



Universidade Federal da Bahia
Escola Politécnica / Instituto de Matemática
Programa de Pós-Graduação em Mecatrônica

MURILO PLÍNIO NOGUEIRA RIBEIRO

**SENSOR DE DIREÇÃO VEICULAR SEM-FIO PARA SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO
INTELIGENTE EM AUTOMÓVEIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Salvador
2010

MURILO PLÍNIO NOGUEIRA RIBEIRO

**SENSOR DE DIREÇÃO VEICULAR SEM-FIO PARA SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO
INTELIGENTE EM AUTOMÓVEIS**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Mecatrônica, programa conjunto entre o Departamento de Engenharia Mecânica e o Departamento de Ciências da Computação, da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Mecatrônica.

Orientador: Prof. Dr. Iuri Muniz Pepe

Salvador
2010

R484 Ribeiro, Murilo Plínio Nogueira
Sensor de direção veicular sem-fio para sistemas de
iluminação inteligente em automóveis / Murilo Plínio Nogueira
Ribeiro. – Salvador, 2010.
100 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Iuri Muniz Pepe

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Escola Politécnica, 2010.

1. Sensoriamento remoto. 2. Sistemas de comunicação
sem fio. 3 Veículos a motor – Microeletrônica. I. Pepe, Iuri
Muniz. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDD.: 621.3678

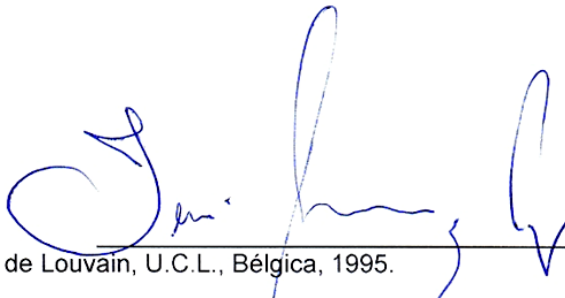
TERMO DE APROVAÇÃO

MURILO PLÍNIO NOGUEIRA RIBEIRO

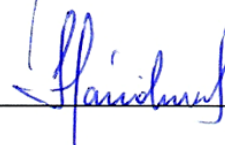
SENSOR DE ATITUDE VEICULAR SEM-FIO PARA SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE EM AUTOMÓVEIS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Iuri Muniz Pepe – Orientador
Doutor em Física Nuclear, Université Catholique de Louvain, U.C.L., Bélgica, 1995.
Universidade Federal da Bahia



Flávio Morais de Assis Silva – Examinador PPGM
Dr. Ing., Technische Universität Berlin, Alemanha, 1999.
Universidade Federal da Bahia



Thomas de Araujo Buck – Examinador Externo
Doutor em Informática, Universität Tübingen, Alemanha, 1995.
Universidade Salvador



Salvador, 10 de Dezembro de 2010

Dedico à minha filha e esposa, meus pais, irmãos e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, pela família e graça.

Agradeço aos meus pais pela educação, confiança e incentivo. Aos meus irmãos pelo carinho.

Aos tios Inêz e Carlos.

À TKS por possibilitar a conciliação entre trabalho e mestrado, pelo incentivo especial.

Ao LaPo/IF/CETAI/UFBA pelo acesso à pesquisa e suporte tecnológico. Ao seu pessoal pela competência e amizade. Aos colegas, em especial Luciano Lukacs, Luis Simões e Acbal, pelas colaborações, informações e conversas.

Ao Prof. Dr. Iuri Pepe, quem eu admiro como pesquisador, como amigo e *chefe*. Pelas palavras certas na hora certa. Pelo aprendizado e experiência. Por este título... um agradecimento especial.

Aos professores pela competência, compromisso e seriedade. Vocês fazem a excelência deste programa.

Aos colegas das atividades em sala: Ricardo, Carlos, Emerson, Evandro, Roberto, Jean, Rafael...

Aos amigos. Todos, em especial Victory e Daniel, pelo apoio quase que diário. Alexandre, Fellipe e Airton, vocês me ajudaram. Rafael Araujo pelo estímulo. Gabriel, Juliana, Eliene por estes últimos dias.

À todos que contribuíram materialmente, intelectualmente e psicologicamente para esta conquista.

“Toda nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil – e mesmo assim é a coisa mais preciosa que temos.”

Albert Einstein

RESUMO

Estudos mostram que a taxa de crescimento da demanda por sensores automotivos já é duas vezes maior que a taxa de crescimento da produção de veículo. Em 2002 o número médio de sensores instalados em um veículo era de 24, em 2007 estimava-se 40 e espera-se que em 2013 este número chegue a 70. De qualquer forma, em 2008, um veículo de luxo já possuía mais de 100 sensores instalados dando suporte aos diversos sistemas inteligentes. Um destes sistemas, lançado em 2002, é o AFS (*Adaptive Front-Lighting System*). Os AFSs são sistemas que atuam nas luzes dianteiras de veículos direcionando seu fecho de luz. O sistema verifica informações de velocidade e esterçamento das rodas e controla a distribuição e direção da iluminação de acordo com a necessidade do condutor. Assim como ocorre com outros lançamentos, há uma tendência que este produto seja lançado também como acessório, podendo ser montado fora das linhas de montagem. Entretanto, os sensores de esterçamento das rodas hoje disponíveis no mercado são específicos e instalados junto à barra de direção, dificultando tal flexibilidade. Existe uma demanda por sensores de esterçamento adaptável a diferentes veículos. Neste trabalho são aplicados conceitos de sensoriamento de referencial magnético através de micromáquinas ou sistemas microeletrônicos montados em chips (MENS - *Microelectromechanical Systems*) juntamente com tecnologia de comunicação sem-fio no desenvolvimento de um sensor automotivo de esterçamento das rodas, adaptável a qualquer veículo, sem que sejam necessárias alterações nos desenhos do interior deste ou interferir de modo impactante na produtividade ou no custo das linhas de montagem automobilística, possibilitando a instalação de AFSs como acessórios.

Palavras-chaves: *AFS, Sensor de esterçamento, Sensores Sem Fio, Detecção de Atitude Veicular, Sensor angular magnético, MENS.*

ABSTRACT

Studies show that the growth on demand for automotive sensors is more than double of vehicle production rate. In 2002 the average number of sensors installed in a vehicle was 24, in 2007 it was estimated to be 40 and it is expected that by 2013 this number will reach 70. Anyway, in 2008, a luxury car already had more than 100 sensors providing support for various intelligent systems. One of these systems, launched in 2002, is AFS (Adaptive Front-Lighting System). The AFSs are systems that operate in the vehicle headlamps directing its beam. The system checks information of speed and steering wheel and controls the distribution and direction of illumination in accordance with the driver needs. As it happens with other launches, there is a tendency that this product would be launched as an accessory, mounted out of on the assembly lines. However, the steering wheel sensors on the market today are specific and installed along the direction bar, hindering this flexibility. There is a demand for steering sensors adaptable to different vehicles. This work applies concepts of magnetic reference sensing using microelectromechanical systems (MENS) together with wireless communication in the development of an automotive steering wheels sensor. This sensor is adaptable to any vehicle and not requires changes in automobile interior design or impressive interference in productivity or cost of assembly lines, enabling the installation of AFSs as accessories.

Keywords: *AFS, steering wheel sensors, wireless sensor, Vehicle direction detection, Magnetic Angle Sensor, MENS*

SUMÁRIO

CAPITULO 1	15
INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo	23
1.2 Organização do trabalho	25
CAPÍTULO 2	26
REVISÃO.....	26
2.1 AFS – Adaptative Front Light System	34
2.2 Sistemas de apoio aos AFS	36
2.3 Como determinar deslocamento angular	38
2.4 Posição angular por campo magnético	41
2.5 Comunicação intraveicular sem fio	49
CAPÍTULO 3	55
ESTRUTURA DO SENSOR DESENVOLVIDO	55
3.1 Módulo regulador de tensão.....	55
3.2 Módulo de sensoriamento	56
3.3 Microcontrolador	63
3.4 Módulo de comunicação Wireless	68
CAPÍTULO 4	70
CALIBRAÇÃO, TESTES E MEDIDAS	70
4.1 Bancada de testes	70
4.2 Software repositório	73
4.3 Metodologia aplicada ao ensaio	77
4.4 Tratamento de dados	78
4.5 Discussão dos resultados	81
4.6 Cálculo do erro	82
CAPÍTULO 5	86
CONCLUSÕES.....	86
5.1 Contribuições deste trabalho.....	86
5.2 Recomendações para continuação	88
5.3 Considerações finais.....	90
REFERÊNCIA.....	91
Apêndice A	93

Apêndice B	98
Apêndice C.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sensores utilizados em sistemas agrupados em <i>POWERTRAIN</i>	28
Tabela 2 - Sensores utilizados em sistemas ligados à carroceria (<i>BODY</i>)	30
Tabela 3 - Sensores utilizados em sistemas ligados ao chassi	33
Tabela 4 - Comparativo entre Bluetooth, ZigBee e UWB (AKINGBEHIN, 2005).....	53
Tabela 5 - Parâmetros configurados para o ensaio.....	77
Tabela 6 – Estatística do erro médio.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Protótipo de um AFS utilizando LEDs com acionamento controlado para iluminação auxiliar lateral	21
Figura 2- Sistemas e aplicações agrupados como <i>POWERTRAIN</i>	27
Figura 3 - Sistemas e aplicações da carroceria (<i>BODY</i>)	29
Figura 4 - Sistemas e aplicações agrupados como <i>CHASSI</i>	31
Figura 5 - Demonstração da atuação de um sistema de iluminação adaptativa permitindo que o condutor visualize um ciclista em uma curva	36
Figura 6. Visão geral do sistema.....	37
Figura 7 - Sensor de posição do pedal de aceleração (BOSCH, 2009).....	39
Figura 8 – A: Disco perfurado do encoder; B: Leitura do disco por fotodiodos e a saída digitalizada representando o posicionamento; C: EXT 200 - Sensor de esterçamento por posicionamento absoluto com encoder desenvolvido pela Sensata Technologies (SENSATA TECHNOLOGIES, 2006)	40
Figura 9 - Uma voltagem V dá origem a uma corrente I na direção positiva de x . Um campo magnético B na direção positiva z deflete os portadores de carga positiva na direção negativa de y . Isto gera um potencial de Hall (V_H) e uma resistência de Hall (V_H / I) na direção de y	43
Figura 10 - Material anisotrópico e as orientações de fluxo de carga em suas células cristalográficas	45
Figura 11 - Tecnologias empregadas em sensores magnéticos e suas faixas de atuação (CARUSO et al., 1998)	46
Figura 12 - Sensor AMR de esterçamento das rodas desenvolvido pela Bourns Automotive Division (BOURNS AUTOMOTIVE DIVISION, 2009)	47
Figura 13 - Esquema da montagem em ponte de Wheatstone de um sensor AMR (HONEYWELL, 2000)	48
Figura 14. Esquema do Sensor de Atitude Veicular	55
Figura 15 – Circuito de filtro para alimentação do sensor	56
Figura 16 - Magnetização após pulso de SET e RESET. a) Magnetização aleatória; b) Magnetização após um pulso de SET; c) Magnetização após um pulso de RESET (HONEYWELL, 2000)	59
Figura 17 – Circuito sugerido por (HONEYWELL, 2000) para Set/Reset do HMC1022 usando microcontrolador	60
Figura 18 - Circuito de condicionamento e filtro do sinal fornecido pelo sensor HMC1002. (HONEYWELL, 2000) com alterações.	61
Figura 19 - Circuito condicionador de sinal utilizado com o HMC1022	61
Figura 20 - Circuito para pulso de SET e RESET	63
Figura 21 - Fluxograma do <i>firmware</i>	67
Figura 22 - Bancada de Testes: A- Volante; B- Módulo RF de Transmissão; C- Bateria para alimentação do sensor; D- Referencial visual de volta; E- Módulo RF de Recepção; F- Placa de potencia, G- Fonte de Alimentação para o circuito de atuação; H- Imã (referencial magnético); I- Motor de passo para atuação.	71
Figura 23. Software repositório. A- Interface de posicionamento angular; B- Interface mostrado os valores lidos em cada canal do sensor; C- Armazenamento dos dados; D- Configuração do ensaio...	74
Figura 24 - Área de configuração do ensaio no software repositório.....	75
Figura 25 - Software Repositório - Tela de Monitoria da Recepção e Conversão	75
Figura 26 - Software Repositório - Tela de Configuração	76
Figura 27 - Gráfico dos dados capturados no ensaio	78

Figura 28 - Gráfico do ensaio com os dados tratados	79
Figura 29 – Arco Tangente da amostra	80
Figura 30 – Comparação das medidas de ângulo em diferentes voltas.....	80
Figura 31 – Amostragem normalizada das voltas	81
Figura 32 – Ajuste polinomial para a volta 5	82
Figura 33 – Gráfico da “Volta_Média” em relação às 5 voltas	83
Figura 34 – Erro de cada volta em relação à “Volta_Média”	84
Figura 35 – Erro médio do ensaio ponto a ponto	84

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS	Anti Break System (Sistema Anti-Travamento)
AFS	Adaptative Front Ligth System (Sistema Dianteiro Adaptativo de Iluminação)
AMR	Anisotropic Magnetoresistance (Magnetoresistência Anisotrópica)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CI	Circuito integrado
ECU	Electronic Control Unit (Unidade Eletrônica de Controle)
LCD	Liquid Crystal Display (Visor de Cristal Líquido)
LED	Ligth Emite Diode (Diodo Emissor de Luz)
MENS	Microelectromechanical Systems (Micromáquinas ou sistemas microeletrônicos montados em chips)
MR	Magnetoresistance (Magnetoresistência)
PC	Personal Compute (Computador pessoal)
PIC	Programmable Intelligent Computer (Computador Inteligente Programável)
RISC	Reduced Instruction set Controller (Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções)
ROV	Remotely Operated vehicle (Veículo Operado Remotamente)
SMT	Surface Mount Technology
UFBA	Universidade Federal da Bahia

INTRODUÇÃO

O mercado automotivo é um dos mais competitivos e complexos do mundo. Além de ser influenciado por restrições ambiental, energética e de trânsito, busca equilibrar a necessidade e o desejo da sociedade com seu poder aquisitivo e, desta forma, aplica a tecnologia disponível para trazer soluções com a melhor relação custo-benefício. É um mercado faminto de novas soluções tecnológicas e isto estimula o seu constante desenvolvimento.

Antes do surgimento de consideráveis avanços no sistema de iluminação, foco desta dissertação, as primeiras soluções tecnológicas foram aplicadas no sistema de controle de combustão em motores. O desenvolvimento deste sistema foi estimulado principalmente por dois momentos de crise. O primeiro foi quando problemas ambientais resultaram em regulamentações que forçavam uma drástica redução das emissões de gases de combustão pelos automóveis e o segundo foi o embargo de óleo no início dos anos 1970, que gerou corte de combustível e legislações nos Estados Unidos, exigindo a queda do consumo de óleo (BARRON, 1996). A busca tanto por menores índices de emissões quanto por maior eficiência energética, forçada naturalmente pelo mercado, destacou os Estados Unidos no desenvolvimento de alternativas no controle da combustão em motores.

Analisando a evolução a partir destes estímulos, em 1970, o primeiro protótipo de um sistema de controle computadorizado do motor foi desenvolvido. É importante ressaltar que o primeiro microprocessador, o Intel 4004, somente foi inventado em 1971 (PATTERSON, 1997) e, então, este sistema utilizava um minicomputador que

tomava o espaço de toda a carroceria de um carro. Em 1975 este sistema foi reduzido ao tamanho de uma bateria e em 1977 para o tamanho de uma carteira de cigarros (BARRON, 1996).

Assim como a indústria automobilística foi beneficiada pelo surgimento da tecnologia em semicondutores, ela também estimulou a aplicação desta tecnologia e a criação de subsistemas específicos. Para o sistema de controle do motor, por exemplo, foram necessários sistemas de sensoriamento que fornecessem informações quanto à pressão absoluta, temperatura do ar e taxa de concentração da mistura de ar e combustível através da análise de gases da exaustão. Sem dúvida, a aplicação de sistemas eletrônicos depende, essencialmente, do desenvolvimento de subsistemas, incluindo entre eles, e com grande foco, os subsistemas capazes de converter grandezas físicas, tais como temperatura e pressão em sinais elétricos compatíveis com os sistemas de controle. Estes subsistemas são definidos como sensores (FLEMING, 2008).

O desenvolvimento destes sensores passa por diversos desafios. Sensores automotivos, por exemplo, devem satisfazer um equilíbrio entre precisão, robustez e custo. Uma tecnologia utilizada para o desenvolvimento destes dispositivos vem atendendo a estas exigências. São os MENS - *Microelectromechanical Systems* (micromáquinas ou sistemas microeletrônicos montados em chips). Esta tecnologia consegue aproveitar a economia do processo de encapsulamento com a miniaturização e integração da eletrônica inteligente montada num chip. As primeiras aplicações de MENS na criação de sensores automotivos começaram a aparecer em 1981 com os sensores de pressão para controle no motor. Em 1990 começaram a surgir os acelerômetros para detecção de colisão para os sistemas de segurança e

em torno de 2000 os sensores de taxa angular de variação inercial para os sistemas de estabilidade (FLEMING, 2001).

A conquista de requisitos restritivos através da aplicação da tecnologia MENS, tais como precisão, robustez, capacidade de fabricação, permutabilidade e custo, possibilitou grandes avanços na introdução de sistemas inteligentes nos automóveis. Fleming, em sua segunda revisão sobre sensores automotivos, publicada em 2008 (FLEMING, 2008), traz uma demonstração destes avanços quando faz uma atualização de sua primeira revisão de 2001 (FLEMING, 2001). Passados 7 anos de sua primeira revisão, este autor apresenta 21 novos tipos de sensores automotivos e 25 novas funcionalidades disponíveis em sensores automotivos. Neste artigo, 14 novas aplicações para sensores em sistemas automotivos são descritas, num total de 60 novos desenvolvimentos relacionados com sensores automotivos, em relação aos 107 descritos em sua primeira revisão.

Esta crescente demanda por sensores automotivos é analisada também sob uma ótica comercial. Numa reportagem publicada pela *Business Wire* (BUSINESS WIRE, 2007), foram noticiados resultados de um estudo realizado quanto à demanda de sensores automotivos de 2004 a 2013. Este estudo, "*Automotive Sensor Demand Forecast 2004 to 2013*", afirma que a taxa de crescimento da demanda destes sensores é mais que duas vezes maior que a taxa de crescimento da produção de veículos. No ano desta publicação, em 2007, o estudo projetava que o mercado de sensores automotivos iria alcançar \$11.2 bilhões de dólares e um crescimento anual de mais de 10%. Previu que este setor movimentaria anualmente mais de \$17 bilhões de dólares até 2013.

Independente das avaliações mercadológica e científica, diariamente pode-se observar o crescimento desta demanda através dos lançamentos de novos sistemas e aplicações inteligentes nos veículos novos. Em 2002 o número médio de sensores instalados em um veículo era de 24, em 2007 estimava-se 40 e espera-se que em 2013 este número chegue a 70. De qualquer forma, em 2008, um veículo de luxo já possuía mais de 100 sensores instalados dando suporte aos diversos sistemas inteligentes (FLEMING, 2008).

Um destes sistemas, lançado em 2002, é o AFS. Os AFS's são sistemas que atuam nas luzes dianteiras de veículos, direcionando seu fecho de luz. Em uma de suas variações, são usadas duas fontes de luz independentes: um projetor com lâmpada alógena como fecho principal orientado sempre para frente e uma fileira de LEDs posicionados estrategicamente para iluminação adaptativa lateral. O sistema verifica informações de velocidade e esterçamento das rodas e controla o acionamento gradativo destes LEDs para determinar a direção e a distribuição da luz auxiliar dependendo da necessidade do condutor.

Evidentemente, este sistema somente foi lançado após o surgimento dos sensores da atitude veicular capazes de fornecer o esterçamento das rodas a cada instante, o que conseqüentemente representa a direção instantânea do veículo e, portanto, a posição onde o condutor precisa de uma melhor iluminação.

O desenvolvimento de sensores que monitorassem o esterçamento das rodas não surgiu inicialmente para aplicações em AFSs, mas sim foi estimulado pela evolução dos sistemas de direção hidráulica. Este sistema consiste em uma bomba hidráulica que disponibiliza fluido hidráulico sob pressão para um atuador conectado ao sistema de direção mecânica do veículo. O sistema monitora o torque e a direção

da rotação gerada pelo motorista e comanda válvulas que liberam o fluido. Isso gera uma força auxiliar exigindo menos do condutor (VAUGHN et al, 1999). A busca pela eficiência de sistemas auxiliares de direção abriu caminho para a direção eletronicamente assistida. Nestes sistemas elétricos, dados do sensoriamento do esterçamento são utilizados para determinar a atuação de servo-motores diretamente no sistema de direção (VAUGHN et al, 1999). Além desta aplicação (direção assistida de um modo geral) e o AFS, outras aplicações são apontadas pelos fabricantes de sensores de esterçamento das rodas. O ESP (*Electronic Stability Program*), ou Programa de Estabilidade Eletrônica, cruza dados de sensores que indicam a atitude veicular e a intenção do condutor, acionando os freios e corrigindo a trajetória do veículo quando necessário. Este sistema necessita também ter dados de esterçamento das rodas (BOSCH, 2009).

Outra aplicação também apontada por estes fabricantes é o *drive-by-wire* (conduzir por fios). O *drive-by-wire* pretende substituir sistemas mecânicos, como a barra de direção, por sensores e atuadores elétricos. Esta filosofia de acionamento já é usada na maioria dos veículos brasileiros no pedal do acelerador, que, através de um potenciômetro, envia informações de aceleração desejada para o sistema de injeção eletrônica sem a necessidade do antigo “cabo de acelerador”. É uma tendência tecnológica e deve começar a ser usada também no controle da direção, substituindo a barra de direção.

Diversos métodos de sensoriamento podem ser utilizados neste tipo de tecnologia. Em U.S. Pat. No. 5275250 (JACQUES et al, 1994) foi registrada a idéia de se utilizarem potenciômetros ligados à barra de direção para traduzir a movimentação em sinal elétrico. Já em U.S. Pat. No. 5314036 (SHINJI et al, 1994),

os autores registram a idéia de se utilizarem bobinas ao longo da cremalheira para realizar um sensoriamento magnético da movimentação angular. Em U.S. Pat. No. 5380367 (VAUGHN et al, 1999) é defendido o uso de um ímã circular conectado à engrenagem da barra de direção com pólos alternados.

Diversas soluções são encontradas atualmente no mercado aplicando estes e outros princípios, alguns destes são abordados nesta dissertação. O sensor angular de posição absoluta das rodas série EXT200, fabricado pela *First Technology* e distribuído pela Sensata Technologies (SENSATA TECHNOLOGIES, 2006), utiliza *encoder* incremental para determinar o deslocamento angular. O LWS5 e o LWS6, fabricados e comercializados pela BOSCH (BOSCH, 2009), utilizam princípios magnéticos para tal finalidade. O primeiro utiliza efeito Hall e o segundo, magnetorresistência.

Independente do princípio físico, os modelos encontrados no mercado foram todos desenvolvidos para serem montados durante a fabricação do veículo. Muitos destes exigem estruturas de acoplamento e fixação específicas, previstas no projeto do veículo. Nenhum deles pode ser facilmente instalado ou utilizado como um acessório em veículos mais antigos.

Essa necessidade foi apontada em (LUKACS, 2009). Nesta tese de doutorado em engenharia industrial, Lukacs apresenta uma solução viável (técnica e economicamente) para implementar o AFS em caminhões pesados. Além de discutir o impacto e os benefícios deste item de segurança, três pontos são levados em consideração e analisados: o produto, a integração dos seus componentes, a aplicação do sistema e sua aceitação pelo critério do motorista. Dentre os estudos

desenvolvidos para tal finalidade, no capítulo 5, Lukacs descreve o desenvolvimento de um protótipo (Figura 1) de seu AFS.



Figura 1 - Protótipo de um AFS utilizando LEDs com acionamento controlado para iluminação auxiliar lateral

Lukacs, nesta etapa de validação, necessitou de um sensor que fosse instalado num veículo, como um acessório, para alimentar seu sistema proprietário. Concluiu-se que, dentre os sensores desta natureza disponíveis no mercado, nenhum deles pôde ser facilmente instalado ou utilizado como um acessório em diferentes veículos.

Essa carência, o cenário atrativo de desenvolvimento de sensores automotivos, as diversas possibilidades trazidas por sensores MENS e a possibilidade de os sistemas AFS surgirem como um acessório para veículos já consolidados, estimularam o desenvolvimento de um sensor veicular. Esta idéia foi apresentada como um artigo publicado em 2008 (RIBEIRO et al., 2008). O desenvolvimento deste sensor, abrangendo bases físicas, conteúdo tecnológico e a continuidade do desenvolvimento científico e técnico do dispositivo, está mais bem detalhado nesta dissertação.

Neste trabalho são descritos as metodologias de projeto, os testes e os resultados do desenvolvimento de um sensor de esterçamento das rodas de um veículo automotivo, utilizando um MENS para sensoriamento da posição relativa de um referencial magnético fixo, puntiforme.

Um dos desafios foi desenvolver um sensor que não interferisse de modo impactante na produtividade ou no custo das linhas de montagem automobilísticas. Isso quer dizer que este acessório não deve interferir nos projetos já consolidados da direção ou suspensão do veículo. Possíveis alterações nestes projetos representam elevados custos, o que poderia inviabilizar a implantação do sistema de iluminação de apoio. Outro desafio é torná-lo um item de fácil montagem, evitando interferência no tempo de produção, no ferramental utilizado ou na capacitação de operários. Um último desafio é possibilitar que este sensor seja adaptável em qualquer veículo, o que possibilita a comercialização deste sistema como acessório para veículos já vendidos.

Uma alternativa para superar estes desafios é encapsular este sensor e levá-lo para o interior do volante do veículo. Para isso, torna-se necessário utilizar um sensoriamento desprovido de partes mecânicas e transmitir a informação por tecnologia sem fio.

A introdução da comunicação sem fio intraveicular é uma tendência. Hoje, mais de 80% das inovações desenvolvidas para veículos têm por base sistemas eletrônicos cada vez mais presentes e exigindo cada vez mais fiação conectando-os (LEEN et al., 2001). A cada dia que passa, esta rede se torna cada vez mais complexa e pesada, já são mais de 1000 metros de cabos no interior do veículo (NIU et al., 2007). É inevitável imaginar que, em algum momento desta evolução

contínua, a tecnologia de comunicação sem-fio seja essencial. Na realidade atual, trocar esta rede de fios por uma rede sem-fio já eliminaria mais de 50 kg de peso no veículo (TONGUZ et al., 2006), sem falar no tempo poupado na linha de montagem durante a organização de toda esta fiação e no impacto no custo final de produção.

Assim, foi assumido como segundo desafio deste trabalho o desenvolvimento de um sensor de direção para veículos, que aliasse a determinação de posição por campo magnético, com a transmissão dos dados de medição por um sistema sem fio.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sensor de esterçamento das rodas de um veículo que possa fornecer dados para atuação do sistema AFS. Este sensor deve enviar os dados lidos via comunicação sem fio e deve ser de fácil montagem, podendo ser comercializado como acessório no pós-venda de veículos ou montados durante a fabricação sem interferir de modo impactante na produtividade ou no custo das linhas de montagem automobilísticas.

Este trabalho não teve como objetivo detalhar outros sistemas de apoio ou que compõem o AFS, como, por exemplo, outros sensores, protocolos de comunicação intraveicular, sistemas de atuação (motor ou por fila de LEDs) e unidades de controle eletrônico (ECU).

São objetivos específicos deste trabalho:

- Selecionar um princípio de sensoriamento angular aplicável ao monitoramento do giro do volante e conseqüentemente o esterçamento das rodas;

- Definir um componente com este princípio de sensoriamento disponível no mercado de aquisição fácil;
- Desenvolver uma plataforma mecânica capaz de simular o deslocamento angular de um volante;
- Desenvolver uma plataforma eletrônica embarcada capaz de converter as informações lidas em dados e transmiti-los por comunicação sem fio para processamento em um computador;
- Desenvolver uma plataforma de software para validação e registro dos dados lidos;
- Testar e concluir quanto à repetibilidade e confiabilidade do sistema de leitura da posição angular do volante.

Para tanto, um volante real do veículo Ford, modelo Ka, foi montado numa estrutura que permite o deslocamento angular livre, com o volante movimentado por um motor de passo controlado por computador. O sistema embarcado incorpora dois sensores magnéticos analógicos concêntricos, montados a 90° um do outro, que fornecem um sinal radial a partir de um referencial magnético. Este referencial é criado utilizando-se uma haste com um ímã posicionado no plano dos sensores. Um microcontrolador dotado de conversor analógico/digital de 10 bits recebe, através de circuitos de amplificação e filtro, as informações dos sensores. Estas informações são convertidas, encapsuladas e enviadas para um módulo de transmissão por rádio frequência através de comunicação RS232. Outro módulo receptor é responsável por converter tais informações novamente para RS232 compatível com uma porta serial COM do computador (PC). O software controla o motor de passo através da

porta paralela do PC e aguarda o sinal enviado pelo sensor. Desta forma faz-se a validação de funcionamento e testes de repetibilidade e confiabilidade da solução aqui apresentada.

1.2 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado em 5 capítulos, que cobrem a análise do problema, a fundamentação teórica relacionada, o sistema proposto, o protótipo desenvolvido, as tecnologias utilizadas, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

No capítulo 2, todo o levantamento da fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento deste sistema é desenvolvido. Os fenômenos físicos para sensoriamento são estudados e classificados.

O capítulo 3 apresenta a estrutura do sensor proposto dividindo-a em módulos.

O capítulo 4 discute os métodos utilizados para comprovar o funcionamento das diferentes partes do sistema.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões, as contribuições deste trabalho e recomendações a trabalhos futuros.

REVISÃO

Desde o momento em que sistemas eletrônicos foram associados a sistemas mecânicos, atendendo a uma necessidade de controle cada vez mais preciso e complexo, o sensoriamento de grandezas físicas vem recebendo atenção diferenciada. A cada dia surgem novas grandezas a serem monitoradas ou novos desafios e exigências quanto à qualidade deste sensoriamento. Historicamente esta evolução, com os resultados e aplicações intraveiculares, começa na década de 80, com o surgimento dos MENS. Pela alta escala de integração e pela qualidade dos dispositivos, estes sensores atingiram altos níveis de precisão e confiabilidade, a ponto de serem inseridos em automóveis.

Segundo (FLEMING, 2001), os sensores automotivos estão aplicados em três grandes grupos de sistemas: na etapa de força (*powertrain*), no chassi e na carroceria (*body*).

As aplicações pertinentes à etapa de força (*powertrain*) estão relacionadas ao controle energético, dirigibilidade e desempenho. São sistemas ligados diretamente ao motor, transmissão e diagnóstico. Um esquema simplificado deste agrupamento pode ser visto na Figura 2.

FUNÇÕES DE CONTROLE DA ETAPA DE FORÇA (POWERTRAIN)

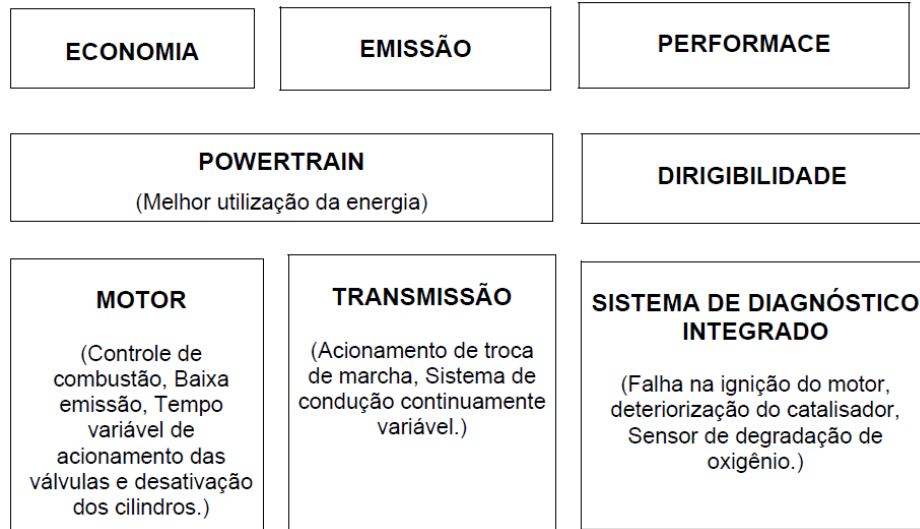


Figura 2- Sistemas e aplicações agrupados como *POWERTRAIN*

Nos motores estão os sistemas responsáveis pelo controle de combustão e emissão, tempo variável de acionamento das válvulas e ativação/desativação de cilindros. Relacionados à transmissão estão sistemas de controle e acionamento da troca de marcha, controle de sistemas de transmissão continuamente variável, entre outros. Quanto ao desempenho e dirigibilidade, estão os sistemas de diagnóstico que avaliam a deterioração do catalisador, degradação do sensor de O₂, sensores de níveis de fluidos, pressão e qualidade do óleo, etc. Estes e outros exemplos podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Sensores utilizados em sistemas agrupados em *POWERTRAIN*

FUNÇÃO	SENSOR DA ETAPA DE FORÇA
SEGURANÇA	
Cilindro	Pressão Combustão – Corrente de íons do gás
Coletor	Pressão; Temperatura
Turbo Boost	Pressão Temperatura
Detonador	Vibração Combustão – Corrente de íons do gás
Entrada de Ar	Fluxo de massa e fluxo reverso Volume da taxa de fluxo
Motor de Torque	Magnetoestrictivos Combustão induzida Modulação da velocidade do virabrequim
Razão da mistura ar-combustível	Oxigênio nos gases de escape: Estequiometria a frio Quente, <i>Fast Light-Off</i> Quente, amplo intervalo Combustão – Corrente de íons do gás
EGR	Pressão Posição da Válvula
Virabrequim	Movimento de Rotação
Comando de válvulas	Movimento de Rotação
Pedal do Acelerador	Posição angular
Injeção de combustível	Pressão
DIAGNÓSTICO DO MOTOR	
Falha de Ignição do Motor	Estatísticas do ângulo da manivela em execução Combustão – Corrente de íons do gás
Exaustor/Catalisador	Temperatura Atividade catalítica
Óleo do Motor	Pressão Nível Qualidade (ou contaminação) Preditiva Constante dielétrica Voltamograma cíclico Condutividade térmica
Sistema de Refrigeração	Temperatura Nível
Tanque/Sistema de Combustível	Nível Pressão de perda por vaporização Composição flexível
TRANSMISSÃO	
Automática, e/ou Continuamente Variável	Posição da marcha Entrada/Saída velocidades do eixo Temperatura Pressão Torque

No grupo carroceria (*BODY*), como pode ser visto no esquema simplificado na Figura 3, agrupam-se todos os sistemas que normalmente estão relacionados às necessidades dos ocupantes. Vão desde sua segurança e acesso às informações ao seu conforto e conveniência.

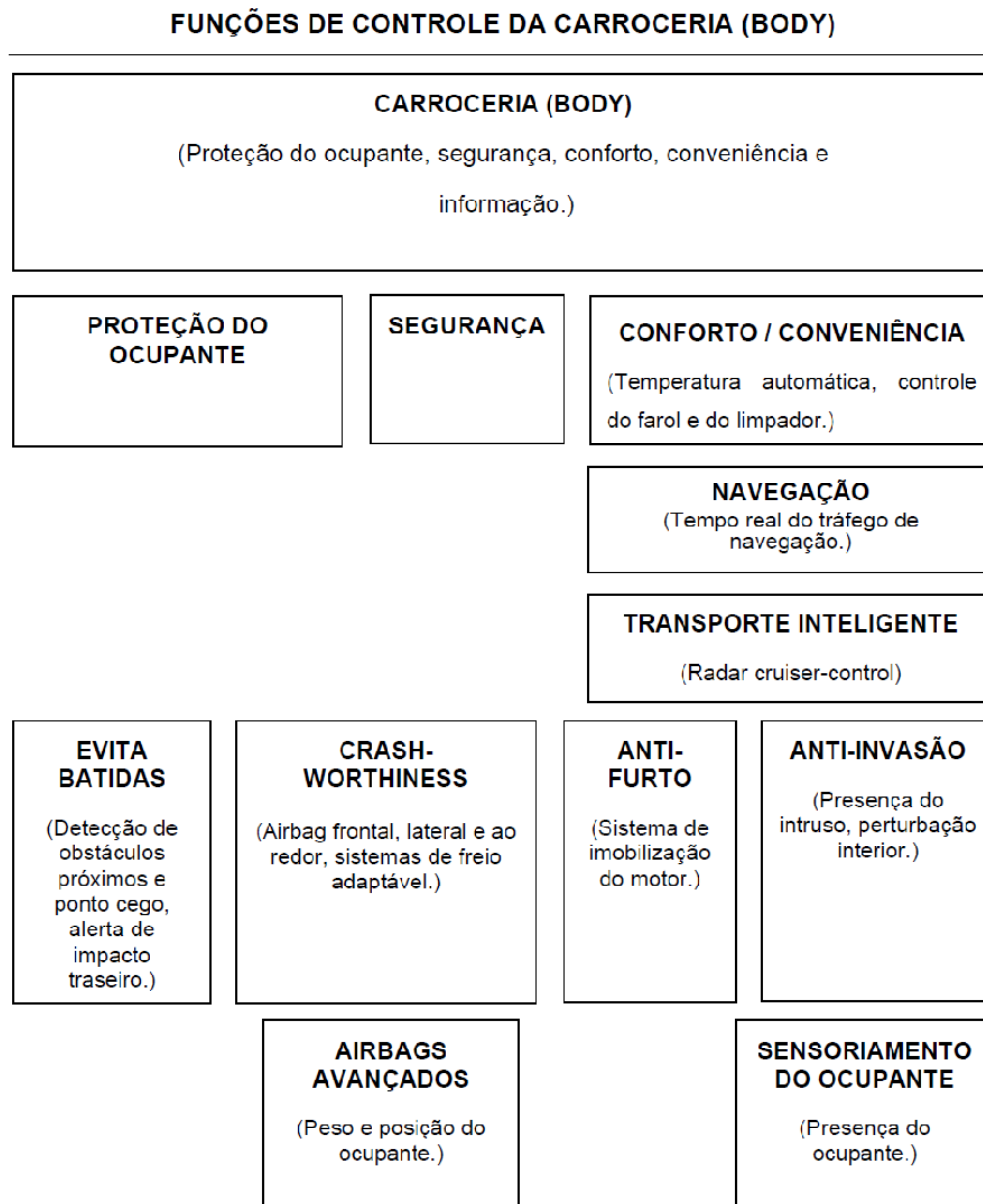


Figura 3 - Sistemas e aplicações da carroceria (*BODY*)

Dentre os exemplos mostrados na Tabela 2 estão sensores aplicados nos sistemas de *AirBag*, de travamento do cinto de segurança, GPS, ar condicionado digital, sistema antifurto, etc.

Tabela 2 - Sensores utilizados em sistemas ligados à carroceria (*BODY*)

FUNÇÃO	SENSOR DA CARROCERIA
SEGURANÇA	
Atuação do <i>AirBag</i>	Desaceleração de Colisão Capotamento do veículo (aceleração lateral somado à taxa de giro) Status da fivela do cinto de segurança Pressão (Impacto lateral)
Travamento do Cinto de Segurança	Desaceleração do veículo <i>Webbin Payout Velocity</i>
Ocupação do Acento	Ocupação por pressão na bolsa; Ocupação por carga/deflexão
Presença de Ocupante/ Posicionamento pré-colisão	Detecção passiva por imagem em infravermelho Detecção por ultra som Visão de máquina
Estacionamento/Ré assistida	Sensores ultra-sônicos em linha Radar por largura de feixe amplo
Vigilância do Ponto Cego	Radar por largura de feixe amplo Linha de laser multi-feixe infravermelho
Saída de Faixa	Visão de máquina
Visão Noturna	Mapeamento passivo com infravermelho Iluminação ativa de proximidade por infravermelho
TRANSPORTE INTELIGENTE	
Controle Adaptativo de Velocidade de Cruzeiro	Radar de onda milimétrica Radar por Laser Infravermelho
Orientação da Pista Lateral	Visão de máquina Magnetômetros
Comportamental	Condição do condutor/ Falhas do condutor
NAVEGAÇÃO	
Posição Absoluta	Posicionamento Global
Navegação Autônoma	Movimentação do Volante (velocidade zero) Taxa de guinada do veículo (alta resolução)
COMFORTO E CONVENIENCIA	
Conveniência	Escurecimento automático dos espelhos Crepuscular Acendimento automático dos faróis Pressão nos bancos/Força
Clima	Temperatura; Radiação Solar; Humidade Concentração de CO, NOx, CH4 Chuva/neblina/nevoeiro
Controle do Compressor A/C	Pressão, Temperatura
SEGURAÇA	
Anti-Furto	Inclinação do veículo
Anti-Intrusão	Vibração Detecção de movimentação interior por ultra-som

O grupo CHASSI conecta elementos de segurança e condução do veículo. Seus sistemas envolvem elementos de suspensão, freio, estabilidade e direcionamento das rodas. A Figura 4 mostra um esquema simplificado deste agrupamento.

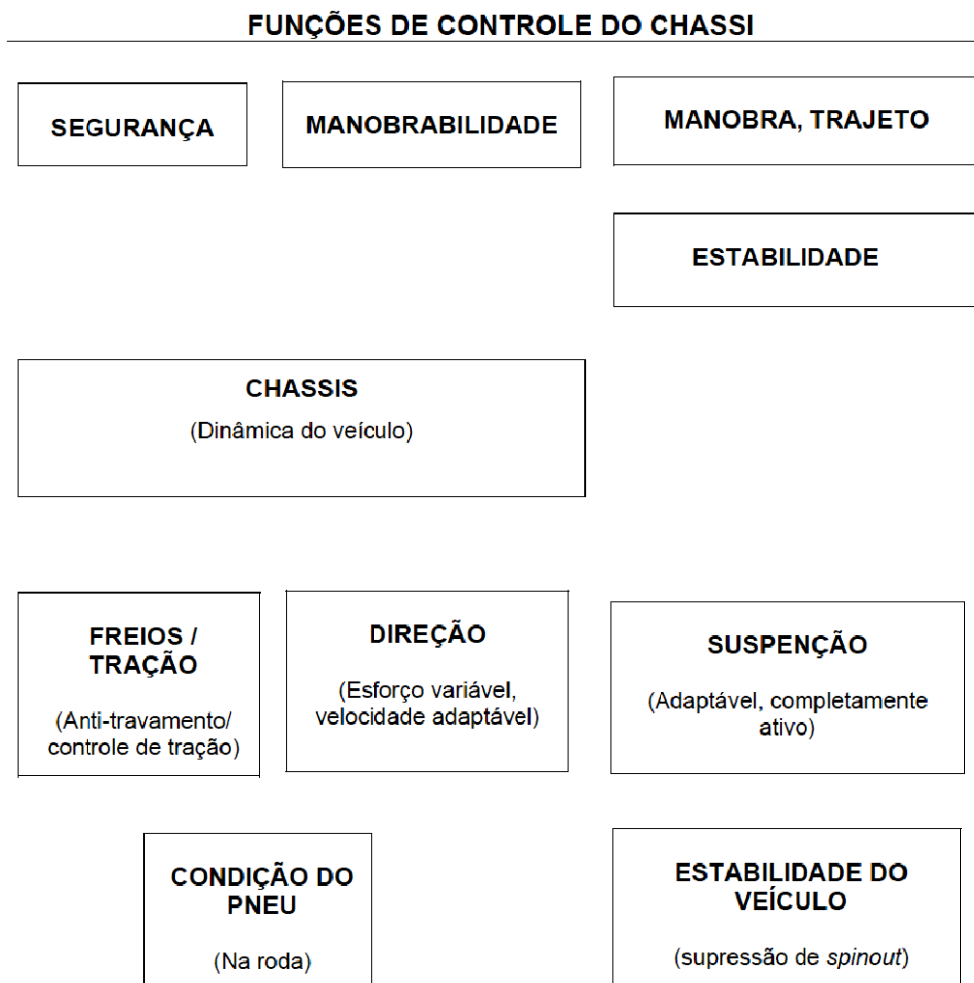


Figura 4 - Sistemas e aplicações agrupados como CHASSI

Para este grupo alguns exemplos são apresentados na Tabela 3, dentre eles estão os sistemas anti-travamento das rodas (ABS), controle de tração, esterçamento das rodas (direção eletro-hidráulica), suspensão ativa, pressão e temperatura dos pneus.

Tabela 3 - Sensores utilizados em sistemas ligados ao chassi

FUNÇÃO	SENSOR DO CHASSI
VEÍCULO	
Estabilidade do veículo	Velocidade da roda Velocidade lateral Velocidade de guinada Esterçamento do ângulo das rodas
Suspensão ativa	Deslocamento do suporte Elevação do chassi Aceleração: - Vertical - Lateral - Longitudinal Velocidade angular de guinada Velocidade angular de rotação Pressão hidráulica do suporte Esterçamento do ângulo das rodas
Pressão do pneu	Variação roda-a-roda de velocidade de rotação Sensor na roda, sem-fio
Temperatura do pneu	Sensor na roda, sem-fio
FREIO	
Sistema de freio	Pressão
Anti-travamento de freio ABS Brake-By-Wire	Velocidade da roda Pressão Aceleração lateral Força exercida no pedal/Ângulo de depressão
DIREÇÃO	
Direção Elétrica Steering/Steer-By-Wire	Esterçamento angular das rodas Torque de esterçamento das rodas
Esterçamento das 4 rodas	Ângulo de esterçamento da roda traseira Esterçamento do ângulo das rodas

O sensor proposto nesta dissertação pertence a este agrupamento e está classificado como um sensor de esterçamento angular das rodas (*Steering Wheel Angle*). Apesar da função aqui proposta (sensoriar o esterçamento angular das rodas com o objetivo de direcionar a iluminação frontal) não estar entre as apresentadas na

Tabela 3, tal função está fortemente ligada à segurança e condução do veículo, termos que definem o grupo CHASSI.

Esta classificação de sensores, realizada por Fleming em 2001 (FLEMING, 2001) não apresentou os AFS's. Considerando que o sensor aqui proposto tem como função prover tais sistemas de informações quanto ao esterçamento das rodas. A seguir, são apresentadas informações sobre estes sistemas.

2.1 AFS – Adaptative Front Light System

Desde 1899, quando um candelabro à vela, utilizado em carroças, foi instalado num Panhard¹, os sistemas de iluminação veicular vêm sofrendo avanços tecnológicos (PERKONS, 2010). Obedecendo à disponibilidade de tecnologia de cada época, os faróis passaram por diversas evoluções até que, em 2001, surgiram os primeiro faróis com LEDs. Sua aplicação, segundo (NEUMANN, 2006), foi estimulada pela possibilidade de estilizar lanternas, mas outras características fazem dos LEDs uma tendência para tal aplicação. Os LEDs possuem acendimento quase instantâneo, alta luminescência e alto desempenho, consumindo até sete vezes menos que as lâmpadas alógenas. Outra novidade surgiu em 2002 com a introdução dos AFSs.

Os AFSs são sistemas que atuam nas luzes dianteiras de veículos direcionando seu fecho de luz em função das condições de condução, otimizando a visibilidade e melhorando o conforto da condução. Dentre diversos fabricantes destes sistemas, a VALEO, multinacional que fabrica, comercializa e monta componentes automotivos, possui cinco adaptações de iluminação frontal:

¹ *Panhard* é considerada a marca mais antiga de automóveis de todo o mundo. Os primeiros *Panhard*s apareceram por volta de 1890 como *Panhard & Levassor-Fahrze g* (*BEST CARS WEBSITE, 2010*).

- Luminosidade nas curvas – Utiliza dados dos sensores de esterçamento das rodas com dados do sensor de velocidade para direcionar o fecho de luz nas curvas melhorando em até 90% a visibilidade do condutor (Figura 5).
- Luminosidade na autoestrada – Utilizando o sensor de velocidade, eleva ou abaixa o fecho de luz permitindo uma iluminação mais distante quando acima de 80 km/h.
- Luminosidade de mau tempo – Durante chuva ou nevoeiro adapta a luz de forma a evitar o efeito clarão.
- Luminosidade em cidade – Quando em zona urbana, aumenta a largura do fecho e regula sua intensidade de forma a melhorar visibilidade em cruzamentos.
- Luminosidade no alto – Com acionamento manual, direciona a iluminação para o alto permitindo visualizar sinalizações a uma distância maior, de forma a prevenir decisões de última hora. Desliga-se automaticamente.



Figura 5 - Demonstração da atuação de um sistema de iluminação adaptativa permitindo que o condutor visualize um ciclista em uma curva

Apesar de muitos desses sistemas comercializados atualmente, incluindo estes apresentados pela VALEO, utilizarem acionamento mecânico para deslocar o fecho de luz, de acordo com (LUKACS, 2009), a nova geração de AFS usará LEDs substituindo estes sistemas mecânicos.

Para isso, são usadas duas fontes de luz independentes: um projetor com lâmpada alógena como fecho principal e uma fileira de LEDs posicionados estrategicamente. O sistema controla o acionamento gradativo destes LEDs para determinar a direção e a distribuição da luz auxiliar dependendo da necessidade do condutor. Para determinar tal necessidade, o sistema conta com outros sistemas de apoio ao AFS.

2.2 Sistemas de apoio aos AFS

Os sistemas de apoio, aqui chamados de sensores, estão esquematizados como mostra a Figura 6. Todo o sistema é controlado por uma ECU. Esta ECU é responsável por processar as informações vindas destes sistemas de apoio e por tomar a decisão de acionamento dos LEDs de acordo com a determinação da localização de onde o condutor precisa de uma melhor iluminação.

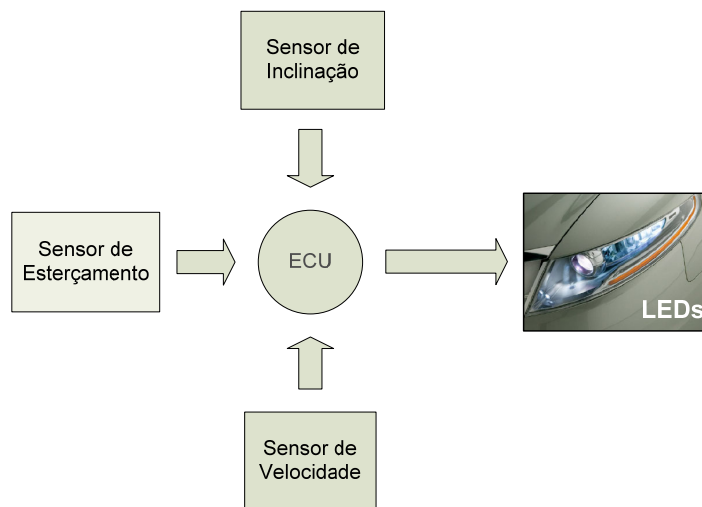


Figura 6. Visão geral do sistema

Estes sensores são: sensores de velocidade, esterçamento e de inclinação.

Estando o sistema em funcionamento, o sensor de esterçamento disponibiliza a informação sobre a posição angular do volante, e conseqüentemente a direção do veículo para a ECU. A ECU, também conhecendo a velocidade do veículo, utiliza algoritmos matemáticos para determinar a direção na qual será enviado o fecho de luz de apoio e então envia o comando de acionamento para os LEDs. Estes, em combinação com a fonte alógena, criam a iluminação da lateral para onde o veículo está seguindo sem prejudicar a iluminação frontal. Em algumas variações de AFSs, o sistema utiliza também informações oriundas de sensores de inclinação que determinam o ângulo de arfagem (ângulo de *pitch*) do veículo para direcionar o fecho para baixo e para cima otimizando a iluminação sem ofuscar o veículo da pista contrária.

Nos sistemas AFS diferentes partes são integradas com o objetivo de atender ao propósito estabelecido - auxiliar na iluminação. Esta dissertação aborda

especificamente sensor de esterçamento, não sendo explorados o sensor de velocidade, a ECU, o sistema de atuação nos LEDs e o sensor de inclinação.

O princípio de funcionamento de um sensor, incluindo estes, está relacionado com o sensoriamento de algum fenômeno físico. O sensor que determina o acionamento do *AirBag*, por exemplo, avalia desacelerações e deformações. O ABS analisa a velocidade das rodas, pressão do fluido de freio e aceleração lateral. Para os sensores de esterçamento das rodas não é diferente, alguns fenômenos físicos podem ser monitorados a fim de determinar o deslocamento angular de partes mecânicas.

2.3 Como determinar deslocamento angular

Os sensores potenciométricos utilizam a propriedade de condução elétrica dos materiais, ou seja, a capacidade de um dado material se opor a passagem de corrente elétrica. Tendo um material condutor cuja resistência, à passagem de corrente elétrica, varia linearmente com seu comprimento, pode-se aplicar uma tensão fixa entre seus dois terminais (eletrodos) mais externos gerando uma corrente também fixa. A diferença de potencial de um terceiro eletrodo móvel que se desloca sobre o corpo do elemento condutor materializa uma diferença de potencial que é função da sua posição a cada instante. Conhecendo-se a relação entre posição do terceiro eletrodo e a diferença de potencial medida entre esse eletrodo e um potencial de referencia pode-se, através da lei de Ohm, encontrar uma relação entre esta diferença de potencial e o deslocamento mecânico. Tem-se então uma variação de tensão proporcional à variação da posição. Usando potenciômetros de forma circular é possível monitorar o deslocamento angular de uma dada estrutura mecânica.

Na indústria automotiva, este princípio foi adotado no desenvolvimento de alguns sensores, como, por exemplo, o sensor que substituiu definitivamente o cabo de acelerador. O sensor de posição do pedal atingiu, na década de 90, maturidade de um desenvolvimento iniciado na década de 70. Seu encapsulamento (Figura 7) permite operação em ambiente hostil. Além de resistir à poeira, água e temperaturas de até 85°C mantendo linearidade e integridade de seu sinal com variações menores que 1%, são validados para funcionar por até 6 milhões de ciclos (KANELAS et al., 1999) (BOSCH, 2009).



Figura 7 - Sensor de posição do pedal de aceleração (BOSCH, 2009)

Para determinar o deslocamento angular de uma estrutura mecânica, um *encoder* ótico pode ser aplicado. *Encoder* ótico combina um emissor e um receptor de luz separados por um disco perfurado (Figura 8-A) que se desloca em movimento angular concêntrico à estrutura mecânica móvel, que se deseja monitorar. Este movimento num momento permite a passagem de luz noutro interrompe o fluxo. Desta forma, o receptor converte estes “pulsos” luminosos em pulso elétricos caracterizando o movimento por um sinal digital (Figura 8-B). Técnicas de montagem com este princípio permitem determinar o sentido de rotação, entretanto o sistema não informa a posição, e sim, deslocamento. Em alguns casos, como, por exemplo, o sensor que monitora o esterçamento angular das rodas proposto por (MADNI,

2000), este princípio é usado somado a uma engrenagem de redução ligada à barra de direção que aciona um potenciômetro. Este potenciômetro fornece uma medida contínua de todo o curso do volante e é utilizado para determinar a posição absoluta central de todo o curso quando o veículo é ligado. Esta leitura é usada para iniciar o sensor que continua o refinamento desta posição central absoluta enquanto o condutor dirige. Tendo uma referência refinada desta posição central, o *encoder* fornece o deslocamento com precisão de 1 grau, da movimentação do volante (MADNI, 2000). Outros utilizam somente o *encoder* incremental, como é o caso do modelo EXT (SENSATA TECHNOLOGIES, 2006) da Sensata Technologies (Figura 8-C).

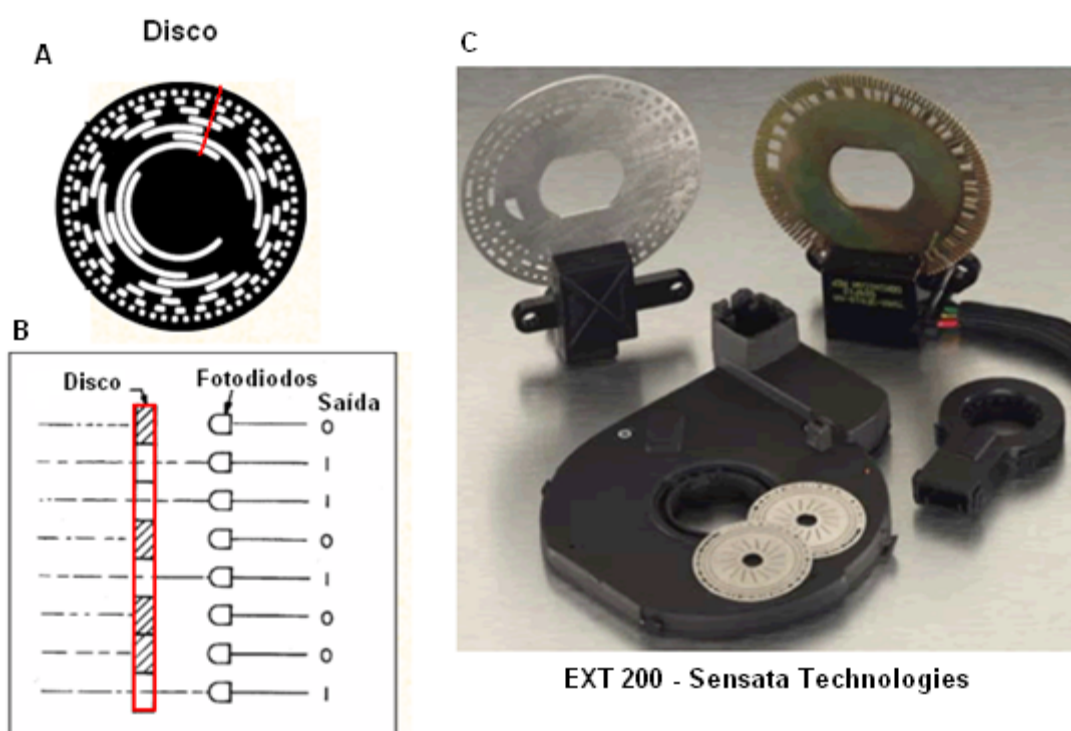


Figura 8 – A: Disco perfurado do encoder; B: Leitura do disco por fotodiodos e a saída digitalizada representando o posicionamento; C: EXT 200 - Sensor de esterçamento por posicionamento absoluto com encoder desenvolvido pela Sensata Technologies (SENSATA TECHNOLOGIES, 2006)

Outra forma de se detectar um deslocamento angular é através do monitoramento de um campo magnético.

2.4 Posição angular por campo magnético

Sensores de campo magnético são utilizados em diversas aplicações para controlar velocidade de rotação ou posicionamento linear ou angular. Uma grande vantagem de sua aplicação é que não é necessário o contato físico para a detecção da variação do campo magnético em função da posição. Diferentemente dos sensores de temperatura, pressão e luz, que geram um sinal proporcional à variável de interesse, os sensores magnéticos são utilizados para obter informação indireta. Usar sensores magnéticos para detectar direção, presença, rotação, ângulo ou correntes elétricas significa ser sensível às alterações do campo magnético, provocados pela variação destas outras variáveis. Isso exige o pós-processamento de sinal para traduzir tais alterações na variável desejada. Desta forma os sensores magnéticos são considerados mais complexos que os outros (CARUSO et al., 1998).

Diferentes princípios ou fenômenos físicos, relativos às interações magnéticas, podem ser observados de forma a monitorar uma dada variável de interesse, por exemplo: o efeito Hall, a magnetorresistência e a magnetorresistência anisotrópica (MALINOWSKI et al., 2008).

Muitos destes efeitos são conseqüências da força de Lorentz. Uma partícula q carregada e movendo-se a uma velocidade \vec{v} sofre o efeito da força de Lorentz \vec{F}_L quando na presença de um campo magnético \vec{B} :

$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

Tendo \vec{v} e \vec{B} como vetores, com amplitude e direção, a força \vec{F}_L será também um vetor proporcional ao produto vetorial da velocidade \vec{v} e campo \vec{B} . Sendo a força perpendicular ao plano dos dois vetores \vec{v} e \vec{B} , seguindo a regra da mão-direita.

Como pode ser visto na Figura 9, quando uma diferença de potencial é aplicada nas extremidades de um condutor, um fluxo de cargas (I) surge. Se este material é exposto a um campo magnético (\vec{B}) perpendicular ao sentido (y) deste fluxo, a força de Lorentz atua e cargas positivas são defletidas na direção negativa de y . Passa então a existir um acúmulo de cargas positivas na extremidade do condutor, na direção negativa do eixo y , e de cargas negativas na extremidade positiva em y . Este acúmulo de cargas faz aparecer uma diferença de potencial entre as laterais do elemento resistivo. Esta tensão é chamada de tensão Hall (V_H). Este efeito, conhecido como Efeito Hall, acontece sutilmente em metais e é mais evidenciado em semicondutores.

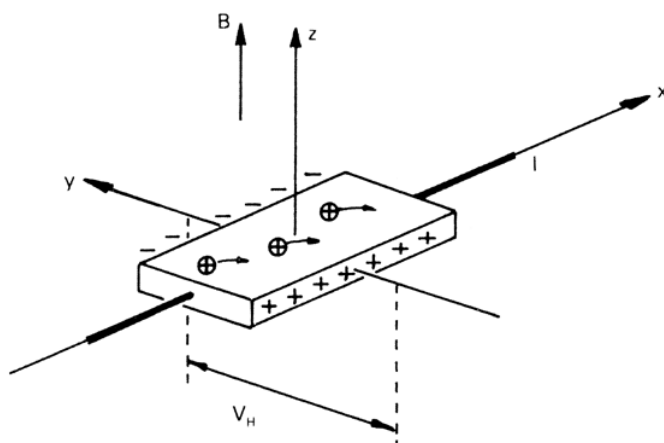


Figura 9 - Uma voltagem V dá origem a uma corrente I na direção positiva de x . Um campo magnético B na direção positiva z deflete os portadores de carga positiva na direção negativa de y . Isto gera um potencial de Hall (V_H) e uma resistência de Hall (V_H / I) na direção de y .

Num circuito magnético, a tensão Hall V_H varia com o $\text{sen}(\alpha)$, onde α é o ângulo entre o fluxo magnético ao qual o sensor está exposto e a corrente (I) aplicada ao elemento condutor. Normalmente dois sensores são dispostos num mesmo centro e deslocados de 90° um do outro, de forma que um dos sensores fornecerá um sinal de tensão definido por $\text{sen}(\alpha)$, enquanto o outro é sensível à $\text{sen}(\alpha + \pi/2)$, que é igual a $\text{cos}(\alpha)$. A posição angular α do sensor em relação a um fluxo magnético é definido como $\text{arctan}(\text{sen}(\alpha) / \text{cos}(\alpha))$ e, desta forma, tem-se um sensor de orientação magnética por efeito Hall.

Em materiais isotrópicos tais como os ferromagnéticos, o efeito Hall aparece como uma resistência à passagem de corrente elétrica. Sendo que corrente elétrica é a variação da quantidade de carga no domínio do tempo, se parte desta carga fica acumulada na lateral do condutor, então o fluxo de carga é modificado pela presença de um campo magnético.

Modificar a corrente mantendo-se a mesma tensão implica em afirmar, seguindo a lei de Ohm, que houve uma variação na resistência do material. A resistência de um material é igual à resistividade do material (ρ) multiplicado pelo

comprimento (L) do condutor e dividido pela área da seção transversal (A) deste. Os materiais cuja resistência a passagem de corrente elétrica varia em função da presença da força de Lorentz, tendo sua resistividade (ρ) modificada por interação com um campo magnético, são conhecidos como materiais magneto-resistentes (MR).

Um sensor magnetorresistivo, fixo e sob a ação de um campo magnético permanente (ex.: ímã), movimentado e orientado por uma estrutura móvel, o ângulo entre o elemento sensor e as linhas de campo determinam a resistência do material magneto-resistivo a cada posição. Esta variação de resistência pode então indicar o deslocamento angular entre a estrutura móvel e a posição da fonte campo, que serve de referencia.

Em materiais anisotrópicos, a estrutura cristalográfica dificulta a difusão de cargas, não permitindo o acúmulo acentuado característico do efeito Hall. A força de Lorentz acaba tendo um efeito individual em cada célula ou micro cristal (Figura 10). Como os grão ou micro cristas têm forma e orientação aleatorias, cada uma destas células terá uma orientação preferencial para o fluxo de corrente e portanto uma resposta individual à presença do campo magnético. Mesmo não existindo um acentuado acúmulo de cargas nas laterais do condutor, haverá o acúmulo de cargas individualmente nestas células. Se há acúmulo de carga, a corrente total é influenciada e, portanto este material também altera sua resistividade quando na presença de um campo magnético. Esta característica é então conhecida como magnetorresistência anisotrópica (MRA). O que se observa é que o efeito da MRA é mais efetivo se comparado ao MR, ou mesmo ao efeito Hall, para medir campo magnético. Pelas características deste fenômeno, o acúmulo viciado de cargas nas extremidades do condutor é menor, se comparado com o que acontece em sensores

do tipo Hall, quando exposto durante muito tempo a um mesmo campo magnético constante e intenso. Os sensores de MRA têm mais sensibilidade, especificidade, precisão e exatidão frente aos sensores MR e os sensores Hall.

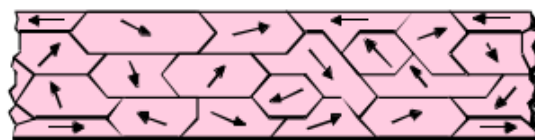
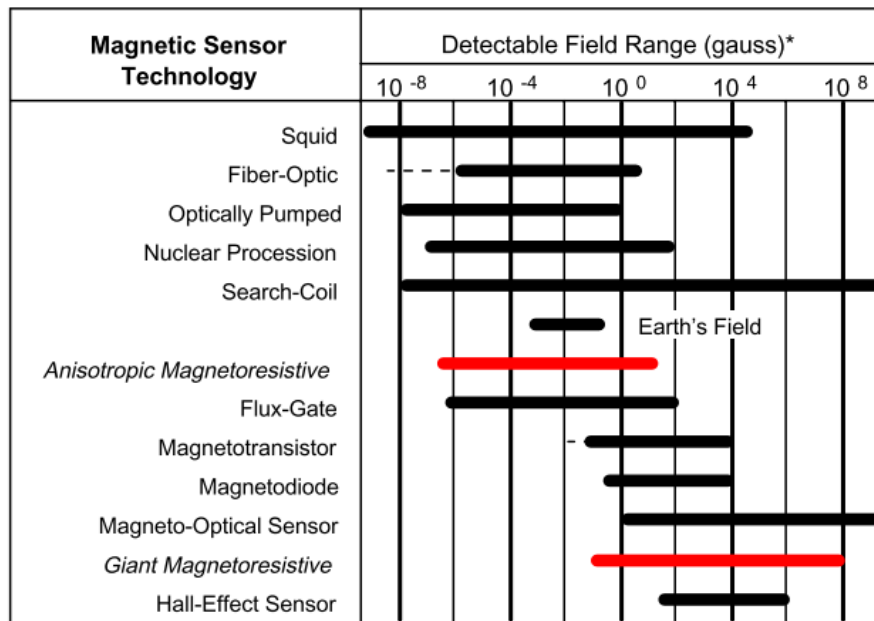


Figura 10 - Material anisotrópico e as orientações de fluxo de carga em suas células cristalográficas

Existem diversos sensores magnéticos no mercado, uma forma de classificar os diferentes sensores magnéticos é através do espectro de sensibilidade de campo. Sensores que detectam campos menores que 1 μ Gauss são classificados como sensores de baixo campo. Sensores que trabalham na faixa de 1 μ Gauss a 10 Gauss são considerados sensores de campo da Terra (ou médio campo) e sensores que detectam campos superiores à 10 Gauss são considerados sensores de campo intenso (CARUSO et al., 1998).

A Figura 11 lista diversas tecnologias empregadas em sensores magnéticos e ilustra as suas faixas de atuação em função da intensidade do campo magnético detectável.



* Note: 1gauss = 10⁻⁴Tesla = 10⁵gamma

Figura 11 - Tecnologias empregadas em sensores magnéticos e suas faixas de atuação (CARUSO et al., 1998)

Apesar de algumas tecnologias de detecção de campo magnético ultrapassarem os limites desta classificação, algumas aplicações podem enfatizar tal agrupamento. Os sensores de campos pequenos são normalmente utilizados em aplicações médicas e pesquisas militares. São geralmente maiores e mais caros que outros sensores magnéticos. Pequenas variações que ocorrem diariamente no campo magnético da terra podem influenciar sua calibração. Neste grupo são aplicadas as tecnologias *SQUID* (*Superconducting QUantum Interference Device*), *Search-Coil*, *Nuclear Precession*, *Optically Pumped* e *Fiber-Optic* (CARUSO et al.,1998). Este agrupamento não será discutido neste trabalho.

No grupo dos sensores de médio campo estão os sensores que utilizam o campo magnético da Terra. Podem aparecer como bússola para navegação ou sensores que detectam anomalias neste campo e que são utilizados, por exemplo, para detectar presença de veículos (usado em radares urbanos, entrada de estacionamentos, etc). Existem também sensores que medem a taxa de alteração

de um campo para determinar a taxa de guinada. Dentre as tecnologias estão o *Fluxgate*, Magnetoindutância e a Magnetorresistência Anisotrópica (MRA) (CARUSO et al.,1998). Tanto a tecnologia *Fluxgate*, quanto a Magnetoindutância fazem uso de bobinas e sua miniaturização é então dificultada. Exigem alinhamento para calibração em seu processo de fabricação. Cuidados específicos em seu desenvolvimento podem resultar em sensibilidades mais acuradas. São normalmente aplicados em bússolas para navegação. Excelentes resultados são alcançados com a MRA. Dentre alguns exemplos de aplicação comercial estão sensores de velocidade das rodas em automóveis e sensores de virabrequim, bússola para navegação, detecção de veículos, sensor de corrente e sensores de esterçamento das rodas, entre outros. Um exemplo de um sensor MRA de esterçamento das rodas pode ser visto na Figura 12. Este sensor é desenvolvido pela *Bourns Automotive Division* e possui resolução de $0,05^\circ$ num curso de $\pm 720^\circ$ (BOURNS AUTOMOTIVE DIVISION, 2009).



Figura 12 - Sensor AMR de esterçamento das rodas desenvolvido pela Bourns Automotive Division (BOURNS AUTOMOTIVE DIVISION, 2009)

Os sensores de MRA são normalmente feitos por deposição de um fino filme de níquel e ferro (*Permalloy*) numa pastilha de silício. Quando exposto a um campo magnético, têm sua resistência alterada na ordem de 2 a 3%. Quatro destes “resistores”, depositados num substrato comum, são conectados em configuração ponte de *Wheatstone* (Figura 13) o que possibilita sentir, tanto a intensidade, quanto a direção de um campo magnético. Possuem resposta em frequência alta (1 a 5 MHz) já que não são limitados por bobinas ou frequências de oscilação interna. Outra vantagem é que, através da tecnologia MENS, estes sensores podem ser montados numa pastilha de silício e comercializado em encapsulamento como um circuito integrado (CI). Philips, HL Planar e Honeywell comercializam este sensor (CARUSO, 1998).

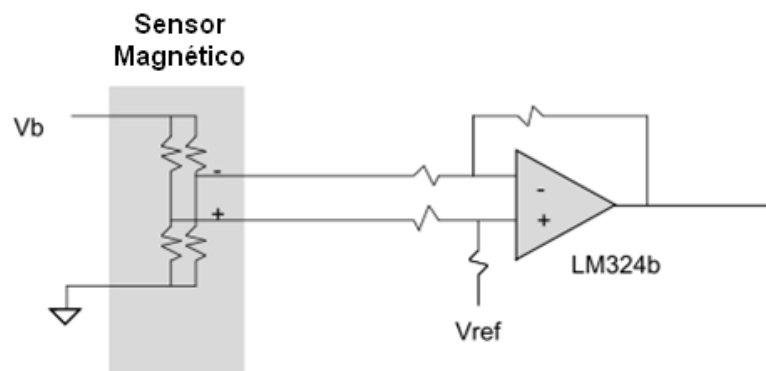


Figura 13 - Esquema da montagem em ponte de Wheatstone de um sensor AMR (HONEYWELL, 2000)

Já no grupo dos sensores que detectam campos elevados (maiores que 10 Gauss) estão os sensores industriais que normalmente usam ímãs permanentes ou objetos ferromagnéticos para detectar grandes variações de campo no sensor. Em geral, estes sensores têm seu funcionamento afetado, temporariamente ou permanentemente, devido à exposição de campos elevados. Mudanças causadas, na resposta do sensor, pelo acúmulo de cargas viciadas, devem ser previstos e avaliados, de forma a assegurar seu bom funcionamento. Nesta categoria estão

incluídos os *reed switches*, Magnetorresistores, dispositivos por efeito Hall, e sensores GMR (CARUSO,1998).

De acordo com o levantamento feito, sobre os princípios de sensoriamento e a relevância em se adotar um monitoramento sem contato para a para determinação do deslocamento angular, ficou claro que o princípio de monitoramento por campo magnético seria a melhor solução para este trabalho.

Sendo assim, o sensor utilizado foi o HMC1022 da Honeywell (HONEYWELL, 2000), um sensor de MRA miniaturizado e micro-usinados em um substrato de silício (MENS).

Um segundo tópico importante, no desenvolvimento da solução de instrumentação proposta neste trabalho, é que a forma de transmissão da informação do sensoriamento de esterçamento das rodas, para uma ECU no interior do veículo, seria feita sem a utilização de fios.

2.5 Comunicação intraveicular sem fio

Os automóveis possuem hoje diversos dispositivos eletrônicos e sensores distribuídos por todo o veículo. Vários parâmetros são constantemente analisados ou controlados, tais como temperatura, rotação, velocidade, distância, níveis de fluídos, lâmpadas de sinalização, entre outros. Um ponto, a se observar, é que todos estes parâmetros são controlados por dispositivos eletrônicos, que estão de alguma forma interligados através de fios, criando uma rede oculta por toda a carcaça. Não se apegando somente ao estágio da tecnologia atual, segundo (TONGUZ et al, 2006), “nos últimos 3 anos a quantidade de fios incluídos nesta rede vem crescendo rapidamente”. É só acompanhar as novidades que as montadoras apresentam a cada lançamento. Hoje, como afirma (LEEN, 2001), mais de 80% das inovações

desenvolvidas para veículos são provenientes de sistemas eletrônicos. A cada dia que passa, esta rede se torna cada vez mais complexa e pesada. Segundo (NIU, 2007), já são mais de 1000 metros de cabos no interior do veículo. É inevitável imaginar que, em algum momento desta escalada, a tecnologia de comunicação sem fio será essencial. Na realidade atual, trocar esta rede de fios por uma rede sem fio, já eliminaria mais de 50 kg de peso no veículo (TONGUZ et al., 2006). Sem levar em consideração o tempo poupado na linha de montagem durante a organização da fiação, no impacto no custo final de produção e na possibilidade de se criarem sensores em locais onde os fios vêm a ser um empecilho, como, por exemplo, em partes móveis, tais como eixos, rodas e volante.

O fato da solução de sensoriamento, proposta neste trabalho, adotar técnicas de comunicação sem fio no interior de veículos é o que possibilita a implantação deste item de segurança (AFS) sem interferir de modo impactante na linha de montagem. Um passo importante na introdução desta tecnologia de comunicação em veículos é conhecer as características dos padrões de transmissão atuais e selecionar a mais adequada. Estes padrões de comunicação sem fio, segundo (IEEE STANDARDS, 2000), estão organizados em quatro grandes grupos:

WPAN (*Wireless Personal Area Network*): pequeno alcance em metros (dezenas de metros), utilizado em dispositivos pessoais;

WLAN (*Wireless Local Area Network*): alcance de 100 a 300 metros; utilizado em redes de computadores em empresas;

WWAN (*Wireless Wide Area Network*): utilizado em redes de celulares (GSM, TDMA) para transmissão de voz e pouco dado;

WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*): grandes redes com suporte a transmissão de grande quantidade de dados.

No grupo de pequeno alcance (WPAN), indicado para esta aplicação (interior de um veículo), há três padrões que predominam por suas características: IEEE 802.15.1 (*Bluetooth*), o *ZigBee* e o IEEE 802.15.3 (*UWB - UltraWideband*).

O Bluetooth é o mais difundido atualmente e pode ser visto em diversas aplicações, como videogames, periféricos de informática (mouse e teclado, por exemplo), PDAs, celulares, e até mesmo já pode ser visto em uso no interior de automóveis com sistemas que integram o celular do condutor com o sistema de som do veículo.

A tecnologia de comunicação sem fio *ZigBee* devido à possibilidade de se instalar grande números de nós, seu baixo custo, baixo consumo e outras características, enquadra-se muito bem em controle residencial, automação de prédios e automação industrial. Na indústria, a introdução desta tecnologia reduz em mais de 30% a utilização de fiação, o que já é muito representativo em chão de fábrica. O *ZigBee* tem uma baixa taxa de transmissão de dados, mas, para a aplicação em alguns tipos de sensoriamento, esta "desvantagem" não é importante, já que nestes casos se transmitem, por exemplo, estados de sensores (ligado/desligado, aberto/fechado, etc).

Levando em consideração estas características, o *ZigBee* poderia ser utilizado em veículos, substituindo fios da comunicação com sensores e atuadores simples, como, por exemplo, sensores de porta aberta/fechada, atuadores de controle dos vidros elétricos, atuadores em lanternas e faróis, entre outros. Mas esta tecnologia não foi homologada para funcionar em veículos e testes reais são necessários. Tsai

(TSAI et al., 2007) segue esta linha e apresenta um experimento real. Como resultado tem-se que ruídos provocados pelo motor podem reduzir consideravelmente a qualidade do sinal. Com a elevada variedade de veículos, onde cada modelo pode ter diferentes configurações de motor, esta tecnologia, como sugere o autor, pode vir a sofrer variadas interferências, o que compromete uma eventual padronização. Outro fator importante é a sensibilidade da solução de comunicação adotada em relação ao funcionamento de outras tecnologias sem-fio em sua vizinhança, como é o caso do Bluetooth que interferiu na qualidade do sinal da comunicação intraveicular com o ZigBee em testes reais realizados por Tsai. No dia adia, não é difícil acontecer que um dos cinco ocupantes de um automóvel utilize um dispositivo, como os aparelhos celulares, que usam outras tecnologias sem-fio, incluindo o próprio Bluetooth. É difícil acreditar que ZigBee seja a tecnologia indicada para uso nesta aplicação.

O Ultra Wide Band (UWB), apesar de ser resultado de pesquisas militares e ter sido liberado pelo Pentágono para exploração comercial desde 2002, ainda não se encontra completamente homologado pelo IEEE devido a disputas políticas entre marcas. Apesar deste impasse, o que prejudica claramente a difusão desta tecnologia no mercado e conseqüentemente sua disponibilidade para realizações de testes e validações, o UWB deve ter seu uso mais difundido. Uma vez, que esta tecnologia transmite dados digitais em alta frequência e em distâncias pequenas usando baixa potência, o que permite transmitir grande quantidade de dados, romper obstáculos e coexistir com outros padrões de redes sem-fio.

Em se tratando de veículos, ambiente extremamente ruidoso e sujeito a diversas interferências, o UWB pode ser a solução e o caminho para uma padronização de comunicação sem fio intra-veicular. Entretanto, assim como para as

outras duas sugestões de tecnologia sem-fio para veículos, testes reais são necessários. No artigo Xiang (NIU et al., 2007) defende esta ótica e apresenta um experimento, ainda em estágio inicial, do monitoramento de variáveis para controle do sistema ABS com comunicação sem fio utilizando UWB. Apesar de ter ficado comprovada em laboratório a possibilidade de uso de tecnologia sem-fio neste sistema considerado crítico, não foram apresentados testes no interior do veículo.

O quadro comparativo apresenta as vantagens e desvantagens de cada padrão.

Tabela 4 - Comparativo entre Bluetooth, ZigBee e UWB (AKINGBEHIN, 2005)

Características	Bluetooth	ZigBee	UWB
1. Alcance (Nominal)	10 metros	10 metros	< 10 metros
2. Preço do Chip	\$5	\$2	< \$1
3. Taxa de Dados/ Velocidade	Médio	Baixo	Alto
4. Interferência	Bom	Bom	Excelente
5. Tipo de Dados	Voz e Dados	Dados	Vídeo/Radar
6. Camadas Principais	5	5 - 2	Evoluindo
7. Tamanho do Quadro	2744	104	Evoluindo
8. Consumo	Baixo	Muito Baixo	Ultra Baixo
9. Potencia de Transmissão (TX)	1 mW	< 1 mW	200 uW
10. Segurança	Bom	Bom	Excelente
11. Em Uso	Muito	Pouco	Pouco
12. Penetração de Transmissão	Bom	Bom	Excelente
13. Estabilidade	Excelente	Boa	Evoluindo
14. Freqüência	2.4 GHz	0.8, 0.9, 2.4 G	3.1-10.6 G
15. Canais	23 ou 79	1, 10, ou 16	Evoluindo
16. <i>Error Correct</i>	8-bit, 16-bit	16 CRC	Evoluindo
17. Topologia	Estrela	Estrela, Malha	<i>Peer-to-Peer</i>
18. Nº de nós	7 ou mais	65534	Evoluindo
19. Link	1 MHz	20-250 KHz	120M-1GHz

Os três padrões podem ser aplicados no sensor de atitude veicular. Entretanto, penetração em obstáculos, segurança, consumo, estabilidade e custo são características que devem prevalecer nesta análise. Desta forma, o padrão IEEE 802.15.3 (UWB - UltraWideband) se encaixa perfeitamente e é o mais indicado.

Por outro lado, em se tratando de implantação com objetivos comerciais, a luta travada por grupos influenciados pela Intel e Motorola, o que, segundo Prado (PRADO, 2007), impede uma homologação definitiva pelo IEEE (o IEEE 802.15.3 ainda é um pré-padrão para o UWB), é um fato importantíssimo na decisão em se utilizar o UWB. Profissionais da área acreditam que o UWB necessita desta maturidade para sua difusão no mercado. Aguardando esta “maturidade” do UWB, restam os outros dois padrões que não se diferenciam muito pelas características citadas acima. O Bluetooth, depois do UWB, é uma boa indicação à frente do ZigBee devido a uma boa difusão no mercado e por já possuir aplicações intraveicular com esta tecnologia.

ESTRUTURA DO SENSOR DESENVOLVIDO

O sensor de atitude veicular sem fio aqui proposto, Figura 14, é composto de um módulo de sensoriamento, um microcontrolador com conversor analógico-digital e porta de comunicação serial integrados, um módulo de comunicação sem fio (wireless) e um circuito regulador de tensão.

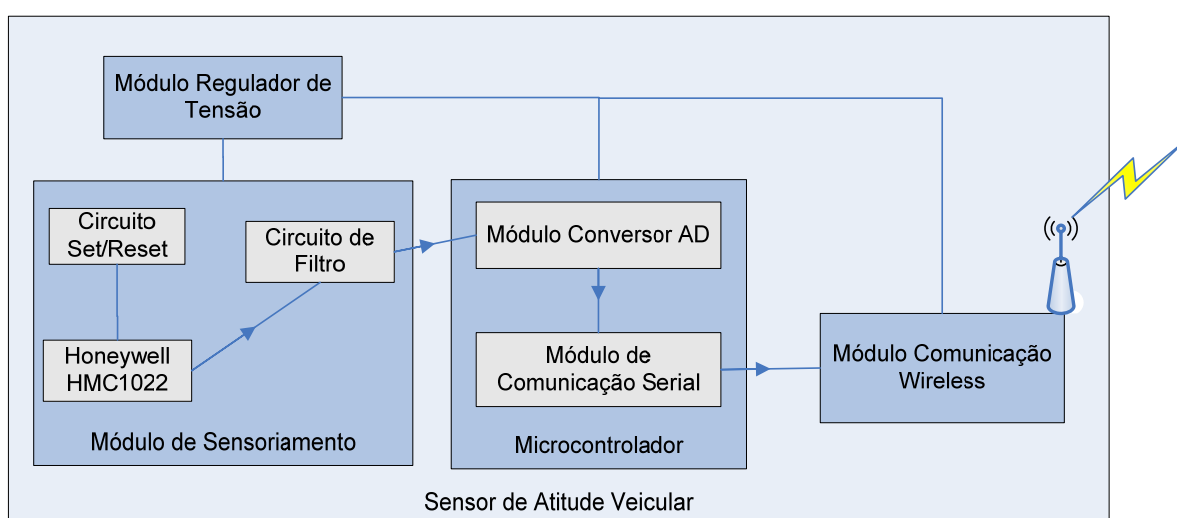


Figura 14. Esquema do Sensor de Atitude Veicular

3.1 Módulo regulador de tensão

O módulo regulador de tensão é o circuito eletrônico responsável por transformar a alimentação fornecida pela bateria do veículo em níveis de tensão compatíveis com cada módulo: 9 volts para o Módulo de Sensoriamento e 5 volts para o microcontrolador.

Este sistema foi desenvolvido para ser compatível com o fornecimento de alimentação já disponível na maioria dos veículos no interior do volante. Esta alimentação é normalmente levada ao volante para o circuito de acionamento da

buzina. A proposta é conectar o módulo regulador de tensão em paralelo com este circuito.

Principalmente para o Módulo de Sensoriamento é importante que não haja variações de tensão, já que o valor lido pelo sensor é proporcional a sua tensão de alimentação. Um detalhe específico para esta proposta é a presença de um circuito com um capacitor de alto valor ($C1 > 500 \mu\text{F}$) capaz de filtrar tais variações (Figura 15). Estas variações podem ser causadas tanto pelo sistema de escovas presentes entre o painel do veículo (estrutura fixa) e o volante (elemento rotativo) que possibilita conexões para a buzina, quanto pelo próprio acionamento deste dispositivo, que poderia gerar interferência em se tratando de uma outra carga nesta mesma conexão.

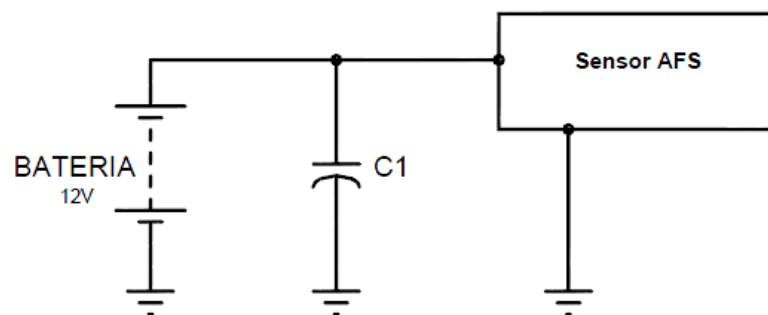


Figura 15 – Circuito de filtro para alimentação do sensor

3.2 Módulo de sensoriamento

Existem diversos princípios de sensoriamento de inclinação e giro. Frost (FROST, 1996) usou em seu trabalho 3 giroscópios dispostos ortogonalmente nos eixos X,Y e Z de tal forma que os sinais deles representassem os ângulos de rolagem, guinada e arfagem. Outro método de sensoriamento da inclinação do volante do veículo é através do efeito magnético. Tendo-se uma fonte magnética fixada ao painel, bússolas eletrônicas dispostas a 90° entre si podem ser utilizadas

para determinar a angulação do vetor campo magnético em cada eixo (X, Y e Z). Sabendo-se estes ângulos e a posição fixa da fonte magnética, pode-se determinar a posição espacial do sensor, inclusive sua direção. Para a aplicação em questão, já que o volante vai estar preso e se movimentando em um único plano espacial, apenas duas bússolas são necessárias.

Este princípio foi explorado em (LIDDLE, 1986). Entretanto, atualmente, com a possibilidade de miniaturização dos circuitos em substratos de silício e incorporarem dispositivos micro-usinados (MENS), este mesmo conceito pode ser reproduzido usando bússolas eletrônicas implementadas em pequenos CI.

De acordo com a revisão realizada na sessão 2.4 sobre detecção de posicionamento angular por referencial magnético, o CI HMC1002 da Honeywell mostrou-se bastante coerente com as necessidades deste trabalho, já que incorpora dois sensores magneto-resistivos anisotrópicos. Estes sensores são dispostos num mesmo encapsulamento e rotacionados 90° , um do outro, de forma que um dos sensores fornece um sinal de tensão definido por $\sin(\alpha)$ e o outro $\sin(\alpha + \pi/2)$, que é igual a $\cos(\alpha)$, onde α é o ângulo de incidência do fluxo magnético. O posicionamento angular α do sensor em relação a este fluxo é definido como $\arctan(\sin(\alpha) / \cos(\alpha))$ e, desta forma, é possível determinar a orientação magnética.

Estes dois canais possibilitam medir campos tão pequenos quanto $30 \mu\text{Gauss}$. Essa performance é alcançada devido à montagem em pontes de Wheatstone de 4 elementos, alimentados por uma fonte de tensão fixa, que pode variar entre 0 e 10 volts. Quando esta tensão é aplicada à entrada da ponte, os sensores começam a medir a componente do campo magnético ambiente aplicada sobre o eixo sensitivo e fornecem, como saída, uma tensão proporcional à orientação do campo.

Para eliminar componentes indesejados, a Honeywell dispõe de fitas magnéticas acopladas. Estas fitas geram um campo configurável e inverso ao campo ambiente, capaz de eliminar a memória de histerese do material magnético do sensor, podendo também ser usadas para efetuar a calibração do dispositivo. Estas fitas são de patente da Honeywell.

Um dos pinos do CI pode ser utilizado para calibração. Alimentá-lo implica em gerar um campo magnético interno ao CI, proporcional, na direção e com o sentido da corrente. O objetivo é gerar um campo contrário ao campo ambiente para eliminar componentes indesejadas. Este sensor possui também uma entrada de Set/Reset. Uma vez pulsada com alta corrente, força o sensor a operar em um modo de alta sensibilidade; inverter a polaridade da resposta da curva de saída; ou ainda, se pulsada durante a operação normal, isso aumenta a linearidade e reduz os efeitos da temperatura sobre o sensor.

Quando o sensor é exposto a um campo magnético perturbador, a orientação dos elementos do sensor pode ser perdida, ou seja, estes ficam orientados aleatoriamente, Figura 16a. Isto leva a uma perda na sensibilidade e repetibilidade do dispositivo. Para garantir uma alta sensibilidade e repetibilidade, o fabricante sugere um pulso de corrente Set (Figura 16b) e outro de Reset (Figura 16c) em um dos pinos, o que promove uma re-polarização do sensor. Um pico de corrente na direção contrária a polarização inicial, promove uma polarização nesta nova direção.

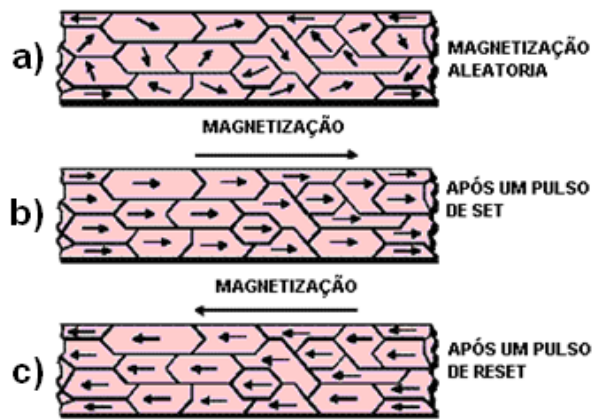


Figura 16 - Magnetização após pulso de SET e RESET. a) Magnetização aleatória; b) Magnetização após um pulso de SET; c) Magnetização após um pulso de RESET (HONEYWELL, 2000)

Segundo a documentação do fabricante (HONEYWELL, 2000), o estado destes domínios magnéticos pode permanecer inalterado por anos, contanto que não ocorra uma grande perturbação do campo magnético próximo ao sensor ou uma grande variação na temperatura durante a operação, ou durante seu armazenamento.

Na aplicação proposta para estes sensores, o sistema pode ser exposto a altas variações de temperatura e, eventualmente, o usuário poderá expor o volante (incluindo o sensor), a um campo magnético perturbador (um aparelho de telefonia celular, por exemplo). Desta forma, um pulso de Set/Reset deve ser aplicado freqüentemente para garantir uma coerência nas leituras. Entre algumas indicações de circuitos geradores deste pulso apresentadas pelo fabricante (HONEYWELL, 2000), na Figura 17 pode ser visto o circuito de Set/Reset indicado para acionamento por microcontrolador.

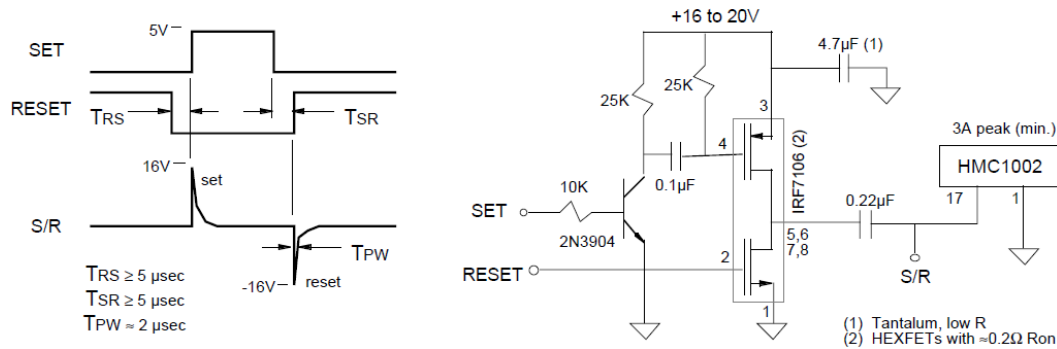


Figura 17 – Circuito sugerido por (HONEYWELL, 2000) para Set/Reset do HMC1022 usando microcontrolador

Este circuito (Figura 17) gera um pulso de SET/RESET maior que 4 A. Os sinais de SET e RESET são gerados a partir de um microcontrolador e controla os canais P e N do driver HEXFET (IRF7105). Segundo o fabricante, o propósito dos atrasos TRS e TSR (indicados no circuito) é para ter certeza de que um HEXFET esteja desligado quando um outro for acionado. A forma do pulso de corrente é determinada pelo capacitor de 4,7µF. Este capacitor, como sugerido, deve ser de tântalo com baixa resistência. O fabricante sugere também inserir um resistor de 500Ω entre a alimentação de 16-20V e o capacitor de 4,7µF, caso não se use um outro circuito de geração da alimentação com o MAX662A, sugerido num outro caso, nos quais não usa microcontrolador.

Estes sensores da Honeywell não possuem uma etapa de condicionamento de sinal interna. Desta forma, faz-se necessária a implementação de circuitos externos (circuito de amplificação e filtro), com a função de dar um ganho de tensão e filtrar o sinal fornecido pelo sensor. Para aplicações onde o sinal lido passará por um conversor analógico para digital, o fabricante sugere o circuito mostrado na Figura 18. A imagem foi alterada evidenciando-se somente o circuito de filtro, que neste circuito é um passa-baixa com 1kHz de frequência de corte.

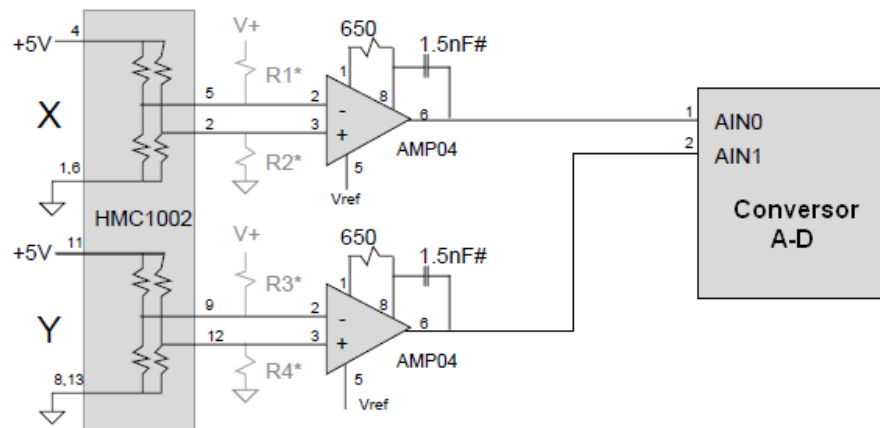


Figura 18 - Circuito de condicionamento e filtro do sinal fornecido pelo sensor HMC1002. (HONEYWELL, 2000) com alterações.

Seguindo os direcionamentos sugeridos pelo fabricante, algumas alterações foram realizadas no circuito de amplificação e filtro. O objetivo destas alterações foi permitir com facilidade uma calibração e normalização dos dois sinais. O circuito adotado pode ser visto na Figura 19. Este circuito também foi utilizado por (SIMÕES, 2008) onde, numa das etapas, desenvolveu uma bússola eletrônica para um ROV - *remotely operated underwater vehicle* (veículo submarino operado remotamente).

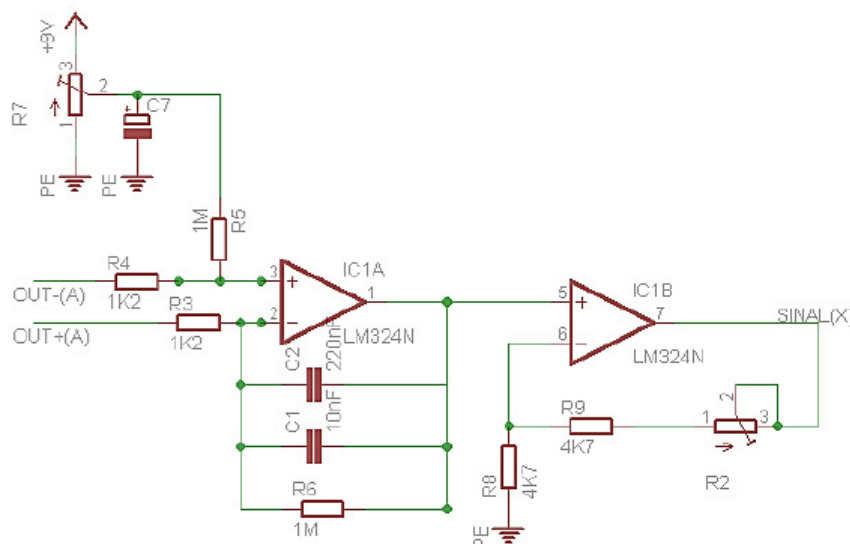


Figura 19 - Circuito condicionador de sinal utilizado com o HMC1022

O CI HMC1022 possui duas pontes de *Wheatstone*, uma para cada sensor (A e B). Este circuito (Figura 19) é conectado a cada uma das pontes, onde os pinos

OUT-(A) e OUT+(A) correspondem às saídas da ponte do sensor A. Neste circuito pode ser visto dois amplificadores operacionais, o primeiro é responsável pelo filtro e ganho diferencial e o segundo como ganho do sinal condicionado pelo primeiro. O primeiro está configurado como um amplificador diferencial acrescido de um integrador. Este estágio diferencial permite extrair um sinal que é a diferença entre as duas entradas. Uma das entradas é ajustada através do potenciômetro R7 para que a diferença não assuma valores negativos, já que o LM324, CI utilizado, não trabalha com valores negativos. O integrador funciona como filtro ativo passa baixa com frequência de corte em 0,48Hz. O segundo amplificador apenas fornece um ganho ajustável ao sinal no potenciômetro R2. Sendo que os elementos sensitivos não possuem a mesma sensibilidade, este ajuste torna-se importante para deixar a respostas destes elementos com uma mesma amplitude. De qualquer forma, foi necessário normalizar digitalmente os dois canais para tratamento dos dados.

Para o circuito de SET/RESET, apesar do circuito da Figura 17 indicado pelo fabricante para SET/RESET ser o melhor para aplicações com microcontroladores, durante o desenvolvimento da plataforma de validação e testes foi utilizado um circuito de acionamento manual (também indicado pelo fabricante). Este circuito (Figura 20) foi adotado para simplificar e modularizar a placa de CI, deixando este circuito isolado do circuito de tratamento de sinal.

Este circuito quando alimentado gera um pico de corrente de SET e RESET no pino S/R+(A) no canal A e S/R+(B) no canal B. Caso seja acionada a chave manual S1, o sinal é novamente enviado.

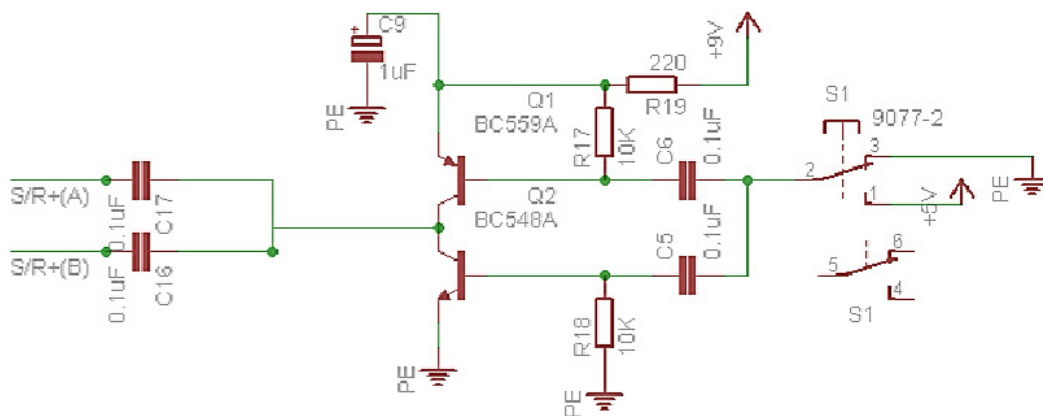


Figura 20 - Circuito para pulso de SET e RESET

O CI HMC1022 é de montagem de superfície (*surface mount technology*), assim como deve ser o microcontrolador e o restante do circuito, para possibilitar o desenvolvimento de um sistema compacto. Isso permite que todo o sensor seja introduzido no interior do volante. Desta forma, sua montagem poderá ser feita juntamente com a fabricação do volante, o que não interfere no processo de montagem do veículo.

3.3 Microcontrolador

Um microcontrolador pode ser definido como um “pequeno” componente eletrônico, dotado de uma “inteligência” programável, utilizado no controle de processos lógicos. Controlar processos lógicos pode ser entendido como controlar componentes tais como LEDs, chaves, displays de segmentos, LCD, resistências, relês, sensores, entre outros (SOUZA, 2007).

Nesta aplicação, o objetivo do microcontrolador é realizar a aquisição dos sinais vindos do sensor magnético HMC1022 e seus circuitos de condicionamento, convertê-los de analógico para digital, encapsular esta informação e encaminhá-la para o módulo de transmissão sem fio.

Existem vários fabricantes de microcontroladores: Microchip, Intel, Motorola, National, Atmel, Siemens, Hitashi, TI, Toshiba, são alguns dos mais conhecidos. Além da variedade de fabricantes, cada marca possui uma grande variedade de microcontroladores com diversos recursos diferentes. Para selecionar o microcontrolador a ser utilizado foi necessário estabelecer alguns critérios:

- Conhecer os recursos de computação necessários para que a tarefa seja executada efetiva e eficientemente. Estes recursos podem ser velocidade de processamento, quantidade de memórias ROM e RAM, número de portas I/O e temporizadores, tamanho, encapsulamento, consumo de energia, custo por unidade, etc;
- Disponibilidade de ferramentas de desenvolvimento de software, tais como compiladores, emuladores, “*debuggers*” e suporte técnico;
- Disponibilidade e acessibilidade.

Foi feito um levantamento dos recursos necessários para a aplicação requerida. Para a aquisição dos sinais analógicos dos sensores magnéticos o sistema necessita de 2 entradas analógicas. O microcontrolador deve possuir módulo de conversão A/D integrado com resolução de pelo menos 10 bits, o que representa uma resolução de 0,098% ou 5mV para uma faixa de tensão de 0 a 5V. Para acionamento do circuito de SET/RESET, é necessário que o microcontrolador possua pelo menos uma porta de saída digital. Para comunicação, deve possuir também integrado um módulo de comunicação serial (USART). Para seu funcionamento ininterrupto, é necessário que o dispositivo possua *Watchdog* (mecanismo de auto-monitoramento que força uma reinicialização caso haja travamento). Não foi necessária grande preocupação com velocidade de

processamento e capacidade de armazenamento, já que estes não são requisitos críticos para a aplicação. A existência de um sistema operacional também não foi cogitada por não trazer grandes melhorias.

Dentre os recursos computacionais necessários para esta aplicação estão:

- Conversor Analógico/Digital integrado;
- Duas saídas digitais, uma para o circuito de SET/RESET e outra para sinalização de status;
- Módulo de comunicação serial (USART);

Dentre as marcas mais difundidas no mercado, a Microchip fornece uma grande variedade de ferramentas de suporte ao desenvolvimento. Além de possuir diversos microcontroladores que atendem a estes recursos, suas ferramentas de desenvolvimento são bem conhecidas no meio acadêmico. Esta estratégia é justificada, provavelmente, por sua inserção comercial, fazendo de sua tecnologia uma das melhores opções, em se levando em consideração o acesso à tecnologia, facilidade em programá-la, suas ferramentas, e sua disponibilidade e acessibilidade.

Os microcontroladores da Microchip são agrupados em famílias. Estas famílias concentram características que possibilitam a fácil migração de um dispositivo para o outro. Isto garante ao desenvolvedor iniciar sua aplicação utilizando dispositivos mais simples e seguir elevando sua complexidade e seus recursos de forma gradativa, não sendo necessário realizar grandes mudanças no projeto.

Dentre suas famílias, a família PIC 16F concentra dispositivos que possuem, dentre outras características, módulos de conversão A/D e de comunicação serial. Para esta aplicação, foi utilizado o microcontrolador Microchip PIC16F877A.

O PIC16F877A é um microcontrolador de alto desempenho baseado na arquitetura Harvard, que se caracteriza por ter a memória de dados separada da memória de programa. Possui um número reduzido de instruções (RISC) e os seguintes recursos:

- Freqüência de operação de até 20MHz;
- Memória Flash de programa de 4K x 14bits;
- Memória de dados EEPROM de 256 Kb;
- 14 interrupções;
- 5 portas de E/S de 8 bits cada;
- 3 temporizadores;
- Comunicação serial (USART);
- 8 portas de entrada analógicas com conversão para digital de 10 bits.

O firmware foi desenvolvido em linguagem C seguindo o fluxograma mostrado na Figura 21.

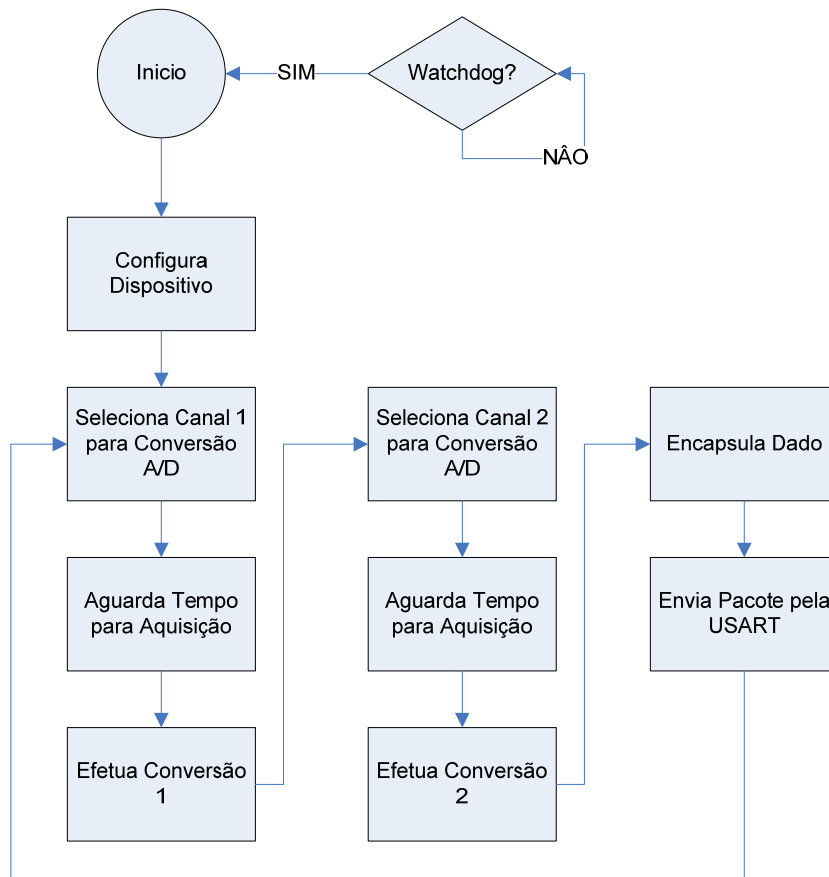


Figura 21 - Fluxograma do *firmware*

Na etapa representada pela expressão “*Configura Dispositivo*”, são realizadas as configurações para comunicação serial e para conversão A/D. De acordo com o fabricante, é necessário, após selecionar o canal a ser convertido, aguardar um tempo definido como tempo de aquisição. Este tempo, apesar de ser calculado de acordo com alguns parâmetros, incluindo entre eles a temperatura de operação do microcontrolador, deve ser em torno de 19,72 μ S.

Na etapa denominada no fluxograma de “*Aguarda Tempo para Aquisição*”, o microcontrolador é forçado a aguardar 50 μ S, tempo maior que o necessário para uma conversão precisa.

O bloco “*Efetua Conversão*” representa o instante no qual a conversão é realizada. O microcontrolador ativa internamente o dispositivo de conversão

analogico digital e este gera uma interrupção quando a conversão é finalizada. O programa fica aguardando este evento que sinaliza que o resultado da conversão está em dois registradores de 8 bits cada. Nesta etapa o dado de 10 bits, gravados nos 16 bits dos 2 registradores, é armazenado numa variável. O mesmo fluxo é seguido para conversão do segundo canal. Ao finalizar a segunda conversão os 20 bits, resultantes das duas conversões, são encapsulado na forma de um *string* de caracteres ASCII de 8 bits cada. O pacote tem o seguinte formato: "*BxyzE*", onde o caractere "B" representa o byte de início, "x" e "y" são caracteres referentes aos 8 bits mais significativos da conversão de cada canal, "z" armazena, em seus 4 bits mais significativos, os dois bits restantes de cada conversão e "E" indica o fim do pacote.

3.4 Módulo de comunicação Wireless

Na sessão 2.5 foi realizado um levantamento sobre a melhor tecnologia a se adotar para uma comunicação intraveicular. De acordo com as informações obtidas, a melhor tecnologia para este tipo de comunicação foi apontada como sendo o IEEE 802.15.3 (UWB-UltraWideband). Entretanto, em se tratando de uma aplicação comercial, este padrão ainda não se encontra definitivamente homologado pelo IEEE. Para esta aplicação, uma segunda opção seria o padrão *Bluetooth*.

O chip bluetooth escolhido foi o HCI - BCM2035 (*Bluetooth Single-Chip*) da *Broadcom*. Este dispositivo trabalha com baixo consumo energético, suporta comunicação serial (porta disponível nos microcontroladores) e, segundo o fabricante, é indicado para aplicações automotivas e industriais, sendo robusto às interferências eletromagnéticas provocada pelos motores.

Apesar desta indicação, por questões de disponibilidade, o protótipo apresentado utiliza comunicação sem fio por radio frequência (RF) em 433 MHz UHF (*Ultra High Frequency*) com alcance de até 150 metros, sem, entretanto, estar configurando o protocolo UWB nem o *Bluetooth*.

Testes com esta forma de comunicação foram realizados. Comparando a quantidade de pacotes enviados, com a quantidade de pacotes recebidos e validados, foi quantizada a quantidade de perda. Para compor um pacote transmitido, são enviados cinco caracteres: o primeiro (“A”) indica início, o segundo, o terceiro e o quarto representam duas conversões Analógico/Digital de 10 bits cada, já que cada caractere tem uma representação ASCII de 8 bits, e o último (“E”) indica o fim da transmissão. Dentre cinco caracteres, o primeiro sendo “A”, se o quinto não for um “E” então se considera este como um pacote perdido.

Nos testes realizados em laboratório, durante 35 minutos o sistema enviou para um computador 59.903 caracteres obtendo falha em 29 destes. É importante considerar que a distância adotada entre o emissor (sistema) e o receptor (computador) foi de aproximadamente 3 metros sem obstáculos, e o protocolo de comunicação é o mesmo utilizado em comunicação serial RS232. Estes testes mostraram que, na montagem da bancada para a avaliação do sensor desenvolvido, a comunicação sem fio não prejudica o funcionamento e a fidelidade das medidas de sensoriamento do deslocamento angular. No próximo capítulo estão descritos os métodos utilizados para esta análise.

CALIBRAÇÃO, TESTES E MEDIDAS

Após validações quanto ao comportamento da comunicação sem fio, foi desenvolvida uma bancada de testes que possibilitasse analisar o comportamento do sensor frente à variável de interesse (referencial magnético). Vale ressaltar que nesta etapa o objeto de estudo não foi a comunicação intraveicular estudada e sugerida. A importância em se manter uma comunicação sem fio no protótipo, mesmo esta não sendo foco principal, se deu pela preocupação de não inserir componentes que pudessem interferir na liberdade de movimento angular do volante do veículo. O que não poderia ser assegurado usando fios para extração dos dados adquiridos pelo sistema embarcado.

4.1 Bancada de testes

Para a realização de ensaios que pudessem constatar o funcionamento do sensor, bem como suas características quanto à fidelização de suas leituras, foi desenvolvida uma bancada de testes (Figura 22). Esta bancada pode ser dividida em dois grupos de componentes: o grupo de leitura, condicionamento, encapsulamento e transmissão do dado lido e o grupo de posicionamento e referência angular.

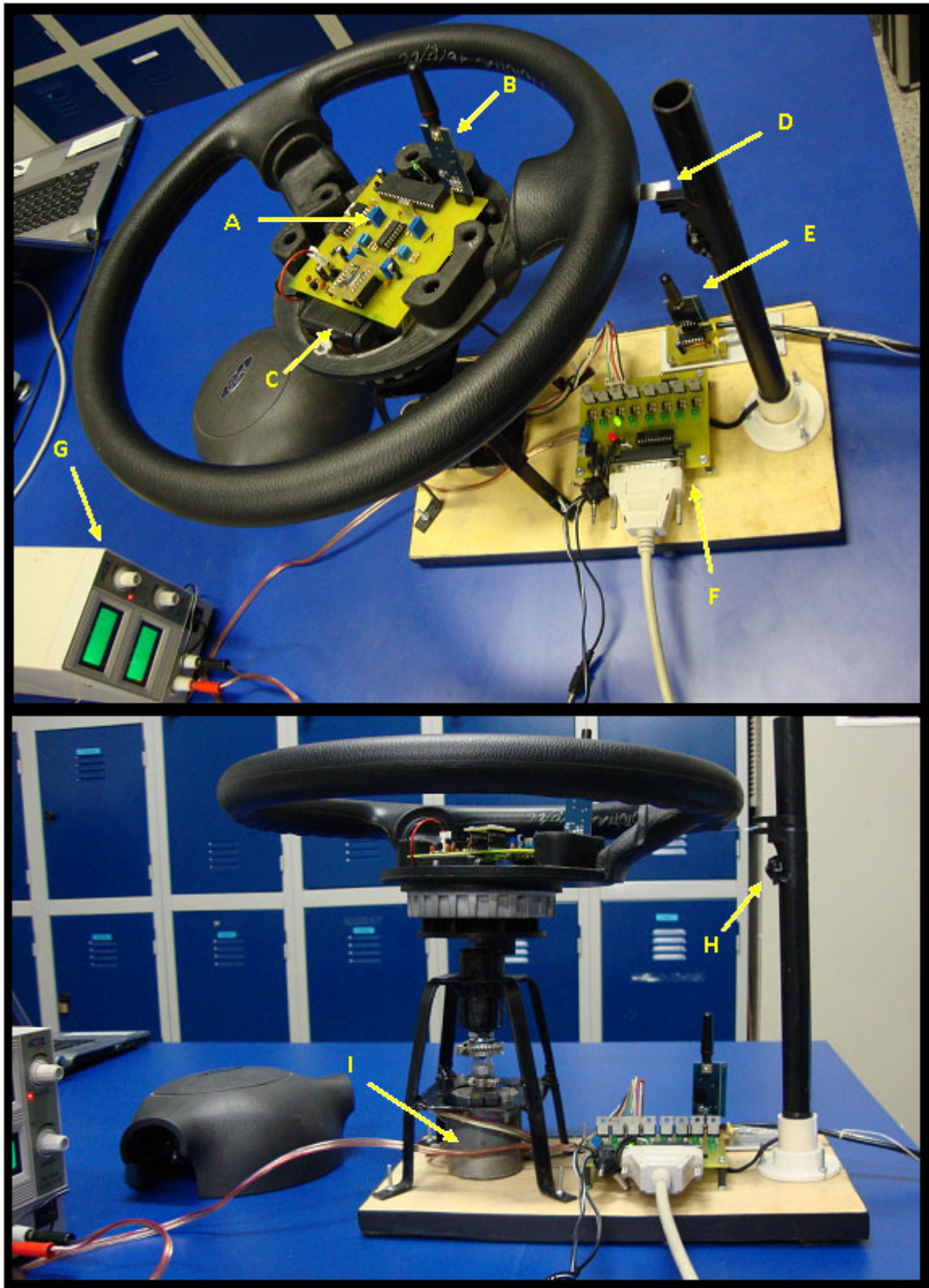


Figura 22 - Bancada de Testes: A- Volante; B- Módulo RF de Transmissão; C- Bateria para alimentação do sensor; D- Referencial visual de volta; E- Módulo RF de Recepção; F- Placa de potencia, G- Fonte de Alimentação para o circuito de atuação; H- Imã (referencial magnético); I- Motor de passo para atuação.

Para a montagem do primeiro grupo, a placa desenvolvida (Figura 22-A), contendo a célula magnética, o circuito de condicionamento, o microcontrolador e o conector para módulo de transmissão por RF foi montada no interior de um volante do veículo Ford *Ka*. Ainda no interior deste dispositivo mecânico foi montada uma bateria de 9V (Figura 22-B); a alimentação poderia ser de 12V como no veículo, já que a placa possui um circuito regulador de tensão; e o módulo RF (Figura 22-B). Esta montagem garante liberdade de movimento angular do volante já que não há nenhum fio ligado a uma outra estrutura. Como referencial de giro, foi utilizada uma haste metálica fixada ao volante (Figura 22-D). Esta haste passa por uma estrutura fixa onde está montado a fonte de campo magnético, um ímã comercial de ferrite, conhecido como cerâmica negra, com campo entre 1 e 100 Gauss (Figura 22-H). A recepção dos dados se dá pelo módulo RF de recepção (Figura 22-E) conectado a um computador pela porta serial RS232 e pela porta USB de onde se extrai 5V para alimentação deste módulo.

O segundo grupo também está conectado ao computador (porta paralela) via placa de potência (Figura 22-F). Esta placa possui a função de acionamento do motor de passo (Figura 22-I). Este motor de passo está conectado ao eixo da estrutura e tem como objetivo fazer o volante girar num deslocamento angular controlado. Esta placa e o motor de passo são ambos alimentados pela fonte auxiliar (Figura 22-G). Estes três componentes constituem o segundo grupo.

Os dois grupos de componentes estão ligados ao computador. Neste há um software responsável pelo acionamento do motor de passo e pela leitura e armazenamento do dado adquirido pelo sensor. Este software foi denominado *Software Repositório*.

4.2 Software repositório

Este software (Figura 23) foi desenvolvido em linguagem Delphi 6. Trata dados recebidos pela porta serial e envia dados para a porta paralela. O objetivo principal é controlar a movimentação do sensor e interpretar e armazenar os dados enviados pelo sensor. Além deste objetivo principal, este software também é responsável por apresentar ao usuário os dados lidos numa representação direta, indicando os valores lidos em cada canal do sensor e numa representação que mostra o ângulo de posicionamento do sensor frente ao referencial magnético. Para estas duas representações foi desenvolvida uma interface em forma de gráfico XY (Figura 23-A), onde são plotados os valores convertidos de cada sinal. Como resultado, quando o volante é girado a uma velocidade angular constante tem-se o traçado de uma *senoide* e uma *cosenoide*. Para a indicação de ângulo, que é a correlação destas duas funções, tem-se um indicador de posicionamento angular (Figura 23- B). Ambas as representações são atualizadas em tempo real representando o posicionamento sensor a cada instante de tempo.

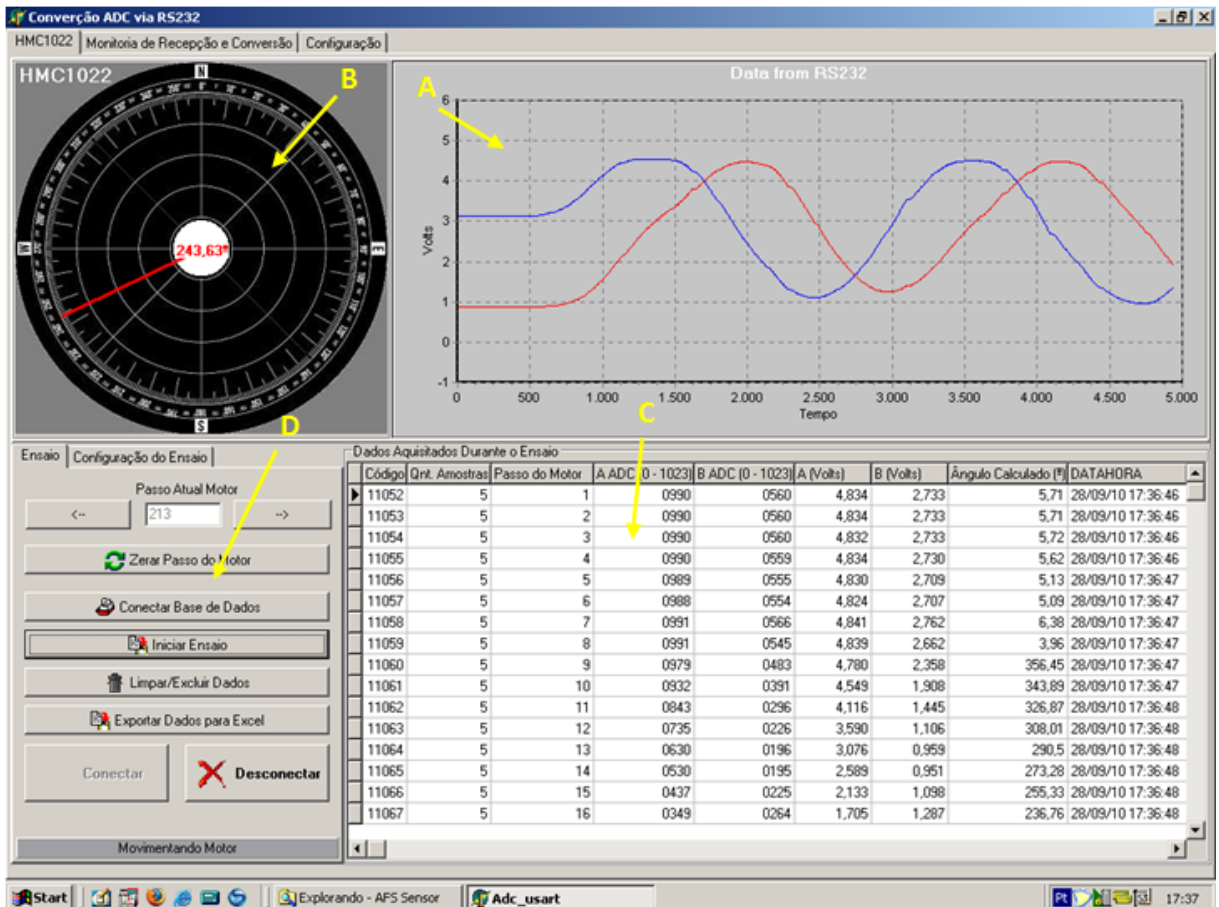


Figura 23. Software repositório. A- Interface de posicionamento angular; B- Interface mostrado os valores lidos em cada canal do sensor; C- Armazenamento dos dados; D- Configuração do ensaio.

Este software também tem como objetivo permitir a configuração e conduzir os ensaios de forma automática. Na caixa de texto/interação ilustrada pela Figura 23- B as configurações podem ser realizadas. Uma melhor visualização pode ser obtida na Figura 24. Entre as variáveis configuráveis estão: duração do ensaio em numero de ciclos, quantidade de passos do motor antes de cada leitura, tempo entre cada passo do motor, tempo para estabilização mecânica antes da aquisição do sensor e quantidade de amostras para realização da média aritmética da cada leitura efetuada.

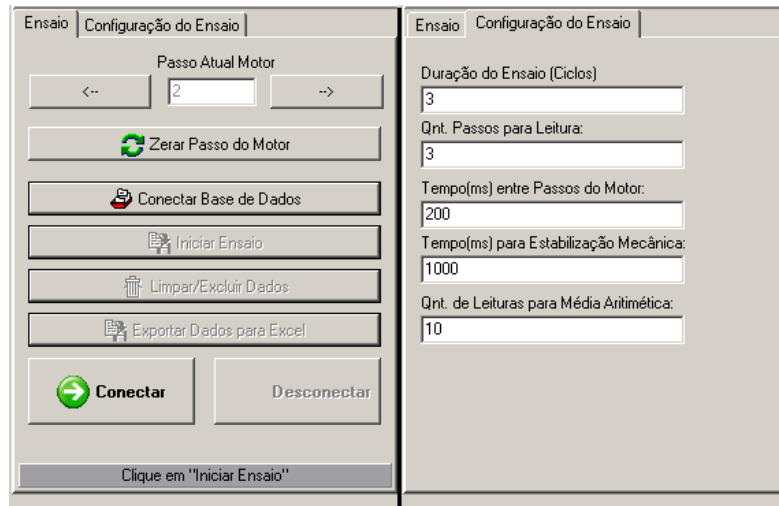


Figura 24 - Área de configuração do ensaio no software repositório

Esta leitura é armazenada em um banco de dados Interbase 6 e um software dedicado permite exportar estes dados para Microsoft Excel. Os dados armazenados (Figura 23- C) são: quantidade de amostras utilizadas para média aritmética, passo do motor que representa o posicionamento angular do sistema, valor da conversão de 10 bits do canal A e B (valores de 0 a 1024), suas representações em níveis de tensão (entre 0 e 5V), o ângulo calculado utilizando as leituras, a data e a hora da aquisição.

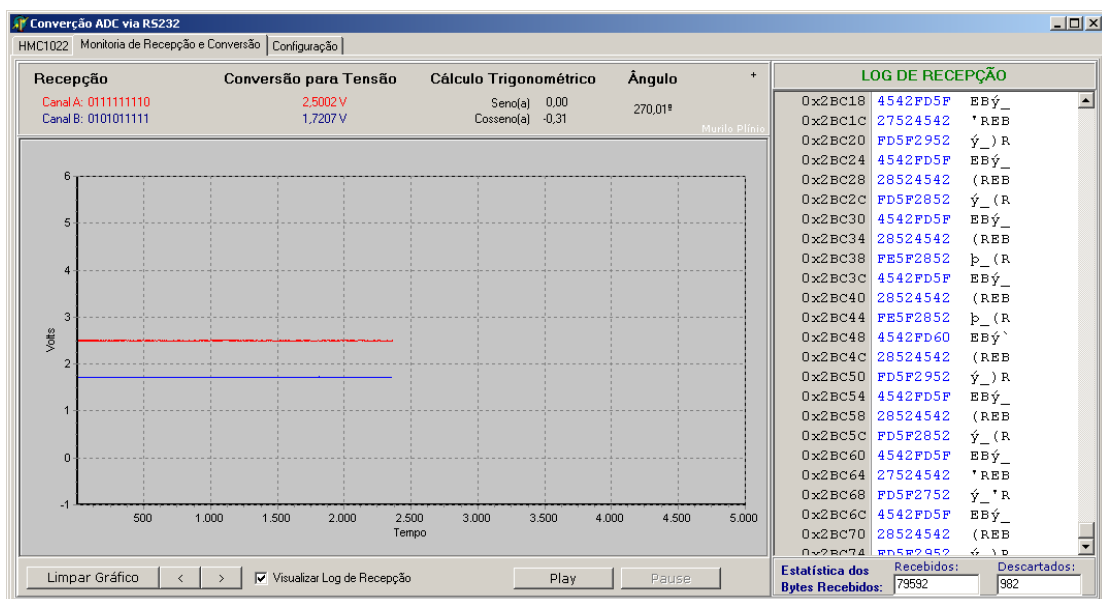


Figura 25 - Software Repositório - Tela de Monitoria da Recepção e Conversão

Na tela denominada “Monitoria da Recepção e Conversão” (

Figura 25), além do mesmo gráfico mostrando as leituras dos canais A e B, os valores lidos são apresentados no formato digital e em níveis de tensão. O resultado do cálculo trigonométrico e o ângulo encontrado também são apresentados no topo da tela. No lado direito do gráfico, é mostrado o registro de recepção, mostrando os pacotes recebidos em hexadecimal e em ASCII. Abaixo do registro aparece a quantidade de *bytes* recebidos e a quantidade descartada. Esta tela foi de grande utilidade na fase de validação do desenvolvimento do sensor.

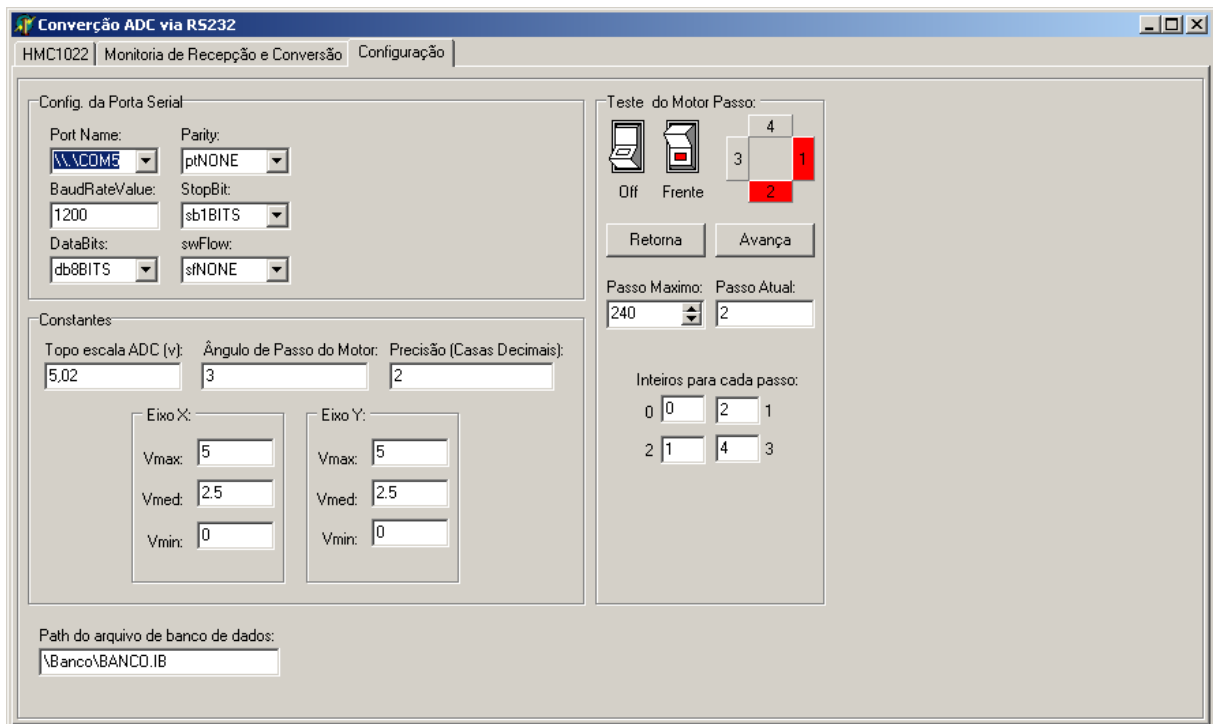


Figura 26 - Software Repositório - Tela de Configuração

Na tela de “Configuração” (Figura 26) são configurados alguns outros parâmetros mais genéricos, tais como: caminho do banco de dados, parâmetros de comunicação serial, constantes utilizadas na conversão e parâmetros para acionamento do motor de passo.

O software repositório foi desenvolvido com grande flexibilidade permitindo validações em diversas etapas de desenvolvimento do sensor e realização dos ensaios seguindo uma metodologia definida.

4.3 Metodologia aplicada ao ensaio

Alguns cuidados foram tomados durante a realização dos ensaios. Primeiramente não deveria haver variação no sinal gerado pelo campo magnético que excita o sensor. Desta forma, preocupou-se em selecionar um local distante de equipamentos que pudessem gerar campo magnético, tais como motores, aparelhos celulares, ferramentas imantadas, etc. Outra preocupação foi a geometria final do plano no qual o sensor estava posicionado e do plano de maior concentração de linhas de fluxo magnético gerado pelo ímã. Ambos foram posicionados no mesmo plano.

O “*Software Repositório*” foi desenvolvido para conduzir os ensaios de forma automática sem intervenção do usuário. Para tanto, antes de cada ensaio todos os parâmetros são configurados e só então o comando de início é enviado. Vários ensaios foram realizados com diversas configurações. O melhor resultado de amostragem foi alcançado com parâmetros mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros configurados para o ensaio

Duração	5 voltas	Quantidade de voltas dadas pelo motor
Quantidade de Passos	1 passo	Quantidade de passos que o motor dará para que o sistema realize uma leitura
Tempo entre Passos	40ms	Tempo entre passos durante o deslocamento
Tempo para estabilização	200ms	Tempo após o último passo antes da leitura
Quantidade Amostras	5 amostras	Quantidade de leituras para média aritmética que representará uma amostra

Antes do ensaio ser iniciado, a tabela do banco de dados é limpa para garantir que todos os dados acumulados sejam do último ensaio realizado. Após a

finalização do ensaio os dados são exportados para uma tabela em formato *x/s* (*Microsoft Excel*).

Os dados obtidos para cada um dos dois canais (A e B) do sensor durante o ensaio estão representados no gráfico da Figura 27.

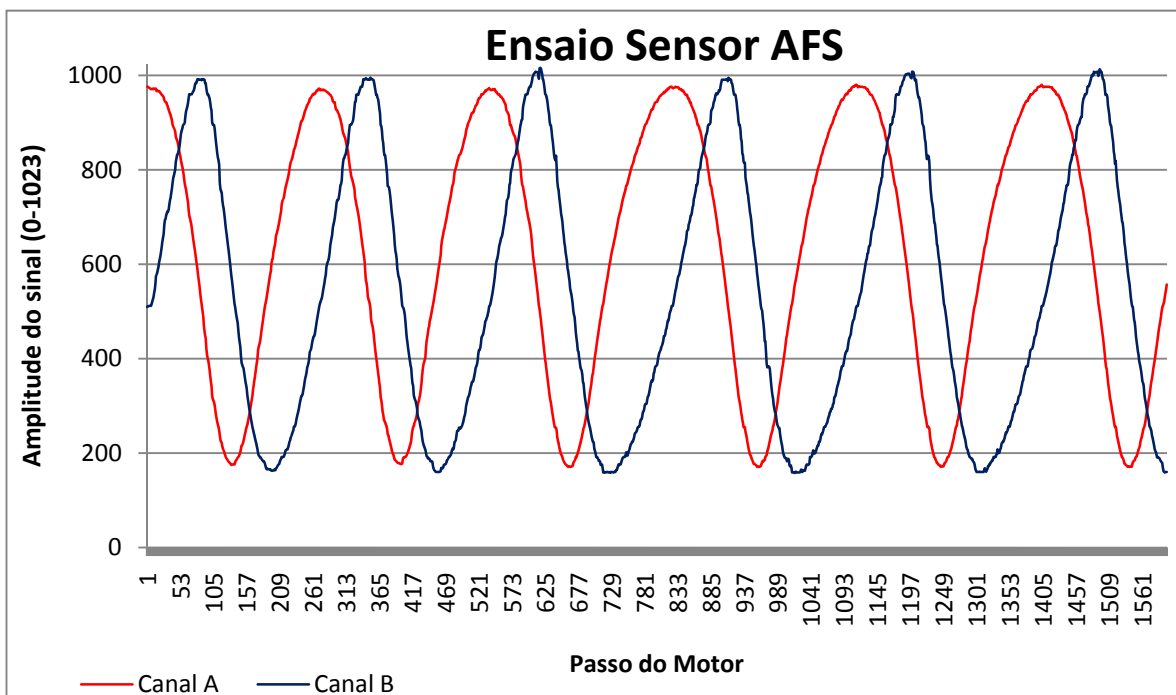


Figura 27 - Gráfico dos dados capturados no ensaio

Para análise e conclusões sobre os dados adquiridos foi necessário realizar um tratamento nos dados.

4.4 Tratamento de dados

Inicialmente foi abatido o *offset*, para cada dado, para cada canal. Isso foi feito subtraindo de todas as amostras, de um dado canal, o menor valor medido por este canal. Em seguida as amplitudes dos dois canais foram padronizadas e os dados foram então normalizados de tal forma que estes estivessem num intervalo entre -1 e 1. Cada amostra foi dividida pela metade do maior valor obtido em cada um dos canais e então subtraído de uma unidade de acordo com a equação 2.

$$V_{xi} = \frac{V_x(i)}{\text{Max}(V_{xi})/2} - 1 \quad (2)$$

Onde V_{xi} representa a matriz de valores, x é o valor medido para um dado canal (A ou B) e (i) é o índice desta amostragem. A função “Max” retorna o maior valor desta matriz. Os dados tratados podem ser vistos no gráfico da Figura 28.

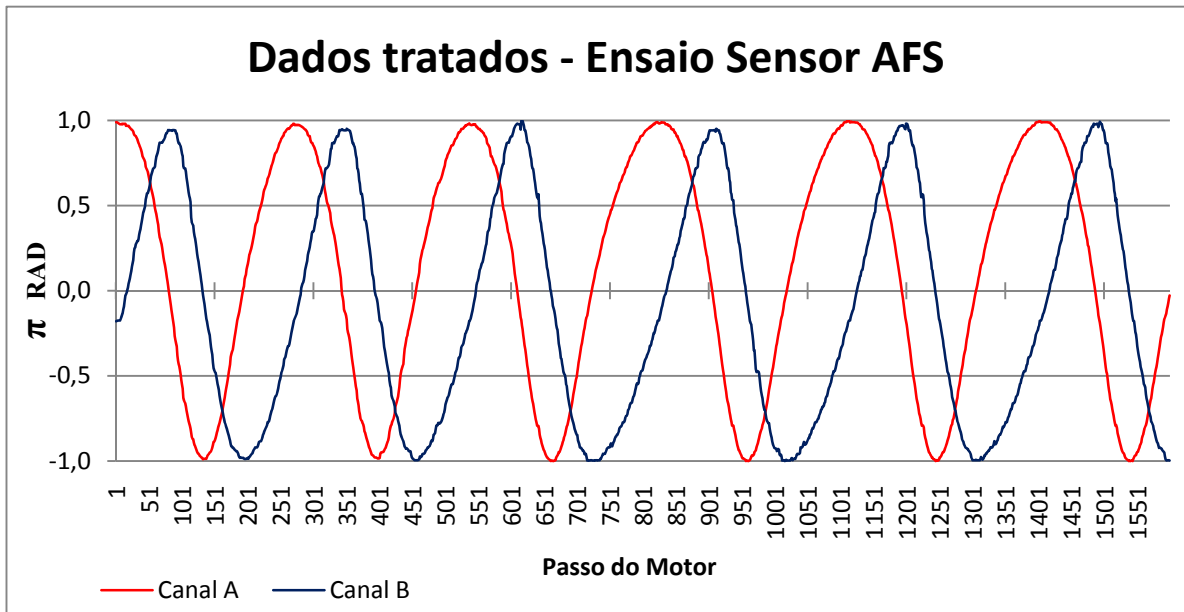


Figura 28 - Gráfico do ensaio com os dados tratados

Com os dados tratados, foi possível calcular o arco-tangente para cada par de valores. O resultado pode ser visto no gráfico da Figura 29. Neste gráfico cada volta de 360° medida pelo sensor é explicitada.

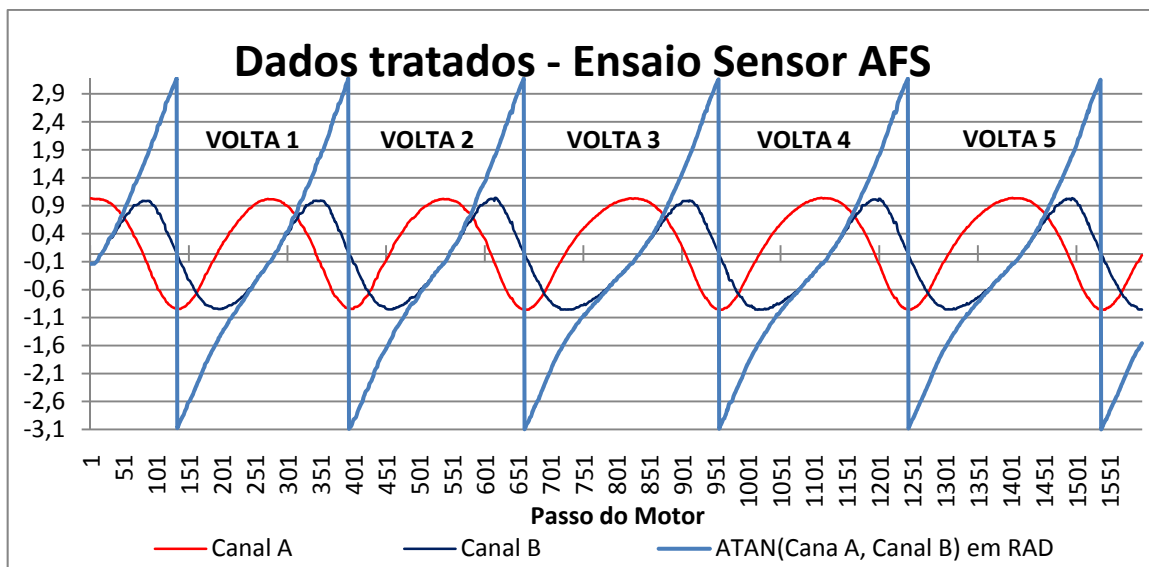


Figura 29 – Arco Tangente da amostra

Os dados de ângulo de cada volta são apresentados na Figura 30 tendo na abscissa o deslocamento angular, em unidades de passos do motor e na ordenada o arco-tangente do ângulo de esterçamento em radianos. O objetivo desta representação é verificar o comportamento do aparato experimental nas diferentes voltas observadas. Cinco voltas foram analisadas, a razão para tanto é que este é o número médio de giro do volante para o esterçamento completo (de um lado ao outro) das rodas de um veículo popular.

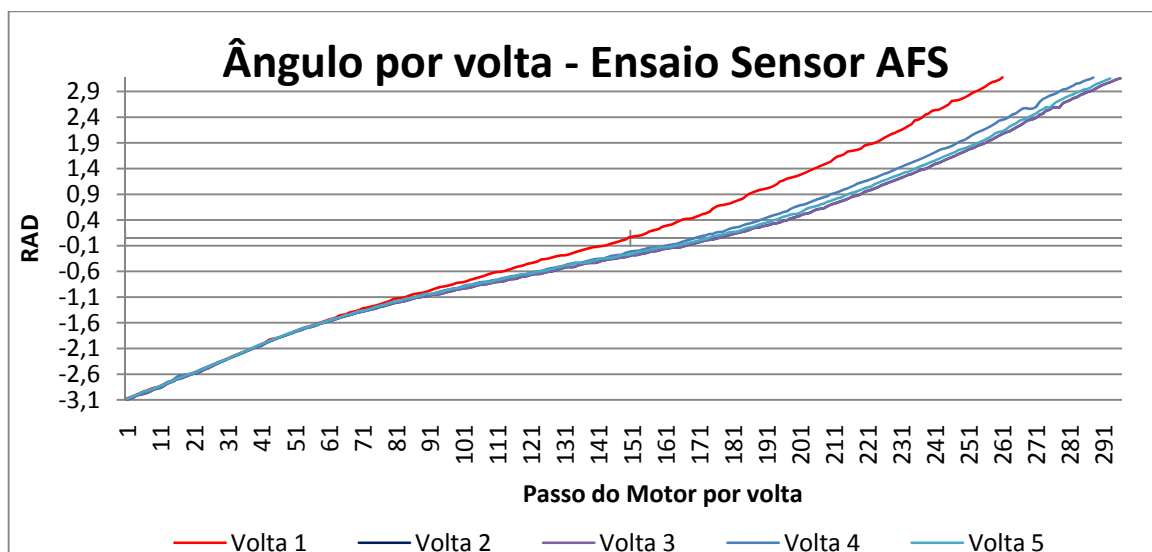


Figura 30 – Comparação das medidas de ângulo em diferentes voltas

4.5 Discussão dos resultados

A Figura 30 mostra uma variação na resposta do sensor para as diferentes voltas. A volta de número 1 parece muito diferente das demais. A razão para tanto foi o escorregamento do acoplamento entre o motor de passo e o eixo do volante.

Decidiu-se então pela normalização e correção destas medidas, por pós-análise, para a obtenção de dados mais aproximados que permitissem a análise da repetibilidade das medidas. Esta normalização foi realizada tomando-se a quantidade de amostras para cada volta como 100% de modo que, apesar de possuir quantidades diferentes de amostras por volta, todas estas estivessem compreendidas num intervalo de 0% a 100%. A Figura 31 mostra os dados renormalizados e conciliados.

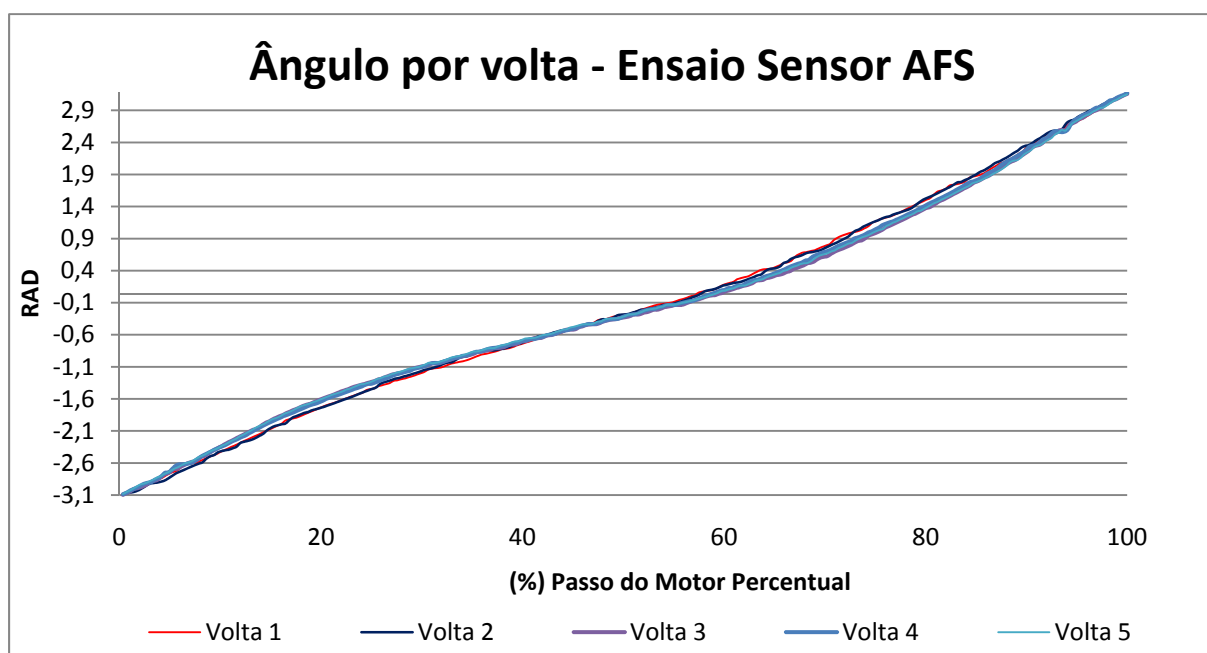


Figura 31 – Amostragem normalizada das voltas

4.6 Cálculo do erro

Por conta do escorregamento do acoplamento entre o motor de passo e o eixo do volante, a quantidade de medidas (numero de passos do motor) obtidas não foi igual para diferentes voltas. Isso inviabiliza uma comparação ponto a ponto para determinar o erro máximo nos ensaios. Foi então o necessário usar os dados amostrados de cada volta para determinar, por ajuste polinomial, a função que melhor representava cada volta.

$$Y = A + B_1 * X + B_2 * X^2 + B_3 * X^3 + B_4 * X^4 + B_5 * X^5 \quad (3)$$

A melhor aproximação para cada volta foi alcançada usando um polinômio de 5ª ordem (equação 3). Tal aproximação apresentou coeficiente de determinação melhor que 0,99985 para todas as 5 voltas. A Figura 32 mostra o gráfico da aproximação realizada para a volta de numero 5. Todos os valores encontrados para os parâmetros, bem como os erros e desvio padrão para cada aproximação podem ser vistos no apêndice C.

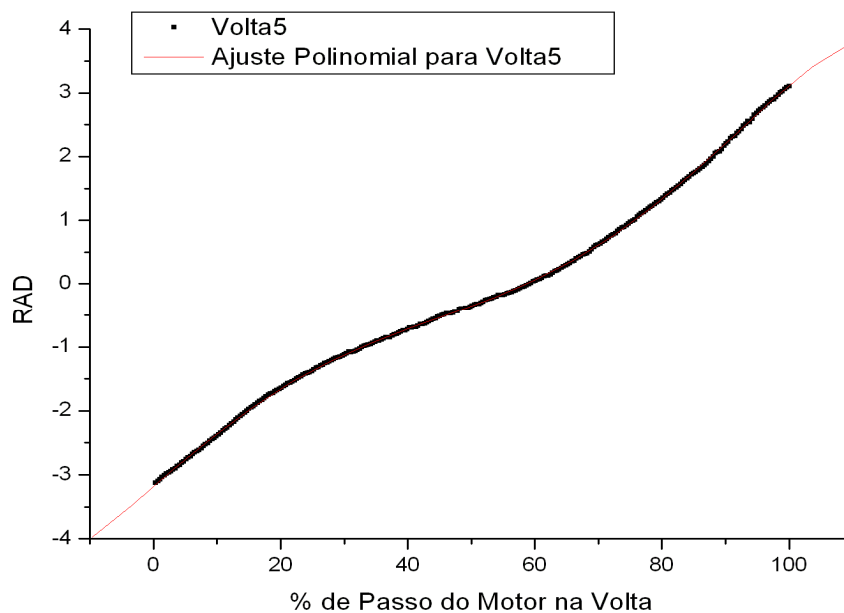


Figura 32 – Ajuste polinomial para a volta 5

Na sequência foram definidos 100 pontos na mesma região das amostras obtidas (intervalo de 0 a 100 no eixo das abscissas). A partir destes pontos foram calculados os novos valores de Y para as 5 funções polinomiais de grau 5, ao todo foram calculados 100 valores (Y) que representassem uma distribuição ponto a ponto em cada uma das voltas.

O próximo passo foi calcular a “VOLTA_MÉDIA”. Esta representa a distribuição média das 5 voltas. Para cada um dos 100 valores em X, calculou-se a média aritmética entre os 5 valores de ângulo (Y). O resultado é apresentado na Figura 33.

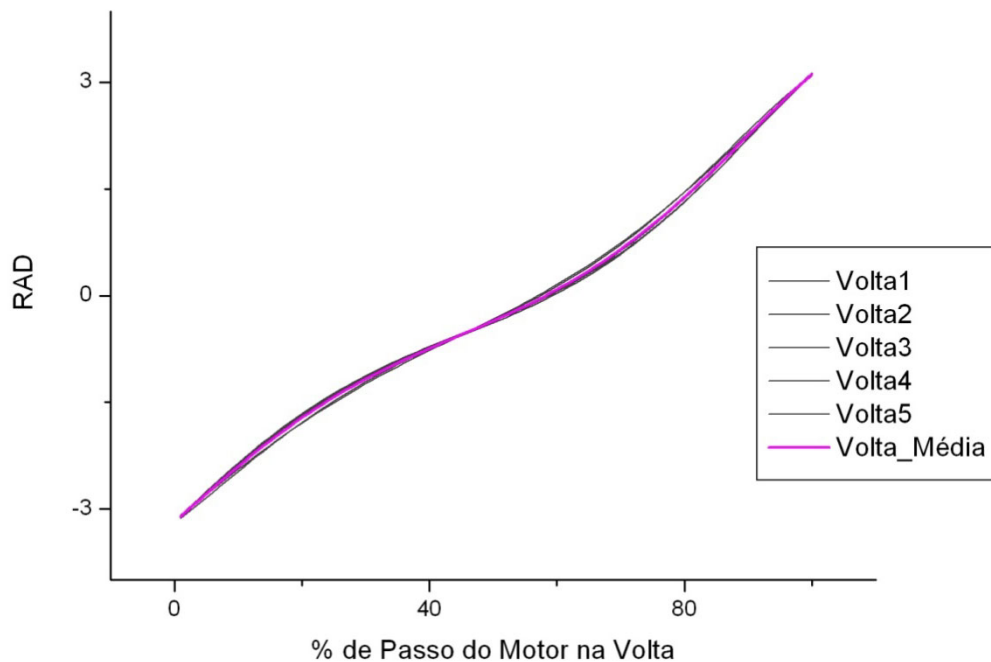


Figura 33 – Gráfico da “Volta_Média” em relação às 5 voltas

O erro em cada volta é definido pela distância entre a linha que representa uma dada volta e a linha da volta média. A representação destes erros pode ser visto na Figura 34.

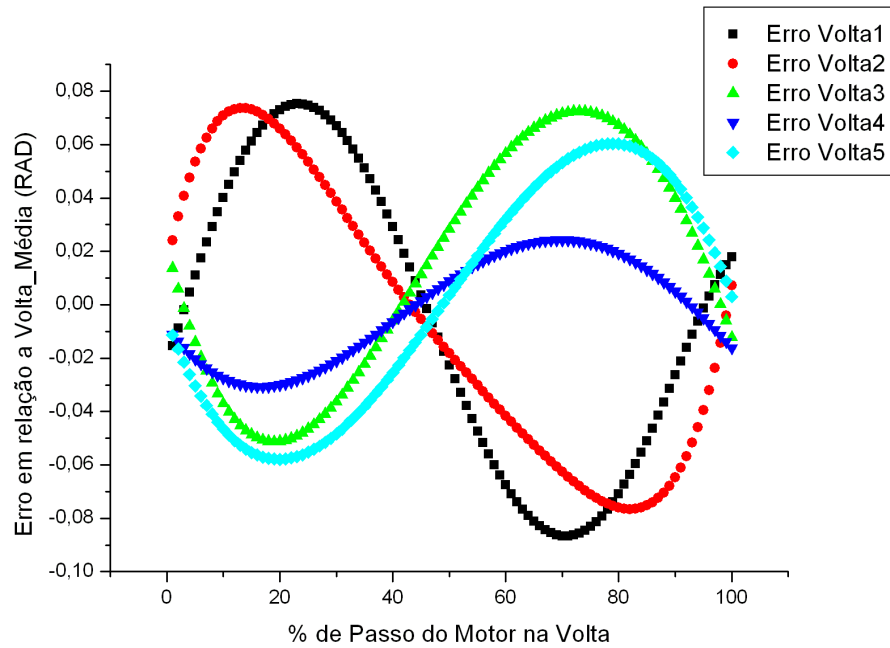


Figura 34 – Erro de cada volta em relação à “Volta Média”

A seguir foi calculada a média dos erros através da média aritmética ponto a ponto do erro absoluto para cada volta. O resultado é apresentado na Figura 35.

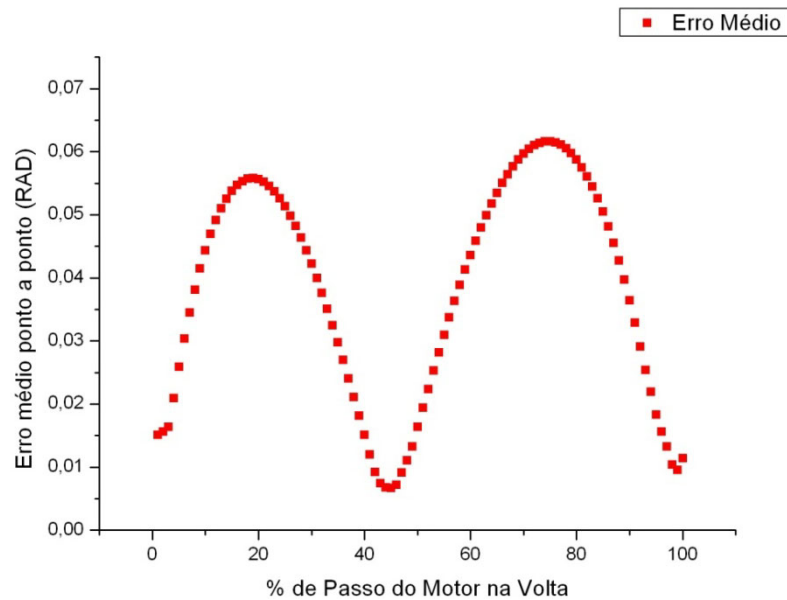


Figura 35 – Erro médio do ensaio ponto a ponto

A Tabela 6 mostra, em radianos e em graus, os valores médio, máximo e mínimo desta distribuição.

Tabela 6 – Estatística do erro médio

COLUNA	VALOR MÉDIO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Media Erro (RAD)	0,03828	0,00665	0,06165
Media Erro (°)	2,19316	0,38124	3,53244

Este erro, como mostra a Figura 35 é intensificado em dois pontos no deslocamento de 360° (0 a 100% dos passos por volta). Estes dois pontos estão aproximadamente a 180° um do outro. Observando o caráter harmônico do erro calculado é muito provável que esta interferência tenha sido gerada pelo campo magnético da Terra ou por alguma outra fonte magnética nas proximidades (ex.: ímã permanente do motor de passo, fonte da alimentação do motor, fonte de alimentação do circuito do sensor). Este campo de orientação fixa interfere mais intensamente neste sistema sempre que este é alinhado com este “campo perturbador”. De qualquer forma, este erro máximo representa somente 0,06 radiano ou 3,53°, sendo aceitável para o uso em um produto destinado ao monitoramento do esterçamento das rodas para sistemas de iluminação frontal adaptativa.

CONCLUSÕES

O mercado de sensores automotivos vivencia um momento de estímulo ao surgimento de novas soluções tecnológicas, em particular de caráter mecatrônico. Como discutido, a taxa de crescimento da demanda destes sensores é mais que duas vezes maior que a taxa de crescimento da produção de veículos. A previsão de crescimento anual é maior que 10% até 2013 e não aponta para uma eventual retração num futuro próximo. Os sistemas microeletrônicos em chips do tipo MENS são os grandes responsáveis pelo avanço desta oferta de sensores.

Este trabalho apresentou uma aplicação de um sensor do tipo MENS para a determinação do esterçamento das rodas, como suporte de metrologia para uso em AFS.

5.1 Contribuições deste trabalho

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo sobre diferentes princípios de sensoriamento angular sem contato. Chegou-se à conclusão de que o sensoriamento magnético é uma solução tecnicamente viável para a aplicação destino.

Foi desenvolvido um levantamento sobre tecnologias de comunicação sem fio e sobre a introdução desta tecnologia no habitáculo veicular. Chegou-se à conclusão de que é possível a criação de uma rede intraveicular sem fio, mesmo voltada para produtos de *after-market* (mercado de acessórios), apesar de serem necessários testes para validação da tecnologia sem-fio no habitáculo veicular.

Foi projetado, desenvolvido, montado e testado um sensor veicular, baseado em tecnologia MENS para medida de campo magnético, sem contato e com comunicação sem fio, sensível ao esterçamento das rodas, que pode ser montado no interior de um volante padrão. Este sensor XY respondeu ao estímulo magnético de um referencial fixo e conhecido. Os resultados das medidas dos dois canais foram interpretados por análise trigonométrica, chegando-se a uma representação angular do posicionamento do sensor, do tipo *arctan* (arco tangente) do ângulo de giro do volante. Suas leituras foram enviadas para uma central através de comunicação sem fio. Sua repetibilidade foi, então, medida e apresentou um erro máximo de 3,5° para uma volta, o que confirma a possibilidade de uso do sistema desenvolvido para o monitoramento do esterçamento das rodas para sistemas de iluminação frontal adaptativa.

Foi desenvolvido um protocolo de encapsulamento da informação trafegada entre o sensor e a unidade eletrônica de controle.

Foi desenvolvido um programa em linguagem Delphi6, dotada de interface gráfica, facilidades de aquisição e banco de dados, como suporte aos testes de protótipo. Este software repositório, além de permitir prévia configuração de ensaios, manter e possibilitar o controle do sistema, possui a fundamental funcionalidade de possibilitar o armazenamento e exportação das informações. Com seu uso, a pós-análise e tratamento dos dados dos ensaios puderam ser realizados em outras plataformas, permitindo a manipulação matemática e geração de gráficos transformando dados em informações.

Foi desenvolvida uma plataforma de testes mecânicos em malha fechada para a validação do protótipo de sensor de esterçamento de rodas, capaz de realizar o

movimento circular e periódico do volante padrão. Esta bancada de testes, apesar de apresentar certas limitações mecânicas, como certo escorregamento, serviu como ferramenta fundamental na validação da solução de sensor desenvolvida. No ensaio apresentado no capítulo 4, foram adquiridos cerca de 1400 dados para cada um dos dois canais do sensor, totalizando mais de 2800 valores numéricos. Realizar este ensaio de modo manual, sem o auxílio de uma bancada de testes automatizada, seria inviável.

5.2 Recomendações para continuação

Um desenvolvimento em seqüência a este trabalho pode reafirmar definitivamente esta idéia como produto comercial. Alguns sistemas ainda precisam ser desenvolvidos e outros precisam ser aprimorados. A comunicação sem fio intraveicular ainda deve passar por um amadurecimento em diversos sistemas. A homologação do UWB (*ultra-wideband*) como protocolo de comunicação sem fio vai contribuir consideravelmente para comunicação em ambientes ruidosos e de exposição variáveis como são os veículos. Toda tecnologia de comunicação sem fio por RF utilizada neste trabalho para os ensaios não deve se comportar de forma confiável em testes reais em veículos. Desta forma, todo o sistema de comunicação sem fio deve ser aprimorado e, se possível, introduzir UWB em seu protocolo.

Apesar de apresentado o sistema de SET/RESET do sensor utilizado, este foi desenvolvido para ser ativado manualmente. Um funcionamento contínuo do sensor como está aqui apresentado deverá, muito provavelmente, comprometer a repetibilidade e confiabilidade das medições. O circuito deve ser alterado de forma que o sistema de SET/RESET seja acionado pelo microcontrolador constantemente.

Para que fosse possível a calibração de cada canal do sensor de forma individual, optou-se por transmitir o resultado da conversão analógico-digital de cada canal para a ECU (simulada pelo computador com software repositório). Uma vez tendo a eletrônica calibrada, todo o tratamento matemático de amostragem e média e tratamento trigonométrico para chegar ao ângulo lido pode ser transferido para o microcontrolador do sensor. Isto reduziria a alocação de recursos computacionais da ECU e quantidade de informações trafegadas pela rede sem fio.

Para continuidade dos testes, a bancada pode ser melhorada. A implementação do passo completo 2, técnica de acionamento de duas bobinas do motor por passo, pode reduzir o escorregamento. Na haste de referencial visual, pode ser instalado um sensor ótico de passagem tornando o sistema capaz de identificar o escorregamento. Contando a quantidade de passos dados entre dois acionamentos, sabendo-se precisamente se a quantidade de passo dados por volta é realmente a quantidade coerente, apontando o escorregamento na volta do ensaio. É aconselhável também investigar a origem do erro apresentado na Figura 35 levando em consideração o campo magnético da Terra e outras possíveis fontes magnéticas nas proximidades, como por exemplo, o próprio motor de passo e/ou outros sistemas elétricos.

O alimentação de energia para o sensor durante os ensaios foi fornecida por uma bateria alcalina de 9V. Como apresentado na sessão 3, é necessário utilizar a alimentação disponível no volante (12V) e implementar o circuito de filtro com um capacitor.

Por fim é necessário tornar o circuito menor através do uso de tecnologia de montagem em superfície (SMT) para que este seja apresentado como um acessório, possibilitando sua montagem em diversos modelos de volantes.

Indicar testes reais em veículos.

5.3 Considerações finais

Este trabalho representa o início de todo um estudo, desenvolvimento e validação desta tecnologia para que esta idéia seja disponibilizada como produto final. Diversas restrições de confiabilidade e repetibilidade, precisão, alcance e velocidade de resposta precisam ser definidas e alcançadas.

Independente da aplicação aqui apresentada, toda a metodologia e técnicas aqui desenvolvidas podem servir como ferramenta para outros trabalhos semelhantes.

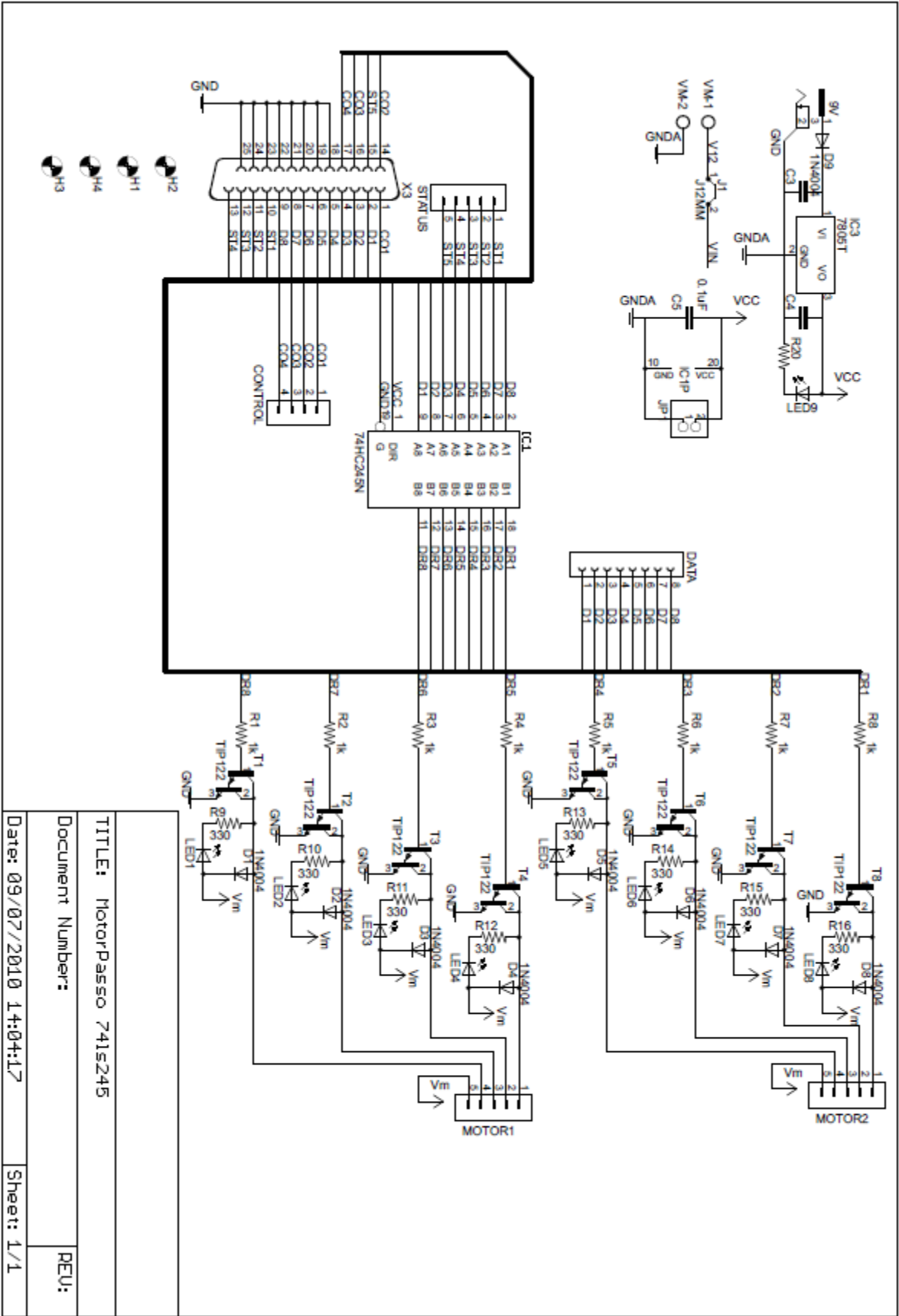
O sistema desenvolvido introduz sensoriamento magnético e comunicação sem fio. Outras aplicações menos restritivas podem encurtar o caminho para aplicação deste sensor como produto. Um bom exemplo é o monitoramento da direção do vento através de uma malha de birutas automatizadas distribuídas em uma área.

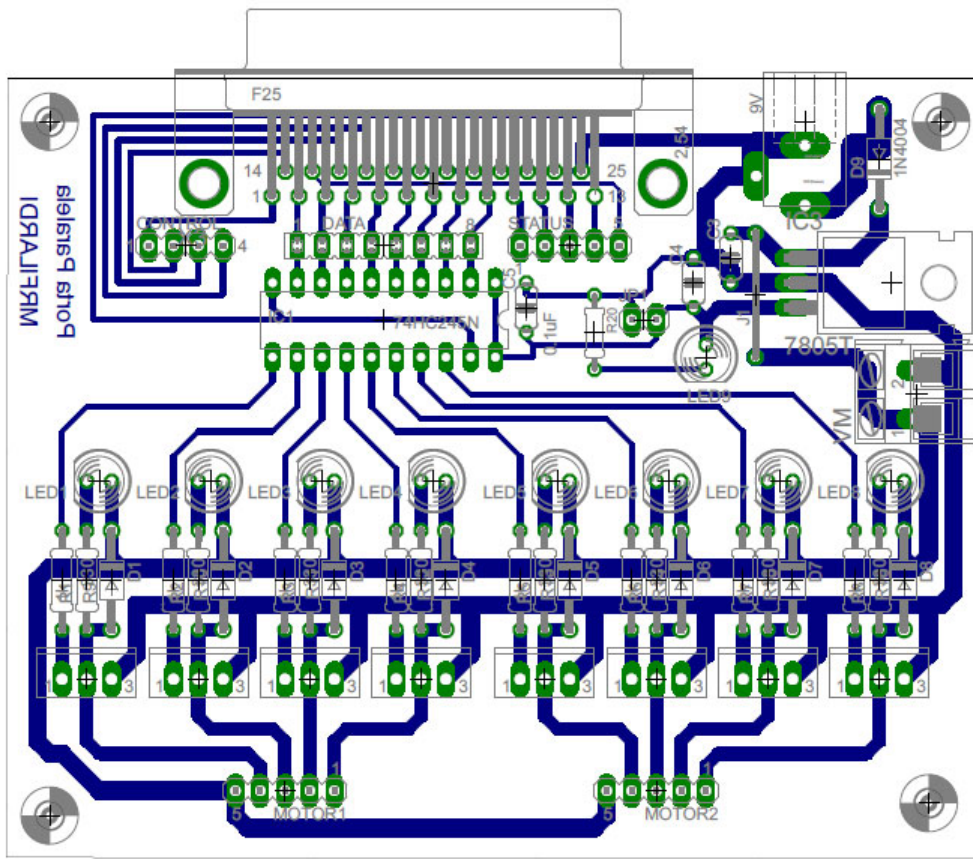
REFERÊNCIA

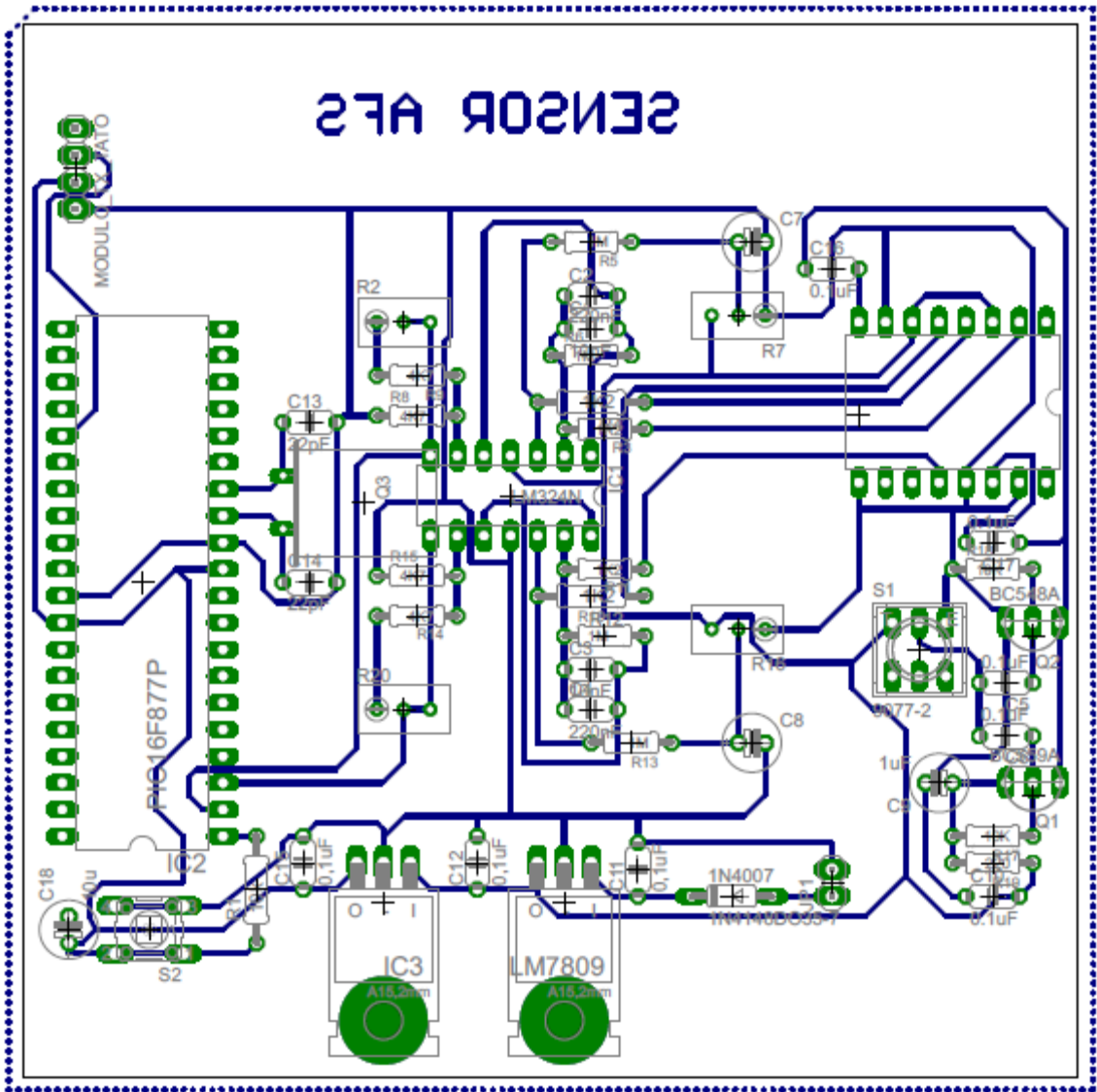
- AKINGBEHIN, K., "Wireless Communications for Intra-Vehicle Use (Wireless Harnesses)," Institute for Advanced Vehicle Systems, University of Michigan-Dearborn, Nov. 2005
- BARRON, M.B. & Powers, W.F., 1996. The role of electronic controls for future automotive mechatronic systems. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1(1), pp.80-88. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=491412>>.
- BEST CARS WEBSITE, 2010, "Páginas da História – Panhard24". Disponível em: <<http://www2.uol.com.br/bestcars/ph2/188a.htm>>; Acesso em: Dez 2010
- BOSCH. Rotary Potentiometer RP 86. P.N .0280122016, 2009.
- BOURNS AUTOMOTIVE DIVISION, 2009. Steering Angle Sensors Based on AMR Technology.(951), pp.5397-5397
- BUSINESS WIRE, 2007. Strategy Analytics : Automotive Sensors Market Expanding to \$ 17 Billion by 2013 . Business Wire. Disponível em <<http://www.allbusiness.com/services/business-services/4329985-1.html>>.
- CARUSO, M.J. & Smith, C.H.. A New Perspective on Magnetic Field Sensing. SENSORS Mag, pp.34-45, 1998.
- FLEMING, William J., Overview of Automotive Sensors. IEEE Sensors Journal, Vol. 1, No.4, 4pp, pp.296-308, 2001.
- FLEMING, William J. New Automotive Sensors—A Review. IEEE Sensors Journal, 8(11), pp.1900-1921, 2008.
- FROST, A.R., McMaster, A.P., Saunders, K.G., Lee, S.R., 1996,"Development of a Remotely Operated Veicle (ROV) for Aquaculture", Aquacultural Engineering, v.15, n.6, p.461-483.
- HONEYWELL, "HMC1022 & HMC1001: Linear Magnetic field Sensor", Abril 2000, Honeywell Sensor Products.
- IEEE STANDARDS, 2000, "IEEE Standards Wireless Zone". Disponível em: <<http://standards.ieee.org/wireless/>>; Acesso em: Fev 2008
- JACQUES, Muller Reconvilier;Claude Bérout, Court; Thomas Edye, Boudry, "Vehicle Steering Control Device", U.S. Pat. No. 5,275,250, United States Patent, 1994
- KANELAS, G., Alman, D.. New Sensors Help Put Pedal to the Metal. Sensors (Peterborough, NH), (May 1999), pp.1-4, 1999.
- LEEN, G., Heffernan, D., "Vehicles without wires", Computing and Control Engineering Journal, v 12, n 5, p 205-211, October, 2001.
- LIDDLE, D., 1986, "TROJAN: Remotely Operated Vehicle", IEEE Journal of Oceanic Engineering, July 1986, v. Oe-11, n. 3, p.364-372.
- LUKACS, L., "Implementação de um sistema de iluminação dianteiro adaptativo a LEDs para caminhões pesados dimensionado para o mercado brasileiro", tese de doutorado, PEI/UFBA,D.Sc., Engenharia Industrial, 2009.
- MADNI, A., R.Wells. An Advanced Steering Wheel Sensor. Sensor Magazine, D(February), pp.28-40, 2000.

- MALINOWSKI, G. et al., 2008. Angular magnetic field sensor for automotive applications based on magnetic tunnel junctions using a current loop layout configuration. *Sensors and Actuators A: Physical*, 144(2), pp.263-266. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924424708000964>>.
- NEUMANN, R., 2006. LED Front Lighting – Optical Concepts, Styling Opportunities and Consumer Expectations, SAE Technical Paper Series, No. 2006-01-0100.
- NIU, W., Li, J., Liu, S., & Talty, T. Intra-Vehicle Ultra-Wideband Communication Testbed. MILCOM 2007 - IEEE Military Communications Conference, 1-6. IEEE. DOI: 10.1109/MILCOM.2007.4455143, 2007.
- PATTERSON, D.A. Microprocessors in 2020. *Sci. Amer.*, 8(1), pp.86-88, 1997.
- PERKONS, 2010, “A evolução dos faróis dos automóveis”. Disponível em: <<http://www.perkons.com.br/?page=curiosidades&pageid=40&pagina=2>>; Acesso em: Dez 2010
- PRADO, Eduardo, 2007, “O Mundo Wireless”, Revista de Wimax. Disponível em <www.revistadewimax.com.br> ; Acessado em: Fev 2008
- RIBEIRO, M, P. N. ; SOARES JUNIOR, L. C. S. ; Luciano P. Lukacs ; PEPE, Iuri . Adotando conceitos de comunicação sem-fio em sensores de atitude veicular para módulos afs. In: CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2008, Salvador. V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Cian - Gráfica & Editora, 2008.
- SENSATA TECHNOLOGIES. Absolute Position Steering Angle Sensor EXT 200 SERIES Circuit Breakers. Current, 2006.
- SHINJI, Kato Aichi; Soya Takagi, Toyota; Akiu Sato, Toyota; Mizunho Sugiyama, Toyota; Yuji Yokoya, Toyota, “Steering Angle Sensor”, U.S. Pat. No. 5,314,036, United States Patent, 1994
- SIMÕES, L. Desenvolvimento de um sistema para navegação e telemetria de um rovo atuando em águas rasas, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia, 2008.
- SOUZA, D. J. (2007). Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16F628A (11 ed.). São Paulo: Érica.
- TONGUZ, O. et al., 2006. RFID Technology for Intra-Car Communications: A New Paradigm. *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.1-6. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4109883>>.
- TSAI, Hsin-Mu , Saraydar, Cem; Talty, Timothy; Ames, Michael; Macdonald, Andrew; Tonguz, Ozan K., “ZigBee based intra-car wireless sensor network”, *IEEE International Conference on Communications, 2007 IEEE International Conference on Communications, ICC'07*, 2007, p 3965-3971, 2007.
- VAUGHN, B. K., Byron & Mich. (1999). US5880367 - VEHICLE STEERING SENSOR DEVICE.
- XIANG, Weidong, “Vehicular Ultra-Wideband Channel Model for Future Wireless Intra-Vehicle Communications (IVC) Systems”, *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th*, p. 2159-2163, Sept 2007.

ESQUEMAS ELETRÔNICOS E PCB







FIRMWARE EMBARCADO

```

#include <16F877a.h>
#define ADC=10
#define fuses HS, NOWDT, PUT, NOBROWNOUT, NOPROTECT,NOLVP
#define use delay(clock=20000000)
#include <STDLIB.H>
#define use rs232 (baud=57600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7)

/* Variaveis globais */
unsigned int16 adc1_value=0;
unsigned int8  adc1_valueL,adc1_valueH;
unsigned int16 adc2_value=0;
unsigned int8  adc2_valueL,adc2_valueH;
unsigned int8  EXTRA;

void main()
{
  setup_adc_ports(ANALOG_RA3_REF);
  setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_64);
  output_bit(PIN_D4, 1);
  delay_ms(500); //Pausa de 0,5 segundo
  output_bit(PIN_D4, 0);
  delay_ms(500); //Pausa de 0,5 segundo
  output_bit(PIN_D4, 1);
  while(true)
  {
    // adcchannel1
    adc1_value=0;
    set_adc_channel(0);
    delay_us(50);
    adc1_value = read_adc();
    adc1_valueL = adc1_value; //int8var = int16var; causes the top byte of int16var to be lost.
    adc1_value = adc1_value && 0xFF00;
    adc1_value = adc1_value >> 8;
    adc1_valueH = adc1_value;
    // adcchannel2
    adc2_value=0;
    set_adc_channel(1);
    delay_us(50);
    adc2_value=read_adc();
    adc2_valueL = adc2_value;
    adc2_value = adc2_value && 0xFF00;
    adc2_value = adc2_value >> 8;
    adc2_valueH = adc2_value;
    //preparando pacote para envio
    adc1_valueH = adc1_valueH << 6; // shiftright
    adc2_valueH = adc2_valueH << 4;
    EXTRA = adc1_valueH + adc2_valueH;
    //Envio pela porta serial
    printf("B%c%c%c%cE",adc1_valueL,adc2_valueL,adc3_valueL, EXTRA);
  }
}

```

APROXIMAÇÕES POLINOMIAIS DO ENSAIO

Polynomial Regression for Volta1:

$$Y = A + B1.X + B2.X^2 + B3.X^3 + B4.X^4 + B5.X^5$$

Parameter	Value	Error		
A	-3,16496	0,00748		
B1	0,07243	0,0015		
B2	2,02024E-4	9,19162E-5		
B3	-2,69961E-5	2,31661E-6		
B4	4,26706E-7	2,54215E-8		
B5	-1,86728E-9	1,00794E-10		

R-Square(COD)	SD	N	P	
0,99987	0,01948	261	<0.0001	

Polynomial Regression for Volta4:

$$Y = A + B1.X + B2.X^2 + B3.X^3 + B4.X^4 + B5.X^5$$

Parameter	Value	Error			
A	-3,17907	0,00588			
B1	0,08225	0,00118			
B2	9,42495E-5	7,24235E-5			
B3	-3,38232E-5	1,82635E-6			
B4	5,53585E-7	2,00502E-8			
B5	-2,43895E-9	7,95253E-11			

R-Square(COD)	SD	N	P		
0,9999	0,01614	288	<0.0001		

Polynomial Regression for Volta2:

$$Y = A + B1.X + B2.X^2 + B3.X^3 + B4.X^4 + B5.X^5$$

Parameter	Value	Error		
A	-3,20136	0,00805		
B1	0,06862	0,00161		
B2	8,24358E-4	9,89648E-5		
B3	-4,78838E-5	2,49459E-6		
B4	6,84591E-7	2,73774E-8		
B5	-2,93689E-9	1,08558E-10		

R-Square(COD)	SD	N	P	
0,99985	0,02122	267	<0.0001	

Polynomial Regression for Volta5:

$$Y = A + B1.X + B2.X^2 + B3.X^3 + B4.X^4 + B5.X^5$$

Parameter	Value	Error			
A	-3,18163	0,00614			
B1	0,08515	0,00123			
B2	1,17437E-5	7,55789E-5			
B3	-3,29937E-5	1,90609E-6			
B4	5,45628E-7	2,09271E-8			
B5	-2,3905E-9	8,30085E-11			

R-Square(COD)	SD	N	P		
0,99989	0,01699	293	<0.0001		

Polynomial Regression for Volta3:

$$Y = A + B1.X + B2.X^2 + B3.X^3 + B4.X^4 + B5.X^5$$

Parameter	Value	Error		
A	-3,20944	0,00561		
B1	0,08801	0,00112		
B2	-1,06182E-4	6,90578E-5		
B3	-3,15375E-5	1,74173E-6		
B4	5,42144E-7	1,91233E-8		
B5	-2,40764E-9	7,58562E-11		

R-Square(COD)	SD	N	P	
0,99991	0,01561	296	<0.0001	

Labels:

Cod – Coefficient of Determination

SD – Standard Deviation

N – Number of Points in Raw

P – P value for R-square(COD) =