretende-se através da estatística básica avaliar se o resultado das medições realizadas possuem confiabilidade adequada para o método de calibração. As medições das frequências são avaliadas quanto à sua dispersão e se há valores que possam estar fora do grupo devido a erros grosseiros de procedimento ou erros sistemáticos. A rejeição dos possíveis valores discrepantes é feita através de critérios de Grubbs e Chauvenet [51]. A aplicação destes critérios dependem que a distribuição das

amostras seja normal e esta análise de distribuição foi efetuada segundo o teste de Shapiro-Wilks.

A comparação entre os dados coletados é possível se os conjuntos forem homogêneos entre si. Para avaliar a homogeneidade é necessário estudar se as dispersões entre os grupos de coletas possuem variâncias homogêneas com o Teste-F. Calcula-se então o valor de F_{calc} na equação (3.1) usando o conjunto com a maior variância s_a^2 com o conjunto com a menor variância s_b^2 , pois é necessário que F_{calc} seja maior que 1. Aplica-se o teste de hipótese em que $F_{calc} \leq F_{tab}$, adotando um nível de confiança de (95 %) e se as dispersões são homogêneas: Não rejeitar esta hipótese representa que a alteração de grupo de leitura ou de operador não afeta a precisão do método. O valor de F_{tab} pode ser obtido com a função **INVF** do *Excel*. Ajusta-se a função com a probabilidade de 95 % para obter o valor tabelado para os graus de liberdade dos conjuntos de medições.

$$F_{calc} = s_a^2/s_b^2 \quad (3.1)$$

A distribuição dos grupos deve ser normal para que possamos aplicar os testes paramétricos de exclusão. O teste quantitativo de avaliação será aplicado ao conjunto de todas as **10** medições com a probabilidade de 95% como proposto por Shapiro-Wilks, mostrado na equação (3.2), onde a hipótese de que o conjunto apresenta a distribuição normal ao atender a condição $W_{calculado} \geq W_{tabelado}$ [51, 52]:

$$W_{calculado} = \frac{b^2}{S^2} = \frac{(\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (y_{n-i+1} - y_i)^2)}{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.2)$$

Onde:

$i = 1, 2, \dots, n$, é o tamanho da amostra;

y_i é o valor da medição da amostra. As amostras são ordenadas de forma ascendente;

\bar{y} é o valor médio da medição;

a_i e k são coeficientes tabelados [51].

Com a não rejeição da hipótese que o conjunto total de medições tem a distribuição normal, aplicamos o critério de rejeição de Grubbs, recomendado para avaliação de ensaios interlaboratoriais [51]. A ordenação crescente das medidas amostrais é necessária para testar se os valores mínimos e máximos são estatisticamente pertencentes ao conjunto. A equação de rejeição é dada por:

$$G_{calc} = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (3.3)$$

Onde:

x_i é o valor da amostra suspeita;

\bar{x} é a média das amostras e

s é o desvio padrão das amostras.

Se a amostra suspeita possui um valor $G_{calc} \leq G_{tab}$, significa que esta amostra deve ser rejeitada. Os valores de G_{tab} são fornecidos em tabela [51].

O segundo critério de teste utilizado para a rejeição de valores suspeitos foi o critério de Chauvenet que aplicado à média do conjunto de medições avaliou o desvio de cada amostra em relação ao desvio padrão tabelado [53]. A hipótese de rejeição é que se o valor do desvio for superior ao produto da constante de Chauvenet pelo desvio padrão do conjunto, este valor deve ser excluído, se não satisfizer a condição da equação (3.4):

$$|x_i - \bar{x}| > k_n \cdot s \quad (3.4)$$

Onde:

x_i é o valor da amostra;

\bar{x} é o valor médio das amostras;

k_n é o valor do maior desvio, dependente do número de amostras, tabelado e s é o desvio padrão do conjunto de amostras.

Para manter a confiabilidade metrológica das medições com o DAVID, este deve submeter-se periodicamente a ensaios de calibração. Estes ensaios podem auxiliar na identificação da deriva dos valores gerados pelo dispositivo de verificação e promover a execução de correções necessárias.

Foi desenvolvido um sistema de calibração automatizado para gerenciar todos os instrumentos e informar ao técnico executor se alguma falha é identificada. Ao final de todas as medições é gerado o certificado de calibração do DAVID com a expressão da incerteza de medição para cada velocidade e valor de W preestabelecido. Este sistema está representado simplificadamente na Figura 3.5.

Todas as leituras das medições de frequência e configurações dos instrumentos são realizadas automaticamente pelo algoritmo na linguagem LabVIEW, representado na Figura 3.6.

O DAVID é reconfigurado em cada faixa de W para gerar os pulsos equivalentes à velocidade de ensaio, enquanto o contador universal faz a medição da frequência. A conexão entre os equipamentos apresentada na Figura 3.5 mostra que os dados

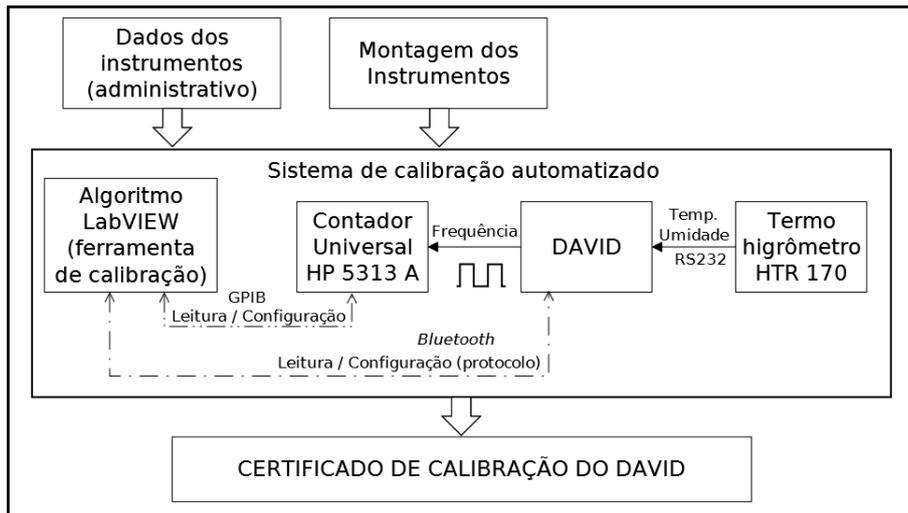


Figura 3.5: Diagrama simplificado dos dados de entrada e de programação da ferramenta de calibração.

de condições ambientais é transferido do termohigrômetro para o LabVIEW através do DAVID.

As medições de temperatura e umidade do termohigrômetro são lidas através da porta serial da *interface* de verificação metrológica. Estes valores são armazenados no certificado de calibração para avaliação futura do comportamento do DAVID sob influência de condições ambientais.

Durante a calibração a porta serial de verificação de integridade de *software* é reconfigurada programaticamente para a velocidade de 9600 bps com inversão de polaridade, pois não é necessário utilizar um conversor RS-232/TTL para a leitura do termohigrômetro. A comunicação entre o DAVID e a ferramenta de calibração é realizada através da conexão *bluetooth*. O protocolo estabelecido pelo fabricante do termohigrômetro é apresentado na Figura 3.7. Estas mensagens são repassadas para a ferramenta de calibração através da configuração do DAVID para modo transparente, onde as máquinas de estado Protocolo-David e Protocolo-393 da Figura 4.17 compartilham o mesmo *buffer* de dados, sem interferir na máquina de estados principal.

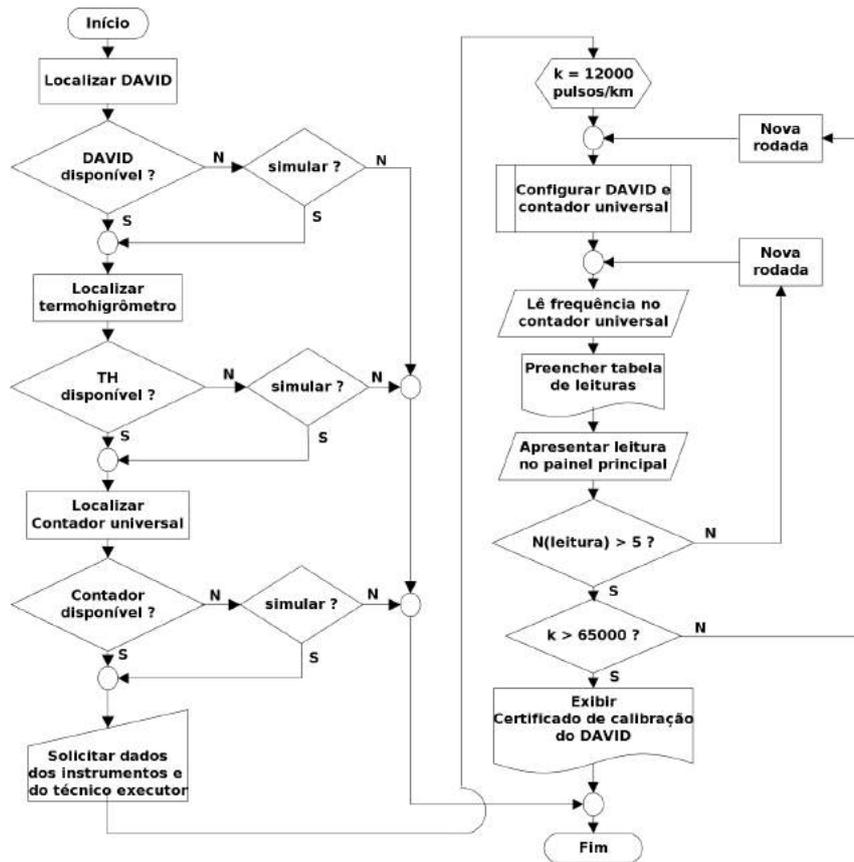


Figura 3.6: Fluxograma simplificado do algoritmo em LabVIEW da ferramenta de calibração.

Dígito	Valor (Hexa)		Mensagem
	Temperatura	Umidade	
D15	02	02	palavra inicial
D14	04	04	-
D13	02	01	grandeza
D12	00	00	-
D11	01	04	indicador do Display
D10	00	00	polaridade
D9	02	02	ponto decimal
D8	00	00	-
D7	00	00	-
D6	00	00	-
D5	00	00	-
D4	xx	xx	digito 1
D3	xx	xx	digito 3
D2	xx	xx	digito 3
D1	xx	xx	digito 4
D0	0D	0D	palavra final

Figura 3.7: Mensagens do protocolo de comunicação com o termohigrômetro HTR-170.

Para facilitar as ligações elétricas entre os instrumentos foi implementado a caixa de conexões da Figura 3.8, onde o DAVID fica posicionado para receber alimentação, conectar-se ao Contador Universal, termohigrômetro e Gerador de funções durante a calibração de tempo.



Figura 3.8: Caixa de conexões com diagrama elétrico simplificado das ligações do DAVID aos outros instrumentos.

Após a fabricação do DAVID é necessário corrigir a deriva de frequência de cada unidade através do comando AJUSTE da Figura E.13, onde o valor de desvio é carregado em EEPROM. A definição de local de armazenamento na EEPROM é apresentada no trecho do código fonte 3.1. Após a reconfiguração do novo valor de correção no endereço de memória *EEPROM*[0], a rotina de interrupção que gera os pulsos de saída do DAVID está apta a recarregar o valor de atraso a cada novo ciclo, corrigindo o erro sistemático identificado.

```

/**endereço da constante para correção do gerador de frequencia*/
#define EE_AJUSTE_LATENCIA 0

/**Ao receber o comando de AJUSTE,
a EEPROM recebe o novo valor de Dd para correção do erro*/
/*AJUSTE_LATENCIA, AJUSTE_TEMPO, NUM_SERIE*/
asm("\ | torg | t" ___mkstr(EE_AJUSTE_LATENCIA));
__EEPROM_DATA(43, 10, 01, 23, 251, 107, 147, 177);

/**Na fase de boot o valor de Dd é recarregado em RAM,
no endereço INT_LATENCY_RELOAD:*/
INT_LATENCY_RELOAD = Read_b_eep(EE_AJUSTE_LATENCIA);

/**A cada interrupção o valor de atraso Dd é carregado no timer:*/

```

```
asm("MOVFF _INT_LATENCY_RELOAD, TMR1L");
```

Código-fonte 3.1: Configuração do erro sistemático no microcontrolador

O método de aquisição das leituras são apresentados na Seção 4.5 e os cálculos na Seção 5.6.1.

Os códigos fonte da ferramenta de calibração, em LabVIEW, estão listados no endereço eletrônico:

<https://github.com/EduardoLSJ/Calibracao.git>

Código-fonte 3.2: Código-fonte da ferramenta de calibração

Capítulo 4

Metodologia e ensaios experimentais

O método abrange um procedimento semiautomático para coleta de informações do mototaxímetro através de uma interface de comunicação sem fios, onde é possível realizar leituras dos parâmetros metrológicos, excitar o instrumento de medição para simular o ensaio de desempenho e testar através de comandos o conteúdo do *software* embarcado e verificar a sua integridade, através de um dos métodos propostos [45]. Os parâmetros para simulação de distância percorrida serão obtidos a partir de uma pista curta com 12,5 m, aproximadamente 1% do comprimento da pista utilizada pelo método atual em taxímetros [23]. O restante do ensaio será realizado com a motocicleta estacionada com o DAVID conectado ao instrumento de medição gerando os sinais correspondentes ao deslocamento necessário para o ensaio de desempenho. A verificação de integridade de *software* será automática, sem a interferência do metrologista, o que tornará o resultado do ensaio independente e também garante a propriedade intelectual do fabricante do instrumento de medição. Uma interface em uma ferramenta computadorizada gerenciará todo o procedimento. Através da comunicação com o DAVID e o uso de um protocolo definido, os ensaios previstos no RTM serão realizados de maneira ordenada para diminuir a intervenção do metrologista e reduzir o tempo de ensaio [4]. Os seguintes itens de ação são necessários para o desenvolvimento do trabalho proposto:

- desenvolvimento de *software* embarcado em microcontroladores para a coleta de pulsos de *encoder* nas pistas;
- desenvolvimento de *software*, com a linguagem de programação LabView, para ferramentas de calibração;
- ensaio em pista asfáltica para medição de perímetro de pneus de motocicletas [54];
- ensaio para comparação de perímetro de pneus com uso de pista curta;

- desenvolvimento de *hardware* do DAVID; e
- ensaios de compatibilidade eletromagnética [55].

4.1 Pista real

A pista de referência é o local onde os ensaios de velocidade foram realizados. Esta pista deve ser de asfalto ou de concreto com rugosidade média. O comprimento mínimo determinado por norma é limitado em 500 m e depende da acurácia do equipamento de teste [54]. Devido à utilização de um equipamento leitor de *encoder* que acoplado à motocicleta possui uma constante de 52000 pulsos/revolução, foi decidido seccionar a pista de referência, em intervalos de 100 m, que possui o comprimento total de 1000 m. O gradiente longitudinal não deve ultrapassar 1%.

No Rio de Janeiro foram localizadas duas pistas candidatas à realização dos ensaios. A pista em asfalto, cedida pelo CAEx situa-se no bairro de Guaratiba. A pista em concreto, cedida pela BASC situa-se no bairro de Campo Grande.

O levantamento topográfico realizado identificou o trajeto retilíneo de cada pista, onde a motocicleta deve circular. Foram coletados os dados altimétricos de cada ponto cotado para avaliação do gradiente [56]. Este gradiente deve permanecer no limite de 1% e foi avaliado na Seção 5.1 [54].

Cada seção, com intervalo de 100 m, recebeu dois pontos de apoio topográficos (medida materializada) para a orientar a fixação das fitas refletivas. O comprimento de 100 m entre cada ponto de apoio foi medido com uma trena metálica. O cálculo da incerteza de medição correspondente a cada trecho é apresentada na Seção 5.1. Estes pontos fixos nas pistas de ensaio permitiram a repetição da fixação das fitas refletivas para manter as mesmas condições de referência para cada dia de ensaio. Devido à quantidade de observações, os ensaios foram realizados em cinco dias consecutivos.

4.2 Pista curta

Para a montagem da pista curta é necessário transportar as peças de aço que compõem os limitadores do trajeto do veículo. Cada peça do perfil possui 2 m de comprimento que devem permanecer alinhadas para a passagem das rodas da motocicleta. A pista curta montada é apresentada na Figura 4.1. Esta foi instalada próximo ao final da pista longa com 1000 m, para facilitar a coleta dos dados.

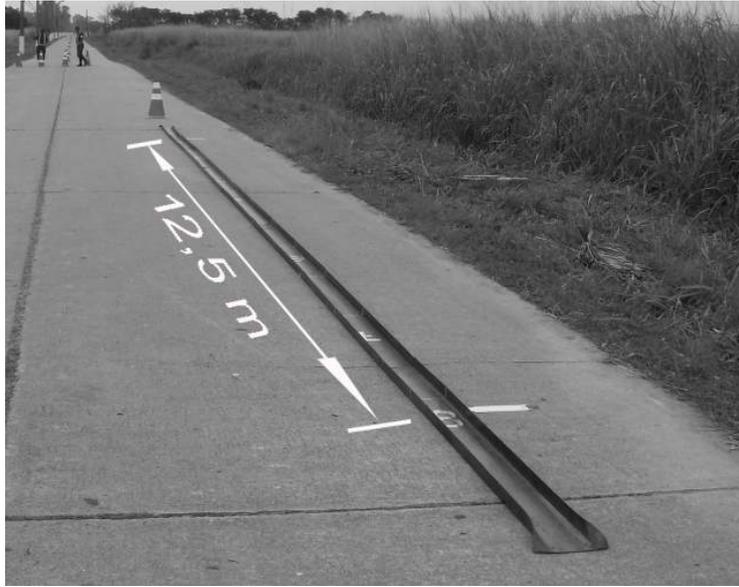


Figura 4.1: Pista curta, com 12,5 m e guia em aço utilizada nos ensaios com a motocicleta.

A identificação dos limites de medição é feita com o uso da fita refletiva, conforme a Figura 4.2a. Esta distância foi medida com a trena de aço. Os limites do percurso eram limitados originalmente com o batente em aço, conforme a Figura 4.2b.



(a) Limite com fitas refletivas



(b) Limite com batentes

Figura 4.2: Pista curta, com 12,5 m utilizada nos ensaios com a motocicleta. (a) As fitas limitam o intervalo de ensaio. (b) Os batentes removíveis limitam o comprimento da pista.

O ensaio com a motocicleta conduzida pelo piloto, sem intervenção do metrologista, deve ser feita com velocidade de até 10 km/h conforme disposto no item de verificação do RTM [4]. Para tornar a tarefa de coleta automatizada no experimento deste trabalho também foram utilizadas as fitas refletivas. Com a utilização do leitor de *encoder* descrito no Apêndice A, ao passar com a motocicleta na guia o transdutor laser detecta a presença das fitas refletivas e aciona a contagem de pulsos do *encoder* no intervalo predeterminado, conforme mostra a Figura 4.3b.



(a) entrada na pista



(b) término da pista

Figura 4.3: Ensaio com a pista curta. (a) A entrada deve ser conduzida com velocidade até 10 km/h. (b) As fitas acionam o dispositivo de leitura automática e limitam a distância de ensaio.

O erro para avaliação dos resultados entre a pista curta e a pista longa é dado por:

$$erro(\%) = 100 \times \frac{(W_{curta} - W_{longa})}{W_{longa}} \quad (4.1)$$

Onde, W_{curta} é o valor médio W do veículo encontrado nos ensaios com a pista curta, W_{longa} é o valor médio W do veículo encontrado nos ensaio de pista longa.

Os ensaios em pista curta de 12,5 m foram conduzidos após cada grupo de medições com a pista real. As condições de referência para a pista curta foram respeitadas excetuando a pressão de inflação do pneu, que se manteve a mesma para cada condição de ensaio em pista longa.

Alteração na pista curta

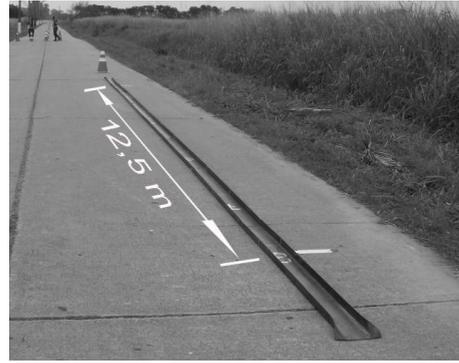
Com intuito de facilitar a tarefa de instalação da pista curta, foi proposto uma alteração de *layout*. Ao invés de utilizar um trilho metálico para guiar todo o percurso da motocicleta, foi utilizada a própria pista de asfalto como referência, apresentado na Figura 4.4. Em cada extremidade da pista foi instalado um perfil metálico como batente para sinalizar ao condutor o momento de parar o veículo Figura 4.5.

As dimensões do batente não causam aumento significativo do percurso de forma a alterar o resultado da medição, mostrado na Figura 4.5b. A comparação entre as duas pistas curtas é apresentado no Apêndice C.2.

Para reproduzir os batentes é necessário seguir as cotas da Figura 4.6a. O perfil é construído de uma chapa de 3 mm de espessura e um perfil de abas iguais em



(a) pista com batente em alumínio.

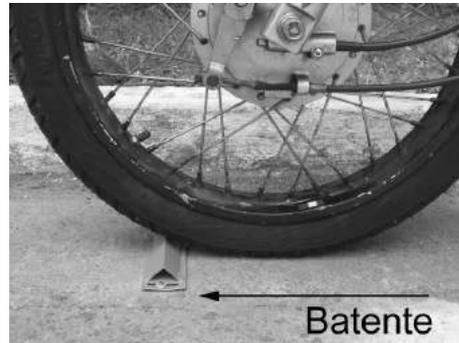


(b) pista com trilho em aço.

Figura 4.4: Duas pistas para ensaio de verificação. (a) A pista utiliza a guia como referência de percurso. (b) A pista define o percurso com o perfil em aço.



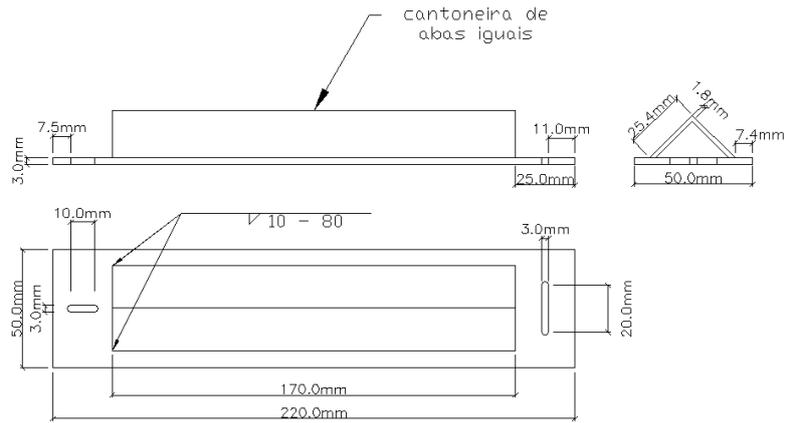
(a) Veículo estacionado sobre o batente.



(b) Detalhe do batente.

Figura 4.5: Proposta de sinalização da pista curta apenas com batentes. (a) O piloto conduz o veículo até parar no batente. (b) O perfil não interfere na medição e traz segurança na instalação.

alumínio com soldas para reforço e fixação da estrutura. A Figura 4.6b mostra o acabamento da peça com uma pintura epóxi para obter maior resistência à abrasão.



(a)



(b)

Figura 4.6: Proposta de sinalização da pista curta apenas com batentes. (a) Croqui do batente e suas cotas.. (b) Detalhe do batente construído.

4.2.1 Erro em função da altura do batente em pista curta

O batente da Figura 4.6b é montado no percurso da motocicleta para delimitar o comprimento da pista curta, sendo que o primeiro batente altera o deslocamento total no ensaio de determinação do valor W do veículo. Considerando o pneu como um disco rígido de raio R_g e sem escorregamento, a distância percorrida ao passar sobre o primeiro batente mostrado na Figura 4.7 pode ser obtida pela equação (4.2):

$$L_{batente} = 2 \cdot p_L + 12500 - 2 \cdot d \quad (mm) \quad (4.2)$$

Onde:

p_L é o perímetro da roda no deslocamento do arco L ;

d é a distância entre os pontos em que o pneu toca o solo e o batente;

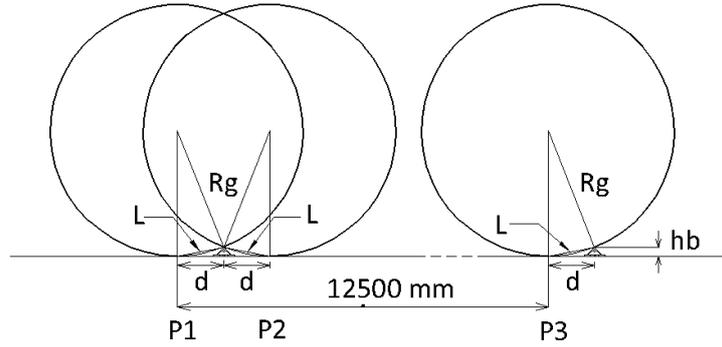


Figura 4.7: Pista curta com batentes. O primeiro batente altera o comprimento total da pista no intervalo $P1 - P2$.

A altura do batente h_b foi determinada com o mínimo suficiente para que o piloto perceba os limites da pista de ensaio. É necessário parar o veículo ao início e término para a coleta dos pulsos do transdutor de posição. Com o valor de conhecido de h_b de projeto, mostrado nas Figuras 4.6b e 4.8, temos que:

$$h_b = h_1 + h_2 \quad (4.3)$$

onde:

h_1 é a altura da base do perfil e

h_2 é a altura do perfil "L".

O ângulo θ do arco que o pneu descreve ao se deslocar entre o último ponto que toca o solo e o topo do batente é:

$$\theta = \arccos\left(\frac{R_g - h_b}{R_g}\right) \quad (4.4)$$

O arco L depende de θ e do raio geométrico da roda. Esta simplificação, com uso do raio geométrico, leva em consideração que o veículo está sem carga, ou seja, sem piloto ou passageiro conforme determina o RTM [4], daí temos:

$$L = 2 \cdot \sin(\theta/2) \cdot R_g \quad (4.5)$$

$$d = \sqrt{L^2 - h_b^2} \quad (4.6)$$

$$p_L = \theta \cdot R_g \quad (4.7)$$

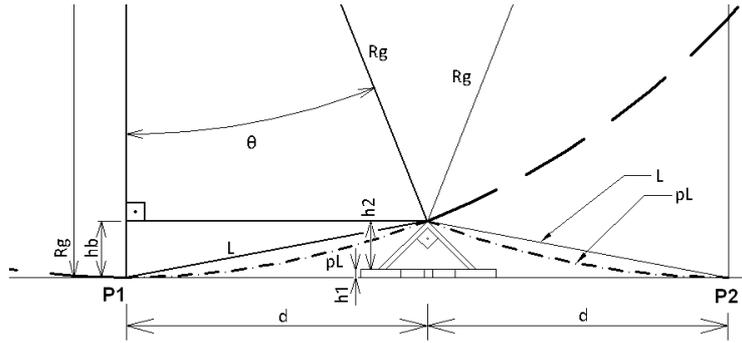


Figura 4.8: Detalhe do percurso P1-P2 com o pneu passando sobre o batente.

O acréscimo de distância promovido pelo primeiro batente traduz-se em um erro sistemático que depende do raio geométrico da roda. Sabendo que a roda utilizada possui um aro nominal código 18 e o pneu têm um perímetro de 1907 mm, temos que o erro pode ser calculado através das equações (4.2), (4.6) e (4.7) por:

$$erro(\%) = 100 \cdot \frac{L_{batente} - 12500}{12500} = 100 \cdot \frac{p_L - d}{6250} \quad (4.8)$$

Substituindo os valores numéricos, o erro sistemático é de 3,93 mm que representa:

$$erro = 0,031\% \quad (4.9)$$

4.3 Configuração do *hardware* de medição de pista

Para medir o número de voltas do pneu em uma distância determinada foi necessário estabelecer os limites físicos para a amostragem de pulsos do transdutor acoplado ao pneumático. As fitas refletivas coladas na pista formam barreiras ópticas nas distâncias de referência. O transdutor de posição laser faz a indicação da passagem pelos pontos determinados, sem contato com a pista. O *encoder* acoplado na roda dianteira da motocicleta faz a leitura do número de pulsos. O conjunto *encoder* e acoplamento com a roda fornece 52000 pulsos/rotação.

A coleta de pulsos do *encoder* para identificar a direção e a distância percorrida pode ser realizada por instrumentos disponíveis no mercado. No entanto, algumas necessidades do projeto precisam ser atendidas:

1. coleta de pulsos do *encoder* com taxa de 1000000 pulsos/s;
2. detecção de barreira óptica para medição parcial;
3. coleta de intervalo de tempo a cada parcial (*LAP*);
4. coleta de pulso a cada parcial (*LAP*);

5. capacidade de armazenamento de ao menos 25 intervalos parciais; e
6. comunicação sem fio para coleta das medições e configuração.

Para esta tarefa um dispositivo microcontrolado foi desenvolvido, conforme apresentado no Apêndice A. O diagrama de blocos da Figura 4.9 representa o instrumento de medição automático da pista. As medições podem ser efetuadas de forma semiautomática com as coletas armazenadas temporariamente e a descarga através de uma comunicação sem fio proporcionou agilidade nos ensaios de pista.

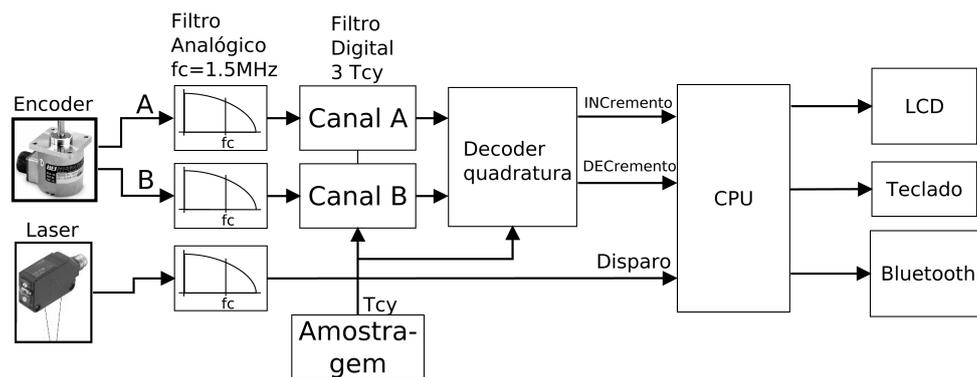


Figura 4.9: Diagrama de blocos do leitor de *encoder* e transdutor de posição.

4.3.1 O transdutor de posição

Os transdutores ópticos possuem uma limitação de quantidade de luz no ambiente antes que saturarem o sensor [9]. Para o uso em ambientes externos deve-se levar em consideração as condições ambientais e corrigi-las para viabilizar o uso destes transdutores. Aproveitando as medições realizadas que indicam a luminância máxima de 76.000 lux às 13h em áreas ensolaradas, iremos avaliar a possibilidade de uso dos transdutores se forem bem escolhidos e corretamente instalados [57].

Para os dias com céu azul a iluminância diminui, devido à falta de nuvens que dispersam a luz, pois as componentes restantes são as radiações direta e refletida [58]. Podemos aproveitar este comportamento de propagação da luz que interfere em nosso transdutor ao preparar uma barreira física para impedir a iluminação direta e difusa da radiação solar. Ainda nos resta analisar e tratar a componente de luz refletida.

Já foi investigada a reflectância espectral de materiais utilizando o método de medição de radiação refletida com um espectroradiômetro, comparando-se o valor refletido por um anteparo calibrado com o valor apresentado pela superfície sob análise [59]. O concreto analisado variou seu fator de reflectância entre 9% a 35% na

faixa de espectro de 400 nm a 900 nm, enquanto que o asfalto seu fator de reflectância correspondente está na faixa de 5 % a 11 %, nas mesmas condições, conforme apresentado na Figura 4.10. O valor de fator de reflectância não pode ser utilizado diretamente, sem conhecer a calibração do anteparo de referência, para obter o valor de iluminância.

Ao filtrar a faixa espectral nos limites de 450 nm e 755 nm e analisar os valores apresentados pelo espectralradiômetro e conhecendo o valor calibrado do anteparo de referência obteve o valor de reflectância do asfalto através da equação (4.10) [60]:

$$\rho_{\lambda} = \left(\frac{L_{\lambda}^a}{L_{\lambda}^p} \right) \cdot 100 \cdot \rho_{\lambda}^p \quad (4.10)$$

Onde:

ρ_{λ} é a reflectância no comprimento de onda λ (%);

ρ_{λ}^p é a reflectância do anteparo de referência tabelado (%);

L_{λ}^a é a intensidade de radiação refletida no asfalto e

L_{λ}^p é a intensidade da radiação refletida no anteparo de referência.

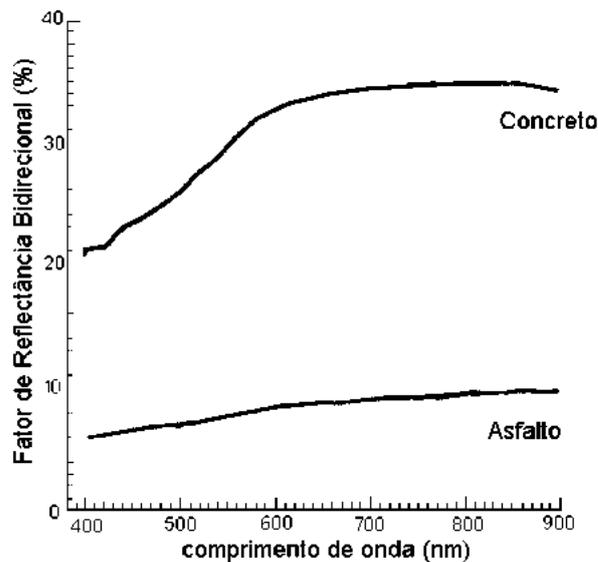


Figura 4.10: Valor do fator de reflectância para cada material da pista de ensaio (adaptado de [59]).

Usando a Figura 4.11 para um asfalto novo e bom, é possível chegar graficamente ao valor de 12,5 % de reflectância no comprimento de onda de 650 nm, comum aos transdutores ópticos disponíveis.

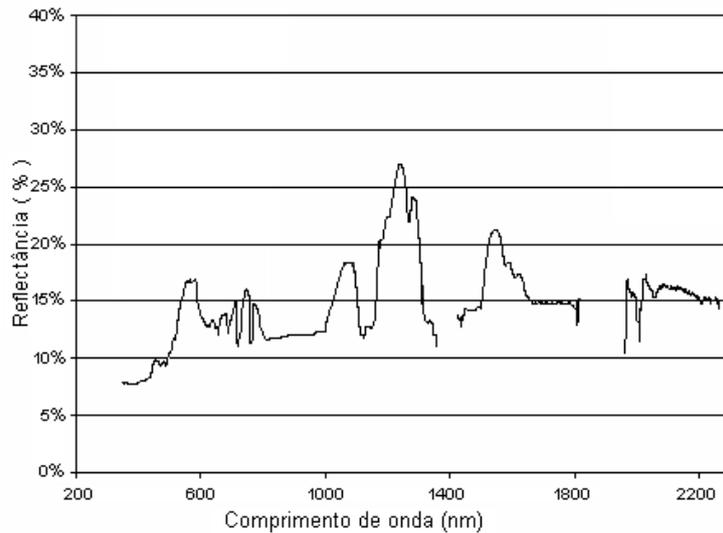


Figura 4.11: Valor da reflectância para pista de asfalto novo (adaptado de [60]).

Se usarmos transdutores ópticos com feixe polarizado que dependam de uma superfície prismática para redirecionar o feixe teremos menor interferência da luz refletida fora da incidência normal.

Os transdutores disponíveis no mercado brasileiro têm o limite máximo de iluminância de 30000 lux o que inviabilizaria o uso com exposição solar direta, conforme a Tabela 4.1. O bloqueio da interferência da insolação direta através de um anteparo e o apontamento do sensor para o asfalto diminuem a iluminância sobre o sensor óptico evitando sua saturação. Foram selecionados para testes os transdutores imunes à radiação difusa e dependentes de refletores prismáticos. O posicionamento do transdutor no chassi da motocicleta com o feixe luminoso em ângulo de incidência normal ao piso conforme a Figura 4.12 diminui a incidência de luz solar sobre o sensor óptico.

Tabela 4.1: Comparação entre os transdutores disponíveis

Fabricante	Modelo	Modo de Operação	Tipo de Luz	Alvo	Limite de luz ambiente	Tempo de resposta
pepper-fuchs	GLV 18-8-450.73.120	difusa	vermelha modulada	branco preto cinza	30000 Lux	$\leq 1ms$
Omron	E3Z LR61	retro refletivo	vermelho (655 nm)	refletivo	10000 lux	1 ms
banner	QS18 VP6 LP	polarized retro	vermelho (660 nm)	refletivo	?	$\leq 0,6 ms$
sense	OS1K 30GI70 A2 J	difuse	vermelho	difuso	11000 Lux	20 ms
BALLUFF	BOS 5K NS RR10 02	refletivo	vermelho (660 nm)	refletivo	5000 Lux	1 ms

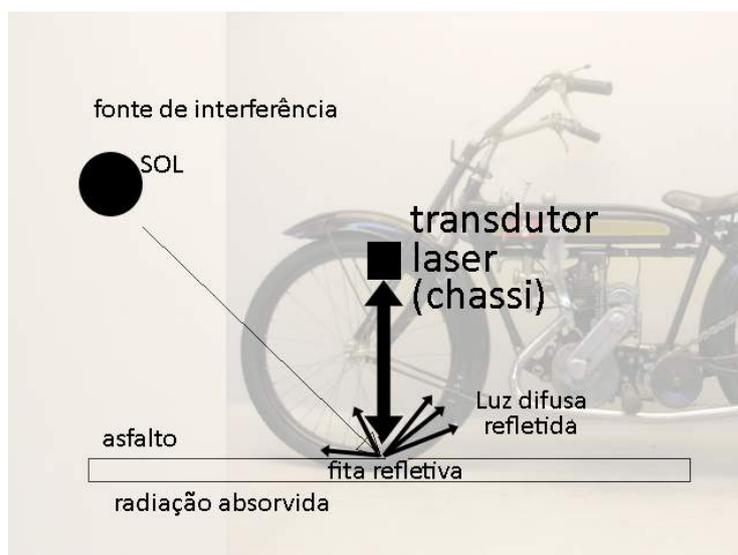


Figura 4.12: Posição de montagem do transdutor. Uso de refletor prismático reduz o efeito da luz difusa proveniente do sol.(adaptado de Yesterdays Antique Motorcycles)

4.3.2 Ensaios dos sensores ópticos

Para a medição dos limites da pista de ensaios é necessário o uso de um transdutor de posição que possa identificar cada trecho da pista, sem a necessidade de partes móveis ou contato com o solo. Uma solução apresentada para medir a velocidade do veículo foi utilizar uma barreira óptica fixa com um feixe luminoso de laser posicionada ao lado da pista de ensaio, enquanto o veículo transporta uma medida materializada de referência com um comprimento conhecido mostrado na Figura 4.13 [28].

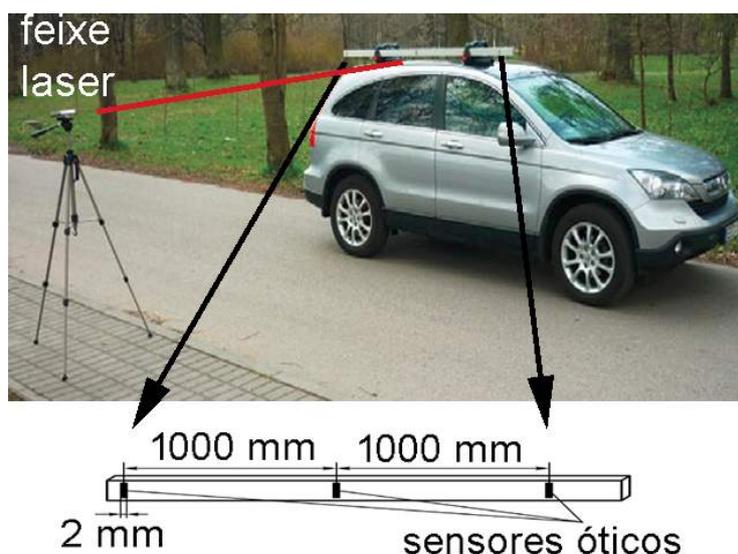


Figura 4.13: Determinação da velocidade do veículo. A referência de distância está montada sobre o carro mostrado em detalhe (adaptado de [28]).

Para obter as aquisições de velocidade e distância percorrida na pista é necessário utilizar um transdutor capaz de se adaptar corretamente às condições ambientais. O método de barreira óptica utilizada não pode ser influenciada pela luz solar pois esta é a condição em que os ensaios serão realizados.

Para avaliar o funcionamento dos transdutores em ambiente ensolarado e a discriminação de alvos refletivos, duas máscaras foram montadas na pista de asfalto. Em cada padrão é possível avaliar o desempenho quanto à detecção e discriminação dos alvos. A máscara A na Figura 4.14a avalia a separação de eventos enquanto a máscara B na Figura 4.14b avalia a capacidade de detecção dos transdutores.

O interesse da aplicação é a detecção da barreira e não a largura do sinal, pois utilizaremos as bordas de subida do sinal para registrar o evento de passagem. Os resultados dos ensaios foram qualitativos, para identificar o funcionamento dos sensores em presença de insolação direta. Dentre os transdutores disponíveis no mer-

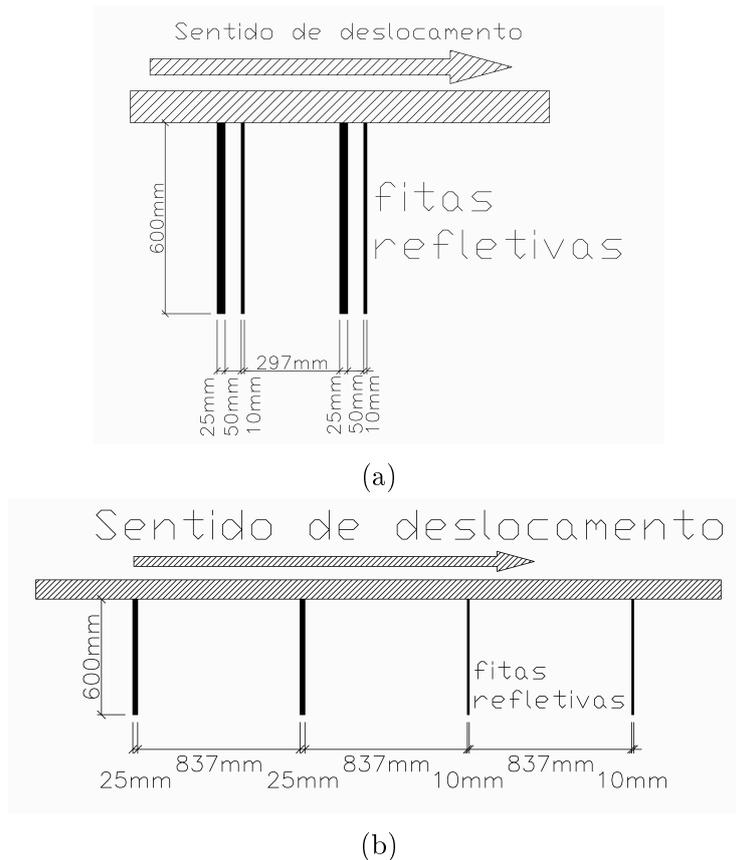


Figura 4.14: Desenho das máscaras refletivas para identificar comportamento dos transdutores. (a) A máscara A identifica respostas falsas em eventos rápidos. (b) A máscara B mostra qual a largura mínima para ensaios.

cado, foram selecionados os modelos abaixo, pelo menor tempo de resposta e uso de refletor prismático, conforme apresentado na folha de dados:

- Omron, modelo E3Z-LR61.
- Banner, modelo QS18VP6LP.

Foi utilizado como elemento refletivo a película 3M denominada "Alta intensidade prismático prata". Cada fita foi fatiada com a largura nominal de 5 mm, 10 mm, 25 mm e 50 mm. Testes preliminares em laboratório confirmaram que a fita com 5 mm de largura não permite a detecção de movimentos rápidos e foi descartada dos ensaios. Neste ensaio as fitas foram coladas sobre um tambor rotativo com velocidade ajustável. Os ensaios foram realizados em pista ensolarada no intervalo de velocidades de 30 km/h a 80 km/h. Para registrar a velocidade de ensaio, foi utilizado um receptor GPS Garmin, modelo 60CSX.

Tomando os devidos cuidados, já apresentados na caracterização dos sensores, foi possível alterar esta montagem e deixar o transdutor com laser na motocicleta.

A barreira ótica formada por fitas refletivas em pontos predeterminados na pista delimitam a distância conhecida (100 m). O transdutor de posição montado com o laser apontado para a pista da Figura 4.15 informa ao instrumento de medição o momento da detecção da barreira.



Figura 4.15: Montagem do transdutor no chassi da motocicleta. A barreira com a referência de distância fica na pista.

A velocidade média é determinada pela passagem da motocicleta entre duas fitas refletidas e pode ser calculada como a diferença temporal entre cada acionamento do transdutor laser e a distância conhecida:

$$V(km/h) = \frac{k \cdot D(m)}{t_2(ms) - t_1(ms)} \quad (4.11)$$

Onde V é a velocidade média da motocicleta no trecho; t_1 e t_2 são os registros de eventos de tempo correspondentes à passagem da motocicleta sobre as barreiras B_1 e B_2 ; D é a distância conhecida no trecho da pista entre as barreiras e k é a constante para corrigir as unidades.

Para determinar o valor de W , o *encoder* é interligado à roda dianteira da motocicleta através de um cabo de aço do mesmo modo que o mototaxímetro, mostrado na Figura 4.16b.

Ao mesmo instante de passagem pela barreira o valor n que representa o número de pulsos absoluto é capturado e armazenado. Pode-se determinar a constante W da motocicleta pela relação $W = (n_2 - n_1) \cdot 10/d$, onde d é a distância percorrida em metros.

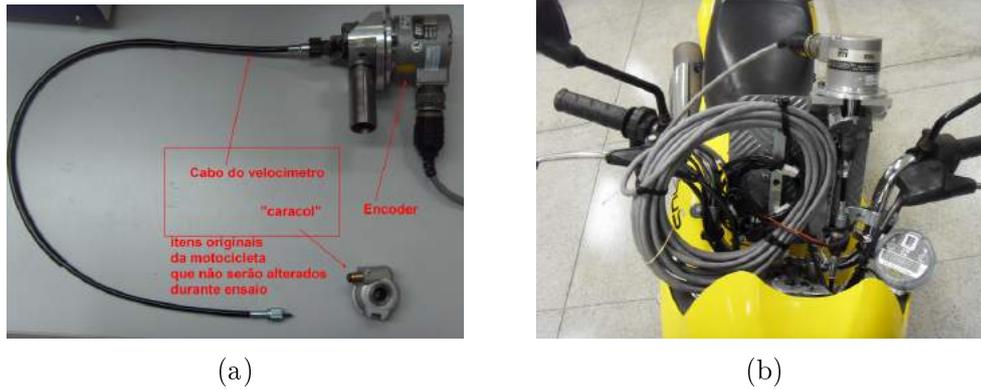


Figura 4.16: Montagem do *encoder* no chassi da motocicleta. (a) O *encoder* é conectado com a roda através de um cabo. (b) A montagem do *encoder* na moto é a base para todo o instrumento de medição.

4.4 Ensaio de comunicação com o DAVI

O ensaio de desempenho para comunicação foi realizado com a transmissão de arquivos binários com tamanho de 2 MiB ($2 \cdot 2^{20}$ bytes) enquanto o DAVID estava conectado em *loop* remoto na porta serial 1200 bps para repetir as mensagens recebidas. A comparação de arquivos transmitido e recebido não apresentou falhas de conteúdo. Enquanto a transmissão de dados estava em andamento o DAVID permaneceu no estado de repouso, ou seja, não realizou nenhum ensaio de desempenho em mototaxímetro.

As mensagens dos protocolos são tratadas por máquinas de estado independentes, conforme a Figura 4.17. O tratamento de erros é feito para que a máquina principal não receba indicação de novo evento (*flag*) até que uma mensagem completa esteja disponível. Quando é necessário estabelecer uma comunicação externa a máquina principal assume o controle ao atribuir o modo de ensaio e carregar a mensagem no *buffer* de entrada/saída. A sequência de comandos para execução do ensaio de desempenho em modo horário é apresentada na Figura 4.18.

As sequências de comandos para os outros modos de ensaios estão no Apêndice E, nas Figuras E.1 a E.6.

O diagrama da máquina de estado principal é apresentada na Figura 4.19 e na Figura E.7 do Apêndice E. Para melhor aproveitamento, os outros diagramas de máquinas de estado estão representados nas Figuras E.7 a E.13.

O desempenho da geração de pulsos de simulação em velocidade foi avaliada pela calibração descrita no Apêndice E.4.

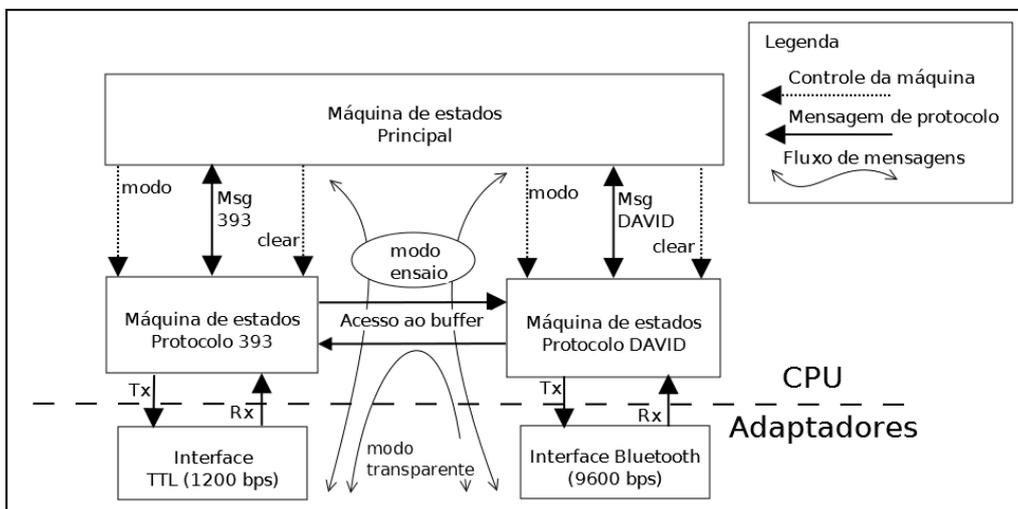


Figura 4.17: Diagrama de blocos com a solução de comunicação serial.

4.5 Calibração do DAVID

A automação do procedimento de calibração reduz as intervenções do técnico nos instrumentos de medição e no padrão de referência. A leitura e registro automático dos resultados de medição elimina os possíveis erros de transcrição e diminui a fadiga laboral com procedimentos repetitivos. A programação fica independente do técnico e a sequência de eventos acontece sempre com o mesmo intervalo de tempo, tornando o procedimento reproduzível em laboratório com maior confiabilidade.

O técnico é responsável por fornecer os parâmetros de entrada para caracterizar o item sob calibração e os instrumentos utilizados como referência conforme preestabelecido na Figura 3.5 e também deve conectar os instrumentos conforme a *layout* da Figura 4.20. Os dados de entrada são: identificação e patrimônio do DAVID, Contador Universal e termohigrômetro. Após o lançamento dos dados de identificação do técnico e dos instrumentos, todos os eventos serão controlados pela ferramenta de calibração até a apresentação do relatório de calibração, mostrado na Figura E.15 da Apêndice E.4.

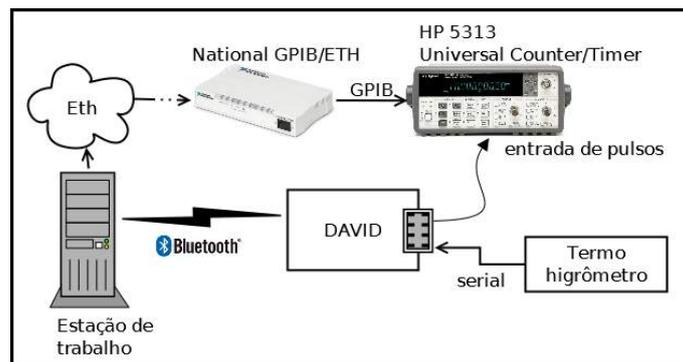


Figura 4.20: Leiaute de calibração do DAVID em bancada. A leitura do termohigrômetro é feita pelo DAVID e encaminhada através da conexão *bluetooth* durante o ensaio.

As conexões elétricas entre os instrumentos devem ser curtas e livres da passagem por outras fontes de interferências eletromagnéticas. A visão geral da montagem está na Figura 4.21.

O programa de controle da calibração comunica-se com o Contador universal, o David e o Termohigrômetro para a coleta de medição. Durante o ensaio os dados coletados são armazenados em uma planilha de cálculo onde a calibração é feita nos pontos predeterminados. A janela principal do programa apresenta os dados do instrumento e o andamento do ensaio conforme a Figura 4.22.

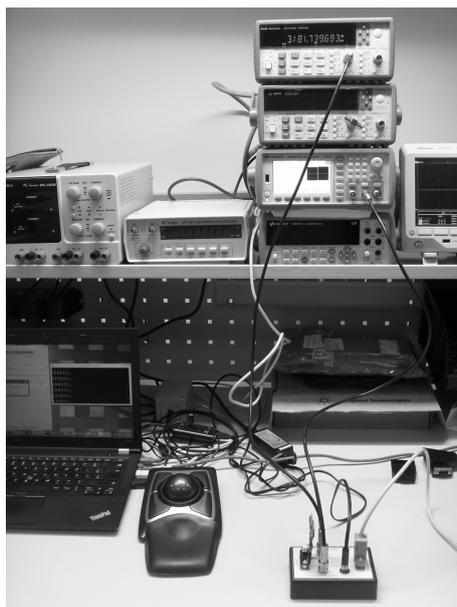


Figura 4.21: Leiaute da bancada de ensaios.

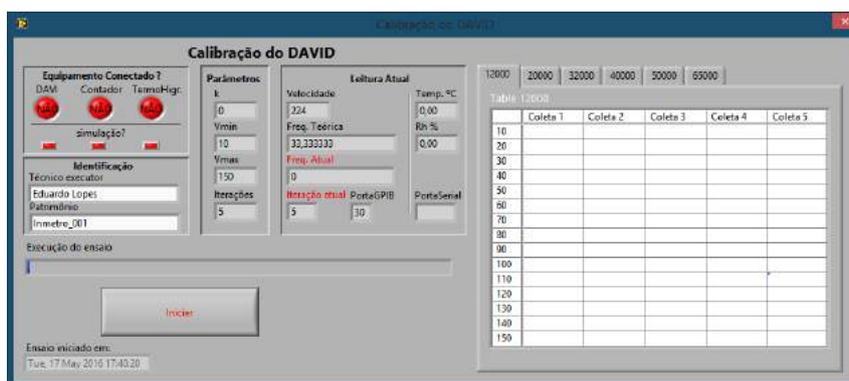


Figura 4.22: Tela inicial do programa de calibração do DAVID. Os dados coletados e o andamento do ensaio são apresentados ao operador.

Os ensaios de calibração devem ocorrer em condições de temperatura e umidade controladas, até que se estabeleça a partir de ensaios climáticos qual a parcela de contribuição da temperatura na incerteza da medição. A ferramenta de calibração automática também registra a leitura de temperatura no início e ao término de cada bloco de n medições, onde $n = 75$, na memória de cálculo das planilhas de calibração apresentadas no Apêndice E.4. A incerteza de medição é calculada de acordo com o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição [61].

Identificação e correção do erro sistemático no comissionamento do DAVID

Para gerar os pulsos de excitação para o mototaxímetro o DAVID utiliza chamadas de interrupção no microcontrolador. A cada borda do sinal um intervalo de tempo

é gasto para salvar a condição atual da máquina de estados e este atraso precisa ser corrigido. Com o uso da ferramenta de verificação é possível identificar e calcular o erro sistemático devido ao atraso no gerador de pulsos do DAVID. Sabendo que a frequência de referência é igual a:

$$f = \frac{1}{T} \quad (4.12)$$

Onde:

T é o período do sinal teórico.

O atraso do gerador do DAVID é fixo com valor D_d , devido ao intervalo de entrada de interrupção e a correção através de parâmetro de ajuste, então a frequência de saída do gerador é:

$$f_d = \frac{1}{T + 2 \cdot D_d} \quad (4.13)$$

Logo, o erro em frequência da rotina do gerador no DAVID, sabendo que a frequência gerada devido ao atraso é menor que a teórica, é determinado por:

$$erro = f - f_d = \frac{1}{T} - \frac{1}{T + 2 \cdot D_d} \quad (4.14)$$

Isolando a constante desvio de tempo D_d na equação (4.14) e combinando com a 4.12, temos:

$$D_d = \frac{1}{2 \cdot (-erro + f)} - \frac{1}{2 \cdot f} \quad (4.15)$$

Após a medição automática com a ferramenta de calibração, podemos utilizar os pontos de leitura em cada frequência e valor da constante k para determinar o erro sistemático D_d .

É necessário corrigir eventuais desvios se o DAVID ainda não tenha sido ajustado ou após o período de calibração estipulado. O comando AJUSTAR da Figura E.13 possui como parâmetro de entrada o valor de atraso que deve ser corrigido, este valor é salvo em EEPROM e será subtraído do intervalo de cada pulso a cada chamada de interrupção de tempo.

Na Seção 5.6.2 são apresentados os resultados de medição do gerador de pulsos com o erro sistemático, antes de ser comissionado e após a correção do erro.

4.6 Procedimento de soldagem da placa SMD

A soldagem de componentes SMD requer procedimentos de preparação do local de deposição dos componentes. Não há possibilidade de formatação de terminais como nos componentes *thru-hole* onde a fixação através dos terminais permite uma

soldagem sem que os componentes saiam da placa. Neste projeto a construção em dupla face obriga a utilização de uma fixação adicional com resina epóxi.

Para uma boa soldagem de componentes SMD é necessário que o perfil de temperatura da Figura 4.23 seja respeitado e os componentes não sofram danos ou defeitos como solda fria (solda porosa), terminais sem solda apareçam na montagem final. A solda com a liga Sn62Pb36Ag02 utilizada no projeto deve seguir um perfil de temperatura com os intervalos predefinidos [62]:

- preaquecimento, da temperatura ambiente até 150 °C e gradiente $< 2,5 \text{ }^\circ\text{C/s}$.
- *soak*, com temperatura entre 150 °C a 180 °C para ativação do fluxo da solda.
- refluxo, com temperatura entre 180 °C a 235 °C.
- resfriamento, de 180 °C até a temperatura ambiente.

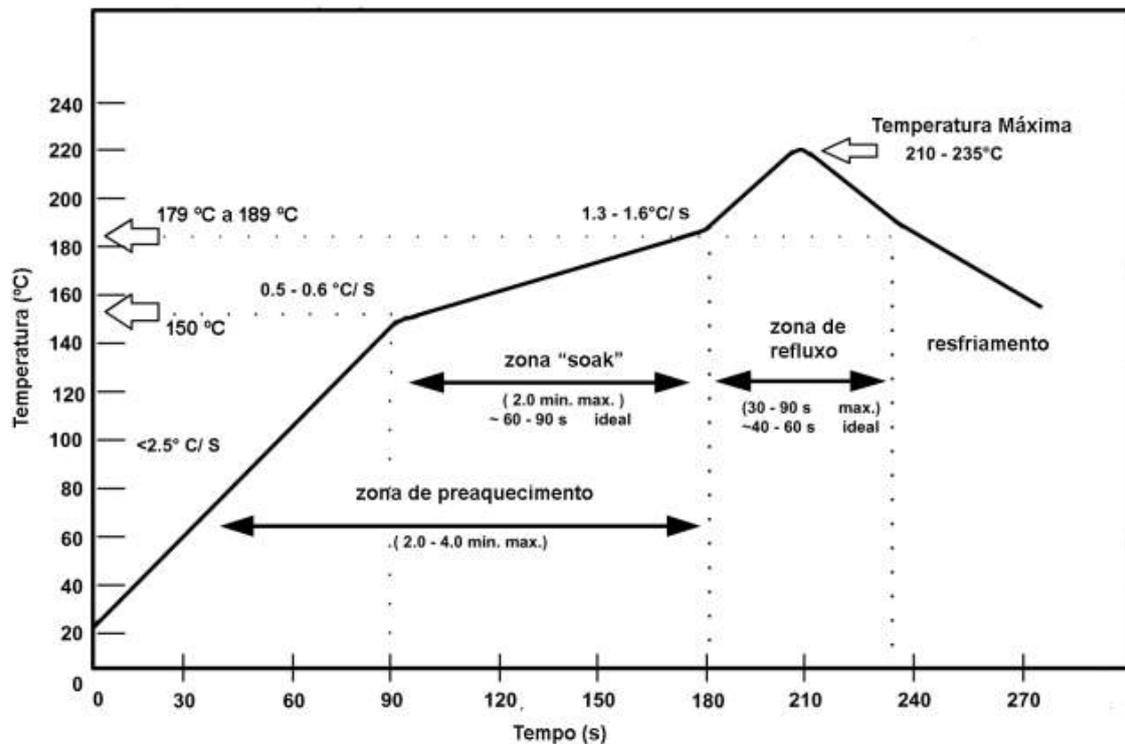


Figura 4.23: Perfil de soldagem para a liga Sn62Pb36Ag02 (adaptado de [62]).

Para conseguir atingir o perfil desejado de uma soldagem bem feita foi necessário construir um controlador de temperatura programável de baixo custo. Este controlador de temperatura é do tipo liga-desliga, com o diagrama de blocos mostrado na Figura 4.24. Segundo a avaliação de desempenho realizada por PETKOVIC, a estabilidade de temperatura de um forno de zona única com medição através de termopar tipo K não oscila além de alguns poucos décimos graus Célcius tornando viável a construção do protótipo [63].

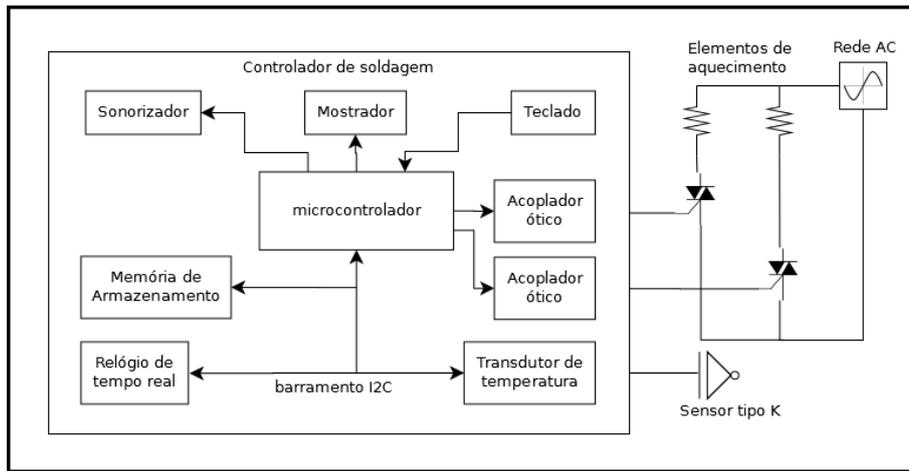


Figura 4.24: Diagrama de blocos do controlador do forno para soldagem SMD.

O controlador pode armazenar a medida de temperatura a cada segundo ou transmiti-la para um computador através de uma conexão sem fio (*bluetooth*). Os dados armazenados foram transformados em gráficos para apresentação. Cada fase da soldagem é programável nos parâmetros: intervalo de tempo, temperatura inicial, temperatura final e gradiente.

O diagrama esquemático é apresentado na Figura 4.25.

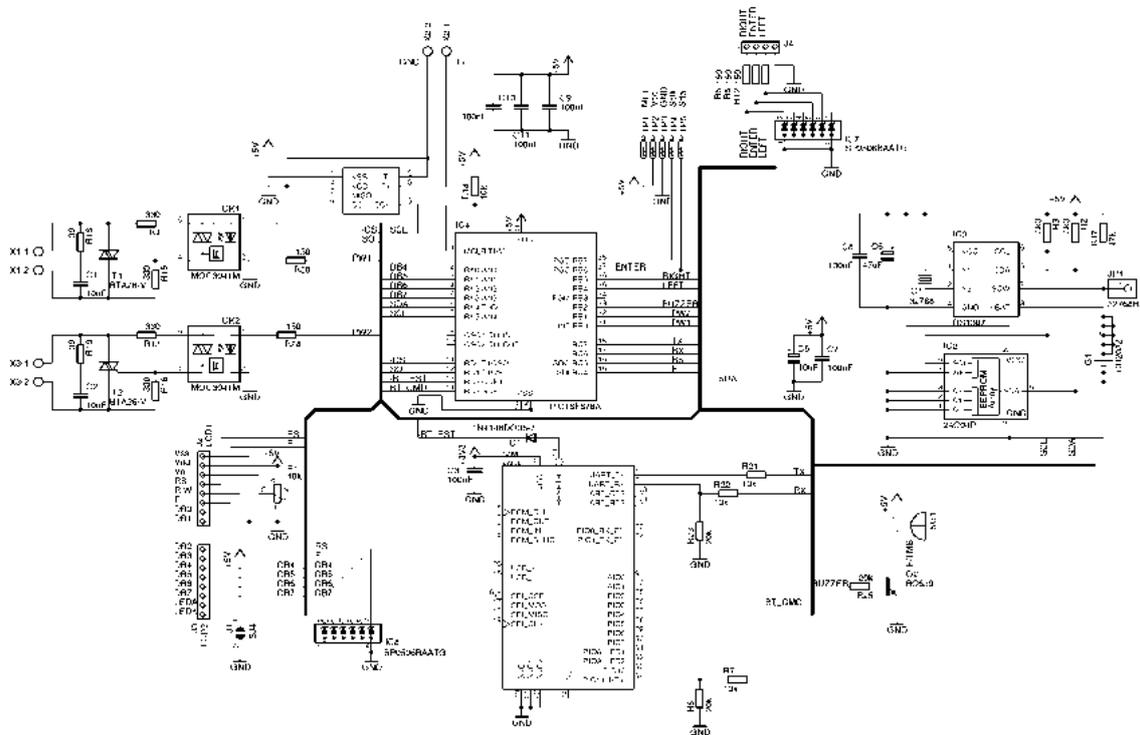


Figura 4.25: Diagrama esquemático do controlador do forno SMD.

A montagem da placa seguiu os seguintes passos para a soldagem.

- 1 Aplicação da solda em pasta na face superior, como mostrado na Figura 5.22c;

- 2 Aplicação da resina epóxi para fixação dos componentes;
- 3 aplicação dos componentes SMD, como na Figura 5.22a;
- 4 Cura do epóxi e soldagem em uma única etapa, de acordo com o perfil da Figura 5.21b;
- 5 Aplicação da solda em pasta na face inferior;
- 6 Aplicação dos componentes SMD;
- 7 Soldagem com o perfil da Figura 5.21a.

RAJEWSKI [62] utiliza a máscara de aplicação da solda em uma folha de metal. Restrições de material forçaram o uso de uma película de poliéster como base para a confecção da máscara de solda, conforme a Figura 4.26.

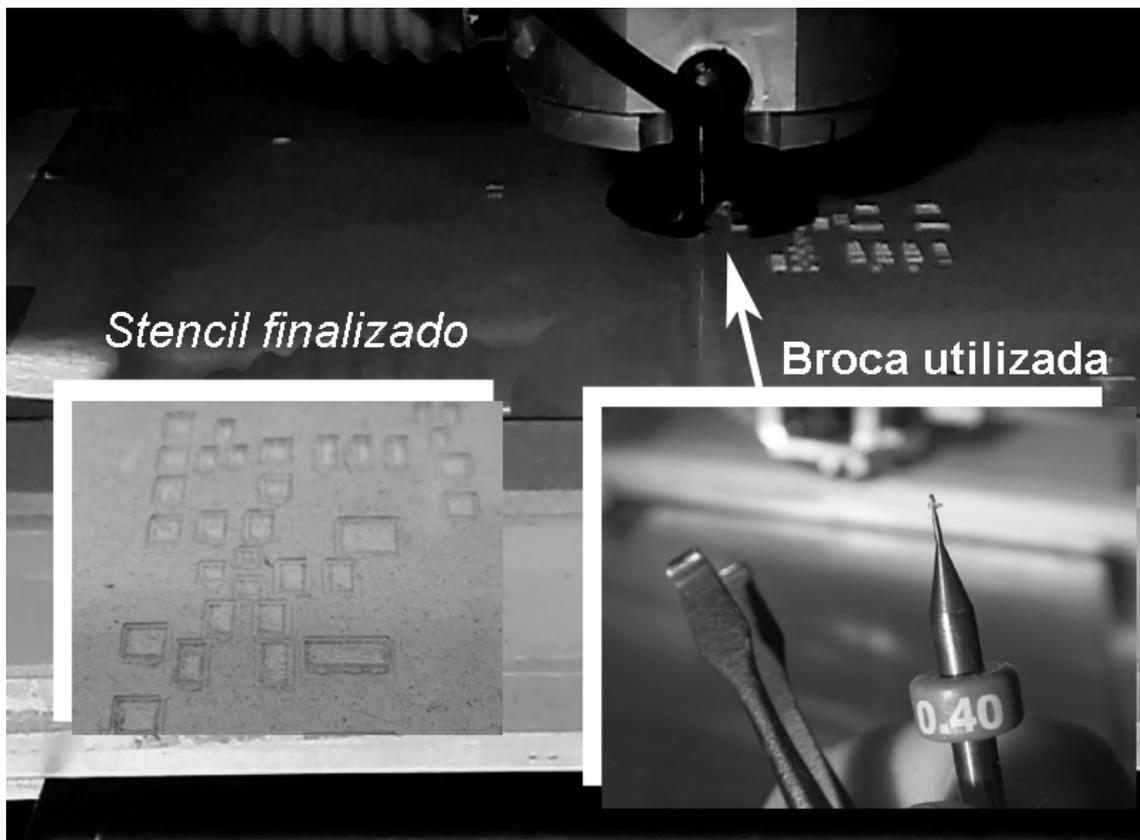


Figura 4.26: Recorte em máquina CNC da máscara para aplicação da solda em pasta. O poliéster de $250\ \mu\text{m}$ foi recortado com uma broca com a ponta plana.

Capítulo 5

Resultados experimentais

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos experimentos relacionados ao desenvolvimento do DAVID e parte do estudo de comportamento da motocicleta em pista real comparado à pista curta, conforme segue:

- levantamento das pistas de ensaio;
 - medição da pista longa no CAEx;
 - medição da pista longa na BASC;
 - comparação entre resultados das pistas;
- ensaio com os transdutores de posição;
- medição do coeficiente W em pista longa;
- medição do coeficiente W em pista curta;
- comparação do coeficiente W entre as pistas curtas (com batente e com guia em aço);
- ensaios de compatibilidade eletromagnética;
- ensaios de calibração do DAVID; e
- soldagem dos componentes SMD com fixação epóxi.

5.1 Resultados do levantamento das pistas de ensaio

As pistas de ensaio foram caracterizadas com o levantamento topográfico utilizando a Estação Total Leica para determinar se o gradiente longitudinal é menor que 1% [54]. Duas pistas diferentes receberam o levantamento topográfico, uma

de asfalto e outra de concreto. O gradiente longitudinal das duas pistas em intervalos de 100m foi registrado e está representado na Figura 5.1. De acordo com a inclinação máxima recomendada, as pistas estão aptas para a realização do ensaio de leitura do coeficiente W da motocicleta [54].

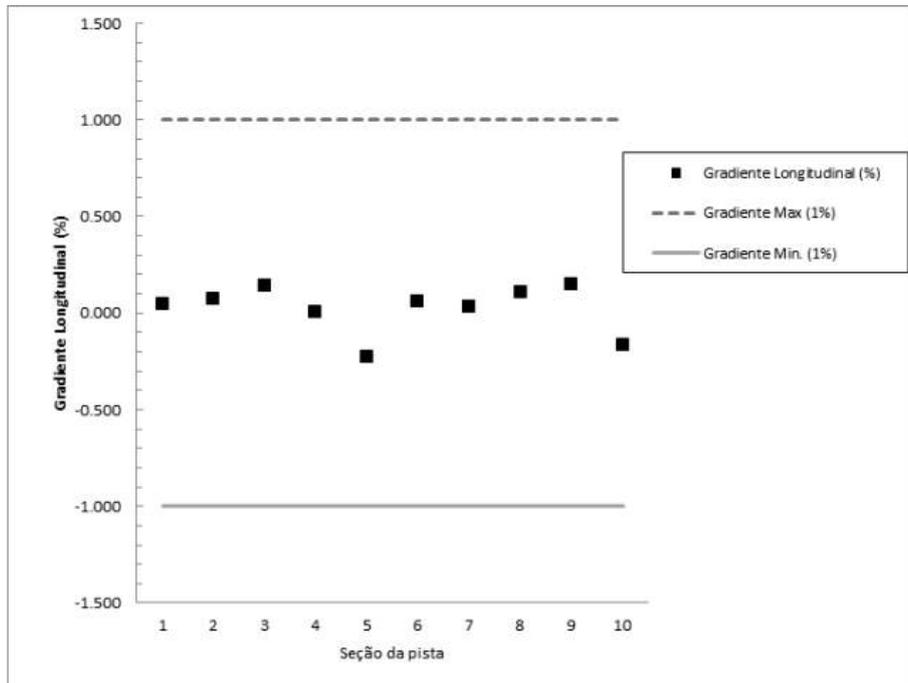
As pistas foram investigadas em intervalos de comprimento menor para identificar se ainda permanecem com o valor de gradiente recomendado. O resultado da medição em intervalos de até 10 metros está na Figura 5.2 onde pode-se observar o perfil de cada pista. Percebe-se que a pista de asfalto possui um declive nos primeiros 300 metros. Esta inclinação pode interferir na postura do piloto, como a pista não foi utilizada para testes este efeito pode ser investigado em estudo posterior.

O gradiente longitudinal das pistas ainda permanece no intervalo predeterminado de 1%, no entanto a pista de concreto possui uma ondulação próximo ao comprimento de 970m como mostra a Figura 5.3. Esta ondulação é suave e no percurso total a pista de concreto possui menos ondulações que a pista de asfalto.

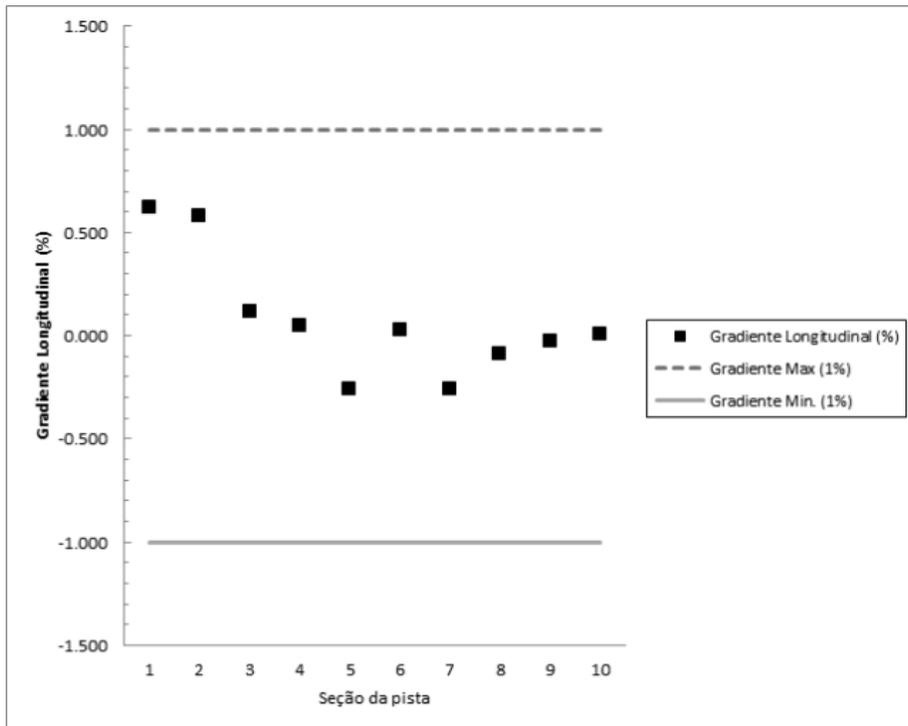
Devido à disponibilidade de utilização, os ensaios foram realizados na pista de concreto da BASC. As medições de comprimento foram realizadas com a trena metálica para manter a rastreabilidade após o levantamento topográfico com a estação total. Cada intervalo de 100m foi medido 3 vezes em um curto intervalo de tempo. As medidas experimentais com os valores corrigidos estão registradas no Apêndice B e reproduzidas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Resultado da expressão da incerteza da medição para cada seção da pista longa

Seção	Valor médio (m)	U (m)	k	v_{eff}
1	100,000	0,0017	2,04	71
2	99,990	0,0021	2,20	14
3	99,994	0,0021	2,20	14
4	99,986	0,0021	2,20	14
5	99,990	0,0017	2,04	71
6	99,982	0,0017	2,04	71
7	99,981	0,0017	2,04	71
8	99,989	0,0017	2,04	71
9	99,973	0,0017	2,04	71
10	99,957	0,0031	2,65	5

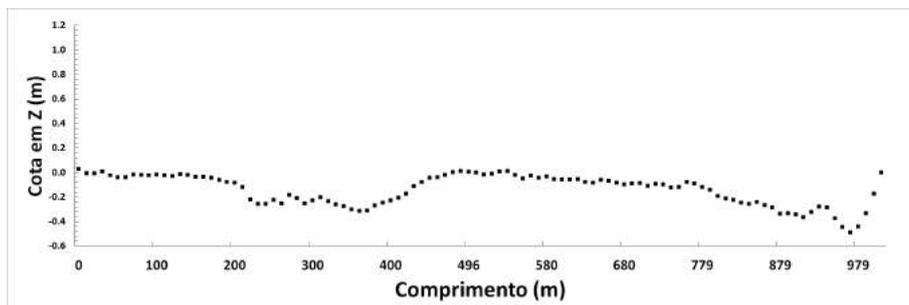


(a) Gradiente em BASC

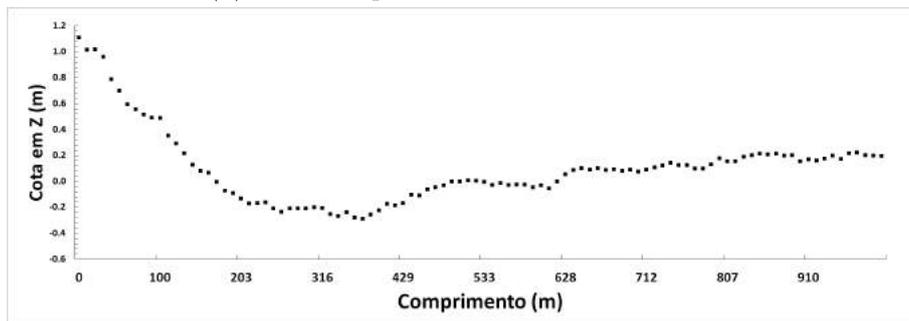


(b) Gradiente em Marambaia

Figura 5.1: Gráfico com os gradientes das pistas. (a) Pista de concreto, praticamente plana, com duas depressões a 500 m e 1000 m. (b) Pista de asfalto. Possui um declive nas três primeiras seções.

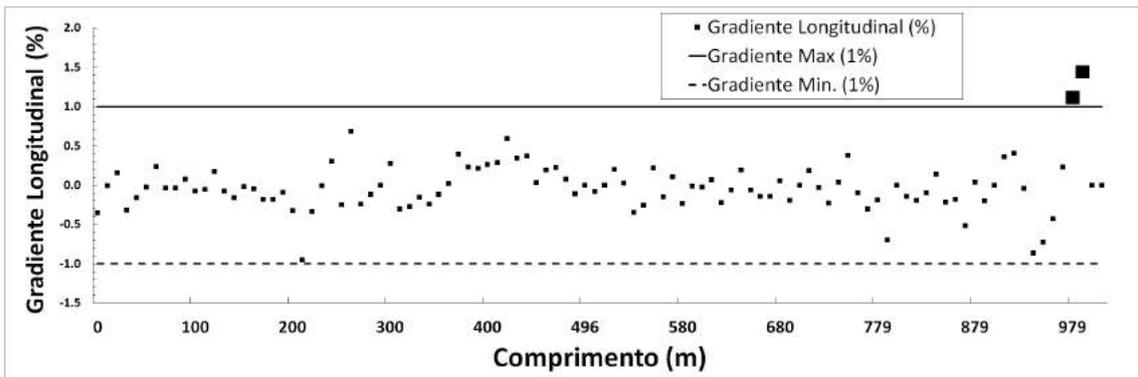


(a) Perfil da pista de concreto na BASC

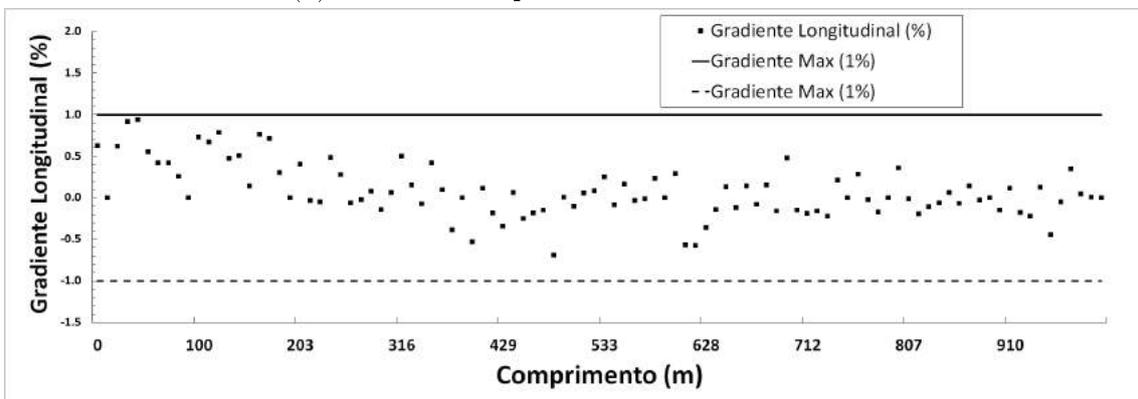


(b) Perfil na pista de asfalto na Marambaia

Figura 5.2: Gráfico com o perfilamento das pistas. (a) Pista de concreto. A depressão a 400m é menos crítica que a localizada em 980m. (b) Pista de asfalto. Possui uma elevação no intervalo de 0 a 300m.



(a) Gradiente da pista de concreto na BASC



(b) Gradiente da pista de asfalto em Marambaia

Figura 5.3: Gráfico com os gradientes longitudinais das pistas em intervalos de até 20 m. (a) Pista de concreto. (b) Pista de asfalto.

5.2 Resultados do ensaio do transdutor de posição com barreira óptica

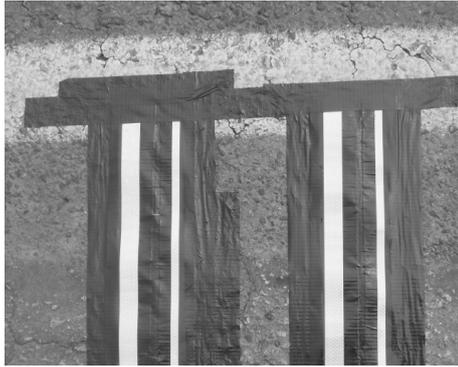
A caracterização do comportamento dos transdutores ópticos foi executada com a passagem do veículo sobre as máscaras de fitas refletivas nas velocidades de 30 km/h a 80 km/h em pista de asfalto, conforme as Figuras 5.4a e 5.5a.

O comportamento de discriminação de eventos rápidos é avaliado com a máscara "A", formada de fitas com pequeno espaçamento entre elas. As larguras de pulso medidas com o osciloscópio em resposta a cada passagem são apresentadas na Figura 5.4. O sinal do canal 1 (CH1) do osciloscópio está na parte superior e representa a captura de resposta do transdutor com fonte laser do fabricante OMRON. Enquanto o canal 2 (CH2) representa a resposta do transdutor do fabricante BANNER, que utiliza uma fonte luminosa com LED.

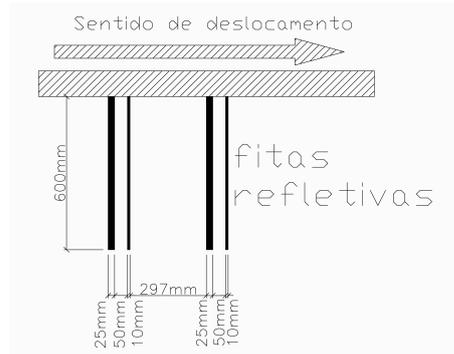
Os transdutores conseguem detectar e discriminar o intervalo entre as fitas nas passagens com velocidade até 40 km/h, conforme apresentado na Figura 5.4c. O transdutor BANNER possui uma resposta mais lenta e a partir da velocidade de 50 km/h sua histerese não permite a discriminação entre as fitas próximas, conforme a falha apresentada na Figura 5.4d que evidencia um único pulso largo na passagem por duas fitas. O transdutor OMRON apresentou uma boa identificação dos eventos até a velocidade de 70 km/h. Em velocidades de deslocamento maiores que 70 km/h a detecção da fita estreita é intermitente.

Foi utilizada a máscara "B", para identificar o limiar de detecção dos transdutores com relação à largura das fitas. A grande separação entre as fitas permite a recuperação dos transdutores ao estado de repouso. Os resultados são apresentados na Figura 5.5. O transdutor OMRON consegue detectar as fitas com larguras diferentes até a velocidade de 72 km/h, quando a identificação da fita de 10 mm apresenta falhas intermitentes, conforme sinal do canal 1 (CH1) capturado pelo osciloscópio e apresentado na Figura 5.5d. A sensibilidade do sensor BANNER é maior e consegue detectar ambas as fitas até a velocidade limite do ensaio.

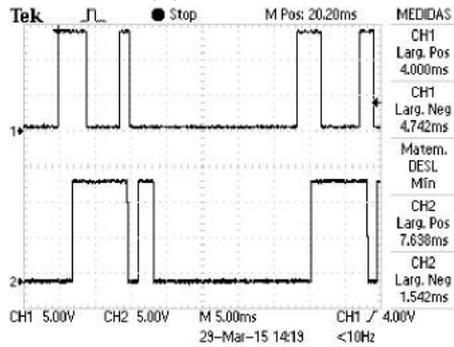
A Figura 5.6 apresenta o resultado qualitativo dos transdutores para cada característica investigada. O transdutor BANNER não é satisfatório para discriminar transições rápidas, não permitindo avaliar múltiplos eventos curtos e apresenta falha na detecção das fitas refletivas. O uso de fita refletiva mais larga permite que o transdutor OMRON detecte os eventos em velocidades mais altas durante os ensaios.



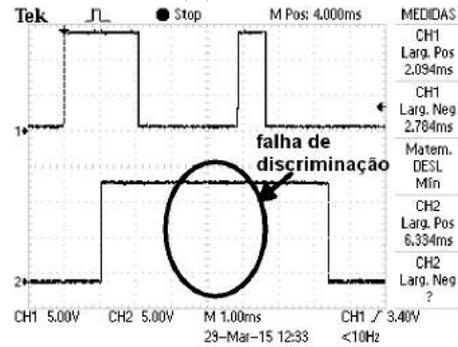
(a) máscara A



(b) croqui



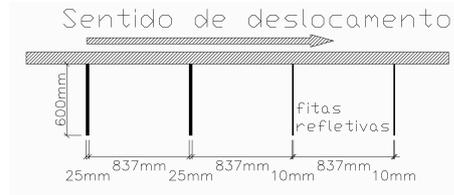
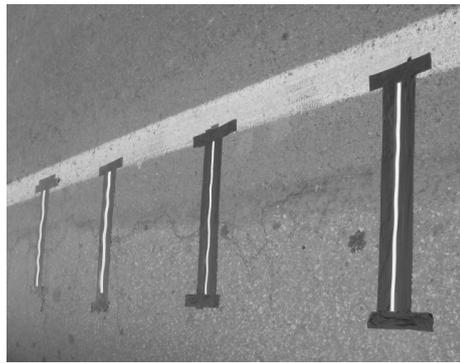
(c) 30 km/h



(d) 54 km/h

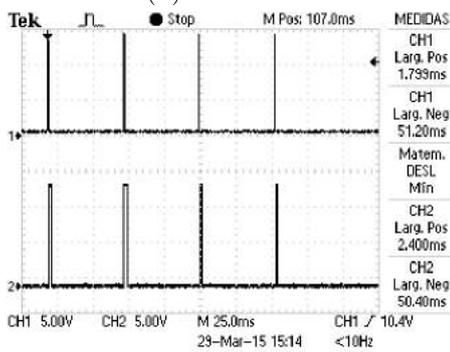
Figura 5.4: Resposta dos transdutores à máscara de fitas A. (a) Máscara de ensaio A instalada na pista. (b) Dimensões da máscara A. (c) Ambos lêem corretamente. (d) Transdutor LED falha na discriminação à partir de 50 km/h.

Para a execução dos ensaios de levantamento do coeficiente W será utilizada a combinação do transdutor laser OMRON modelo E3Z-LR61, que possui resposta rápida para detecção, com a utilização de fita refletiva com largura mínima de 25 mm.

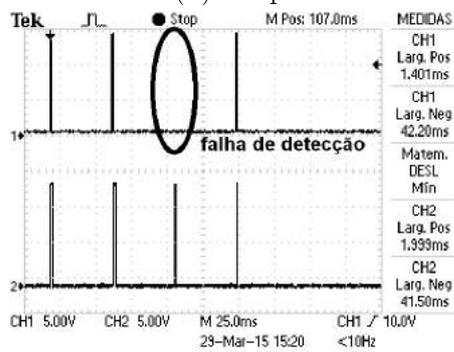


(a) máscara B

(b) croqui



(c) 60 km/h



(d) 72 km/h

Figura 5.5: Resposta dos transdutores à máscara de fitas B. (a) Máscara de ensaio B instalada na pista. (b) Dimensões da máscara B. (c) Ambos lêem corretamente. (d) Transdutor *laser* falha na detecção a partir de 70 km/h.

velocidade (km/h)	Detectou a fita estreita?(10 mm)		Detectou a fita larga? (25 mm)	
	Omron	Banner	Omron	Banner
30	sim	sim	sim	sim
40	sim	sim	sim	sim
54	sim	não	sim	sim
60	sim	não	sim	sim
72	não	não	sim	sim
81	não	não	sim	sim

Figura 5.6: Resposta dos transdutores quanto à detecção com a máscara B.

5.3 Resultado de medição do coeficiente W dinâmico em pista longa

Na Seção 2.3 foi apresentado que o pneu não é rígido e varia sua forma física de acordo com os parâmetros de influência. Os parâmetros investigados experimentalmente foram a pressão de inflação, a velocidade de deslocamento e a carga sobre a motocicleta, que alteram o perímetro do pneu e afetam diretamente no resultado de medição do mototaxímetro. De acordo com estudos, a carga e a velocidade linear interferem proporcionalmente no raio do pneu, enquanto que a pressão de inflação atua de forma inversa [33, 35].

As contagens de pulsos entre cada seção de 100m da pista foram coletadas na combinação de parâmetros de influência da Figura C.1. Os conjuntos de dados coletados do piloto A e do piloto B foram analisados quanto à variância com o teste-F apresentado na Tabela C.1. A maioria dos conjuntos são homogêneos par a par significando que os pilotos dirigiram de maneira semelhante na pista. Os pares das coletas 2 e 3 são aberrações. Foi identificado graficamente (W x Velocidade) que o ensaio realizado com parâmetro incorreto causou estes resultados e os pares foram descartados. O descarte e a correção dos cálculos é apresentado na Tabela C.2.

A homogeneidade das médias entre as medições com os dois pilotos foi garantida na maioria das medições, excetuando as coletas 1, 7 e 10 onde $t_{calc} > t_{tab}$. Pelo relatório de ensaios de campo não ficou evidente a presença de fatores relevantes para afetar o resultado. No entanto, o piloto A percebeu dificuldade em manter o traçado da pista devido a presença do passageiro na motocicleta com o pneu dianteiro ajustado com a pressão reduzida (120 kPa), justificando que estes dados devem permanecer no conjunto válido para o cálculo de incerteza.

Com o descarte dos valores aberrantes foi calculada a expressão da incerteza da medição conforme o Apêndice C e apresentado na Tabela C.3. O processo de medição está controlado e o balanço de incertezas do coeficiente W dinâmico apresentado na Figura 5.7 mostra que a maior contribuição para a incerteza de W foi o número de repetições. Dez repetições de 1 km foi um valor aceitável para iniciar o estudo do comportamento do pneu e produziu uma incerteza com 0,01 %, com nível de confiança de 95 %. Aumentar os custos para estender a quantidade de ensaios não irá trazer benefícios e pode-se dizer que o sistema de medição está superdimensionado com um transdutor que produz 28 milhões de pulsos por quilômetro. Dividir a pista em intervalos de 100 m facilitou encontrar aberrações nas medições em 1 km, sem descartar todo o ensaio em caso de erros [54].

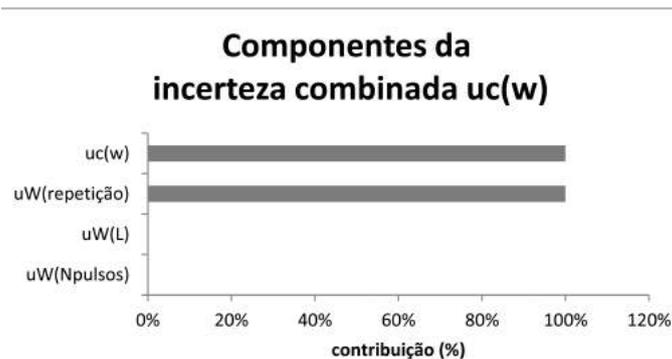


Figura 5.7: Contribuição das fontes de incerteza. A repetição é majoritária, frente à medição da pista e resolução do *encoder*.

Na Figura 5.8 é possível identificar a variação diretamente proporcional do perímetro com a velocidade como apresentado na Seção 2.3 [33]. No entanto, em outro estudo, é apresentada a Figura 5.9 que mostra a variação inversamente proporcional do perímetro em função da velocidade no intervalo de 20 km/h a 40 km/h com a medição em um pneu radial e utilizando o sistema de ABS como transdutor de distância [28]. O valor de incerteza citado foi de 0,31 % o que pode ter mascarado o comportamento real, enquanto que o sistema de medição deste trabalho apresenta a incerteza de 0,01 %. O pneu radial possui uma variação menor de raio dinâmico devido à sua dureza, enquanto que na motocicleta o pneu diagonal contribuiu para maior amplitude de variação do perímetro.

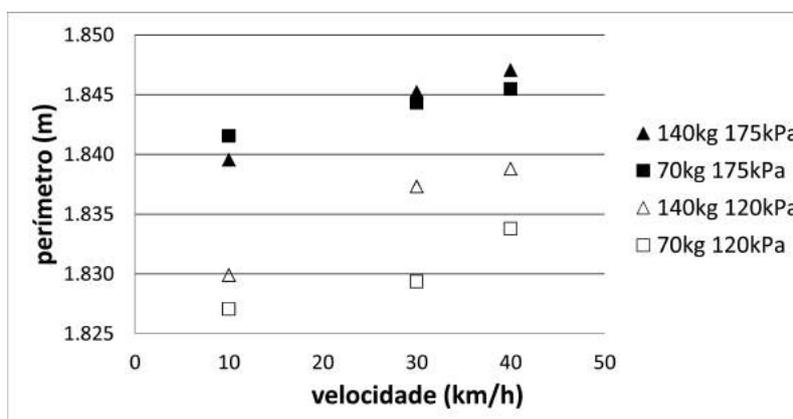


Figura 5.8: Perímetro dinâmico do pneu dianteiro. As variáveis aplicadas foram a pressão do pneu, carga de passageiro e velocidade de deslocamento.

Com a diminuição da pressão de inflação nominal do pneu (170 kPa) em 30 % (120 kPa) o comportamento do veículo é alterado e o piloto informou que este valor é o mínimo possível para manter a boa condução da motocicleta. Com esta baixa pressão o pneu diminui a dureza e aumentou sua deflexão para a mesma variação de carga conforme estudado na Seção 2.3, onde foi apresentada a simulação na Figura

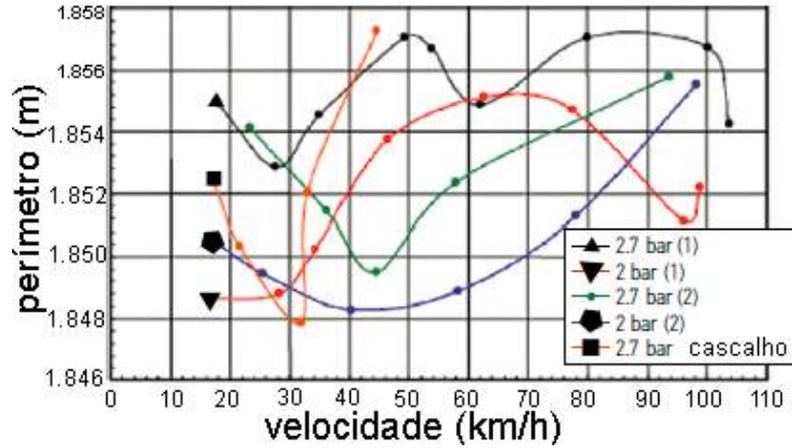


Figura 5.9: Perímetro dinâmico do pneu radial 195/65 R14, $P_g = 1,9135$ m. Os ensaios avaliaram a variação de pressão de inflação do pneu (adaptado de [28]).

2.10. O resultado apresentado na Figura 5.8 com os valores médios de perímetro possui o mesmo comportamento. A variação de carga têm maior influência no pneu em baixa pressão, enquanto que é imperceptível e confunde-se com os erros aleatórios quando o pneu está com a pressão de calibração nominal.

Após a análise de todos os parâmetros, durante os ensaios em pista real, foi encontrada a variação máxima de $\pm 0,80\%$ no valor do coeficiente W dinâmico. O resultado com as piores condições de ajuste da pressão do pneu, variação de carga e velocidade é apresentado na Figura 5.11. O limite de erro máximo admissível previsto no regulamento, para as medições de verificação metrológica, com o instrumento instalado na motocicleta é de 4%. Este valor é muito maior que os valores médios encontrados neste trabalho [4]. Os limites estão representados nas linhas cheia e tracejada da Figura 5.10, para comparação com as medições em pista de concreto.

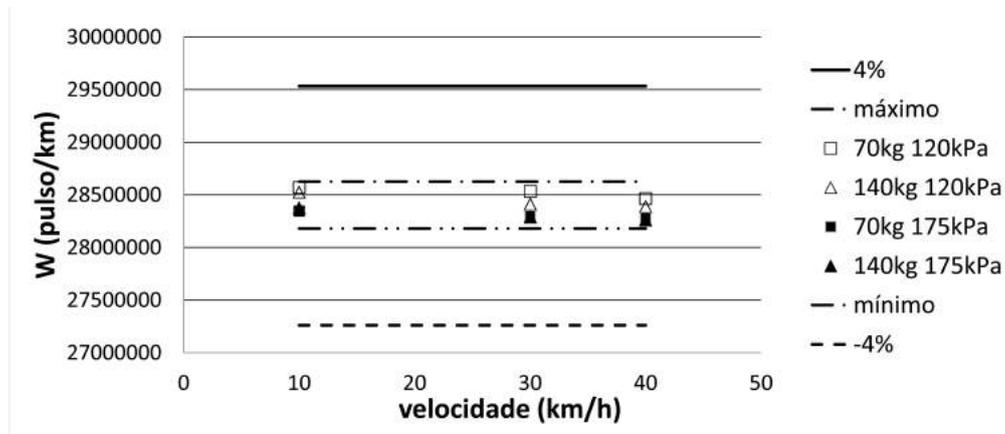


Figura 5.10: Limites de erro máximo admissível para medições em serviço. O valor de 4% é o máximo regulamentado [4].

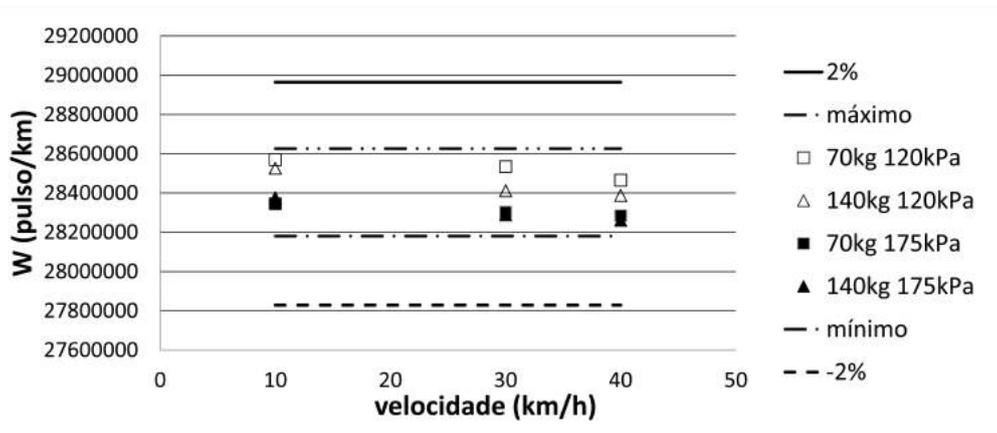


Figura 5.11: Limite de erro máximo reajustado para as medições atuais. W varia $\pm 0,80\%$ com os parâmetros avaliados.

5.4 Resultado de medição do parâmetro W em pista curta

Os valores de W medidos nos ensaios na pista reduzida e o pneu inflado com a pressão nominal de 175 kPa e pressão reduzida de 120 kPa estão na Figura 5.12. De acordo com estudos, a pressão na inflação do pneu diagonal é diretamente proporcional ao raio do pneu, que pode ser vista com a diminuição do coeficiente W [35]. A variação de 30% na pressão de inflação do pneu provocou uma alteração de 1,13% no coeficiente W da motocicleta.

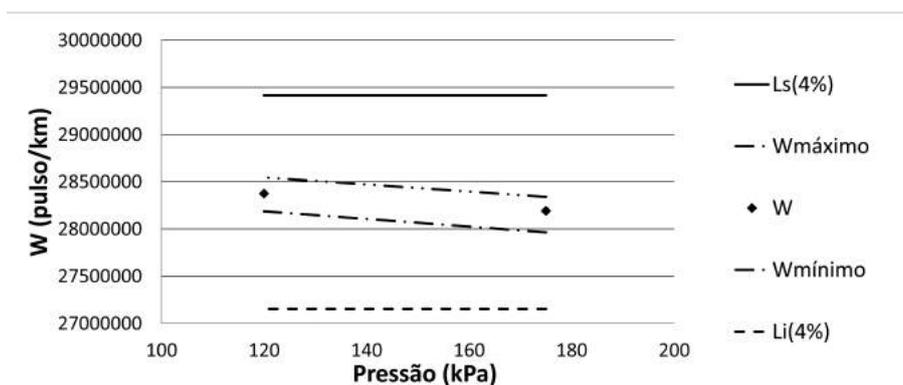


Figura 5.12: Resultado médio de W com a pista curta, com variação na pressão de inflação do pneu (W_{maximo} e W_{minimo}). Os limites do RTM (L_s e L_i) são apresentados para comparação [4].

A verificação do valor do coeficiente W (motocicleta) com o método da pista curta pode avaliar se o valor do coeficiente k (instrumento de medição) programado está adequado e menor que o erro máximo permitido no RTM. A incerteza de medição com o método apresentado neste trabalho é de 0,06%.

Resultado da comparação entre a pista curta, com guia de aço e a pista curta com batentes

A pista curta limitada com batentes foi citada no RTM do mototaxímetro. A construção dos batentes proposta e a instalação da pista curta, sem o uso de guias, reduziu o risco de acidentes e facilitou o trabalho de verificação metrológica, pois evita o manuseio de placas metálicas pesadas. A avaliação experimental com o mototaxímetro evidenciou que a aplicação do batente para ensaios produziu os mesmos resultados da pista com guias metálicos previsto no RTM [4].

Utilizando os dados de coleta da Tabela C.10 apresentada no Apêndice C foi feita a análise do conjunto de dados para avaliar sua homogeneidade.

O critério de rejeição utilizado foi o resíduo em relação ao desvio-padrão da média. Considerando o fator crítico de $2 \cdot s$ no grupo de medições, foram identificadas e rejeitadas duas coletas que estavam fora do limite estipulado. A Figura 5.13 apresenta os limites de tolerância para a rejeição dos valores aberrantes devido ao erro de procedimento nos dois grupos de coletas.

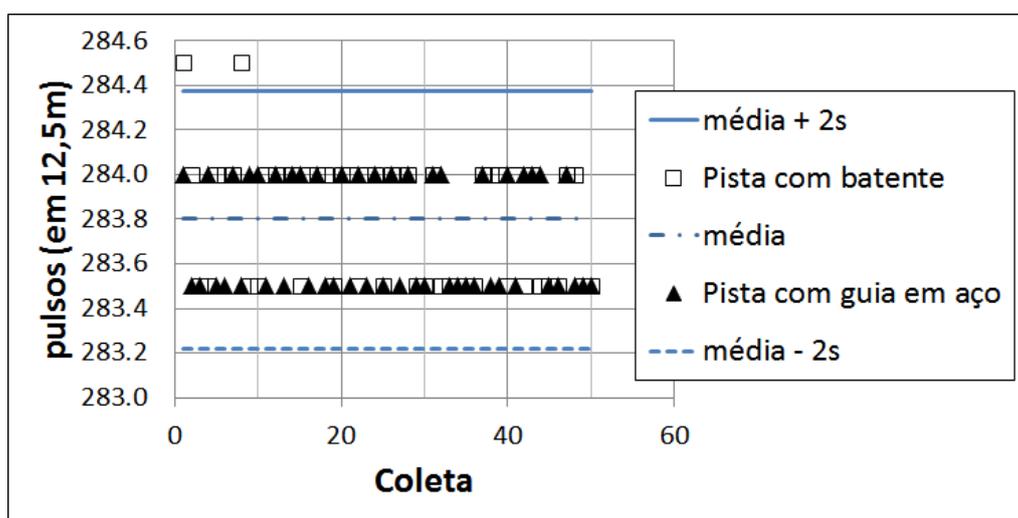


Figura 5.13: Aplicação do critério de rejeição no conjunto de medidas coletadas em pista curta.

A partir da estatística básica apresentada na Seção 3.2 o resultado das medições das pistas possuem conjuntos homogêneos avaliados com o Teste-F. O valor de F_{calc}

foi calculado a partir da equação (3.1). Aplicando o teste de hipótese em que $F_{calc} \leq F_{tab}$ com o nível de confiança de (95%) foi calculado que $F_{calc} < F_{tab}$, evidenciando que as duas pistas têm dispersões homogêneas, sugerindo que a mudança de método com utilização do batente na pista curta não interfere nas medições.

Foi realizada a comparação entre as médias dos conjuntos de medidas das duas pistas através da equação (5.1), para determinar sua homogeneidade.

$$t_{calc} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{n_1 - n_2}{n_1 \cdot n_2} \cdot s_p}} \quad (5.1)$$

Onde:

\bar{x}_1 e \bar{x}_2 são as médias das coletas;

n_1 e n_2 são as coletas realizadas; e

s_p é o desvio-padrão ponderado.

Para que as médias sejam consideradas homogêneas a condição $t_{calc} \leq t_{tab}$ deve ser respeitada, onde t_{tab} é obtido da função INVT do EXCEL. Os valores calculados estão apresentados na Tabela 5.2. Como $t_{calc} < t_{tab}$ fica evidente que a média dos conjuntos é homogênea. Nas condições de avaliação do novo método, com o técnico treinado, os resultados apontam para valores uniformes de medição.

Tabela 5.2: Resumo dos resultados de avaliação das pistas curtas de ensaio, com batente e com guia em aço

	Pulsos em 12.5 m	
	Pista com batente	Pista com guia em aço
Média	283,77	283,72
Desvio padrão - s	0,25	0,25
Variância - s^2	0,063	0,063
F_{calc}	1,01	
F_{tab}	1,61	
t_{calc}	1,00	
t_{tab}	1,98	

5.5 Resultado do ensaio de compatibilidade eletromagnética

O DAVID monitorou as mensagens de comunicação serial e os sinais de pulsos de frequência durante os ensaios de compatibilidade eletromagnética com o circuito da

Figura 5.14. O Algoritmo 2 da Seção 3.1 foi executado durante todo o teste para indicar o correto funcionamento do DAVID. Caso alguma mensagem de teste falhe, o resultado do ensaio é qualificado como reprovado (passou/não passou).

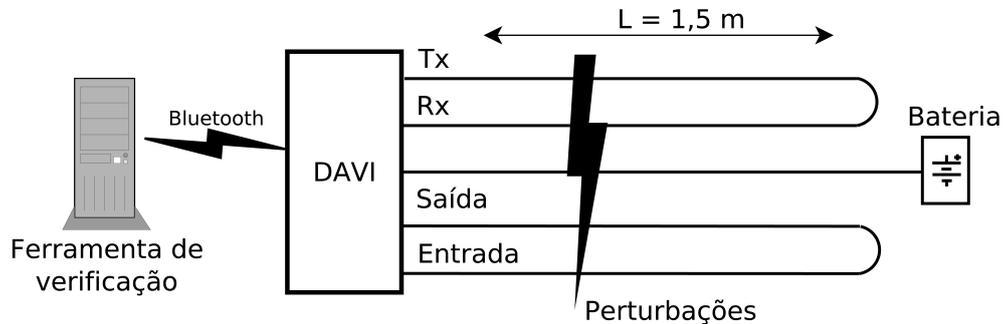
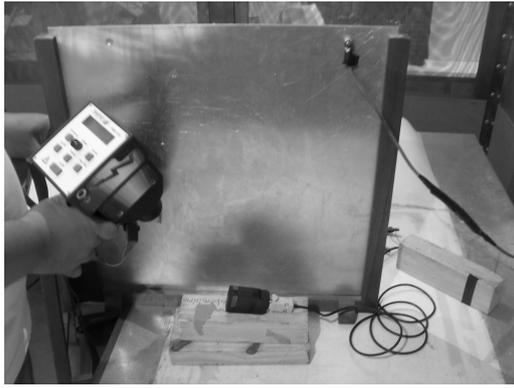


Figura 5.14: Conexões do DAVID durante o ensaio de EMC.

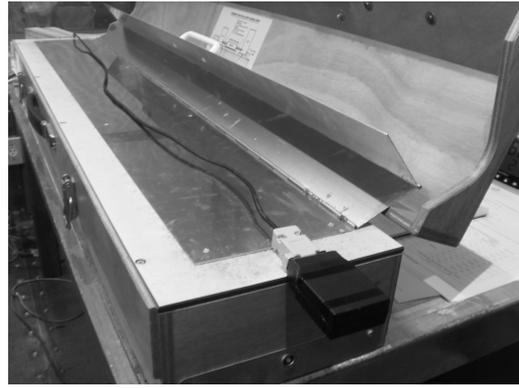
Não houve falha detectada no funcionamento do DAVID durante a aplicação das descargas pelo ar com potencial de $8kV$ ou por contato em pontos de acesso externo com potencial de $6kV$, conforme a Figura 5.15a [55]. A perturbação nas linhas de sinal de comunicação foram aplicadas conforme a Figura 5.15b e não foi identificado falha no funcionamento do DAVID.

As mensagens com o resultado da contagem de pulsos gerados e recebidos pelo DAVID durante os ensaios de EMC são mostradas na Figura 5.15c e indicam que o instrumento não foi susceptível às perturbações eletromagnéticas no período de avaliação.

O ensaio de transientes na linha de alimentação foram monitorados com o osciloscópio e estão apresentados na Figura 5.16. A tensão de entrada com a perturbação de *Load dump* atingiu o valor máximo de $100V$ e não interrompeu o correto funcionamento do DAVID, indicando que o instrumento não é susceptível à interferência aplicada. O canal 1 (CH1) monitorou a linha de alimentação do DAVID após a chave de proteção projetada, enquanto o canal 2 (CH2) monitorou a tensão de alimentação com a injeção do pulso 5. O regulador de tensão recebeu no máximo $18,4V$, conforme esperado na simulação apresentada na Seção 3.1.



(a)



(b)

```

RealTerm:
Numero atual: 72 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 73 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 74 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 75 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 76 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 77 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 78 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 79 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 80 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 81 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 82 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 83 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 84 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 85 pulsos: 50 CrLf
Numero atual: 86 pulsos: 50 CrLf
  
```

(c)

Figura 5.15: Resultado dos ensaios de EMC. (a) Descargas pelo ar com potencial de 8 kV. (b) Aplicação da perturbação conduzida. (c) Mensagens de confirmação do funcionamento.

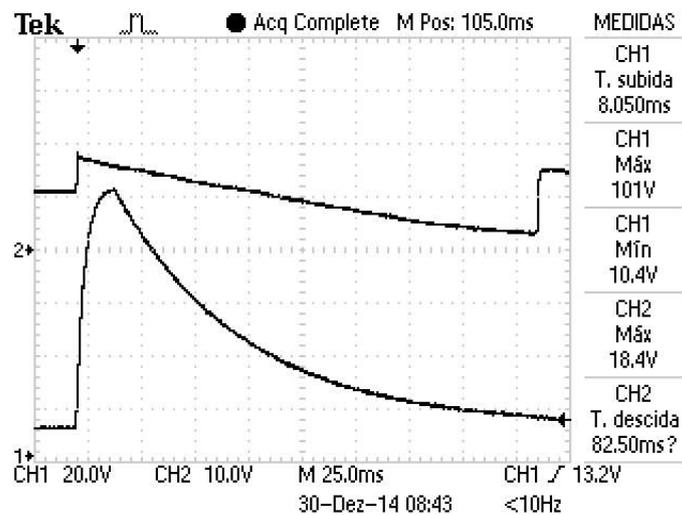


Figura 5.16: Resposta da proteção para Load Dump.

5.6 Resultado de calibração

5.6.1 Confiabilidade metrológica

As amostras de frequência obtidas com o método de coleta descrito na Seção 4.5 foram transcritas para a Tabela 5.3. O contador universal e todas as conexões dos instrumentos foram desmontados e remontados para cada grupo de coletas, onde cada grupo possui 5 medições, totalizando 10 amostras. As condições ambientais foram monitoradas e registradas com o termohigrômetro HTR-170.

Tabela 5.3: Tabela com os dados de medição para confiabilidade metrológica

medição	frequência (Hz)	
	grupo 1	grupo 2
1	466,678798	466,678793
2	466,678799	466,678795
3	466,678798	466,678799
4	466,678798	466,678795
5	466,678797	466,678795
média	466,678798	466,678795
desvio padrão: s	7,071E-07	2,191E-06
variância: s^2	5,000E-13	4,800E-12
$F_{calculado}$	0,1042	
$F_{tabelado}$	6,3882	

O Teste-F calculado com a equação (3.1) mostra que as variâncias são estatisticamente iguais, ou seja, a repetição da montagem experimental não tem efeito significativo na precisão da medição pois $F_{calc} < F_{tab}$. Os valores em frequência das amostras da Tabela 5.3 resultam em $F_{calc} = 0,1042$ e $F_{tab} = 6,3882$ para amostras com 4 graus de liberdade e nível de confiança de 95%.

A análise de distribuição é feita aplicando o teste de Shapiro-Wilks. A hipótese de uma distribuição normal não é rejeitada pois a condição $W_{calculado} \geq W_{tabelado}$ é satisfeita ao encontramos o valor de $W_{calculado} = 0,886$, para um nível de confiança de 95% e $n = 10$, aplicando a equação (3.2) no grupo de amostras da Tabela 5.4, onde as amostras já foram ordenadas de forma crescente para as utilizar nos testes a seguir. $W_{tabelado} = 0,842$ foi obtido de valor em tabela para ensaio com 10 amostras [51].

Para verificar a presença de valores discrepantes foi usado inicialmente o critério de Grubbs. Obtém-se G_{calc} a partir da equação (3.3) para o grupo de amostras da Tabela 5.4 onde nenhum valor do grupo foi rejeitado, pois os valores individuais são superiores ao $G_{tabelado}$ em 10 amostras, logo nenhuma medição será removida.

Tabela 5.4: Resultado da aplicação dos critérios de rejeição. Nenhuma medição foi considerada discrepante.

medição	frequência	Critérios de rejeição		
		Grubbs G_{calc}	Chauvenet Desvio	Avaliação
1	466,678793	1,798	3,70E-06	não rejeitado
2	466,678795	0,826	1,70E-06	não rejeitado
3	466,678795	0,826	1,70E-06	não rejeitado
4	466,678795	0,826	1,70E-06	não rejeitado
5	466,678797	0,146	3,00E-07	não rejeitado
6	466,678798	0,632	1,30E-06	não rejeitado
7	466,678798	0,632	1,30E-06	não rejeitado
8	466,678798	0,632	1,30E-06	não rejeitado
9	466,678799	1,118	2,30E-06	não rejeitado
10	466,678799	1,118	2,30E-06	não rejeitado
Valores críticos				
	$W_{tabelado}$	0,842		
	G_{tab}		2,290	
	$k_{(n=10)} \cdot s$			4,033E-06

Os desvios da cada valor de medição em relação à média foi transcrito na Tabela 5.4 para comparação com o valor crítico do critério de rejeição de Chauvenet em 10 amostras. Com o desvio padrão s calculado temos o valor crítico de comparação $k \cdot s = 4,033 \cdot 10^{-6}$ resultando que nenhuma amostra foi rejeitada pois a condição da equação (3.4) foi respeitada.

A partir destes resultados, obtidos em um processo de medição com operador treinado, os mesmos instrumentos e condições ambientais controladas, pode-se inferir que o método automatizado de medição produz amostras homogêneas entre si com distribuição normal e podem ser utilizadas como grandeza de entrada no método de calibração, onde a incerteza de medição será estimada segundo orientação do ISO GUM [61].

5.6.2 Calibração do DAVID

O resultado da calibração está apresentado na Figura E.14 no Apêndice E.4, com a incerteza de medição expandida (U) associada a cada velocidade (km/h). U é a incerteza-padrão combinada multiplicada pelo fator de abrangência (k) que para uma distribuição t , com grau de liberdade efetivo infinito corresponde a uma probabilidade de 95%. A incerteza de medição expandida foi calculada de acordo com o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição [61].

O DAVID foi calibrado em comparação a um contador universal de referência, modelo HEWLETT-PACKARD 53131A. A monitoração das condições ambientais foram medidas com o auxílio do termohigrômetro de referência, modelo Instrutherm HTR-170 e a temperatura do ambiente permaneceu com o valor de $(22,00 \pm 1)^\circ\text{C}$ e umidade de $(73,87 \pm 1)\%$. O tempo de execução da calibração é 10 minutos e 35 segundos e pode ser medido nas planilhas de cálculo apresentados pela ferramenta de calibração.

Na Seção 4.5 foi descrito o método para calcular o erro sistemático que o DAVID pode apresentar antes de ser ajustado. Utilizando os pontos de calibração da Figura E.14 apresentada na Apêndice E.4, obtemos os valores de desvio em frequência na coluna Correção (Hz), que devem ser lançados na equação (4.15) para obter o valor de correção D_d .

Os dados apresentados na Figura 5.17 mostram a correção aplicada nas rotinas de tempo do DAVID. Esta correção do atraso reduz o desvio da frequência nominal.

O erro sistemático D_d possui uma contribuição em segunda ordem, onde o valor do tempo de atraso D_d é de $4,28\mu\text{s}$.

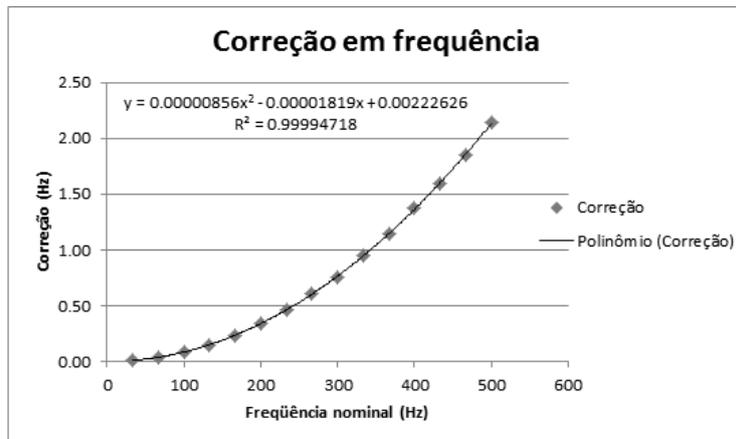


Figura 5.17: Curva do erro em função da frequência. Há um erro sistemático que precisa ser ajustado.

O erro percentual para cada frequência é determinado pela equação (5.2) e seu comportamento é linear conforme mostrado na Figura 5.18.

$$erro(\%) = 100 \cdot \frac{f - f_d}{f} = 100 \cdot \frac{f - \frac{1}{\frac{1}{f} + 2 \cdot D_d}}{f} \quad (5.2)$$

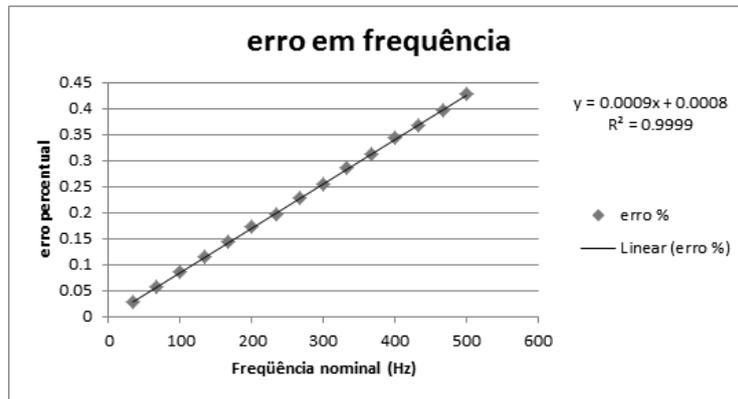


Figura 5.18: Curva do erro percentual em função da frequência. Existe uma tendência linear dominante devido ao erro sistemático. A componente aleatória nem é perceptível.

A resolução do relógio do microcontrolador é de $0,1 \mu s$ que limita a correção necessária do erro sistemático através do valor de D_d identificado. Foi utilizado o valor de $4,3 \mu s$ como parâmetro do comando AJUSTE, onde o novo valor de atraso é carregado em memória EEPROM, conforme apresentado na Seção 4.5.

O módulo oscilador Q1, utilizado no circuito mostrado na Figura D.2, não possui compensação para variações de temperatura. A deriva da frequência com a temperatura deve ser avaliada com o controle das condições ambientais em uma câmara climática, utilizando a calibração automática da Seção 4.5.

Após o ajuste do gerador com o novo valor de carregamento de atraso entre cada pulso, foi efetuado novo ciclo de calibração e o resultado apresentado na planilha da Figura E.15 no Apêndice E.4. Com os novos dados de medição, os gráficos de erro e de correção foram refeitos conforme as Figuras 5.19 e 5.20. As componentes de tendência linear devido ao erro sistemático foram corrigidas. Na Figura 5.19 ainda percebe-se uma pequena tendência com desvio negativo, devido à aproximação da correção no valor de $D_d = 4,3 \mu$ ao invés de $D_d = 4,28 \mu$, limitado pela resolução do relógio.

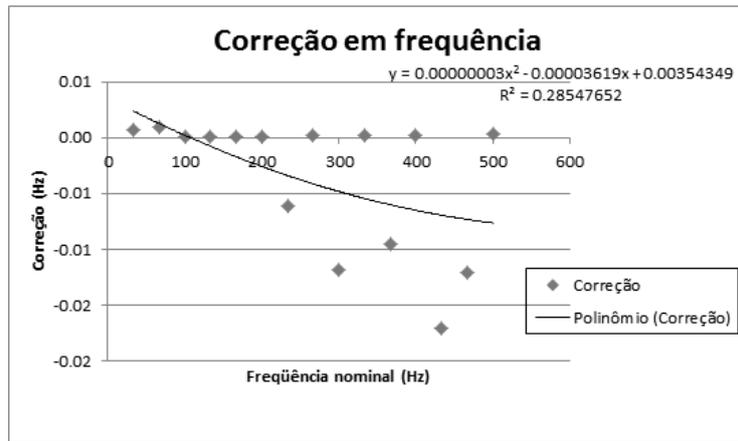


Figura 5.19: Curva do erro em função da frequência. O erro sistemático foi corrigido. A tendência é devido à aproximação da correção.

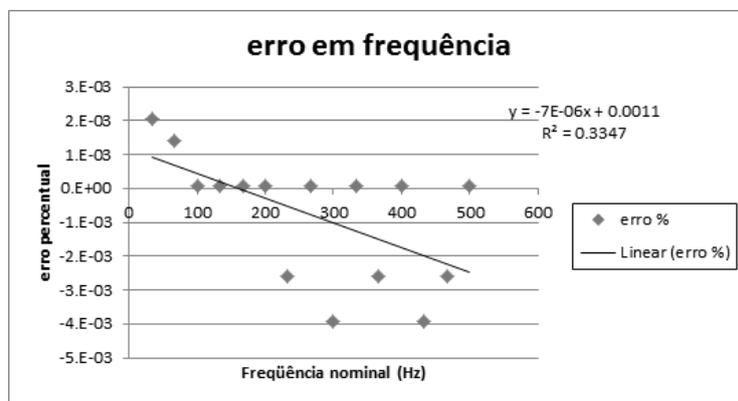
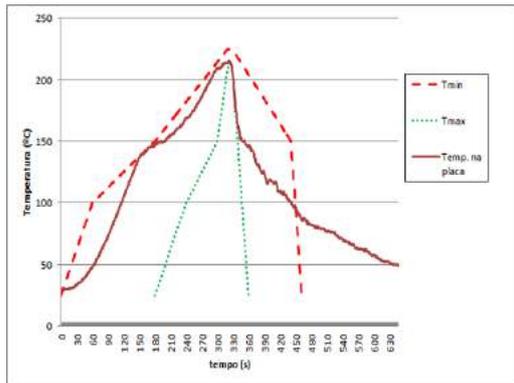


Figura 5.20: Curva do erro percentual em função da frequência. A componente aleatória é dominante.

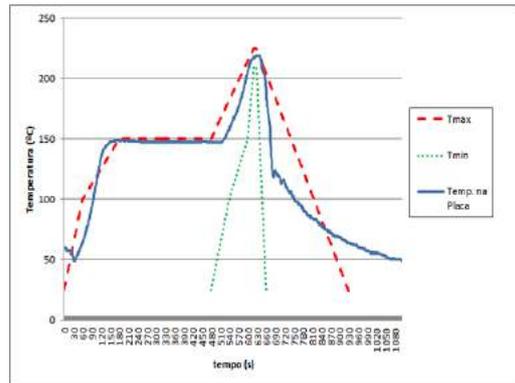
5.7 Resultado da soldagem da placa SMD

O perfil mostrado na Figura 5.21a mostra os intervalos de temperatura que o forno deve atingir durante a soldagem. A face superior da placa usa resina epóxi para fixação dos componentes e necessita permanecer à temperatura de 150 °C pelo período de cura (6 minutos), conforme mostrado na Figura 5.21b. Os perfis registrados durante a fase de soldagem indicam que os parâmetros foram respeitados.

O uso da película de poliéster como máscara de solda produziu bons resultados. O recorte da película em uma máquina CNC executado com uma broca de corte plano permitiu faces sem rebarbas no molde vazado (*stencil*). O volume de solda depositada em cada *pad* com a altura de 250 μm foi suficiente para molhar os terminais dos componentes na Figura 5.22a. O recorte da solda em pasta não criou pontes entre os terminais na Figura 5.22b.

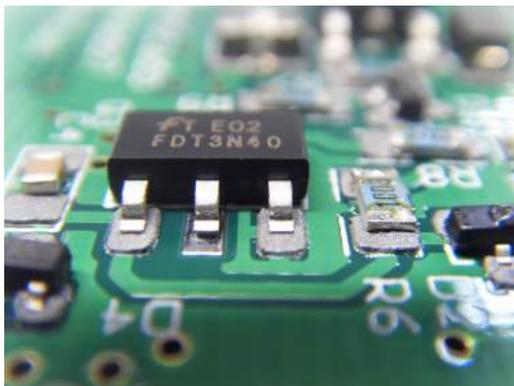


(a)

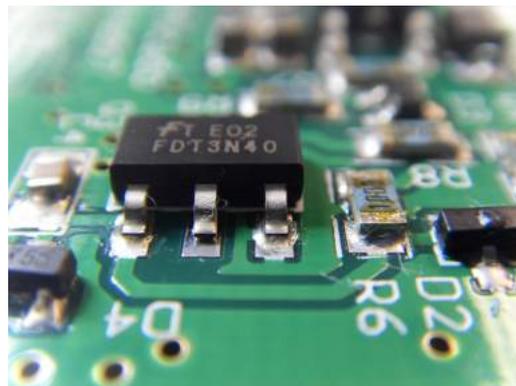


(b)

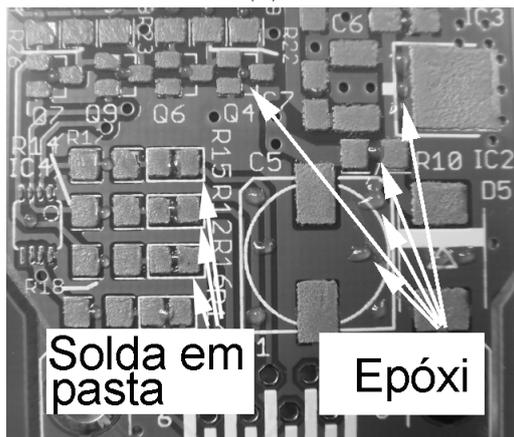
Figura 5.21: Perfil de temperatura para soldagens de SMD. (a) Perfil para solda 62%Sn – 36%Pb – 2%Ag. (b) Perfil para cura de resina epóxi (4000HFW), antes da soldagem.



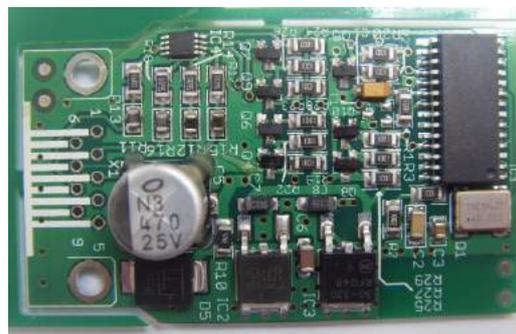
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.22: Resultado da aplicação de solda em pasta com a máscara de poliéster. (a) Detalhe do volume e recorte de solda em pasta depositada sob cada *pad*. (b) Solda pronta, sem ponte entre terminais adjacentes. (c) Pasta sobre *pads* e epóxi depositado para fixação dos componentes. (d) Placa após soldagem e cura do epóxi.

Capítulo 6

Conclusões

Nesta dissertação foi desenvolvido um instrumento de verificação metrológica, controlado por uma ferramenta de *software*, capaz de realizar a checagem de integridade de *software* e executar de forma autônoma os ensaios de desempenho para a determinação do erro de medição em mototaxímetros. A verificação de integridade de *software* foi implementada na ferramenta de gerenciamento, tornando o DAVID capaz de avaliar outros instrumentos de medição.

A norma ISO 9112 recomenda usar uma pista de 1 km para levantamento do perímetro dinâmico do pneu e os resultados experimentais neste trabalho evidenciam que dividir a pista em seções de 100 m, aliado ao instrumento de leitura com alta resolução (28 milhões de pulsos por km), permite identificar e eliminar medições aberrantes sem a perda completa do ensaio [54].

Utilizar o leitor de *encoder* produz resultados de medição com incerteza de 0,02 % com probabilidade de 95 %, em comparação ao estudo de referência do Capítulo 4, que possui uma incerteza de 0,31 % ao utilizar o sensor do sistema ABS do veículo [28]. As barreiras ópticas mostraram-se eficientes nos ensaios com uma instalação simplificada e perdas de 12 coletas em 2400 medições. As variações de W em função das grandezas de influência (massa de carga, pressão de inflação do pneu e velocidade de deslocamento) produziram alterações de até 0,8 % no valor do W dinâmico, simulando as condições de trabalho do mototaxímetro com o transporte de passageiros. Esta avaliação experimental é a continuação sugerida no trabalho de referência e identifica que o pneu diagonal apresenta maior variação no perímetro que o pneu radial [28]. A proposta de alteração na construção da pista de verificação metrológica reduz o riscos de acidentes de trabalho e produz os mesmos resultados que a medição com a pista de 12,5 m em aço. O DAVID foi aprovado pelos ensaios de compatibilidade eletromagnética e calibração automática, confirmando ser um dispositivo adequado para o uso nas condições de verificação metrológica em fiscali-

zações previsto no RTM de mototaxímetros. A calibração determina uma incerteza de 0,1% no sinal de velocidade gerado pelo DAVID e promove a rastreabilidade metrológica necessária para a garantia das avaliações. Isto representa que o projeto do DAVID foi adequado e, se utilizado pelo agente fiscalizador, pode tornar a cadeia metrológica eficaz no combate à fraudes e garantir a equidade da relação de consumo no serviço de veículos de aluguel. A variação máxima de 0,8% ao aplicar todas as condições de testes sugere que o erro máximo admissível (EMA) de 4% do RTM permite que ajustes tendenciosos no erro sistemático possam provocar transações injustas com o uso do mototaxímetro, conforme estudo de referência [20]. Ainda assim, este resultado valida o ensaio com a utilização de pista curta para a verificação metrológica de mototaxímetros em serviço. Este trabalho sugere a diminuição do EMA em serviço do RTM, para que a legislação atenda à sociedade em acordo com a realidade de funcionamento do instrumento de medição.

6.1 Proposta para trabalhos futuros

Investigar o efeito da postura do piloto em uma pista inclinada, conforme identificado no Apêndice B, onde parte da pista da Marambaia possui uma elevação. A inclinação de 1% é quase insignificante para as variações neste trabalho o que pode ser diferente da realidade onde a motocicleta é utilizada.

Investigar a aplicação do DAVID para verificação metrológica em outros instrumentos de medição, ao implementar novas rotinas de *software*.

Implementar o teste de funcionamento do sistema anti fraude do mototaxímetro através de algoritmos no DAVID que simulem a aceleração em valores programáveis.

Avaliar as incertezas associadas à medição [45], com o intuito de identificar se os parâmetros ou requisitos metrológicos descritos no regulamento de mototaxímetros [4] estão adequados à credibilidade da medição e aos custos envolvidos no uso do serviço de táxi [64], sendo que as medidas de velocidade em veículos e os erros associados já foram abordados em [54, 64], levando em consideração o uso de veículos de passeio.

Referências Bibliográficas

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. *Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)*. Duque de Caxias, RJ, 2012. ISBN: 978-85-86920-09-7. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf>. Acesso em: 2016-01-30.
- [2] ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL - OIML. “D 1:2012(E) Considerations for a Law on Metrology”. 2012. Disponível em: <http://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d001-e12.pdf/view>. Acesso em: 2014-04-23.
- [3] FERRAZ, F. T., SILVA, L. G. E. “A metrologia legal como diferencial de qualidade para os instrumentos de medição em um mundo globalizado”. 2008. Disponível em: <<http://xrepo01s.inmetro.gov.br/handle/10926/640>>. Acesso em: 2015-01-06. 4 p. : il.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria Inmetro n.º 393, de 26 de Julho de 2012.” 2012. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001879.pdf>. Acesso em: 2014-08-22.
- [5] AMORAS, F. C. *Regulamentação e informalidade do serviço de mototáxi em Macapá: 1996- 2011*. Dissertação de M.Sc., Fundação Universidade Federal do Amapá, Amapá, 2011.
- [6] AMORIM, C. R., DE ARAÚJO, E. M., DE ARAÚJO, T. M., et al. “Acidentes de trabalho com mototaxistas”, *Rev Bras Epidemiol*, v. 15, n. 1, pp. 25–37, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/rbepid/v15n1/03.pdf>>. Acesso em: 2016-01-31.
- [7] VASCONCELLOS, E. A. “O custo social da motocicleta no Brasil”, *Revista dos Transportes Públicos - RTP*, v. 119/20, 2008.

- [8] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria INMETRO/MDIC n.º 150, de 29 de março de 2016”. 2016. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002399.pdf>>. Acesso em: 2016-04-18.
- [9] WERNECK, M. M. *Transdutores e interfaces*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.
- [10] SORATTO, A., POHLMANN FILHO, O., DE PAIVA, M., et al. “Development of a system to increase the legal metrological control of measuring instruments in Brazil”, *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, v. 5, n. 3, pp. 304, 2014. ISSN: 2107-6839, 2107-6847. doi: 10.1051/ijmqe/2014013. Disponível em: <<http://www.metrology-journal.org/articles/ijmqe/abs/2014/03/ijmqe140013/ijmqe140013.html>>. Acesso em: 2015-01-06.
- [11] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria Inmetro n.º 163, de 06 de Setembro de 2005.” 2005. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC000973.pdf>. Acesso em: 2014-08-26.
- [12] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. *Vocabulário Internacional de Termos de Metrologia Legal : portaria INMETRO n.º 163 de 06 de setembro de 2005*. 5 ed. Rio de Janeiro, SENAI, 2007. ISBN: 978-85-99002-19-3. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/VocInt.asp>>. Acesso em: 2016-01-30.
- [13] EUROPEAN COOPERATION IN LEGAL METROLOGY - WELMEC. “Software Guide (Measuring Instruments Directive 2004/22/EC), WELMEC 7.2, Issue 5”. mar. 2012. Disponível em: <www.welmec.org>. Acesso em: 2014-04-23.
- [14] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria Inmetro n.º 587, de 05 de Novembro de 2012.” 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001929.pdf>>. Acesso em: 2016-01-25.
- [15] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria Inmetro n.º 586, de 01 de Novembro de 2012.” 2012. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001928.pdf>. Acesso em: 2014-08-22.

- [16] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria Inmetro n.º 402, de 15 de Agosto de 2013.” 2013. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002013.pdf>. Acesso em: 2014-08-22.
- [17] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria Inmetro n.º 375, de 24 de julho de 2013.” 2013. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001994.pdf>. Acesso em: 2014-08-22.
- [18] CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - CONMETRO. “Resolução CONMETRO n.º 11, de 12 de Outubro de 1988.” 2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/regMetrologica.pdf>>. Acesso em: 2016-01-24.
- [19] VILLAR, J., OTERO, A., OTERO, J., et al. “Taximeter verification using imprecise data from GPS”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 22, n. 2, pp. 250–260, mar. 2009. ISSN: 0952-1976. doi: 10.1016/j.engappai.2008.07.002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197608001267>>. Acesso em: 2014-11-24.
- [20] SÁNCHEZ, J. C. M. “Uncertainty and sensitivity analysis of brasilian smart grid AMM power meters”, p. 11, 2016.
- [21] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. “IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”. 2005. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17025:ed-2:v1:en>>. Acesso em: 2014-12-15.
- [22] BOCCARDO, D. R., SANTOS, L. C. G. D., CARMO, L. F. R. D. C., et al. “Software evaluation of smart meters within a Legal Metrology perspective: A Brazilian case”. In: *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES*, pp. 1–7. IEEE, 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5638881>. Acesso em: 2016-02-26.
- [23] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria Inmetro n.º 201, de 21 de Outubro de 2002.” 2002. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC000799.pdf>. Acesso em: 2014-08-26.

- [24] LORENZETTI, M. S. B. “A regulação do serviço de mototáxi”, *Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa.*, 2003. Disponível em: <http://www.silconet.com.br/download/lei_305335.pdf>. Acesso em: 2016-01-30.
- [25] VANDERBILT, T. *Traffic why we drive the way we do (and what it says about us)*. New York, Alfred A. Knopf, 2008. ISBN: 978-0-307-27054-2. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=718581>>. Acesso em: 2016-02-08.
- [26] G1 RIO. “Mototáxi é usado por 40 mil pessoas no Rio e corrida chega a custar R\$ 99”, *Bom Dia Brasil*, out. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2014/10/mototaxi-e-usado-por-40-mil-pessoas-no-rio-e-corrida-chega-custar-r-99.html>>. Acesso em: 2015-05-08.
- [27] MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - MTE. “NR-12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS”. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR12/NR12atualizada2015.pdf>>. Acesso em: 2015-12-02.
- [28] BARZDŽIUKAS, J., AUGUTIS, S. V., ŽILINSKAS, R. P. “The precise measurement of car velocity”, *Transport*, v. 27, n. 2, pp. 138–142, jun. 2012. ISSN: 1648-4142. doi: 10.3846/16484142.2012.690346. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3846/16484142.2012.690346>>. Acesso em: 2015-01-06.
- [29] JANTARANG, S., POTIPANTONG, P., WORAPISHET, A. “A low cost real-time intelligent taximeter sensor”. In: *2002 Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, 2002. APCCAS '02*, v. 1, pp. 217–220 vol.1, 2002. doi: 10.1109/APCCAS.2002.1114940.
- [30] OIML, R. “Taximeters. Metrological and technical requirements, test procedures and test report format”. 2007. Disponível em: <<http://www.nist.gov/pml/wmd/upload/OIML-R21.pdf>>.
- [31] FEDERAL, S. “Constituição da república federativa do Brasil.” 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 2016-02-06.
- [32] BONNICK, A. *Automotive science and mathematics*. Routledge, 2008. ISBN: 978-0-7506-8522-1.

- [33] JAZAR, R. N. *Vehicle dynamics theory and applications*. New York; London, Springer, 2008. ISBN: 9780387742441 0387742441 9780387742434 0387742433. Disponível em: <<http://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-74244-1>>. Acesso em: 2015-01-14.
- [34] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. “Portaria nº 35, de 05 de março de 2001”. 2001. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC000685.pdf>>. Acesso em: 2015-05-28.
- [35] LYASKO, M. I. “The determination of deflection and contact characteristics of a pneumatic tire on a rigid surface”, *Journal of Terramechanics*, v. 31, n. 4, pp. 239–246, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022489894900191>>. Acesso em: 2016-02-05.
- [36] PACEJKA, H. B. *Tyre and Vehicle Dynamics*. Butterworth-Heinemann, jan. 2006. ISBN: 978-0-7506-6918-4.
- [37] PIRELLI. “Pirelli lança Mandrake Due, a nova geração de pneus para motocicletas de média e baixa cilindrada”. jan. 2011. Disponível em: <<http://www.pirelli.com/tyre/br/pt/news/2011/01/14/pirelli-lanca-mandrake-due-a-nova-geracao-de-pneus-para-motocicletas-de-media-e-baixa-cilindrada/>>. Acesso em: 2016-02-17.
- [38] SÃO PAULO. “IPEM DE OLHO NO TAXÍMETRO”, *www.imprensaoficial.com.br*, p. IV, jun. 2012. Disponível em: <http://www.imprensaoficial.com.br/PortalI0/D0/BuscaD02001Documento_11_4.aspx?link=/2012/executivo%2520secao%2520i/marco/06/pagnot_0004_5ES1H94LAVEEie8HBCUK4E3MVGt.pdf&pagina=IV&data=06/03/2012&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=4>. Acesso em: 2014-12-16.
- [39] O DIA. “Taxímetros devem começar a ser aferidos de 12 a 6 de junho - Rio”. abr. 2014. Disponível em: <<http://odia.ig.com.br/noticia/rio-de-janeiro/2014-04-30/taximetros-devem-comecar-a-ser-aferidos-de-12-a-6-de-junho.html>>. Acesso em: 2014-12-16.
- [40] G1 RIO. “Calendário de verificacao de taxis no RJ e estendido ate outubro”, *G1*, dez. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2014/07/calendario-de-verificacao-de-taxis-no-rj-e-estendido-ate-outubro.html>>. Acesso em: 2014-12-16.

- [41] HE, H., LI, D., LI, H., et al. “Measurement error analysis of taxi meter”. p. 832106, ago. 2011. doi: 10.1117/12.903654. Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.903654>>. Acesso em: 2014-10-16.
- [42] OTERO, A., OTERO, J., SANCHEZ, L. “Using Fuzzy Techniques for Bounding the Tolerance of GPS-Based Speed and Distance Measurements in Taximeter Verification”. In: *Ninth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2009. ISDA '09*, pp. 743–748, nov. 2009. doi: 10.1109/ISDA.2009.158.
- [43] VILLAR, J., OTERO, A., OTERO, J., et al. “Taximeter verification with GPS and soft computing techniques”, *Soft Computing*, v. 14, n. 4, pp. 405–418, fev. 2010. ISSN: 1432-7643, 1433-7479. doi: 10.1007/s00500-009-0414-4. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00500-009-0414-4>>. Acesso em: 2015-01-06.
- [44] ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL - OIML. “D 31:2008(E) General requirements for software controlled measuring instruments”. 2008. Disponível em: <http://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d031-e08.pdf/view>. Acesso em: 2013-08-01.
- [45] DE CASTRO, C. G., MORAES, F. P., BOCCARDO, D. R., et al. “FVIS: Uma Ferramenta de Verificação de Integridade de Software.” *SEMETRO - International Congress on Electrical Metrology*, set. 2013. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/259176174_FVIS_Uma_Ferramenta_de_Verificao_de_Integridade_de_Software/file/60b7d52a1f8e144852.pdf>.
- [46] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. “ISO 7637-2:2011 - Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only”. 2011. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=50925>. Acesso em: 2016-02-07.
- [47] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. “ISO 16750-2:2012 - Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 2: Electrical loads”. 2012. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=61280>. Acesso em: 2016-02-07.

- [48] KER, M.-D., SUNG, Y.-Y. “Hardware/firmware co-design in an 8-bits microcontroller to solve the system-level ESD issue on keyboard”, *Microelectronics Reliability*, v. 41, n. 3, pp. 417–429, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271400002420>>. Acesso em: 2016-02-07.
- [49] SCHLAEPFER, E. “Alternate Circuits for Overvoltage Protection: Tips and Tricks - Application Note - Maxim”. 2007. Disponível em: <<http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4081>>. Acesso em: 2014-12-25.
- [50] TEXAS INSTRUMENTS. “AN-1533 Over Voltage Protection Circuit for Automotive Load Dump (Rev. B)”, *Texas Instruments Incorporated*, , n. December 2006, 2013. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/an/snva190b/snva190b.pdf>>. Acesso em: 2014-12-25.
- [51] COUTO, P. R. G. *Estimativa da incerteza da massa específica da gasolina pelo iso gum 95 e método de monte carlo e seu impacto na transferência de custódia*. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- [52] LUCATO, M. U., COUTO, P. R. G., LUZ, D., et al. “Proposta para o estabelecimento da confiabilidade metrológica em calibração volumétrica”. In: *V Congresso Latino Americano de Metrologia*, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10926/806>>. Acesso em: 2016-02-11.
- [53] HOLMAN, J. P. *Experimental methods for engineers*. McGraw-Hill series in mechanical engineering. 8th ed ed. Boston, McGraw-Hill/Connect Learn Succeed, 2012. ISBN: 9780073529301.
- [54] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. “ISO 9112 Truck and bus tyres — Methods of measuring tyre rolling circumference — Loaded new tyres”. 2008. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9112:ed-2:v1:en:term:3.2>>. Acesso em: 2014-12-15.
- [55] THE INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, AMENDMENT 1 - IEC. “IEC 61000-4 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Testing and measurement techniques.” 2003.
- [56] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. “Execução de levantamento topográfico - ABNT NBR 13133:1994”. 1994. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4663>>. Acesso em: 2015-06-16.

- [57] ALVES, J. U., MINETTI, L. J., DE SOUZA, A. P., et al. “Avaliação do ambiente trabalho na propagação de *Eucalyptus* spp.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 3, pp. 481–486, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v6n3/v6n3a17.pdf>>. Acesso em: 2016-02-03.
- [58] CÓRICA, L., MESA, N. A., PATTINI, A., et al. “INFLUENCIA DE LA LUZ NATURAL EN ENTORNOS URBANOS EN CLIMAS SOLEADOS. Análisis y aplicabilidad de herramientas de evaluación.” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 6, n. 1, 2002. ISSN: 0329-5184. Disponível em: <<http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2002/2002-t005-a003.pdf>>. Acesso em: 2016-02-03.
- [59] SOUSA, R. D. C. A., KUX, H. J. H. “Comportamento Espectral e Alvos Urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS”, *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII*, v. 20005, pp. 1099–1106, 2005. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.21.20/doc/1099.pdf>>. Acesso em: 2016-02-03.
- [60] FERREIRA, E. R., VIEIRA, C. A. O., DE AGRIMENSURA, S. D. E. “Análise de curvas espectrais de 350 a 2500 nm para a discriminação de padrões de pavimentos asfálticos”, *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, pp. 1079–1086, abr. 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.13.19.44/doc/1079-1086.pdf>>. Acesso em: 2016-02-03.
- [61] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. “ISO GUM Guide to the expression of uncertainty in measurement.” 2008. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:guide:98:-3:ed-1:v2:en>>. Acesso em: 2014-12-15.
- [62] RAJEWSKI, K. “SMT process recommendations. Defect minimization methods for a no-clean SMT process”. In: *Northcon 95. IEEE Technical Applications Conference and Workshops Northcon95*, pp. 354–362. IEEE, 1995. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=485096>. Acesso em: 2016-02-05.
- [63] PETKOVIC, S. G. “AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE CONTROLADORES ELETRÔNICOS DE TEMPERATURA”. mar. 2005.

- [64] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. “ISO 13328 Motorcycle tyres — Measurement of tyre rolling circumference — Loaded new tyres”. 2000. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13328:ed-1:v1:en>>. Acesso em: 2014-12-15.

Apêndice A

Listagem dos códigos fonte do leitor de *encoder*

A.1 *Hardware*

A coleta de pulsos do *encoder* para identificar a direção e a distância percorrida pode ser realizada por instrumentos disponíveis no mercado. No entanto, algumas necessidades do projeto precisam ser atendidas:

- coleta de pulsos do *encoder* com taxa de 10^6 pulsos/s;
- detecção de sinal do transdutor de posição (*LAP*) para:
 - armazenamento de intervalo de tempo parcial (*LAP*) e
 - armazenamento de contagem de pulsos parcial;
- capacidade de armazenamento de ao menos 25 trechos parciais;
- comunicação sem fio para coleta das medições;

Estas características não são encontradas em instrumentos de prateleira portanto foi necessário desenvolver a ferramenta adequada para a tarefa.

A Figura A.1 mostra o circuito de controle do leitor de *encoder* acionado por laser. A Figura A.2 mostra o diagrama com os filtros de entrada do *encoder* e decodificador de quadratura. A Figura A.3 mostra a fonte de alimentação e a conexão de entrada dos transdutores.

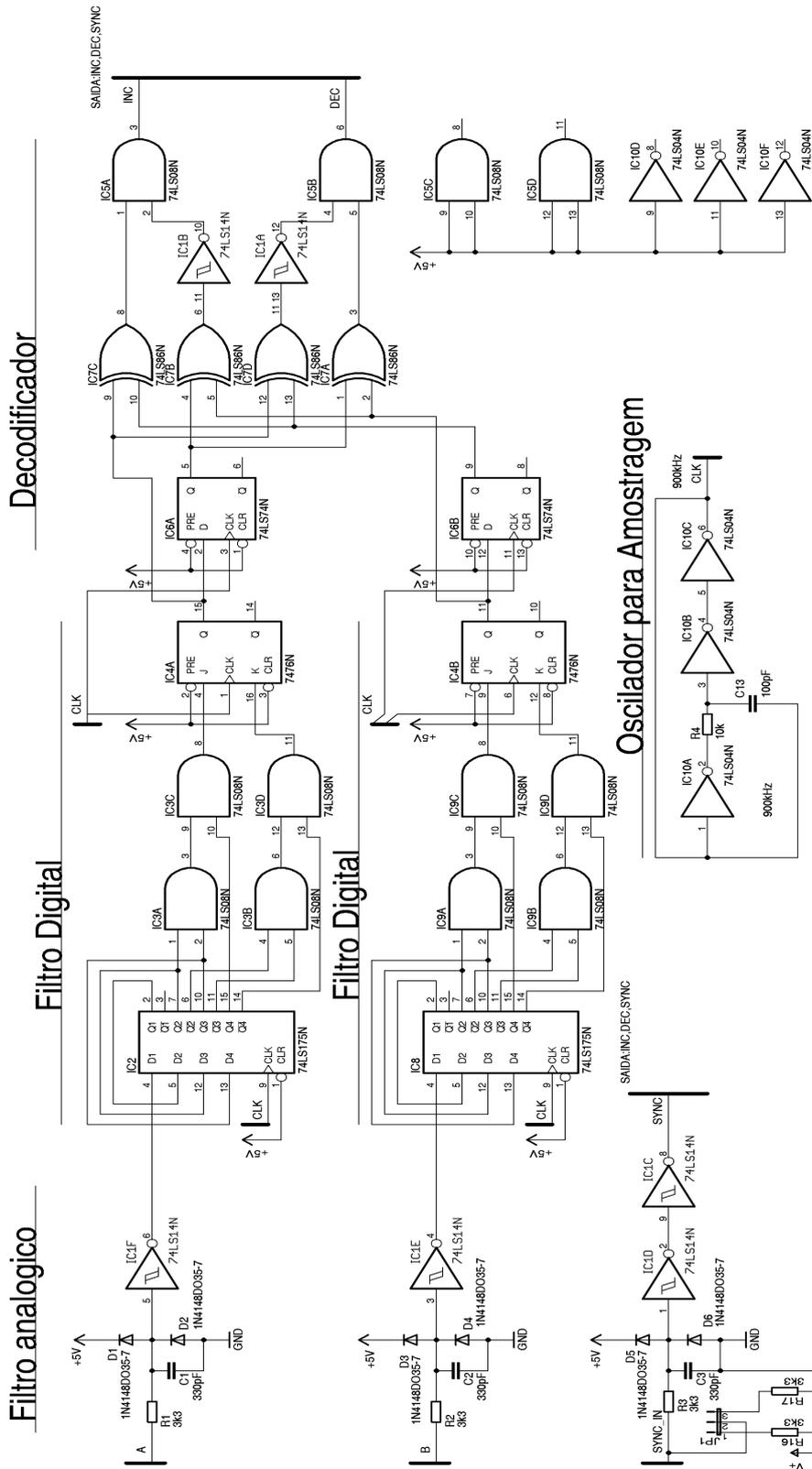


Figura A.2: Diagrama esquemático do filtro e detector de quadratura.

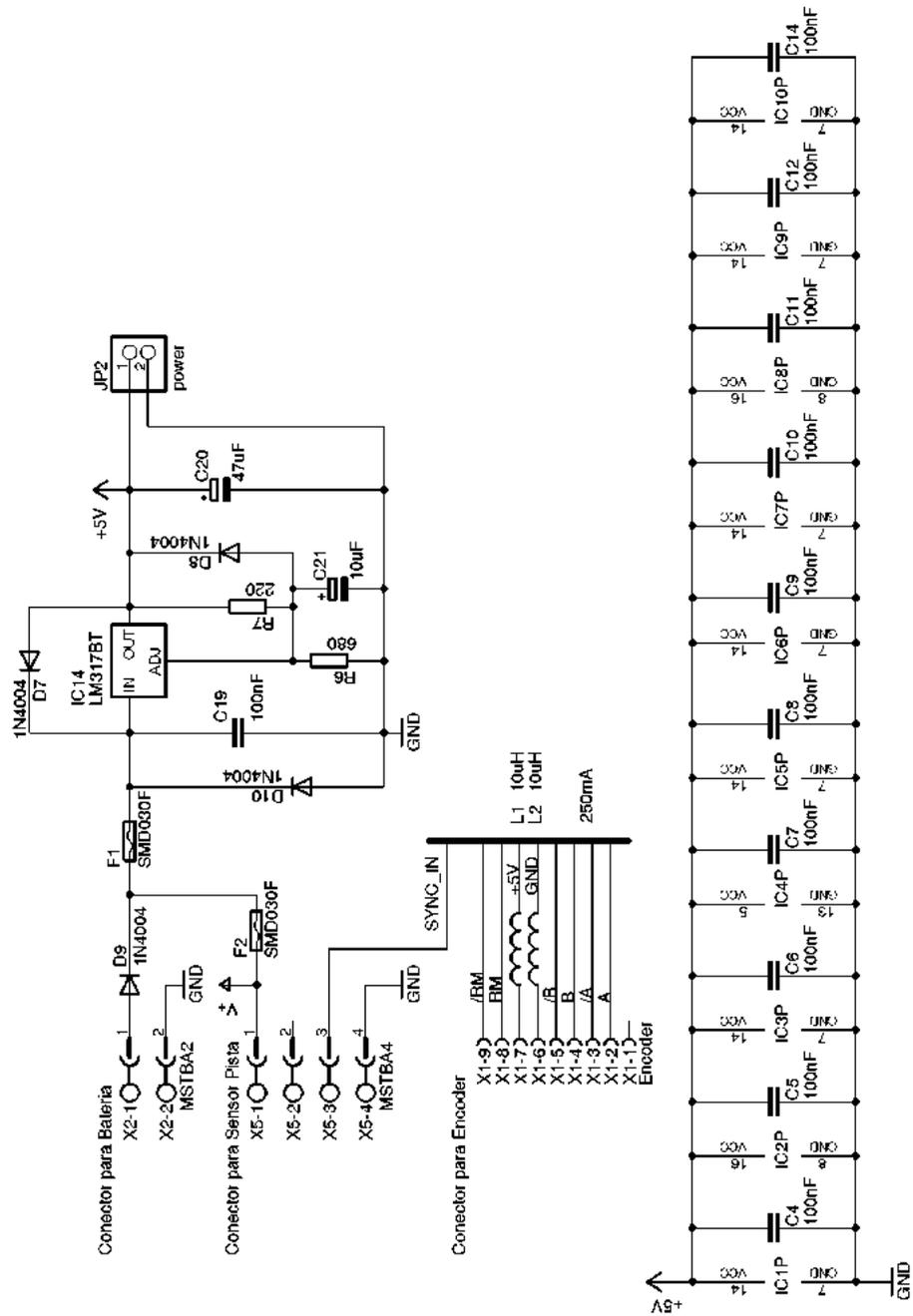


Figura A.3: Diagrama esquemático da fonte e conexões de entrada.

A.2 *firmware*

Os códigos fonte utilizados para aquisição dos pulsos provenientes do *encoder* e leitura das faixas refletivas com uso de sensor laser estão listados no endereço eletrônico:

`https://github.com/EduardoLSJ/EncoderLeitorLaser.git`

Código-fonte A.1: Código-fonte da ferramenta de leitura do *encoder* na pista

Apêndice B

Medição da pista de ensaio de concreto

B.1 Medida do comprimento da pista longa (1 km)

As medidas experimentais estão registradas na Tabela B.1.

Conforme as regras estabelecidas para o cálculo e apresentação das incertezas de uma medição, seguem os cálculos das medidas experimentais, com os resultados com a expressão da incerteza representados na Tabela B.2 [61].

Tabela B.1: Dados de levantamento de pista de concreto na BASC. Os valores observados foram coletados entre 8h e 10h em dia nublado.

Seção	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	θ_{amb} (°C)
1	100,001	100,000	100,000	21,4
2	99,991	99,989	99,099	23,5
3	99,995	99,994	99,993	25,3
4	99,986	99,985	99,987	25,5
5	99,990	99,990	99,991	26,39
6	99,982	99,983	99,982	26,9
7	99,982	99,981	99,981	27,95
8	99,989	99,989	99,988	28,4
9	99,973	99,974	99,973	30,6
10	99,956	99,959	99,957	32,4

Para medição das seções de pista, marcadas previamente com a Estação Total, foi utilizado uma trena de aço com os seguintes dados de certificado:

- Comprimento total 150 m;
- Resolução: 1 mm;

- na leitura de 100 m:
 - Incerteza expandida: $U = 0,18$ mm;
 - Fator de abrangência: $k = 2,37$;
 - Probabilidade: 0,9545;

Definição do mensurando

O mensurando é o comprimento de cada seção da pista onde as fontes de entrada de incerteza são: O coeficiente de expansão térmica da trena α ; A diferença de temperatura entre o local de medição e a temperatura declarada no certificado de calibração da trena θ e as observações da trena D em cada trecho, que é definido por:

$$L = L_{trena} \times (1 + \alpha \cdot \theta) \quad (B.1)$$

Diagrama causa-efeito

O valor do comprimento foi obtido de 3 medições consecutivas, onde um termohigrômetro foi instalado próximo ao local de medição para acompanhar a variação de temperatura. Para apresentar graficamente as fontes de incerteza associadas à incerteza do mensurando a Figura B.1 é apresentada:

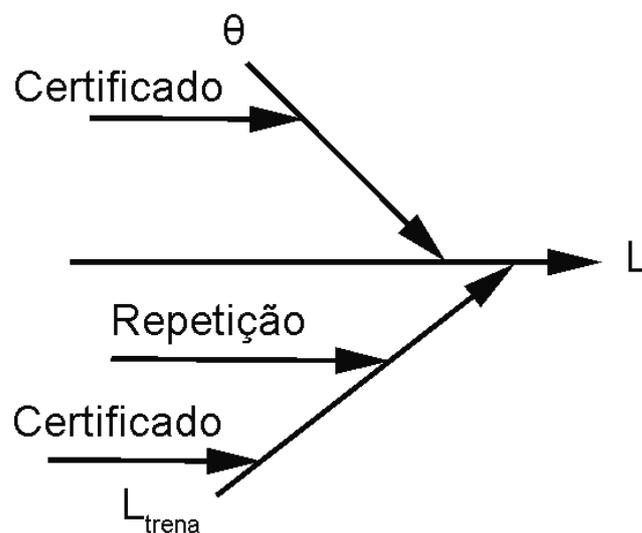


Figura B.1: Diagrama causa-efeito da medição do comprimento da pista.

Cálculo da Incerteza Padrão das Grandezas de Entrada

Conforme declarado na equação (B.1) a medição realizada possui as fontes de incertezas associadas:

- Tipo A:
 - repetibilidade (ε)
- Tipo B:
 - Resolução da trena
 - Incerteza herdada da trena (certificado)
 - Variação de temperatura entre a medição e a calibração da trena

O cálculo de cada grandeza de influência depende de como a variável foi obtida, seja por observações ou por avaliação de incerteza de outra fonte (certificado ou experiência do observador). A variável comprimento, é estimada por uma série de observações repetidas. O melhor valor aproximado é a média aritmética de n observações:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n L_{trena_k} \quad (\text{B.2})$$

Avaliação de incerteza padrão do tipo A

Para uma distribuição normal da repetibilidade, a equação de incerteza padrão do comprimento é representada por:

$$u_{repetibilidade} = \frac{s_{Ltrena}}{\sqrt{n}} \quad (\text{B.3})$$

onde:

s_{Ltrena} é o desvio padrão das medições com a trena;

n é o número de observações.

Avaliação de incerteza padrão do tipo B

Resulta de avaliação disponíveis da fonte de entrada através de certificados de calibração, medições prévias, excetuando-se medições repetitivas. As variáveis das medições da pista são do tipo B e serão calculadas a seguir.

Incerteza associada à resolução da trena:

Com uma distribuição retangular, a incerteza padrão da resolução da trena com o valor de resolução a previamente determinado em certificado de calibração pode ser descrita como:

$$u_{Lres} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{B.4})$$

E seu valor numérico é de

$$u_{Lres} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577 \text{ mm}$$

Incerteza associada à incerteza expandida da trena

O valor da incerteza expandida provém do certificado de calibração, considerando uma distribuição retangular e a recomendação do Guia [61], temos que:

$$u_{Ltrena} = \frac{U}{k} \quad (\text{B.5})$$

O valor numérico é de

$$u_{Ltrena} = \frac{0,18}{2,37} = 0.0759 \text{ mm}$$

Incerteza associada à resolução do termômetro

Com uma distribuição retangular, a incerteza padrão da resolução do termômetro com o valor de resolução a previamente determinado em certificado de calibração pode ser descrita como:

$$u_{\theta res} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{B.6})$$

E seu valor numérico é de

$$u_{\theta res} = \frac{0,01}{\sqrt{3}} = 0,0058 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Incerteza associada à incerteza expandida do termômetro

A partir do certificado de calibração, com uma distribuição retangular, é definido pela equação:

$$u_{\theta} = \frac{U}{k} \quad (\text{B.7})$$

Seu valor numérico é de:

$$u_{\theta} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Cálculo dos coeficientes de sensibilidade

A Figura B.1 mostra como cada grandeza de entrada contribui para o valor do mensurando. Para a medição de comprimento os coeficientes de sensibilidade para as grandezas L_{trena} e θ são calculados conforme as equações:

$$c_{L_{trena}} = \frac{\partial L}{\partial L_{trena}} = 1 + \alpha \cdot \theta = 1 \quad (\text{B.8})$$

$$c_{\theta} = \frac{\partial L}{\partial \theta} = L_{trena} \cdot \alpha \quad (\text{B.9})$$

Incerteza Padrão Combinada

Para as grandezas de entrada independentes, a incerteza padrão combinada $u_c^2(y)$ é descrita como:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u(x_i)^2 \quad (\text{B.10})$$

Assim, a partir da incerteza padrão definida de cada grandeza e aplicando as variáveis das equações (B.3) a (B.6), reescrevemos a equação (B.10):

$$u_c(L) = \sqrt{(1 \cdot u_{repetibilidade})^2 + (1 \cdot u_{L_{trena}})^2 + (1 \cdot u_{L_{res}})^2 + (c_{\theta} \cdot u_{\theta})^2 + (c_{\theta} \cdot u_{\theta_{res}})^2} \quad (\text{B.11})$$

Graus de liberdade

O número de graus de liberdade efetivos pode ser calculado pela equação [61]:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{(u(x_i))^4}{v_i}} \quad (\text{B.12})$$

Considerando que a incerteza padrão do tipo B tem grau de liberdade infinito e que apenas a entrada de repetibilidade $u_{repetibilidade}$ é do tipo A, a equação (B.12) pode ser simplificada:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(L) \cdot (n - 1)}{u_{repetibilidade}^4} \quad (\text{B.13})$$

Com o número de graus de liberdade da incerteza combinada, considerando a incerteza padrão da entrada avaliada estatisticamente (tipo A) com uma probabilidade de 95%, podemos calcular o coeficiente k que abrange a fração p da distribuição.

Incerteza expandida

A partir da incerteza combinada $u_c(y)$ pode-se expressar a incerteza do resultado da medição. Ao multiplicar a incerteza padrão combinada $u_c(y)$ por um fator de abrangência k :

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (\text{B.14})$$

Podemos expressar uma medição como:

$$Y = y \pm U \quad (\text{B.15})$$

Os resultados estão na Tabela B.2, onde a incerteza de medição expandida (U) para cada valor de comprimento relatada é declarada como a incerteza padrão combinada multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t , com determinado número de graus de liberdade efetivos v_{eff} , corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95 %.

Tabela B.2: Resultado da expressão da incerteza da medição para cada seção da pista longa

Seção	Valor médio (m)	U (m)	k	v_{eff}
1	100,000	0,0017	2,04	71
2	99,990	0,0021	2,20	14
3	99,994	0,0021	2,20	14
4	99,986	0,0021	2,20	14
5	99,990	0,0017	2,04	71
6	99,982	0,0017	2,04	71
7	99,981	0,0017	2,04	71
8	99,989	0,0017	2,04	71
9	99,973	0,0017	2,04	71
10	99,957	0,0031	2,65	5

Apêndice C

Cálculo do coeficiente W

C.1 Cálculo do coeficiente W dinâmico na pista longa

Os ensaios foram executados para identificar a influência de cada parâmetro de interesse sobre o valor de W devido às deformações do raio dinâmico do pneu apresentado na Seção 2.3. Estes parâmetros são a pressão de inflação do pneu, a velocidade de rolamento da motocicleta e a força aplicada sobre o veículo. A combinação dos parâmetros de cada ensaio estão mostrados na Figura C.1, totalizando doze combinações de medição. Dois pilotos fizeram os mesmos ensaios para avaliar a variabilidade em função da experiência e comportamento do condutor.

Parâmetro	Valores ensaiados		
Velocidade (km/h)	10	30	40
Pressão de inflação do pneu (kPa)	175	120	
Carga sobre o veículo (kg)	70	140	
Piloto	A	B	

Figura C.1: Combinação dos parâmetros avaliados no ensaio com a pista de 1 km.

As medidas experimentais do número de pulsos em cada deslocamento de 100 m na pista de concreto foram coletadas com a ferramenta de leitura do *encoder* com barreira óptica. Estes pulsos são utilizados para determinar o valor de W característico da motocicleta na equação (C.1).

A metodologia utilizada para análise dos resultados foi a comparação das variâncias e a análise das médias entre os grupos de medidas para cada piloto. A tolerância para admissão dos valores medidos de dois desvios-padrão limitou os eventuais valores aberrantes. Os valores dos pulsos coletados na pista com a passagem da

motocicleta em dez medições consecutivas estão representadas nas Tabelas C.5 a C.8.

Os valores de F_{calc} e t_{calc} estão disponíveis nas Tabelas C.1 e C.2, calculadas conforme as equações (3.1) e (5.1). A Tabela C.2 apresenta os valores corrigidos após a eliminação dos erros experimentais encontrados na avaliação da dispersão. Como as dispersões são homogêneas entre os grupos e os valores médios das coletas 1, 7 e 10 são aceitáveis para o estudo de incerteza, o cálculo da expressão da incerteza expandida segue a recomendação do método aplicado no Apêndice B.

Tabela C.1: Resultados do cálculo do teste-F e dos desvios da média, antes da análise do erro experimental

coleta	Carga (kg)	Pressão (kPa)	Velocidade (km/h)				
				F_{calc}	F_{tab}	t_{calc}	t_{tab}
1	70	175	10	1,05	1,39	2,22	1,97
2	70	175	30	2,17	1,40	61,63	1,97
3	70	175	40	2,25	1,39	50,19	1,97
4	70	120	10	1,11	1,39	1,38	1,97
5	70	120	30	1,21	1,40	0,24	1,97
6	70	120	40	1,09	1,39	0,23	1,97
7	140	175	10	1,09	1,39	2,25	1,97
8	140	175	30	1,11	1,39	0,14	1,97
9	140	175	40	1,04	1,39	0,41	1,97
10	140	120	10	1,37	1,39	3,49	1,97
11	140	120	30	1,09	1,39	0,45	1,97
12	140	120	40	1,13	1,39	1,34	1,97

O mensurando é o coeficiente W da motocicleta, que utilizou o modelo da equação (C.1) para o cálculo de incerteza de medição, conforme utilizado no Apêndice B.

$$W = \frac{n_{pulsos} \cdot 1000}{L_m} \cdot \frac{pulsos}{km} \quad (C.1)$$

As fontes de incerteza associadas ao mensurando são graficamente representadas no diagrama causa-efeito na Figura C.2. Onde o número de pulsos n_{pulsos} é o valor coletado a cada seção de 100 m da pista, a resolução do contador de pulsos é de um dígito, e a incerteza do comprimento da pista L é o valor $u(L)$ da calibração efetuada no Apêndice B.

Os resultados após os cálculos estão na Tabela C.3, onde a incerteza de medição expandida (U) para cada valor de W médio é declarada como a incerteza padrão

Tabela C.2: Resultados do cálculo do teste-F e dos desvios da média

coleta	Carga (kg)	Pressão (kPa)	Velocidade (km/h)				
				Fcalc	Ftab	tcalc	ttab
1	70	175	10	1,05	1,39	2,22	1,97
2	70	175	30	1,98
3	70	175	40	1,98
4	70	120	10	1,11	1,39	1,38	1,97
5	70	120	30	1,21	1,40	0,24	1,97
6	70	120	40	1,09	1,39	0,23	1,97
7	140	175	10	1,09	1,39	2,25	1,97
8	140	175	30	1,11	1,39	0,14	1,97
9	140	175	40	1,04	1,39	0,41	1,97
10	140	120	10	1,37	1,39	3,49	1,97
11	140	120	30	1,09	1,39	0,45	1,97
12	140	120	40	1,13	1,39	1,34	1,97

Nota - Sinal convencional utilizado:

... Dado numérico não disponível

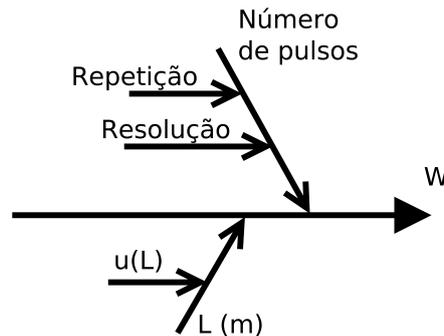


Figura C.2: Diagrama causa-efeito da medição do coeficiente W da motocicleta.

combinada multiplicada pelo fator de abrangência k , que corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.

O valor do perímetro do pneu para cada combinação de ensaio pode ser determinada pela equação (2.10), aplicado nos resultados de W da Tabela C.3. Onde W_k foi determinado experimentalmente com o valor de 52000 pulsos/revolução e $\Delta X/n_p = 1/W$, temos que:

$$\text{perímetro} = 1000 \cdot R_w \cdot \frac{1}{W} \quad (m) \quad (C.2)$$

Os valores de perímetro estão resumidos na Tabela C.4.

Tabela C.3: Expressão da incerteza de medição do valor W , para cada combinação de parâmetros ensaiados na pista de concreto

coleta	Carga (kg)	Pressão (kPa)	Velocidade (km/h)	W médio (pulso/km)	U		
					(pulso/km)	k	%
1	70	175	10	28345690	3121,175	1,96	0,01
2	70	175	30	28303140	3190,519	1,96	0,01
3	70	175	40	28285379	3466,449	1,96	0,01
4	70	120	10	28570350	2824,737	1,96	0,01
5	70	120	30	28534638	2974,185	1,96	0,01
6	70	120	40	28465570	5601,102	1,96	0,02
7	140	175	10	28376520	2766,453	1,96	0,01
8	140	175	30	28289293	4972,226	1,96	0,02
9	140	175	40	28261054	6034,384	1,96	0,02
10	140	120	10	28526019	4251,804	1,96	0,01
11	140	120	30	28410880	2449,941	1,96	0,01
12	140	120	40	28388139	2752,806	1,96	0,01

Tabela C.4: Valores calculados do perímetro dinâmico

coleta	Carga (kg)	Pressão (kPa)	Velocidade (km/h)	W médio (pulso/km)	perímetro (m)
1	70	175	10	28345690	1,8415
2	70	175	30	28303140	1,8443
3	70	175	40	28285379	1,8455
4	70	120	10	28570350	1,8271
5	70	120	30	28534638	1,8294
6	70	120	40	28465570	1,8338
7	140	175	10	28376520	1,8395
8	140	175	30	28289293	1,8452
9	140	175	40	28261054	1,8471
10	140	120	10	28526019	1,8299
11	140	120	30	28410880	1,8373
12	140	120	40	28388139	1,8388

Tabela C.5: Número de pulsos coletados, por seção de pista na BASC/RJ. Ensaio com o Piloto A sem passageiro na motocicleta.

Parâmetros do ensaio			Número de pulsos (coleta)													
(km/h)	(kPa)	(kg)	L (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
10	175	70	99,957	2831017	2828847	2831482	2829189	2834610	2829628	2832409	2833309	2832383	2832514			
			99,973	2832183	2831278	2832284	2831527	2831127	2834000	2835889	2832954	2834805	2834310			
			99,989	2833950	2833129	2832213	2835209	2833081	2832207	2830821	2830897	2836630	2835528			
			99,981	2832887	2833863	2834829	2831590	2833344	2830108	2830707	2834730	2832535	2835539			
			99,982	2829369	2831221	2831692	2831332	2833143	2834010	2833509	2835042	2833451	2832751			
			99,990	2832610	2829649	2830557	2834686	2829187	2833914	2834209	2832470	2834650	2832960			
			99,986	2831290	2832249	2832288	2834059	2831673	2832996	2830039	2833217	2835334	2836247			
			99,994	2830445	2832170	2833416	2831744	2832984	2830160	2832653	2834341	2834022	2834323			
			99,990	2830636	2830472	2830311	2830383	2831835	2833767	2835256	2833587	2832187	2833634			
			100,000	2833301	2832260	2831617	2832128	2832598	2833789	2833519	2831882	2835175	2834196			
			30	175	70	99,957	2842732	2841733	2841941	...	2842848	2842218	2842400	2842456	2841191	2842113
						99,973	2843788	2843076	2843410	...	2841696	2843855	2843037	2843061	2841121	2842575
						99,989	2842866	2843304	2842085	...	2840850	2841138	2840438	2844531	2840420	2841639
99,981	2843797	2844276				2843178	...	2842423	2843739	2842010	2844443	2842195	2843115			
99,982	2842349	2844559				2841683	...	2841826	2843645	2841568	2843210	2841576	2842410			
99,990	2842542	2843634				2842808	...	2842185	2843852	2842133	2842264	2841323	2841996			
99,986	2842679	2842869				2841419	...	2842182	2842477	2841728	2844156	2841847	2841645			
99,994	2842425	2843838				2842609	...	2841218	2843255	2841371	2843309	2839998	2841822			
99,990	2841892	2843832				2841126	...	2841852	2841932	2841072	2844174	2842078	2843344			
100,000	2842117	2842787				2843798	...	2841901	2842410	2842563	2843547	2840554	2840630			
40	175	70				99,957	2839103	2838775	2839549	2839807	2838196	2839324	2838084	2839365	2837645	2838339
						99,973	2839223	2840484	2839596	2839303	2838022	2839173	2838116	2839359	2838188	2840271
						99,989	2837879	2837153	2837703	2838097	2839427	2837107	2837331	2837993	2835592	2837915
			99,981	2839816	2839907	2840011	2840140	2838849	2839249	2839586	2839358	2837928	2839690			
			99,982	2838685	2840102	2839604	2838900	2837945	2839481	2837428	2841272	2838764	2840729			
			99,990	2839210	2839493	2838899	2839048	2838488	2838675	2837893	2839431	2838288	2838185			
			99,986	2838149	2841201	2838321	2840867	2837416	2840166	2837074	2839882	2836786	2840367			
			99,994	2836660	2839411	2839109	2840399	2837805	2839260	2839018	2839257	2837335	2838370			
			99,990	2838588	2840075	2838842	2839039	2836959	2839222	2837785	2837929	2838621	2838665			
			100,000	2838691	2838491	2838215	2839148	2838222	2838001	2838014	2838188	2836558	2838462			
			10	120	70	99,957	2855968	2856045	2855755	2852918	2857753	2854362	2857427	2850922	2857084	2855138
						99,973	2858429	2856185	2856243	2856938	2854795	2858936	2856183	2856370	2852609	2853398
						99,989	2855373	2855719	2860373	2859925	2856802	2858739	2854855	2856134	2855131	2854599
99,981	2855218	2859522				2856723	2858072	2858480	2855039	2855984	2853142	2858153	2857135			
99,982	2858449	2856459				2855374	2855369	2858093	2855581	2857512	2852950	2854923	2855133			
99,990	2858986	2853641				2856373	2855862	2855148	2857377	2856004	2856780	2853981	2852445			
99,986	2856777	2855812				2858460	2857340	2854044	2855936	2855044	2852995	2852995	2854127			
99,994	2853352	2858258				2856229	2855296	2858154	2854407	2858498	2851303	2856371	2855348			
99,990	2856064	2855629				2856333	2854879	2855667	2856409	2856723	2854408	2852558	2852509			
100,000	2857352	2854281				2856944	2855661	2854717	2857880	2852024	2860746	2853544	2853871			
30	120	70				99,957	2853517	2855025	2853327	2855186	2856263	2850426	2853873	2850667	2851764	2852692
						99,973	2855351	2851732	2855114	2851956	2854497	2854368	2851030	2852180	2853652	2849972
						99,989	2852958	2851227	2851643	2852276	2852199	2850358	2853496	2853674	2855351	2855997
			99,981	2851171	2854972	2853156	2856098	2854735	2851201	2855071	2851193	2852315	2852782			
			99,982	2856474	2851448	2854971	2850721	2852629	2853649	2851226	2851271	2852751	2851103			
			99,990	2853783	2849236	2854448	2850344	2855113	2850511	2854275	2854614	2857232	2852855			
			99,986	2849591	2856711	2850806	2855611	2854600	2853056	2854422	2850950	2852358	2853812			
			99,994	2856392	2851150	2858773	2852944	2856033	2854652	2851468	2851390	2853289	2850893			
			99,990	2852107	2848712	2850771	2850950	2849139	2851716	2852815	2856621	2855005	2853329			
			100,000	2853860	2855892	2856605	2853189	2858186	2850855	2855773	2850710	2853606	2853140			
			40	120	70	99,957	2848099	2845856	2849562	2847583	2844780	2846444	2852574	2850138	2850034	2847353
						99,973	2852882	2853895	2850242	2853538	2854228	2852171	2849269	2848182	2850613	2848775
						99,989	2851322	2847699	2851375	2846597	2850403	2844749	2849602	2847555	2845044	2852436
99,981	2847590	2847349				2850310	2847822	2848546	2849186	2851713	2849612	2854110	2847131			
99,982	2850802	2852572				2849490	2853701	2850957	2851870	2847511	2848586	2848659	2849826			
99,990	2851504	2847774				2853557	2845771	2850136	2845028	2853426	2849295	2846918	2852072			
99,986	2848752	2849486				2847085	2852481	2849974	2852226	2850652	2849931	2853490	2849008			
99,994	2848624	2850388				2850814	2848547	2847957	2848519	2848878	2847055	2846592	2846009			
99,990	2850241	2847867				2850372	2849276	2851347	2846255	2848926	2848622	2848020	2852260			
100,000	2847706	2847747				2849166	2850168	2849417	2849126	2854315	2850726	2852873	2845518			

Nota - Sinal convencional utilizado:
 ... Dado numérico não disponível

Tabela C.6: Número de pulsos coletados, por seção de pista na BASC/RJ. Ensaio com o Piloto A com passageiro na motocicleta.

Parâmetros do ensaio			Número de pulsos (coleta)														
(km/h)	(kPa)	(kg)	L (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
10	175	140	99,957	2836257	2840348	2840295	2839708	2837622	2834669	2836386	2834927	2833796	2835412				
			99,973	2837358	2837020	2835487	2836453	2839684	2839874	2836821	2835649	2834337	2839171				
			99,989	2839481	2839589	2839615	2840941	2835770	2837778	2833210	2836772	2837147	2835716				
			99,981	2836051	2838462	2838753	2836908	2839516	2836160	2834747	2835494	2835169	2836134				
			99,982	2838910	2837545	2837196	2839427	2837442	2838828	2837777	2835385	2836578	2838219				
			99,990	2839032	2839990	2840465	2836844	2836997	2837419	2837049	2838381	2841717	2835624				
			99,986	2836492	2836921	2838014	2835408	2838040	2837192	2833751	2837429	2836356	2835163				
			99,994	2839181	2838032	2840699	2839116	2837408	2841868	2836022	2835702	2835984	2838787				
			99,990	2839652	2840557	2838272	2838220	2836405	2835154	2836875	2837757	2837722	2837017				
			100,000	2836530	2837808	2836408	2837742	2839707	2837591	2837287	2836718	2835159	2838070				
			30	175	140	99,957	2832856	2828572	2830804	2828715	2833133	2828478	2830364	2825972	2832950	2831268	
						99,973	2833681	2829993	2834983	2831274	2834527	2831095	2834371	2831473	2832503	2826816	
						99,989	2829811	2826993	2830840	2829361	2833393	2829252	2829205	2826712	2833130	2831328	
99,981	2833270	2831542				2831623	2832097	2833873	2832276	2833702	2832958	2830881	2828428				
99,982	2830541	2826787				2833644	2829702	2832976	2830295	2833004	2827094	2833475	2831014				
99,990	2834597	2832968				2832025	2831384	2835163	2830578	2831995	2831245	2833149	2827423				
99,986	2831981	2827741				2834339	2831470	2834131	2832064	2834504	2828379	2830896	2832132				
99,994	2831682	2832261				2833694	2830168	2832167	2829197	2832039	2830905	2833912	2828184				
99,990	2832195	2828351				2829494	2831398	2833796	2833082	2830379	2827850	2831548	2831915				
100,000	2830095	2832592				2834396	2828943	2833447	2828017	2835463	2830891	2832201	2827511				
40	175	140				99,957	2831101	2827891	2830911	2827369	2829542	2827574	2832760	2826409	2832775	2827639	
						99,973	2831631	2827835	2831397	2827886	2831290	2828893	2830194	2829032	2828167	2828301	
						99,989	2830276	2827181	2829149	2827708	2829597	2826903	2829870	2826480	2830446	2827773	
			99,981	2831935	2829422	2831587	2828610	2829943	2829230	2830738	2828314	2829319	2830077				
			99,982	2829985	2828450	2830837	2828776	2830181	2830481	2829711	2829316	2833077	2828806				
			99,990	2834138	2829778	2832110	2828936	2832164	2825902	2831976	2827065	2830597	2828436				
			99,986	2831259	2828682	2831419	2828582	2829840	2829677	2830667	2829538	2830019	2828626				
			99,994	2831119	2829304	2831773	2829100	2831980	2826576	2831224	2828076	2830368	2827972				
			99,990	2830297	2827895	2830611	2827588	2829082	2828865	2829796	2829088	2830429	2828586				
			100,000	2831836	2828383	2830335	2826141	2830227	2827777	2831878	2829926	2831649	2829241				
			10	120	140	99,957	2850556	2853003	2849120	2854116	2856446	2852548	2853908	2856615	2854357	2855515	
						99,973	2849634	2852152	2852101	2853755	2858067	2856115	2852750	2857242	2854733	2853279	
						99,989	2854287	2850752	2854233	2852910	2852367	2858394	2856153	2854877	2853408	2854508	
99,981	2852220	2855801				2851872	2853933	2855324	2859591	2855020	2855340	2853110	2858635				
99,982	2853065	2853994				2852657	2855701	2858179	2853795	2854889	2856588	2856587	2857493				
99,990	2850533	2851334				2853461	2851957	2855958	2857333	2857584	2852389	2854312	2854888				
99,986	2854469	2851868				2853926	2853727	2854825	2856037	2856579	2855179	2853348	2859012				
99,994	2850450	2851801				2853457	2856552	2856531	2854229	2851166	2858299	2854834	2853789				
99,990	2850340	2850868				2853480	2852381	2856063	2853373	2854570	2855465	2853668	2854827				
100,000	2854003	2853093				2855625	2855206	2855331	2855797	2856106	2853822	2854130	2856963				
30	120	140				99,957	2840206	2838725	2840157	2839673	2842652	2839256	2840705	2839298	2842186	2838595	
						99,973	2841990	2840224	2840740	2838203	2839198	2838974	2840794	2837988	2840449	2838962	
						99,989	2838503	2836820	2841215	2839665	2841419	2841208	2839361	2840295	2837390	2837641	
			99,981	2841022	2840480	2838336	2837529	2839498	2837306	2842541	2837965	2842474	2839269				
			99,982	2838882	2838332	2842966	2840088	2841377	2840294	2839016	2839962	2839467	2840613				
			99,990	2842826	2839641	2839831	2838449	2842546	2838033	2842114	2837274	2841903	2837686				
			99,986	2839749	2837757	2842138	2839879	2839713	2841315	2839656	2841770	2839303	2841581				
			99,994	2840277	2839064	2840085	2840648	2842455	2839417	2842212	2837311	2841471	2838439				
			99,990	2839613	2838798	2840461	2836554	2838266	2839332	2838425	2840636	2837192	2840943				
			100,000	2839661	2837309	2840893	2841636	2843729	2840436	2841986	2838906	2841934	2837560				
			40	120	140	99,957	2837851	2839521	2837991	2838830	2838217	2837276	2837587	2839614	2840665	2837035	
						99,973	2840801	2835458	2839777	2838290	2839746	2841100	2843700	2837257	2840701	2838781	
						99,989	2839611	2837833	2837941	2836642	2842453	2837300	2839475	2836805	2841426	2840305	
99,981	2838534	2836175				2841338	2839518	2838376	2836408	2840961	2838073	2838718	2837397				
99,982	2839142	2839644				2836362	2838407	2841183	2841142	2839651	2838714	2839787	2841325				
99,990	2837511	2838966				2840288	2840884	2841988	2837872	2840012	2840030	2842728	2838732				
99,986	2841132	2838471				2838573	2839207	2840361	2841576	2843372	2838790	2838819	2840292				
99,994	2837919	2837371				2838823	2836241	2841781	2835489	2839306	2837277	2839712	2838344				
99,990	2837921	2838604				2839870	2841139	2838837	2840025	2840128	2838530	2838116	2837803				
100,000	2840256	2839946				2838252	2839109	2842669	2838927	2839848	2838152	2843727	2842129				

Tabela C.7: Número de pulsos coletados, por seção de pista na BASC/RJ. Ensaio com o Piloto B sem passageiro na motocicleta.

Parâmetros do ensaio			Número de pulsos (coleta)													
(km/h)	(kPa)	(kg)	L (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
10	175	70	99,957	2831655	2835069	2833132	2834486	2836618	2832815	2833970	2834262	2833189	2835270			
			99,973	2832342	2838222	2834655	2837713	2834452	2836145	2833671	2834098	2833300	2836480			
			99,989	2835871	2833815	2834976	2837597	2833762	2838411	2837437	2839318	2833284	2837087			
			99,981	2832391	2835198	2835768	2836802	2836428	2838455	2836102	2835770	2833452	2835127			
			99,982	2835627	2838410	2833824	2838223	2837677	2836408	2833856	2835598	2835621	2839903			
			99,990	2833800	2834269	2833608	2836381	2835770	2839061	2836540	2838625	2837395	2839677			
			99,986	2832428	2833617	2835378	2834202	2835303	2834320	2836727	2836044	2833760	2835062			
			99,994	2833399	2832229	2836391	2835970	2836176	2834878	2834241	2835089	2836879	2837087			
			99,990	2835299	2834689	2835265	2836966	2839294	2835533	2835881	2835154	2835229	2834935			
			100,000	2835141	2835978	2836363	2835798	2834951	2837263	2836965	2837818	2833598	2835025			
			30	175	70	99,957	2829519	2829979	2830157	2830081	2828990	2831192	2827493	2828017	2827030	2827637
						99,973	2828982	2830150	2828497	2832038	2830545	2831952	2829076	2832142	2828661	2831611
						99,989	2828812	2828909	2828467	2830205	2825609	2829418	2827787	2829368	2827708	2827881
99,981	2828648	2830090				2828642	2831261	2831748	2831968	2828182	2830908	2827861	2830721			
99,982	2827952	2831756				2828873	2831992	2827575	2831050	2830481	2832426	2830747	2832043			
99,990	2831028	2832526				2829344	2830836	2830828	2831323	2828416	2831180	2829478	2832099			
99,986	2826363	2833244				2826786	2830616	2829065	2831890	2829904	2831412	2830121	2832036			
99,994	2829267	2830293				2830590	2829609	2828265	2829042	2829591	2827799	2828547	2829360			
99,990	2826952	2830445				2827673	2831802	2831407	2830458	2829584	2832241	2830084	2830739			
100,000	2829041	2830554				2830781	2832261	2829637	2831470	2829599	2829024	2827686	2831545			
40	175	70				99,957	2827760	2827727	2827737	2828945	2827078	2827964	2828182	2828486	2827505	2828158
						99,973	2828542	2830640	2827550	2831386	2827047	2830229	2827590	2829779	2826128	2830429
						99,989	2826640	2826783	2826437	2827749	2824278	2827052	2825944	2826948	2826836	2827064
			99,981	2827850	2830359	2829031	2830480	2829138	2828992	2826507	2830655	2827520	2829443			
			99,982	2827418	2829872	2828112	2829476	2827219	2830926	2825971	2830097	2827294	2829357			
			99,990	2825490	2829846	2828029	2828334	2827137	2829106	2828622	2829005	2829006	2829084			
			99,986	2824709	2831897	2825806	2830698	2827425	2831947	2827110	2831165	2829597	2830986			
			99,994	2825378	2826471	2826768	2828616	2825577	2830835	2825779	2830097	2825720	2827688			
			99,990	2829169	2829400	2828276	2829643	2827156	2828667	2827175	2827231	2826456	2829867			
			100,000	2827633	2826421	2826261	2828002	2827787	2826898	2827736	2826590	2827651	2826449			
			10	120	70	99,957	2855007	2855737	2855753	2855442	2855066	2858546	2855102	2856297	2858409	2858501
						99,973	2858010	2856103	2856747	2856465	2854248	2859733	2859462	2855007	2856682	2857447
						99,989	2854844	2854994	2858335	2856551	2858317	2857148	2856361	2859415	2858106	2856806
99,981	2855195	2856149				2854584	2858743	2858851	2854954	2856941	2858927	2860773	2857156			
99,982	2856807	2858819				2853943	2855619	2856914	2856977	2860842	2854676	2862123	2859908			
99,990	2857955	2856248				2856848	2855860	2858378	2858127	2861568	2857924	2856832	2856874			
99,986	2854248	2856335				2857081	2857035	2858660	2856200	2859335	2860282	2857131	2856590			
99,994	2857069	2857634				2854687	2860709	2858985	2855090	2855978	2859627	2859467	2857648			
99,990	2858134	2858757				2855828	2855564	2856440	2858625	2857101	2856041	2860609	2860884			
100,000	2858252	2855056				2857459	2854784	2855914	2859326	2859531	2856799	2859049	2856028			
30	120	70				99,957	2854478	2849656	2851023	2852089	2855995	2851755	2850795	2850536	2852065	2855105
						99,973	2853271	2851024	2854106	2854253	2851796	2850942	2856993	2856334	2852142	2851033
						99,989	2849635	2853863	2853364	2850687	2853343	2852702	2851219	2852017	2853167	2851815
			99,981	...	2851202	2851317	2854015	2856086	2852300	2854159	2850735	2855088	2856338			
			99,982	2851289	2851816	2855110	2854065	2851821	2851412	2855420	2854865	2851492	2851044			
			99,990	2853593	2854850	2853499	2849521	2854374	2853621	2853544	2852753	2856561	2850140			
			99,986	2854237	2850171	2849292	2853713	2854827	2852887	2853215	2850507	2852692	2857441			
			99,994	2852506	2851641	2857495	2852622	2852120	2849516	2856768	2855702	2853848	2849678			
			99,990	2850509	2854872	2849679	2850995	2854694	2854605	2850208	2850853	2852866	2853890			
			100,000	...	2849674	2855102	2851497	2854410	2851900	2855347	2849942	2855585	2854466			
			40	120	70	99,957	2842025	2842617	2842658	2840720	2843127	2840735	2843054	2840076	2843646	2844263
						99,973	2844284	2841712	2843944	2843010	2842609	2842439	2844928	2842563	2842063	2840986
						99,989	2844670	2841190	2841748	2840645	2842017	2830089	2842456	2840574	2841071	2840397
99,981	2844151	2841920				2845628	2843233	2845048	2842747	2844121	2843044	2843441	2842515			
99,982	2844521	2843001				2841931	2843605	2844872	2842906	2843438	2841997	2843125	2843588			
99,990	2843375	2841814				2845242	2842465	2844311	2842506	2844074	2843675	2843986	2842958			
99,986	2844766	2843368				2843038	2844185	2843881	2844391	2844132	2843398	2842724	2844401			
99,994	2842305	2841469				2842943	2841456	2840652	2841228	2842710	2842564	2841246	2843834			
99,990	2843873	2841654				2841954	2842840	2845994	2840181	2844275	2841842	2843063	2840861			
100,000	2842247	2841163				2843714	2840463	2841962	2844959	2842318	2842536	2842840	2842219			

Nota - Sinal convencional utilizado:
 ... Dado numérico não disponível

Tabela C.8: Número de pulsos coletados, por seção de pista na BASC/RJ. Ensaio com o Piloto B com passageiro na motocicleta.

Parâmetros do ensaio			Número de pulsos (coleta)													
(km/h)	(kPa)	(kg)	L (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
10	175	140	99,957	2834082	2838004	2837678	2839236	2838775	2838626	2837848	2838676	2834798	2836090			
			99,973	2835049	2837538	2836164	2836940	2836984	2835899	2836346	2838486	2836090	2836512	2836512		
			99,989	2834889	2839008	2834362	2839069	2833277	2839931	2836344	2837513	2838290	2839531	2839531		
			99,981	2836750	2834537	2836482	2839036	2839525	2839709	2837763	2840832	2836065	2837570	2837570		
			99,982	2832798	2836075	2836071	2839003	2835905	2837480	2837400	2837139	2836489	2834828	2834828		
			99,990	2836271	2839403	2838052	2836224	2837357	2837993	2834843	2836351	2839762	2840443	2840443		
			99,986	2833706	2835356	2836264	2836596	2835396	2836411	2834784	2836565	2835095	2839044	2839044		
			99,994	2831297	2836627	2835061	2841640	2840362	2839708	2837496	2839907	2835593	2836515	2836515		
			99,990	2834720	2834238	2840088	2835703	2838563	2833809	2837773	2835705	2834263	2838513	2838513		
			100,000	2833842	2834587	2836265	2837115	2834666	2844451	2835487	2836908	2839204	2837489	2837489		
			30	175	140	99,957	2826754	2823611	2827037	2821209	2824235	2822335	2826928	2826431	2829898	2823738
						99,973	2823408	2826209	2822984	2828084	2824576	2827818	2824256	2828848	2826016	2824980
99,989	2826562	2824764				2825903	2824202	2827912	2824750	2826991	2822977	2824002	2827788	2827788		
99,981	2827595	2821166				2827731	2822697	2825539	2823459	2826551	2826145	2829336	2827240	2827240		
99,982	2824310	2827430				2823274	2826268	2823796	2825843	2824129	2827895	2828722	2822914	2822914		
99,990	2826996	2825916				2826562	2826611	2828275	2826856	2826622	2825171	2824839	2827839	2827839		
99,986	2828468	2822499				2828287	2821272	2826479	2823780	2828857	2822461	2827281	2827842	2827842		
99,994	2823208	2826178				2822247	2825694	2824292	2825763	2823410	2827816	2828368	2823909	2823909		
99,990	2824805	2826620				2823880	2826121	2825376	2829006	2824114	2827259	2825806	2826285	2826285		
100,000	2828912	2822586				2828318	2822909	2829321	2821262	2829376	2822086	2825417	2826993	2826993		
40	175	140				99,957	2819543	2819836	2821267	2823619	2822671	2822449	2819916	2822087	2819955	2824335
						99,973	2819820	2821733	2821583	2822202	2820384	2822879	2821034	2823678	2822375	2822970
			99,989	2821048	2822548	2818113	2819788	2823556	2818621	2821739	2819159	2823627	2819440	2819440		
			99,981	2819078	2820612	2823552	2824594	2820800	2824736	2820489	2824871	2821196	2824525	2824525		
			99,982	2821197	2822845	2819622	2820530	2820184	2824046	2821423	2822240	2822459	2823136	2823136		
			99,990	2820506	2820652	2822886	2821827	2825389	2820047	2825617	2821144	2824958	2819216	2819216		
			99,986	2817659	2822831	2822466	2825404	2820606	2825768	2820737	2824822	2820713	2826316	2826316		
			99,994	2822753	2823406	2821093	2819144	2821467	2821444	2822347	2822835	2822864	2822636	2822636		
			99,990	2817870	2819366	2820170	2823046	2822139	2817872	2822412	2819953	2822445	2822872	2822872		
			100,000	2821465	2818128	2824304	2819342	2821737	2824051	2819486	2821247	2821091	2820796	2820796		
			10	120	140	99,957	2849982	2847302	2850127	2850238	2852262	2850819	2849467	2850661	2849378	2847902
						99,973	2854231	2852629	2852131	2851544	2848975	2850453	2847525	2850630	2845386	2848046
99,989	2855563	2851317				2852415	2854065	2850470	2851485	2849556	2849038	2846996	2850441	2850441		
99,981	2853839	2851467				2849599	2849661	2848954	2851446	2848736	2849850	2847692	2849549	2849549		
99,982	2849682	2851527				2851756	2851890	2848451	2850130	2849387	2847525	2850682	2845391	2845391		
99,990	2853859	2849401				2852183	2852429	2848993	2850188	2849824	2850921	2849136	2848984	2848984		
99,986	2848892	2847528				2851032	2850463	2849588	2852042	2848329	2849321	2845322	2847284	2847284		
99,994	2851327	2854454				2851504	2851859	2849759	2849487	2849327	2850800	2847158	2850816	2850816		
99,990	2853308	2848786				2850448	2850440	2852005	2847120	2846186	2849449	2846986	2848114	2848114		
100,000	2850083	2850845				2850735	2849215	2850723	2850143	2848556	2846883	2848593	2845481	2845481		
30	120	140				99,957	2841774	2841121	2842651	2839926	2841623	2839262	2842157	2838640	2841664	2842046
						99,973	2840794	2839634	2842614	2842994	2843078	2841368	2843307	2842268	2842198	2841216
			99,989	2841878	2841656	2843342	2840733	2840730	2839599	2840686	2839396	2840971	2840603	2840603		
			99,981	2839165	2840834	2840597	2841975	2843338	2841337	2844857	2842756	2843263	2842360	2842360		
			99,982	2840842	2842420	2844224	2840100	2842100	2840670	2840509	2839556	2842424	2841858	2841858		
			99,990	2840258	2840206	2842461	2842049	2843192	2841074	2843429	2842418	2844896	2842556	2842556		
			99,986	2839876	2838842	2843476	2840286	2841495	2838905	2841357	2839993	2841486	2840167	2840167		
			99,994	2840622	2839689	2841076	2840663	2842656	2841506	2842924	2842013	2843408	2842441	2842441		
			99,990	2838151	2837927	2842376	2840554	2839763	2839600	2841990	2840099	2839530	2840180	2840180		
			100,000	2841273	2839084	2841617	2839743	2843032	2841143	2844370	2841283	2844499	2842347	2842347		
			40	120	140	99,957	2834601	2836170	2837533	2834606	2838485	2832480	2838029	2833598	2836034	2836510
						99,973	2840645	2836632	2839386	2837631	2838403	2838653	2837759	2837710	2839392	2836178
99,989	2835959	2837322				2837165	2836344	2837110	2835357	2835767	2834045	2838010	2836603	2836603		
99,981	2839792	2835642				2837108	2836862	2837167	2838695	2838078	2837530	2835775	2834970	2834970		
99,982	2837463	2838792				2839614	2838437	2839257	2838081	2840382	2836767	2839296	2839030	2839030		
99,990	2838877	2836743				2839288	2836003	2837308	2835715	2836640	2837221	2837748	2836332	2836332		
99,986	2838578	2837892				2840465	2839434	2839814	2838839	2839850	2838257	2840555	2841598	2841598		
99,994	2836826	2836638				2836480	2833483	2836846	2835204	2838277	2836820	2837064	2833006	2833006		
99,990	2838819	2836584				2838657	2840028	2838750	2840038	2838872	2839260	2839012	2836966	2836966		
100,000	2837508	2837828				2837703	2834686	2838582	2835755	2836312	2834797	2836967	2838598	2838598		

C.2 Cálculo do coeficiente W na pista curta

As medidas experimentais da coleta de pulsos estão na Tabela C.9.

Tabela C.9: Número de pulsos coletados na pista curta, com variação da pressão de inflação do pneu. Ensaio conforme previsto no RTM [4].

Pressão do pneu (kPa)	L (m)	Número de pulsos (coleta)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
175	12,5	353962	353212	353987	354313	353798	354824	353141	354780	353629	354727
175	12,5	354454	354904	354158	355143	355037	353459	353573	353895	354510	353799
175	12,5	353726	353248	353189	352931	353496	351774	351167	353907	352927	352919
175	12,5	351299	354037	353316	353851	353629	353732	352434	352699	351931	352315
175	12,5	352385	353289	353105	351514	353675	352907	353552	351563	353715	353998
175	12,5	353953	354255	351947	353854	350323	353584	351146	352465	351926	351557
175	12,5	349558	353368	350432	353383	352118	351872	351026	352753	351452	352105
175	12,5	352549	350948	352026	353052	352759	350356	350565	353398	350355	352198
175	12,5	353808	352698	351341	352932	353359	354287	351108	353577	353833	353393
175	12,0	338791	338118	338826	338427	337910	338653	338458	338489	338309	337964
175	12,0	337288	337478	338360	338199	338101	337616	337801	338302	338262	338362
120	12,0	339593	340290	340232	340753	340810	340094	340996	339981	339966	340633
120	12,0	340001	341966	340694	341050	340868	342313	341337	341248	340217	341422
120	12,0	340879	341271	341147	342066	341337	341154	342561	341759	340731	340223
120	12,5	353564	353044	354241	353382	354848	352329	355437	354829	355140	354909
120	12,5	354856	354478	354143	354662	354952	355269	354090	354746	353635	354706
120	12,5	354846	353958	354713	355063	353293	354592	355007	353918	353666	355088
120	12,0	340213	340061	340678	340800	340130	341184	340325	340153	340495	340441
120	12,0	341306	341406	340598	340452	342459	341093	340856	341260	341438	340889
120	12,5	354038	356551	355026	356039	354267	355552	355483	355290	354460	355743
120	12,5	354701	354828	354865	353644	355076	355472	354732	354561	355047	354504
120	12,5	354146	353782	354053	353532	353531	354864	352774	354465	355637	353159
120	12,5	352567	354852	354422	353860	353917	352639	352954	355169	354817	353150

Comparação do coeficiente W nas pistas de ensaio curta, com batente ou com guia de aço

A Tabela C.10 apresenta as coletas de pulsos nas duas pistas de ensaio curtas de 12,5 m, utilizando o transdutor de distância do mototaxímetro. A primeira coluna apresenta as medições da pista de ensaio com a utilização de batentes. A segunda coluna apresenta as medições da pista com guia em aço.

Tabela C.10: Medição das pistas de ensaio curta, com batente e com guia em aço

Medição	Critério de Rejeição			
	Pista com batente		Pista com guia em aço	
	Pulsos	Avaliação	Pulsos	Avaliação
1	284,5	rejeitado	284,0	não rejeitado
2	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
3	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
4	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
5	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
6	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
7	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
8	284,5	rejeitado	283,5	não rejeitado
9	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
10	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
11	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
12	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
13	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
14	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
15	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
16	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
17	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
18	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
19	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
20	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
21	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
22	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
23	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
24	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
25	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
26	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
27	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
28	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
29	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
30	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
31	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
32	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
33	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
34	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
35	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
36	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
37	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
38	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
39	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
40	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
41	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
42	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
43	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
44	283,5	não rejeitado	284,0	não rejeitado
45	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
46	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
47	284,0	não rejeitado	284,0	não rejeitado
48	284,0	não rejeitado	283,5	não rejeitado
49	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
50	283,5	não rejeitado	283,5	não rejeitado
Média	283,8		283,7	
Desvio Padrão	0,29		0,25	
Valor crítico ($2 \cdot \sigma$)		0,571		0,501

Apêndice D

Circuitos elétricos do DAVID

A Figura D.1a mostra o DAVID montado no invólucro de proteção. O conector de interface com o mototaxímetro é protegido. A Figura D.1b mostra as marcações para controle de versionamento durante a montagem e comissionamento do firmware. A Figura D.2 apresenta o esquema elétrico da CPU do dispositivo de verificação. A Figura D.3 apresenta a *interface* elétrica do conector de ligação com o mototaxímetro. A alimentação, comunicação serial e pulsos de desempenho utilizam a mesma *interface*. A Figura D.4 apresenta o circuito de proteção e fonte de alimentação.

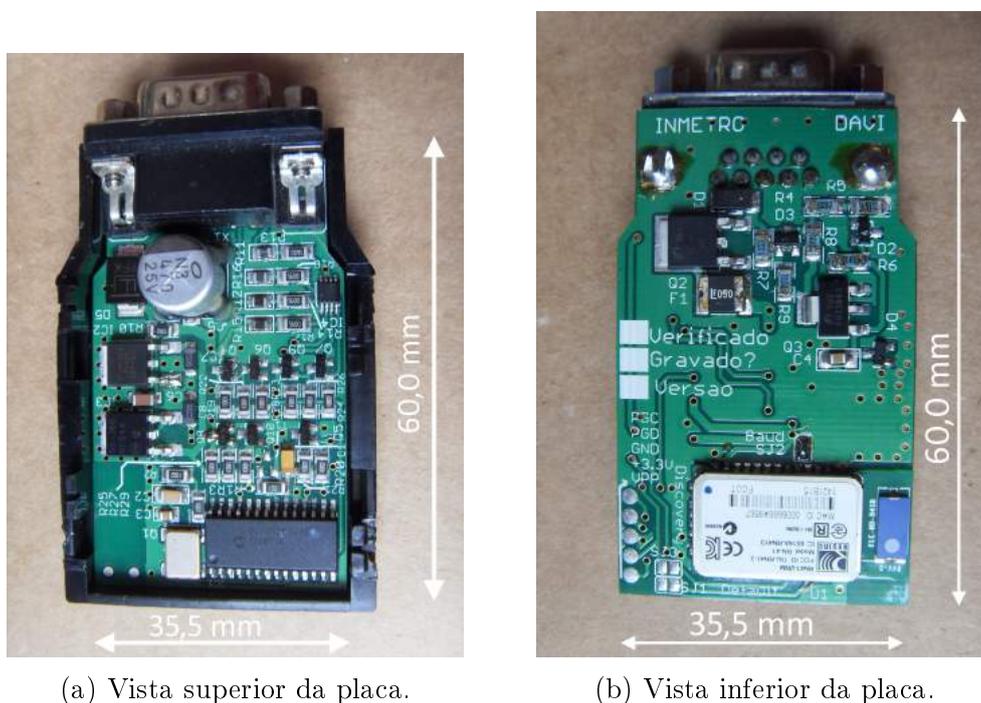


Figura D.1: Vistas do protótipo do Dispositivo Simulador (DAVID). (a) Vista com a placa no invólucro. (b) Vista com as identificações de produção.

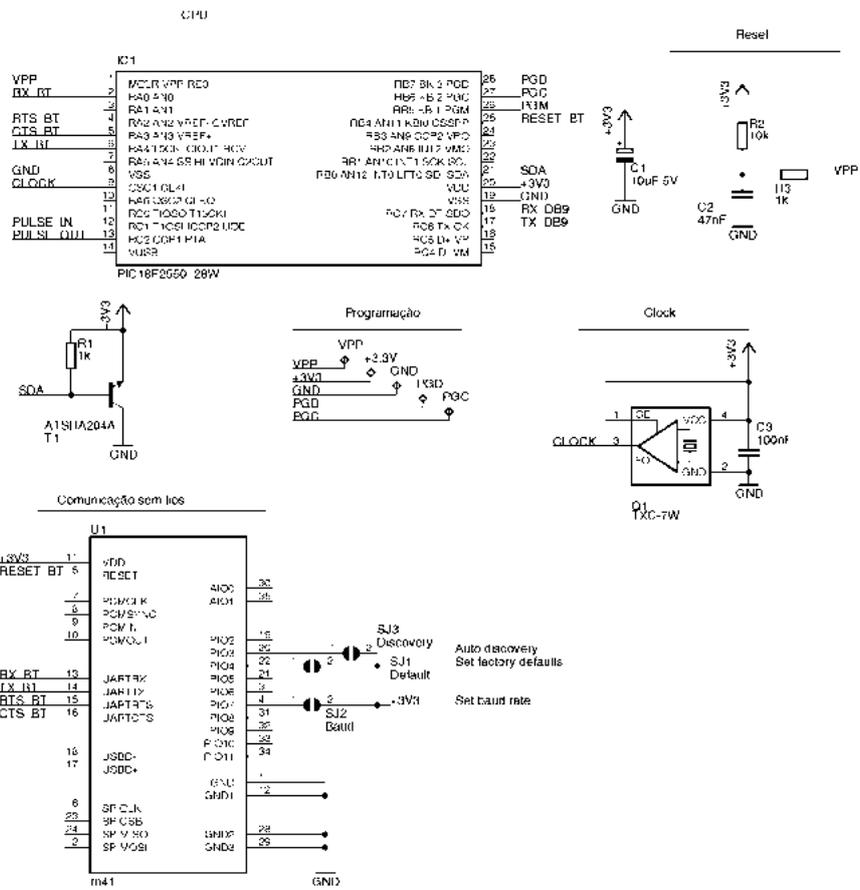


Figura D.2: Diagrama esquemático da CPU do DAVID.

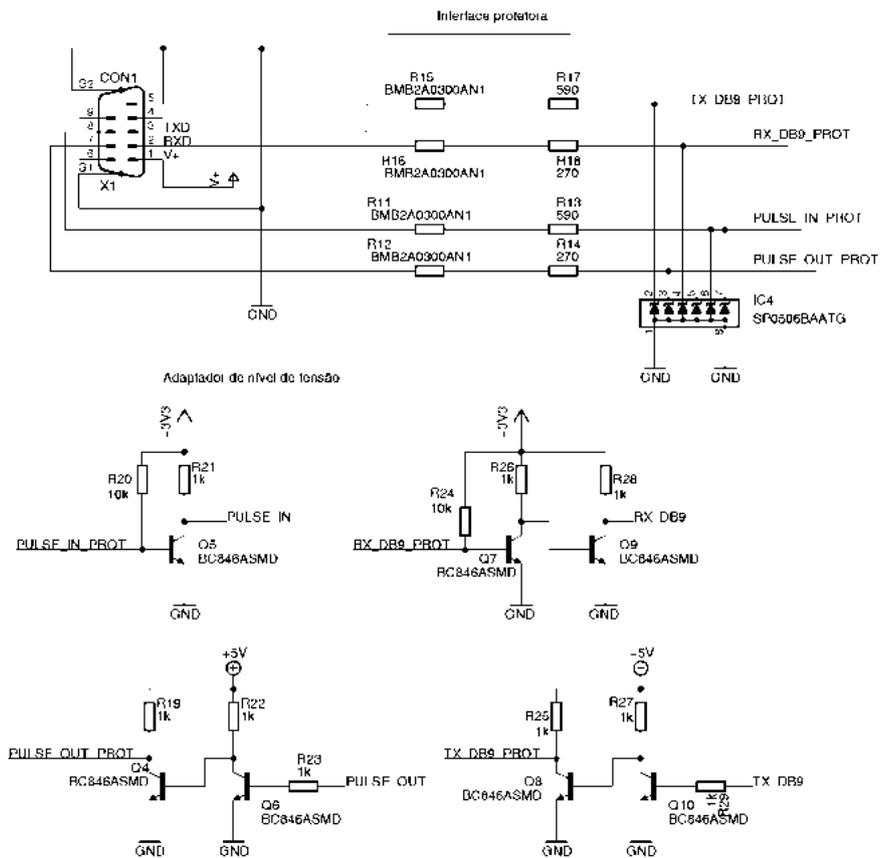
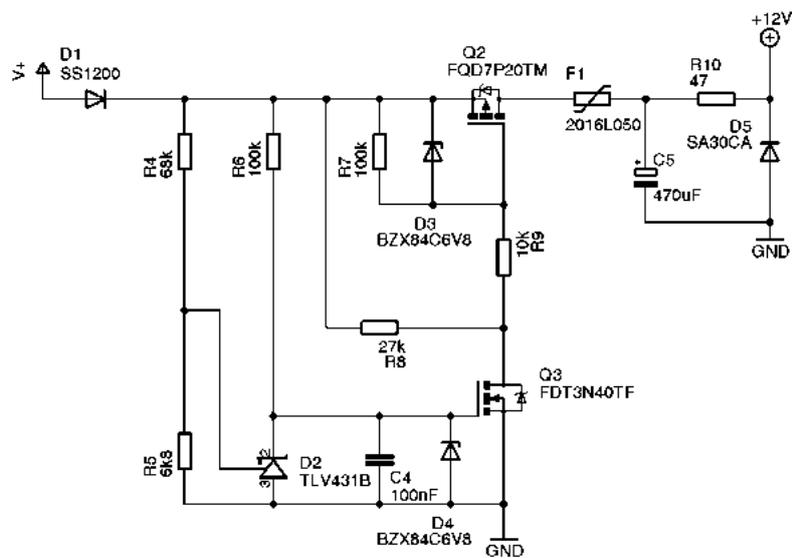


Figura D.3: Diagrama esquemático da interface de proteção EMC.



Fonte

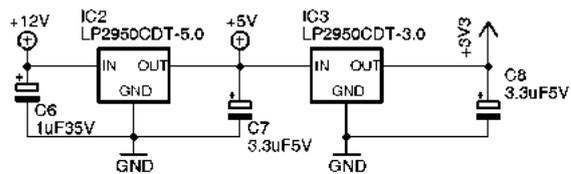


Figura D.4: Diagrama esquemático da fonte de alimentação e proteção contra *load dump*.

D.1 Suporte para gravação e depuração do microcontrolador

Os testes elétricos, gravação de programas, depuração de código e ensaios de funcionamento em sistemas embarcados dependem de conexões elétricas confiáveis entre o circuito alvo e as ferramentas de teste. Para que estes contatos sejam confiáveis utilizam-se conexões semipermanentes como terminais parafusados ou com travas mecânicas. No entanto, no projeto DAVID foi determinado que a placa de circuito impresso deve ser compacta e possuir apenas os componentes necessários para o seu funcionamento em produção, impossibilitando o uso de conectores de terminais de encaixe macho-fêmea. Uma alternativa é a cama de pregos, onde os contatos elétricos temporários são feitos através de pinos com molas (*pogo pins*). Estes pinos são pressionados sob a placa em pontos específicos pré-determinados em formato de ilha, conforme a Figura D.5. Estes pontos de conexão são responsáveis pela injeção de sinais de teste, alimentação do circuito e de gravação ou depuração do *firmware* do microcontrolador.

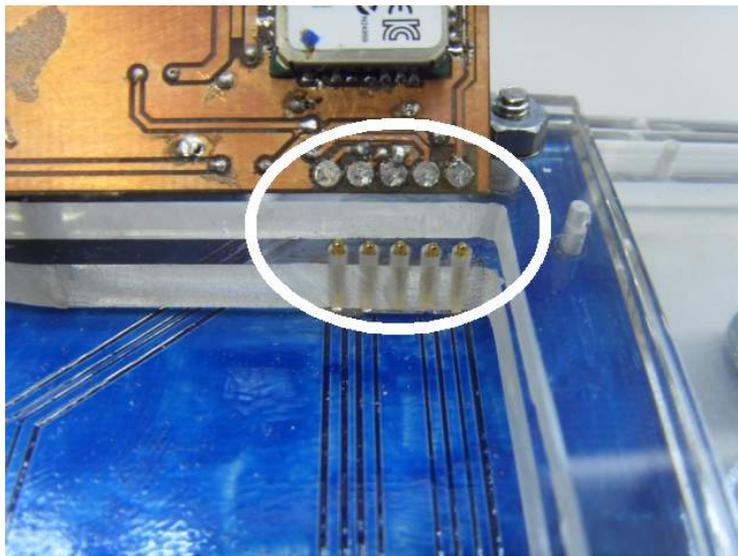
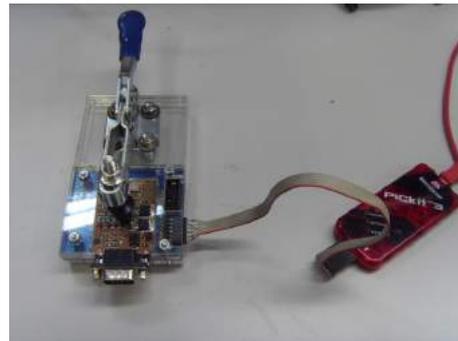


Figura D.5: Detalhe do alinhamento dos conectores.

Foi construída uma cama de pregos com conectores para dois modelos de programadores de grande aceitação no mercado e seus modelos compatíveis. Foram escolhidos os gravadores PICKIT3 (Microchip) com a interface *In-Circuit Development* (ICD) e MIKROPROG (Mikroelektronika) com o conector IBM-10 para os conectores de gravação e depuração, conforme a Figura D.6a. A placa do DAVID é posicionada e fixada de maneira inequívoca na cama de pregos para que os contatos elétricos sejam estabelecidos durante a programação na Figura D.6b.



(a) Detalhe da polarização mecânica.



(b) Cama de pregos com o programador em uso.

Figura D.6: Conexão elétrica da cama de pregos com o depurador de *firmware*. (a) Dois modelos de conexão. (b) Depurador ICD conectado.

As quatro peças da cama de pregos são feitas de acrílico. Este material é macio e fácil de trabalhar com a fresadora, e ainda assim a sua rigidez é suficiente para a construção de pequenas peças com espaçamento de até 3 milímetros. As chapas de acrílico foram dimensionadas para a construção em camadas sobrepostas. A primeira camada é a base de fixação, com 10 mm; a segunda camada é um circuito impresso que interliga os conectores ICD e IBM-10 aos pinos com molas; a terceira camada suporta os pinos com molas e a quarta camada é o polarizador mecânico para que o DAVID seja corretamente posicionado sobre os pinos. Todas as partes constituintes foram usinadas na fresadora de prototipagem rápida de circuito impresso do fabricante LPKF, conforme as dimensões das Figuras D.8 e D.9.

A fabricação automatizada com a fresadora facilitou a montagem. Todas as peças possuem furos guias fiduciais que auxiliam na montagem das camadas de acrílico e posicionamento dos pinos de contato elétrico. A montagem final da plataforma de suporte para programação e depuração, adequada para pequena produção é apresentada na Figura D.7.

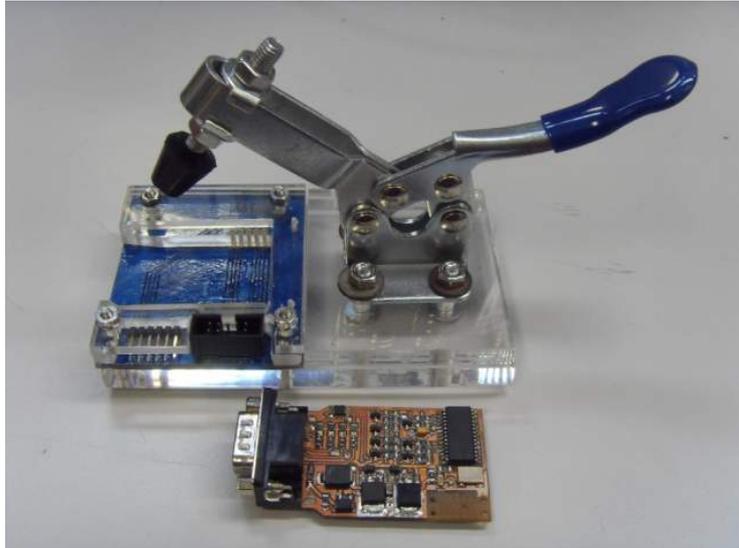
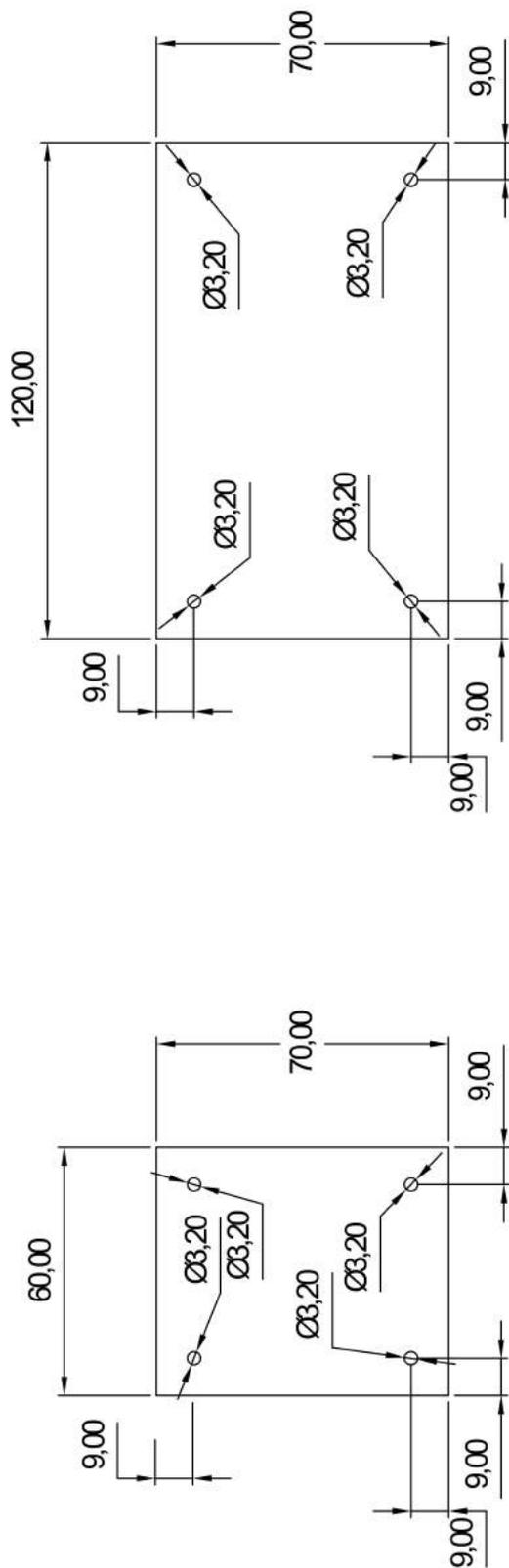
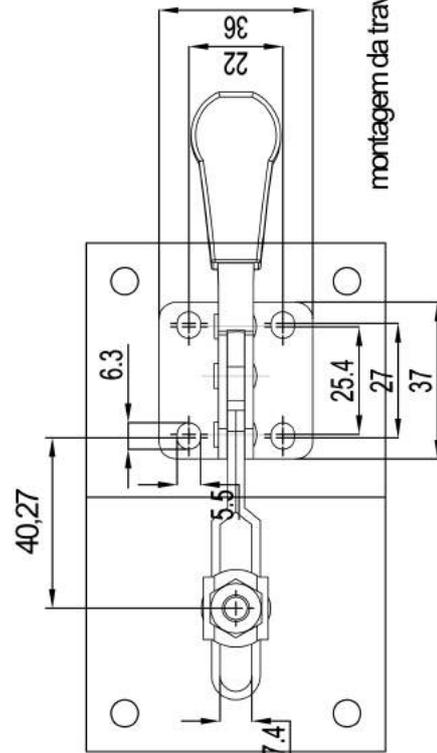


Figura D.7: Cama de pregos pronta para ensaio, ao lado do primeiro protótipo DAVID.



Chapa de Acrílico com 4 mm de espessura

Chapa de Acrílico com 10 mm de espessura



montagem da trava sobre a placa acrílica

Todas as medidas são em milímetros

CLIENTE:

Eduardo Lopes

CONTATO:

TÍTULO:

Chapas de acrílico transparente

DWG NO.:

14/01/2015

A4

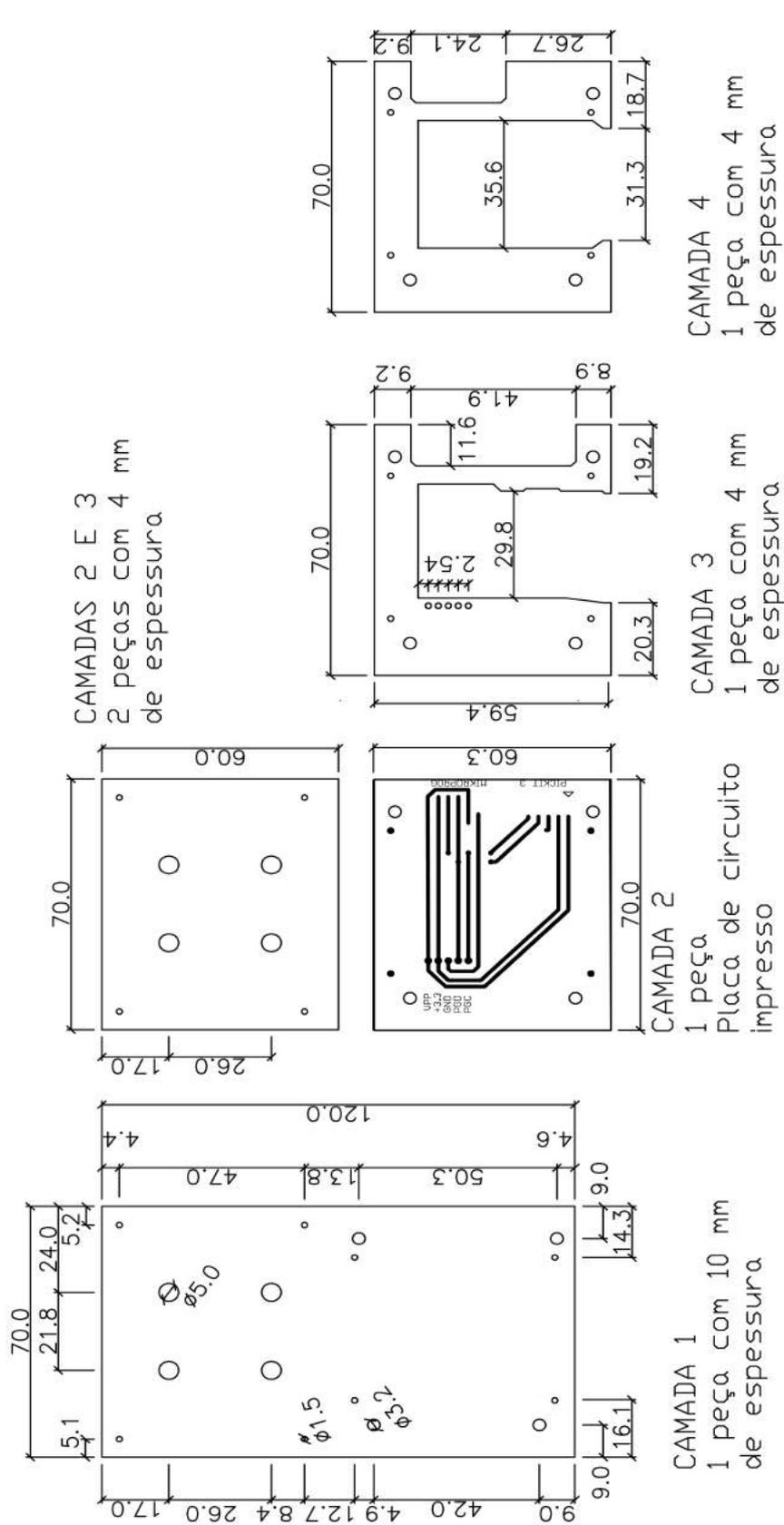


Figura D.9: Dimensões das placas de acrílico, cotas de furação e corte.

Apêndice E

Diagramas, máquinas de estado e código fonte do firmware do DAVID

Para melhorar a compreensão dos eventos e organização do trabalho, os diagramas de mensagens para cada modo de operação são agrupados neste apêndice.

E.1 Diagrama de mensagens

Os diagramas com as sequências de mensagens entre a ferramenta de verificação, o DAVID e o mototaxímetro são apresentados nas Figuras E.1 a E.6.

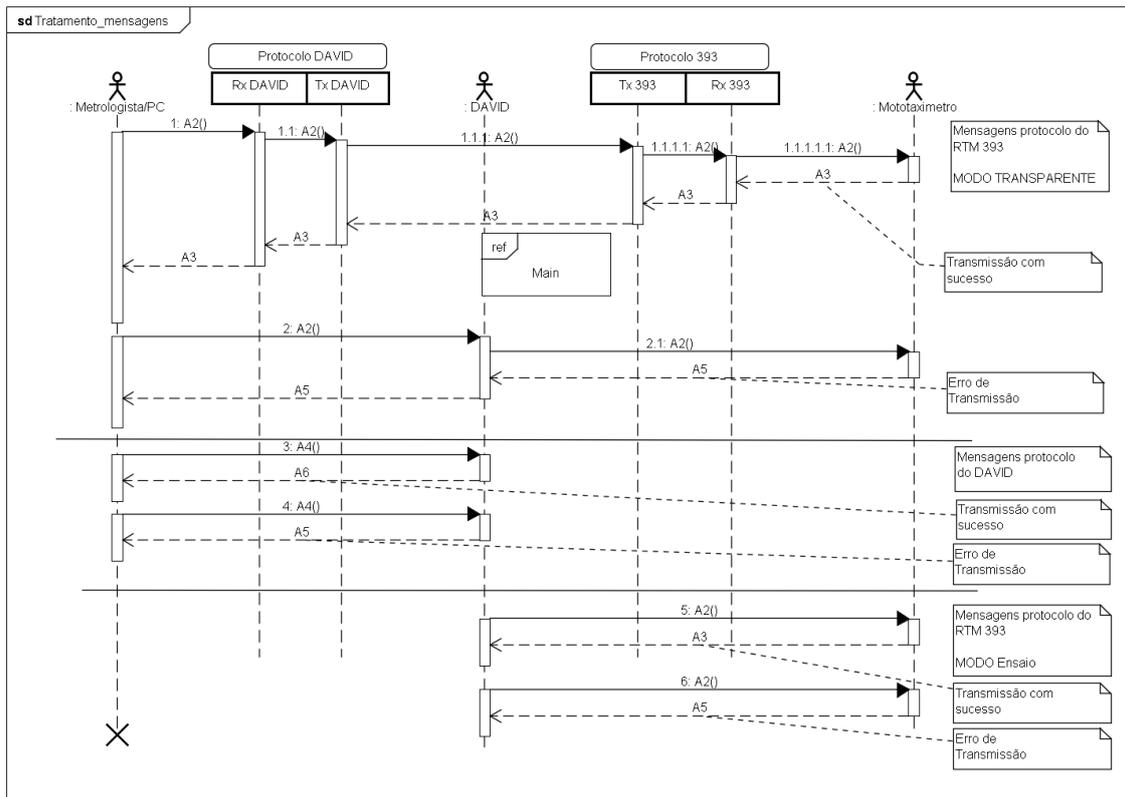


Figura E.1: Diagrama de Sequência de mensagens para tratamento das mensagens. As mensagens A2 são encaminhadas diretamente para o mototaxímetro. As mensagens A4 são interpretadas pois tratam-se de mensagens de ensaio. As mensagens de erro recebem o tratamento adequado em cada agente controlador (DAVID ou ferramenta de verificação).

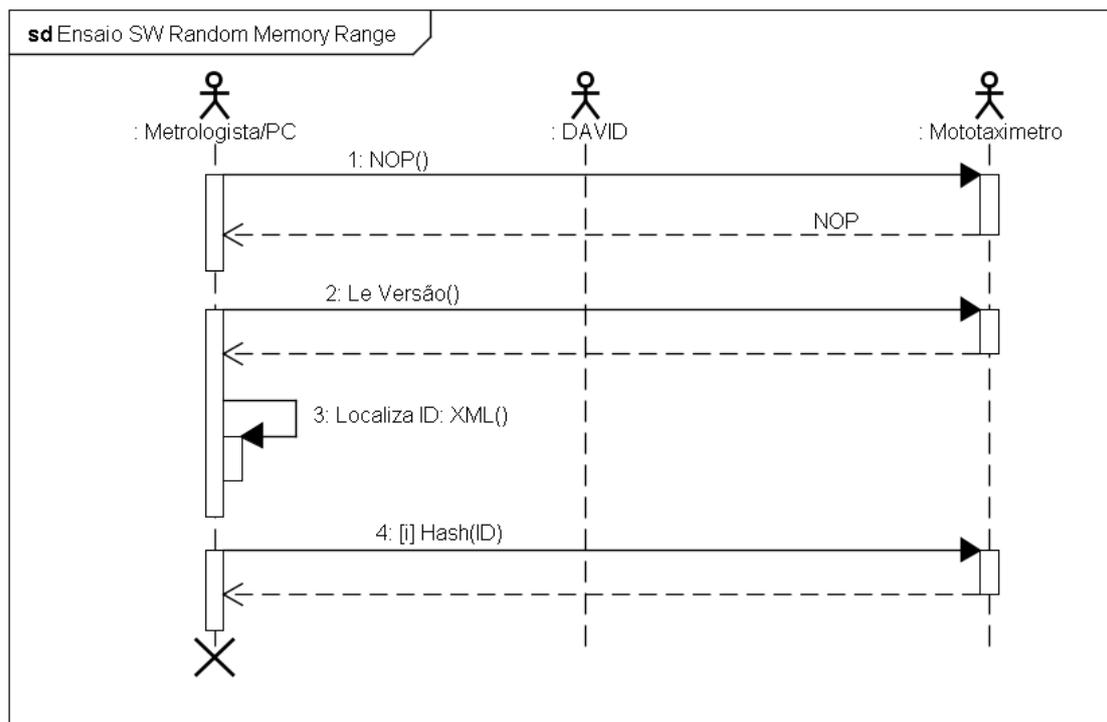


Figura E.2: Diagrama de Sequência de mensagens para ensaio de verificação de integridade de *software* com faixas aleatórias de memória. O número de faixas aleatórias é repetido *i* vezes.

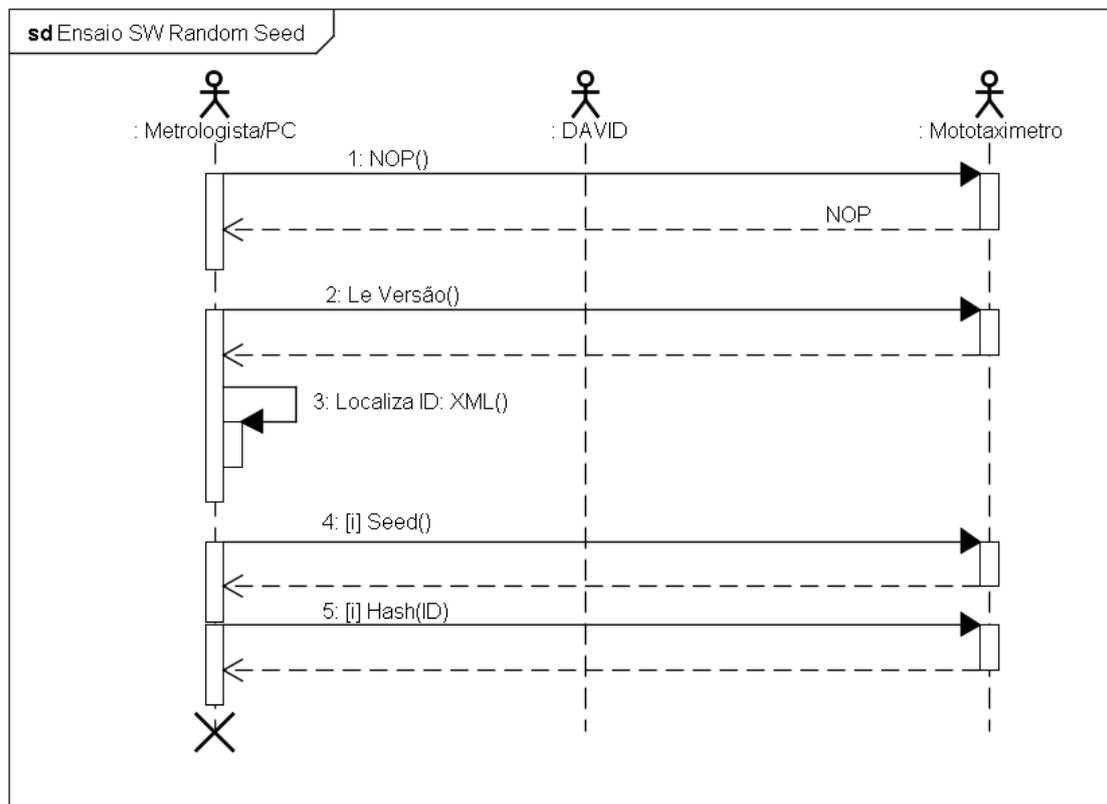


Figura E.3: Diagrama de Sequência de mensagens para ensaio de verificação de integridade de *software* com semente e memória de programa completa. O número de sementes aleatórias é repetido i vezes.

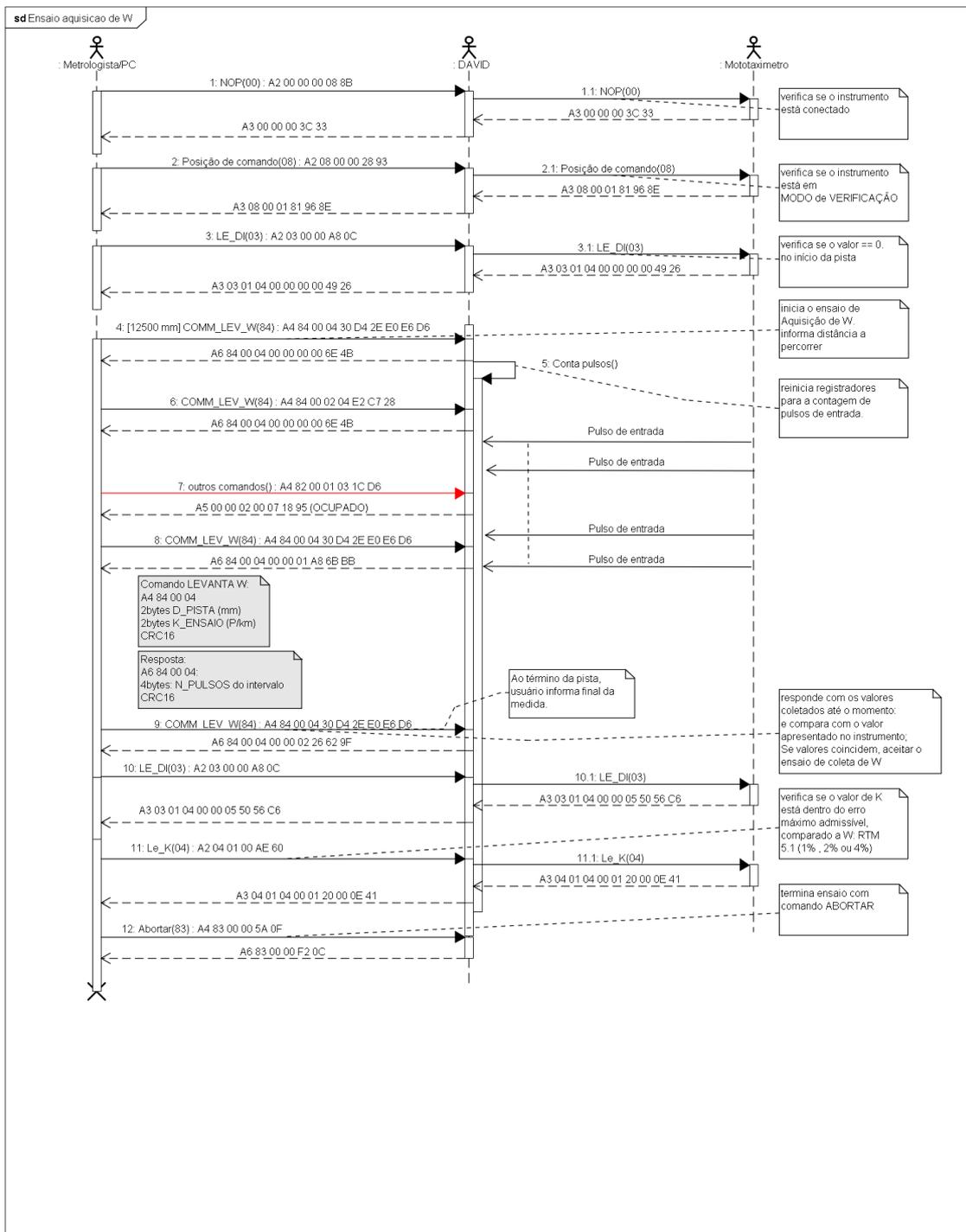


Figura E.4: Diagrama de Sequência de mensagens para aquisição do valor W da motocicleta.

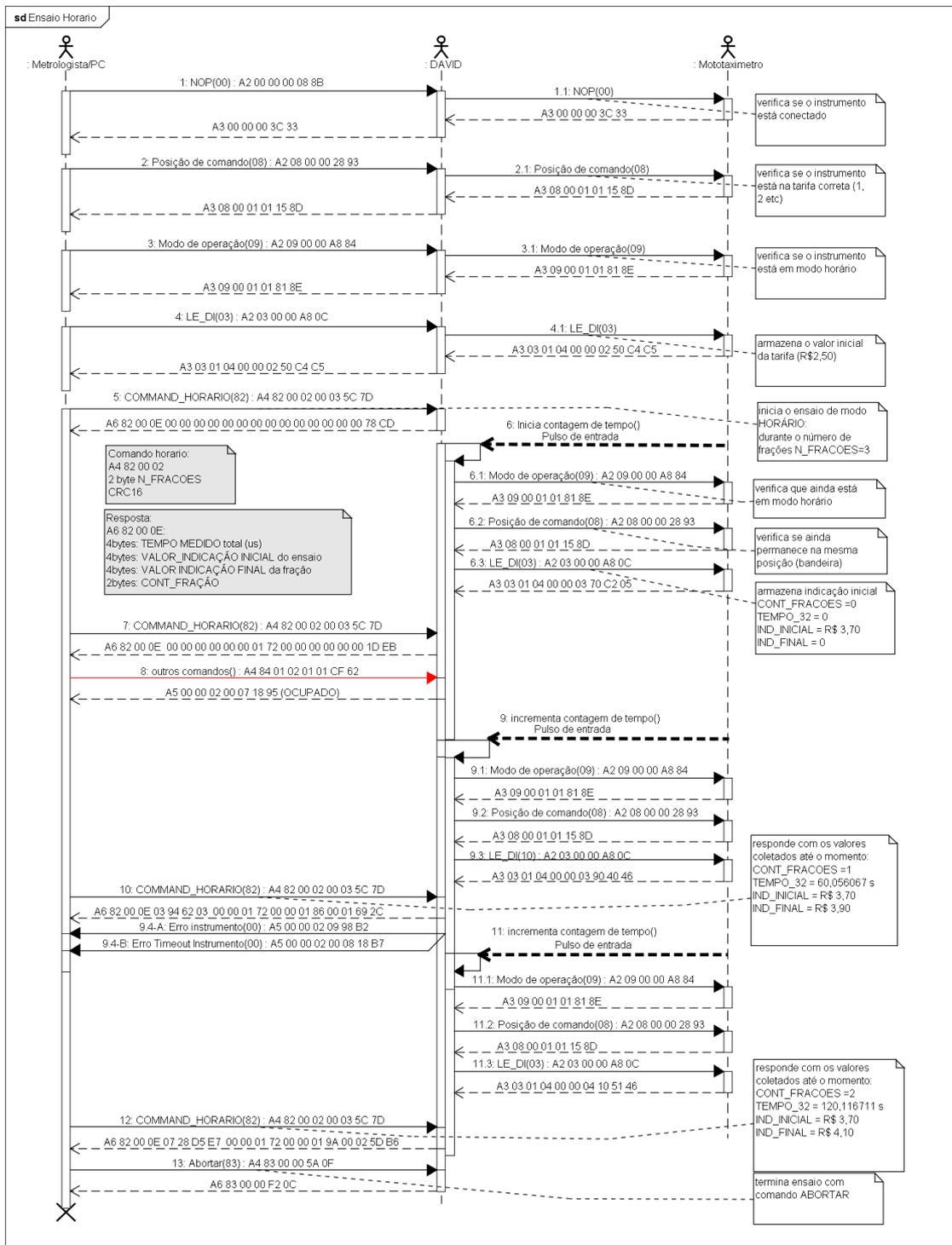


Figura E.6: Diagrama de Sequência de mensagens para ensaio de desempenho do mototaxímetro em modo horário.

E.2 Máquinas de estado

As máquinas de estado para o tratamento das mensagens nos protocolos de comunicação, controle dos ensaios e controle principal estão representados nas Figuras E.7 a E.13.

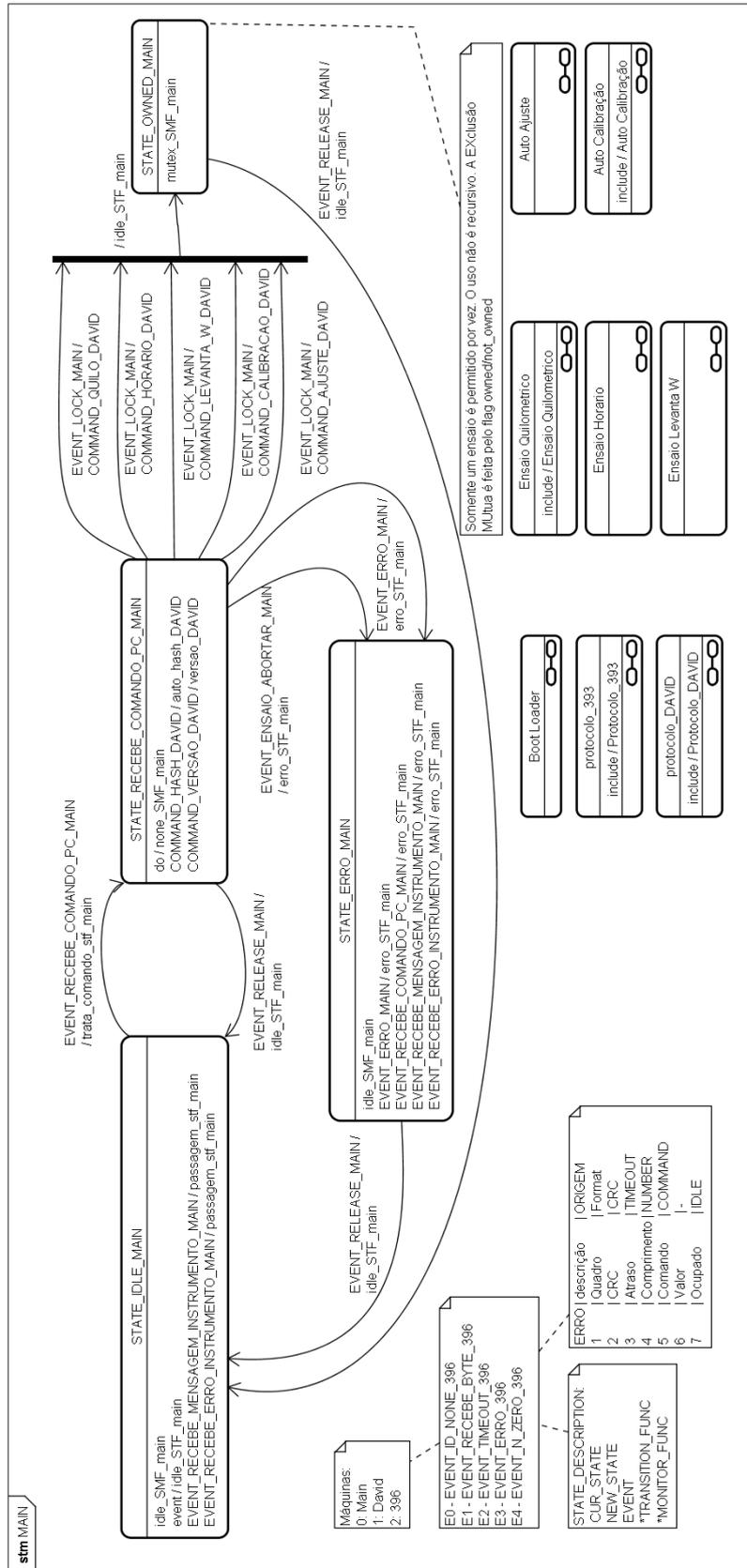


Figura E.7: Máquina de estados principal. A máquina de protocolos DAVID e a máquina de protocolos RTM393 dividem recursos do microcontrolador. Durante o ensaio as máquinas de ensaio ou calibração assumem o controle exclusivamente.

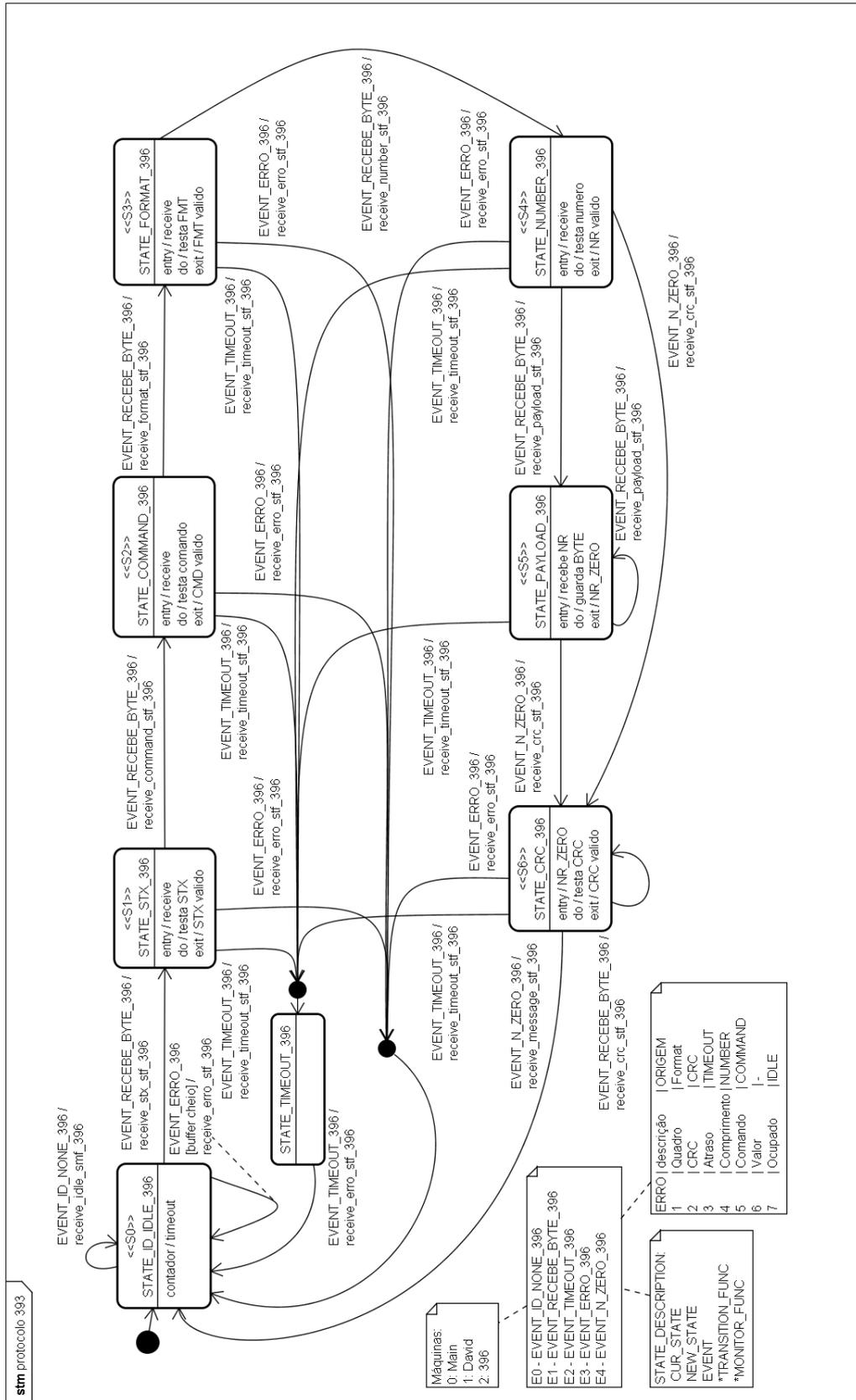


Figura E.8: Máquina de estados de controle e processamento das mensagens do protocolo de comunicação estabelecido no RTM 393 [4].

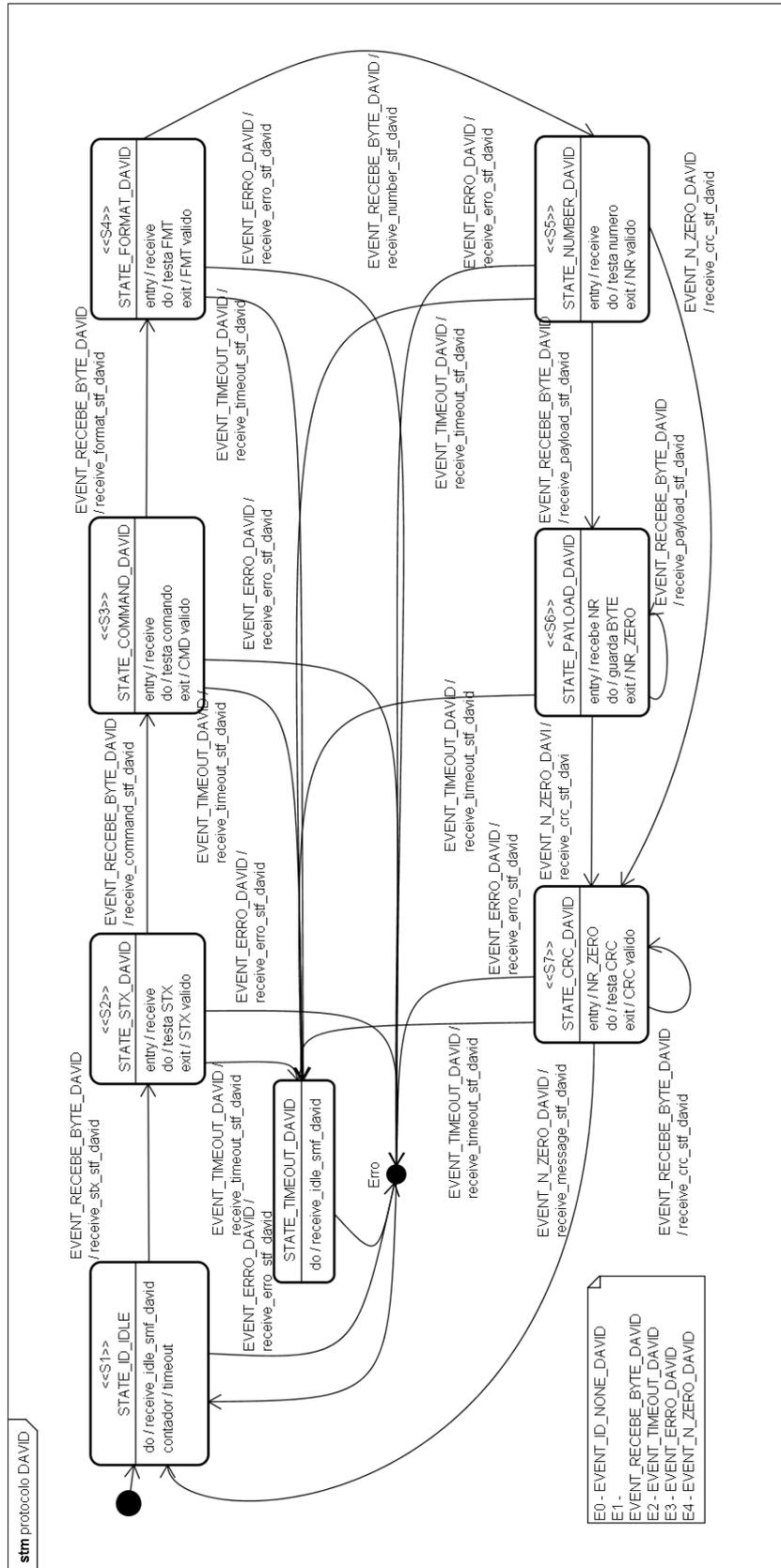


Figura E.9: Máquina de estado de controle e processamento das mensagens entre o DAVID e a ferramenta de verificação.

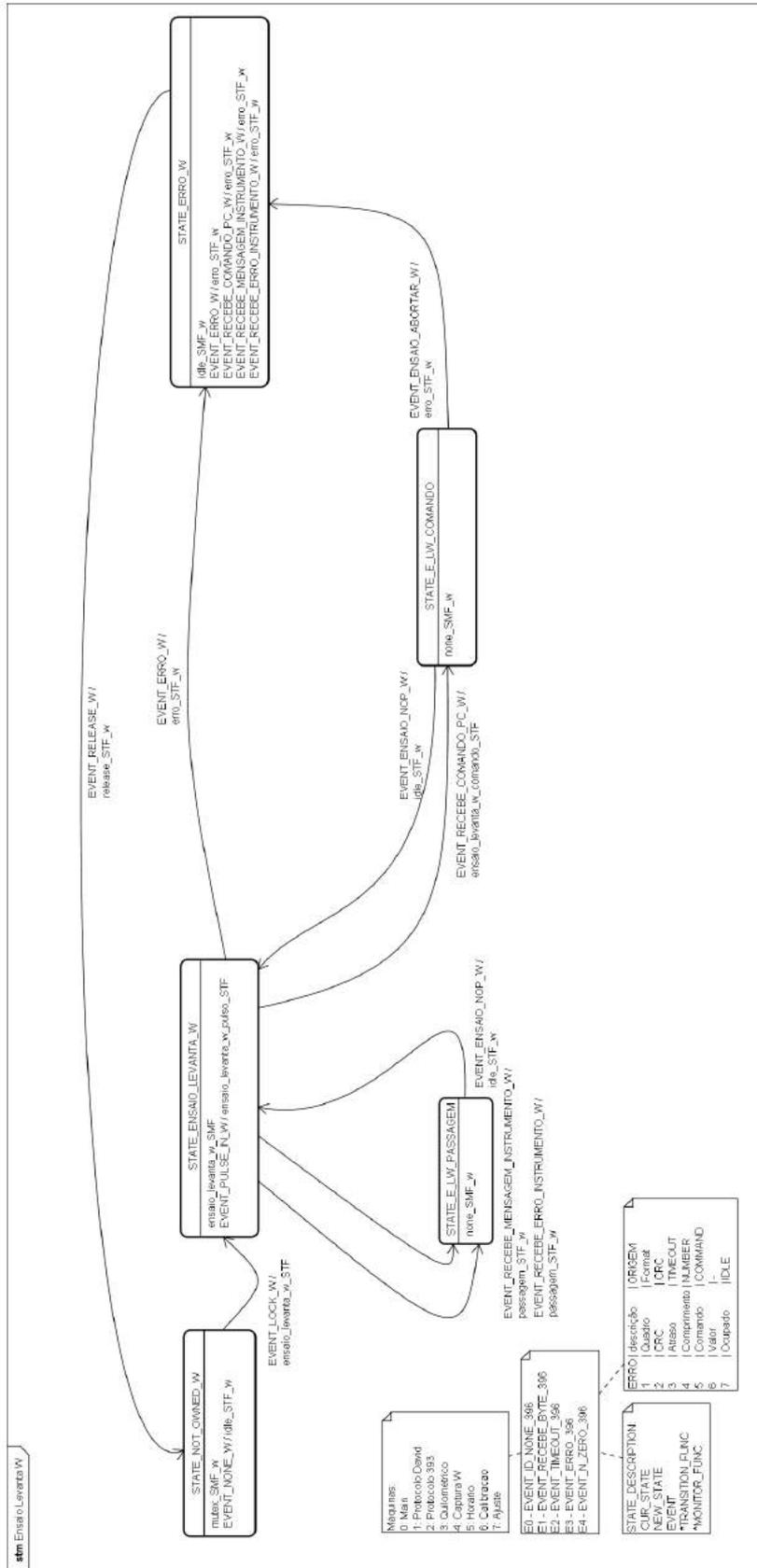


Figura E.10: Máquina de estados que controla o ensaio de levantamento do parâmetro *W* da motocicleta.

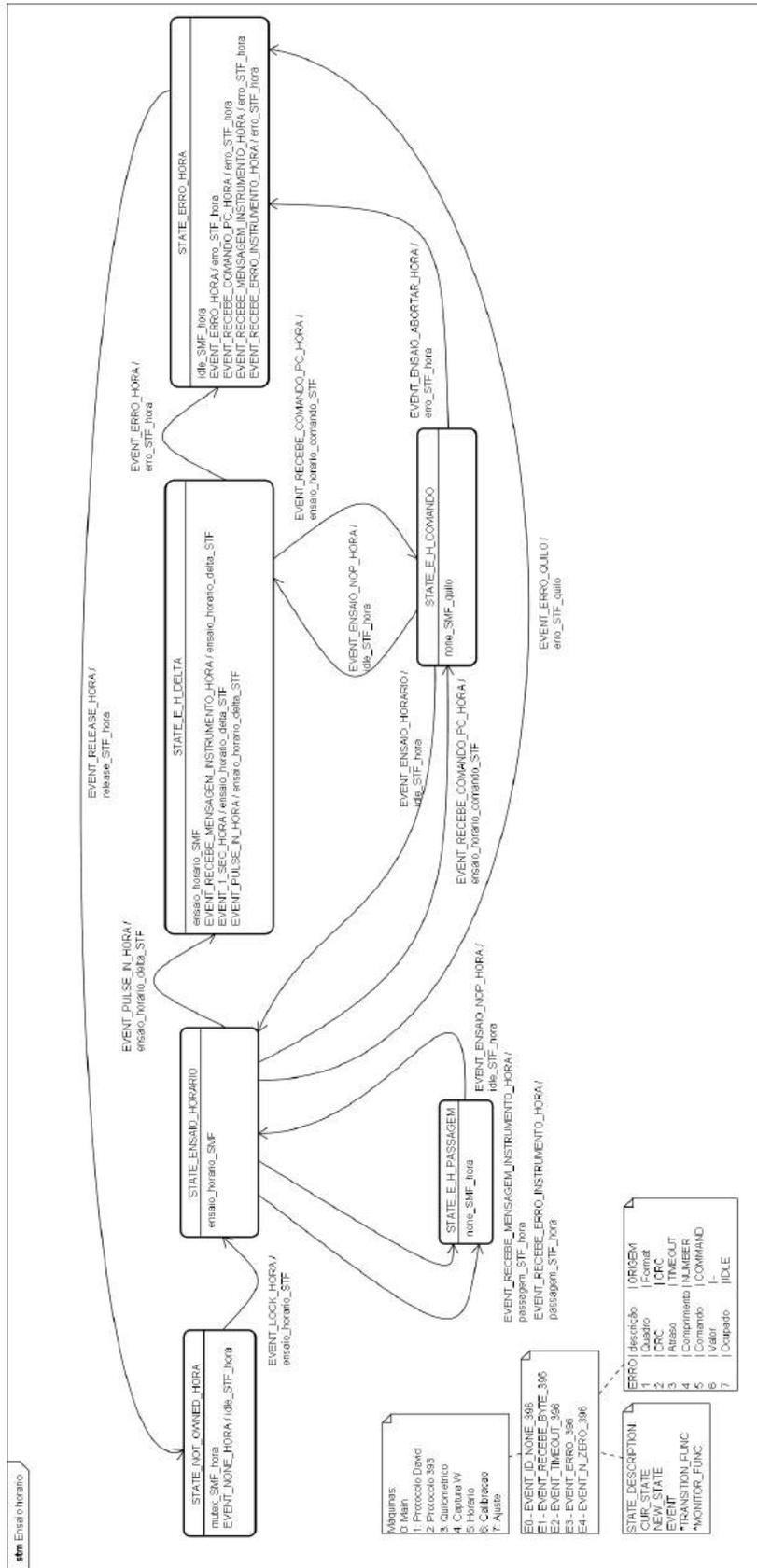


Figura E.12: Máquina de estados que controla o ensaio de desempenho no modo Horário.

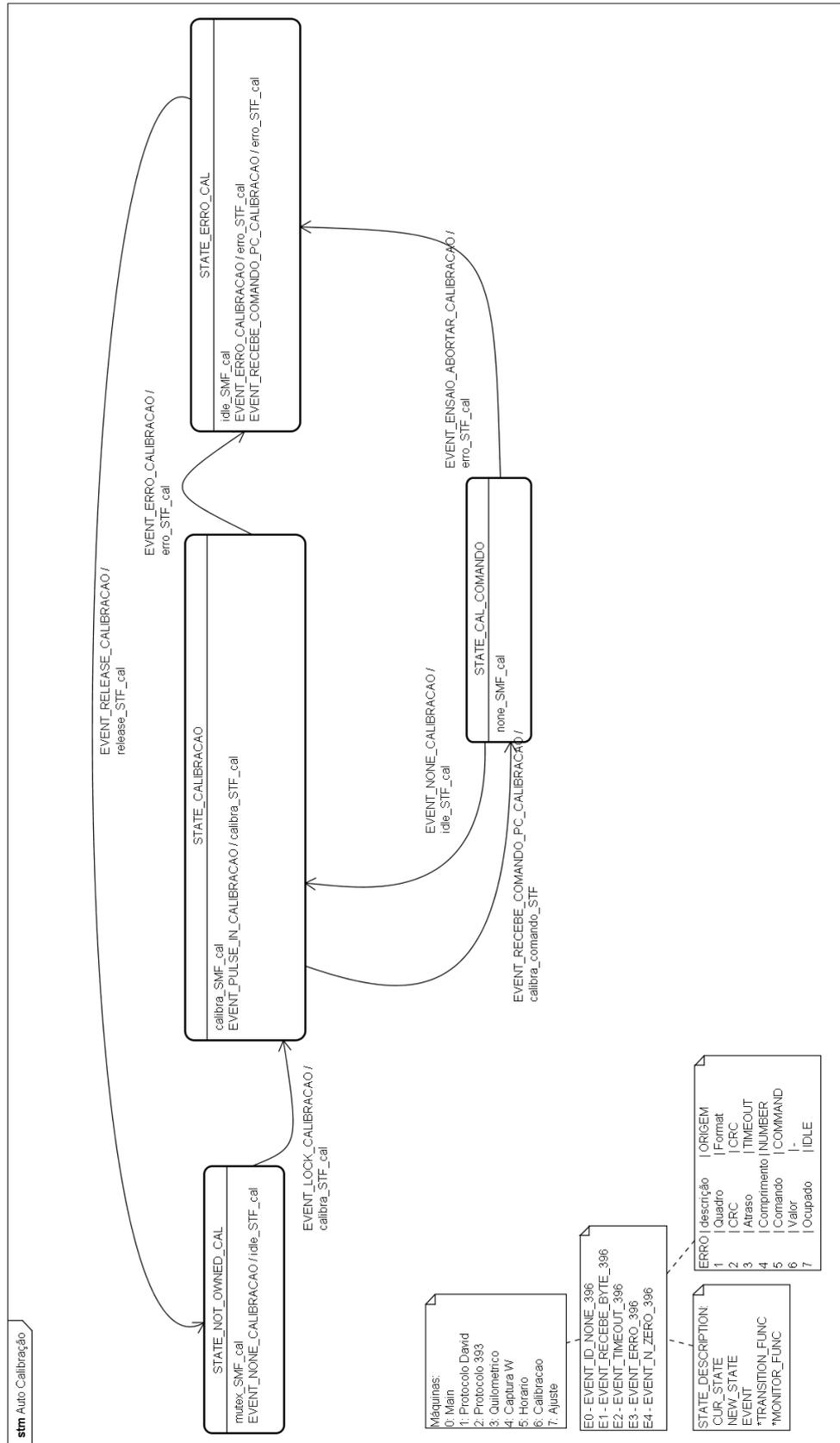


Figura E.13: Máquina de estados para calibração do DAVID. Este ensaio é realizado em laboratório em conjunto com o programa de calibração escrito em linguagem LabVIEW.

E.3 Código fonte

Os códigos fonte utilizados no dispositivo de verificação DAVID estão listados no endereço eletrônico:

`https://github.com/EduardoLSJ/DAVID`



Código-fonte E.1: Código-fonte do DAVID

E.4 Cálculo de Incerteza para calibração do DAVID

O DAVID é calibrado em seis ajustes de k , para obter pontos de calibração interpolados que atendam aos diversos valores de W das motocicletas disponíveis no mercado. Os valores de k (pulso/km) tabelados na calibração são: 12000; 20000; 32000; 40000; 50000 e 65000.

A planilha com a calibração automática do DAVID é apresentada na Figura E.14. Os dados apresentados estão reunidos em um certificado que acompanha o instrumento. O erro em frequência, para cada velocidade de ensaio está na coluna "*Correção (Hz)*" da seção "*Resultados e Declaração de Incertezas*". Esta planilha é o resultado de calibração com o DAVID sem a correção de erro sistemático.

A correção do erro sistemático é obrigatória ao primeiro uso do DAVID, como exemplo, a planilha apresentada na Figura E.15 está com a devida correção de constante de atraso D_d . A correção em Hz é praticamente desprezível, na resolução do instrumento.

	DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE VERIFICAÇÃO DE INTEGRIDADE DE SOFTWARE E DESEMPENHO (DAVID) / PADRÃO - DINST	
	Norma de origem: NIT-DINST-XXX	Folha: 01/01

Data: 28/jan/16
Técnico Executor: eduardo lopes
Patrimônio: Inmetro_001

	Início	Fim	Média
Temperatura (°C)	21.95	22.04	22.00
Umidade Rel. (%)	74.09	73.64	73.87
Horário	11:06:33	11:08:06	

Tabela de calibração (K'=12000 pulsos/km)

Frequência de ensaio (Hz)	Velocidade de ensaio (km/h)	Frequência medida 01 (Hz)	Frequência medida 02 (Hz)	Frequência medida 03 (Hz)	Frequência medida 04 (Hz)	Frequência medida 05 (Hz)
33.333333	10	33.322493	33.324561	33.324322	33.323748	33.323748
66.666667	20	66.628402	66.629346	66.629012	66.627555	66.628015
100.000000	30	99.914200	99.915218	99.910586	99.915635	99.910913
133.333333	40	133.180493	133.180491	133.180491	133.180490	133.180492
166.666667	50	166.427959	166.427959	166.427960	166.427959	166.427959
200.000000	60	199.656398	199.656398	199.656401	199.656397	199.656399
233.333333	70	232.872022	232.872023	232.872023	232.872022	232.872021
266.666667	80	266.056254	266.056255	266.056254	266.056253	266.056255
300.000000	90	299.239642	299.239642	299.239642	299.239643	299.239642
333.333333	100	332.380189	332.380189	332.380188	332.380189	332.380188
366.666667	110	365.523442	365.523443	365.523442	365.523443	365.523441
400.000000	120	398.628331	398.628332	398.628332	398.628331	398.628332
433.333333	130	431.741228	431.741232	431.741225	431.741229	431.741228
466.666667	140	464.813162	464.813162	464.813160	464.813161	464.813162
500.000000	150	497.858724	497.858724	497.858722	497.858725	497.858726

Resultados e Declaração de Incertezas

Frequência nominal (Hz)	Velocidade nominal (km/h)	Valores médios (Hz)	Valores médios (km/h)	Correção (km/h)	Correção (Hz)	Incerteza expandida (km/h)	k	Veff
33.333333	10	33.32	10.00	0.00	0.01	0.01	2.00	infinito
66.666667	20	66.63	19.99	0.01	0.04	0.01	2.00	infinito
100.000000	30	99.91	29.97	0.03	0.09	0.01	2.00	infinito
133.333333	40	133.18	39.95	0.05	0.15	0.01	2.00	infinito
166.666667	50	166.43	49.93	0.07	0.24	0.01	2.00	infinito
200.000000	60	199.66	59.90	0.10	0.34	0.01	2.00	infinito
233.333333	70	232.87	69.86	0.14	0.46	0.01	2.00	infinito
266.666667	80	266.06	79.82	0.18	0.61	0.01	2.00	infinito
300.000000	90	299.24	89.77	0.23	0.76	0.01	2.00	infinito
333.333333	100	332.38	99.71	0.29	0.95	0.01	2.00	infinito
366.666667	110	365.52	109.66	0.34	1.14	0.01	2.00	infinito
400.000000	120	398.63	119.59	0.41	1.37	0.01	2.00	infinito
433.333333	130	431.74	129.52	0.48	1.59	0.01	2.00	infinito
466.666667	140	464.81	139.44	0.56	1.85	0.01	2.00	infinito
500.000000	150	497.86	149.36	0.64	2.14	0.01	2.00	infinito

Figura E.14: Resultado de calibração automática do DAVID. Esta cópia do certificado representa os valores medidos para a constante $k = 12000$ pulsos/km.

	DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE VERIFICAÇÃO DE INTEGRIDADE DE SOFTWARE E DESEMPENHO (DAVID) / PADRÃO - DINST

Norma de origem: NIT-DINST-XXX

Folha: 01/01

Data: 04/jan/16
Técnico Executor: eduardo
Patrimônio: 2016_semTH

	Início	Fim	Média
Temperatura (°C)	250.21	250.21	250.21
Umidade Rel. (%)	190.99	190.99	190.99
Horário	13:04:11	13:05:53	

Tabela de calibração (K'=12000 pulsos/km)

Frequência de ensaio (Hz)	Velocidade de ensaio (km/h)	Frequência medida 01 (Hz)	Frequência medida 02 (Hz)	Frequência medida 03 (Hz)	Frequência medida 04 (Hz)	Frequência medida 05 (Hz)
33.333333	10	33.332643	33.332643	33.332644	33.332644	33.332643
66.666667	20	66.665731	66.665731	66.665731	66.665731	66.665731
100.000000	30	99.999932	99.999931	99.999931	99.999931	99.999931
133.333333	40	133.333242	133.333243	133.333243	133.333243	133.333243
166.666667	50	166.666553	166.666553	166.666554	166.666554	166.666554
200.000000	60	199.999865	199.999865	199.999865	199.999865	199.999865
233.333333	70	233.339398	233.339398	233.339397	233.339398	233.339398
266.666667	80	266.666487	266.666487	266.666487	266.666487	266.666487
300.000000	90	300.011798	300.011798	300.011798	300.011799	300.011799
333.333333	100	333.333109	333.333109	333.333110	333.333110	333.333110
366.666667	110	366.676199	366.676199	366.676199	366.676200	366.676199
400.000000	120	399.999732	399.999732	399.999732	399.999732	399.999731
433.333333	130	433.350378	433.350377	433.350377	433.350377	433.350376
466.666667	140	466.678798	466.678799	466.678798	466.678798	466.678797
500.000000	150	499.999662	499.999664	499.999663	499.999664	499.999665

Resultados e Declaração de Incertezas

Frequência nominal (Hz)	Velocidade nominal (km/h)	Valores médios (Hz)	Valores médios (km/h)	Correção (km/h)	Correção (Hz)	Incerteza expandida (km/h)	k	Veff
33.333333	10	33.3	10.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
66.666667	20	66.7	20.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
100.000000	30	100.0	30.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
133.333333	40	133.3	40.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
166.666667	50	166.7	50.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
200.000000	60	200.0	60.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
233.333333	70	233.3	70.00	0.00	-0.01	0.1	2.00	infinito
266.666667	80	266.7	80.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
300.000000	90	300.0	90.00	0.00	-0.01	0.1	2.00	infinito
333.333333	100	333.3	100.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
366.666667	110	366.7	110.00	0.00	-0.01	0.1	2.00	infinito
400.000000	120	400.0	120.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito
433.333333	130	433.4	130.01	-0.01	-0.02	0.1	2.00	infinito
466.666667	140	466.7	140.00	0.00	-0.01	0.1	2.00	infinito
500.000000	150	500.0	150.00	0.00	0.00	0.1	2.00	infinito

For-Dimel XXX Rev.1 - Apr. XX - Pg 01/01

Figura E.15: Resultado de calibração automática do DAVID. Esta cópia do certificado representa os valores medidos para a constante $k = 12000$ pulsos/km com a correção em D_d .