



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INDICATIVO DE FRENAGEM EMERGENCIAL PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES

Uilter Witte Barboza¹, Leandro Schwarz²

Resumo: Este trabalho tem apresenta o desenvolvimento de um sistema eletrônico indicativo de frenagem emergencial para veículos automotores. O tema do trabalho, segurança no trânsito, tem sido alvo de grande atenção, especialmente nos últimos anos, devido ao aumento da quantidade de acidentes no trânsito brasileiro. Dentre os tipos mais frequentes de acidentes, destacam-se as colisões traseiras. O sistema desenvolvido objetiva sinalizar para os demais condutores que o veículo realizou uma frenagem abrupta ou emergencial. Para a solução, foi construído um *hardware* constituído de duas placas de circuito impresso; a primeira adquire os dados de desaceleração do veículo e processa de modo a categorizar a frenagem do veículo e a segunda é composta por uma matriz de LEDs para sinalização dos níveis de frenagem do veículo. Os módulos são alimentados através da bateria do próprio veículo, possuem consumo baixo de modo a não interferir nos demais sistemas elétricos do veículo e são de fácil instalação. Para comprovar o funcionamento do sistema indicativo de frenagem emergencial, foram realizados testes em bancada com condições controladas e testes em campo com o protótipo instalado em um veículo e testado nas vias públicas, obedecendo à legislação de trânsito vigente e as normas de segurança aplicáveis.

Palavras-chave: Acelerometria. Segurança no trânsito. Frenagem emergencial.

Abstract: *This work presents the development of an electronic system for indicating emergency braking in vehicles. The theme of this work - traffic safety - has attracting much attention, especially in recent years, due to the increased number of traffic accidents in Brazil. Rear collisions are among the most frequent types of accidents. The developed system aims to signal to other drivers that the vehicle made a sudden emergency braking. It was developed a hardware composed of two printed circuit boards: the first, acquires data from the vehicle deceleration and processes it in order to categorize the intensity of braking and the second is composed of an array of LEDs for signaling the braking level of the vehicle. The modules are powered through the battery of the vehicle and have low consumption, in order to not interfere with other electrical systems in the vehicle. Another advantage is the ease install feature. The system tests were carried out in test bench under controlled conditions. The prototype was also tested in a vehicle on public roads, always obeying the traffic laws and regarding the safety standards.*

Keywords: *Accelerometry. Traffic safety. Emergency braking.*

¹ Acadêmico do Curso de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, *campus* Florianópolis, IFSC <uilter.witte@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), *campus* Florianópolis, IFSC <schwarz@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2012), realizou uma pesquisa classificando os acidentes ocorridos no ano de 2011 por tipo e gravidade. No estado de Santa Catarina, o tipo de acidente mais frequente foi a colisão traseira, somando um total de 5.657 acidentes. O mesmo acontece no Brasil como um todo, o tipo de

acidente mais frequente também foi a colisão traseira, com um total de 54.999 acidentes.

No trânsito, é importante que o tempo de reação do condutor seja o menor possível para evitar acidentes potencialmente fatais. Thielen (2011) destacou a importância de analisar o comportamento do condutor em situações de risco a partir do referencial da percepção de riscos. Segundo ele:

“Estima-se em $\frac{3}{4}$ de segundo o tempo de reação [do condutor], e para efeito de cálculo se utiliza o arredondamento para 1 segundo. Significa que esse é o tempo que uma pessoa leva para emitir uma resposta frente a uma situação de emergência como frear repentinamente [...]” (THIELEN, 2011, grifo nosso).

Supondo que o veículo esteja transitando em velocidade constante de 80 km/h no momento em que uma determinada situação de risco é apresentada, o veículo teria percorrido 22 metros no tempo de reação de 1 segundo do condutor, ou seja, antes que a decisão da frenagem tenha sido tomada (THIELEN, 2011).

A psicologia define vários tipos de atenção, dentre as quais, identificam-se dois tipos fundamentais para um condutor: tenacidade e vigilância. Segundo Ballone e Moura (2008):

“[...] tenacidade é a propriedade de manter a atenção orientada de modo permanente em determinado sentido, focando um ponto definido e preciso. Já a vigilância é a possibilidade de desviar a atenção para vários objetos, especialmente para estímulos do meio exterior”. (BALLONE; MOURA, 2008).

Além da desatenção do condutor, existem dois fatores essenciais que influenciam no tempo de resposta: o tempo de percepção e o tempo reação do condutor. Em seu livro, Homburger (2003) *apud* Sousa (2011) demonstra que o tempo de percepção e o tempo de reação estão diretamente ligados; estes dois fatores definem as quatro etapas do tempo de resposta: percepção, identificação, emoção e reação.

Em 2006, o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA), realizou em conjunto com o

Denatran e com o apoio da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) e de outros órgãos governamentais, um estudo do impacto social e econômico dos acidentes de trânsito em vias brasileiras (IPEA; DENATRAN, 2006).

Em um dos capítulos do relatório executivo, comparou-se a gravidade com o tipo de acidente. Neste trecho da pesquisa, constatou-se que os tipos de acidentes com maior gravidade são a colisão frontal e o atropelamento, causadores de maior número de mortes. Porém, além deste dado extraído das estatísticas no período pesquisado, pode-se observar também que a colisão traseira e o engavetamento, em conjunto, são responsáveis por 25,12% do total de colisões.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em conjunto com o Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF), vêm realizando diversas pesquisas ao longo dos anos e disponibilizando ao público relatórios anuais das estatísticas de acidentes. Os dados levantados foram adquiridos nas rodovias federais sob jurisdição do DNIT e processados pela Coordenação Geral de Operações Rodoviárias (CGPERT/DIR).

A pesquisa foi iniciada no ano de 2005 e, até o presente momento, foram publicados os dados dos anos entre 2005 e 2011. A Figura 1 apresenta os dados compilados da pesquisa. Na figura, pode-se observar a disparidade da frequência de colisões traseiras em relação aos demais tipos de acidentes, em qualquer um dos anos avaliados pela pesquisa. Pode-se observar também uma tendência crescente no número de acidentes envolvendo colisão traseira.

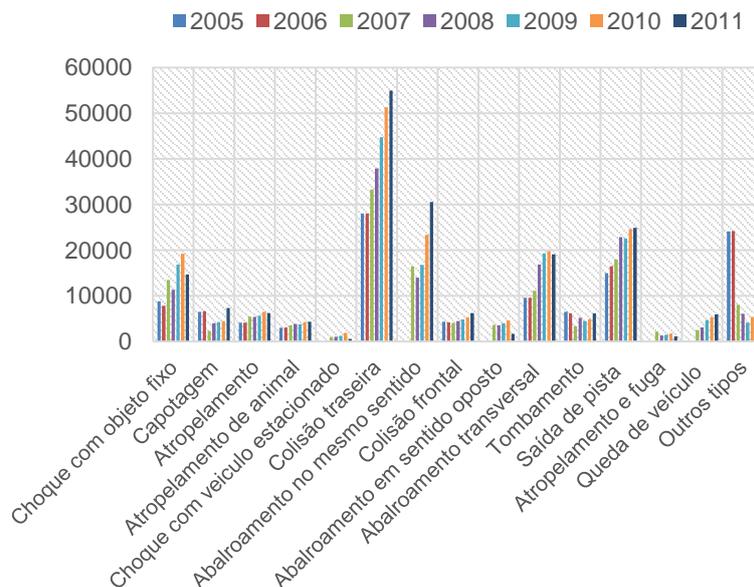


FIGURA 1 - Ocorrência de acidentes por tipo e ano, de 2005 a 2011.

A Figura 2 apresenta a linha de tendência deste tipo de acidentes nos anos pesquisados; pode-se notar um crescimento significativo de quase 100% em apenas seis anos.

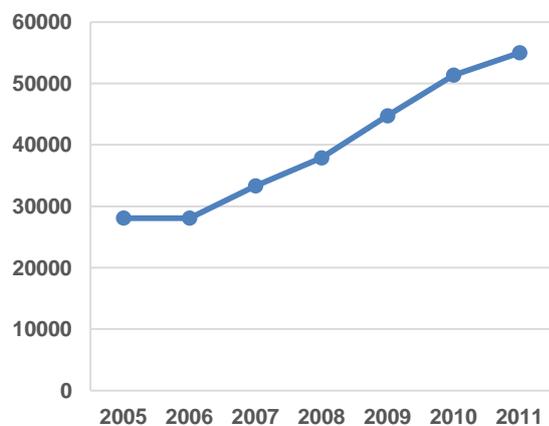


FIGURA 2 - Ocorrência de colisões traseiras entre 2005 e 2011.

O ano de 2006 apresentou uma leve redução no número de colisões traseiras em relação a 2005, porém, nos anos seguintes, a ocorrência destes acidentes se intensificou.

Em relação ao último ano da pesquisa (2011), foram registradas 54.999 colisões traseiras do total de 188.925 acidentes, representando 29,11%.

Acredita-se que grande parte dos acidentes do tipo colisão traseira pudesse ter sido evitado se o tempo de reação dos condutores fosse diminuído. Desta forma, um sistema eletrônico que aumente a atenção do condutor é importante para ajudar na diminuição do tipo mais frequente de acidente no trânsito brasileiro.

Este trabalho visou desenvolver um sistema eletrônico que auxilie na redução de colisões traseiras no trânsito causadas por condutores que, por desatenção, não perceberem uma situação de risco a tempo para frear o veículo

2. TEMPOS DE PERCEPÇÃO E RESPOSTA DE CONDUTORES

Diversas situações ou objetos demandam a atenção do condutor ao dirigir, podendo, ou não, representar perigo aos condutores, dentre os quais, podem-se citar: travessia de pedestres em local inapropriado, desrespeito de vias preferenciais por veículos, paradas repentinas de veículos, lombadas e semáforos.

Homburger (2003) *apud* Sousa (2011) descreve as quatro etapas o processo de avaliação e reação de um condutor a uma determinada situação, por exemplo, no caso de um semáforo amarelo:

- 1° **Percepção**: o condutor visualiza um semáforo amarelo;
- 2° **Identificação**: o condutor identifica o sinal como estando amarelo;
- 3° **Emoção**: o condutor decide frear o veículo;
- 4° **Reação**: o condutor pressiona o pedal do freio.

Sousa (2011) pesquisou a taxa de desaceleração e os tempos entre percepção e reação dos condutores em interseções semaforizadas. Segundo ele, as quatro etapas apresentadas por Homburger formam o tempo de percepção e reação (TPR), ou seja, o tempo entre o condutor perceber que um carro a sua frente executou um frenagem brusca e o momento em que ele executa a ação de pressionar o pedal de freio.

Geralmente, estes tipos de situações acontecem de forma rápida ou inesperada, de modo que, quanto menor o TPRs, maior será a probabilidade de evitar uma colisão.

Thielen (2011) explica que a decisão de executar uma reação a partir de uma situação observada é influenciada por diversos fatores cognitivos e afetivos, e pode ocorrer em frações de segundos. Entretanto, para efeito de cálculo, assume-se um TPR de 1s, aproximadamente. Logo, este é o tempo que a maioria das pessoas demora a reagir e emitir uma resposta frente a uma situação no trânsito.

A atenção é outro fator importante no processo de conduzir um veículo. Ela pode ser dividida em dois tipos: vigilância e tenacidade. Segundo Ballone e Moura (2008), a vigilância é utilizada pelo condutor para desviar a atenção para estímulos externos, por exemplo, outros veículos trafegando ao lado do seu. Já a tenacidade é a responsável por manter a atenção do condutor, focado em apenas um sentido, por exemplo, apenas no ato de conduzir um veículo, sem sofrer estímulos do meio externo. Com isso pode-se dizer que esses dois tipos de atenção são antagonistas, ou seja, quanto mais tenacidade um condutor dedica ao trânsito, menos vigilante ele fica aos estímulos externos.

3. SENSORES DE ACELERAÇÃO

Partindo dos princípios da física, a segunda lei de Newton afirma que a aceleração pode ser obtida através da força que é exercida sobre um determinado objeto. A força gravitacional (normalmente medida em g) é definida como uma força de interação entre dois ou mais corpos, sendo diretamente proporcional à massa dos corpos.

O sensor de aceleração, portanto, converte a força aplicada na massa sísmica no interior do

acelerômetro, em uma grandeza elétrica, que pode ser processada dentro de um sistema eletrônico.

Existem diversos tipos de sensores de aceleração no mercado, diferindo em escala de medição, custo, dinâmica da resposta e estrutura interna. Portanto, é necessário analisar com cuidado a aplicação alvo (objetivo), para que o sensor possa ser selecionado corretamente.

Os acelerômetros podem medir a aceleração em um, dois ou três graus de liberdade, ou seja, direções de medição. No espaço cartesiano, os eixos ortogonais são chamados X, Y e Z. Esses sensores podem ser classificados em três tipos; acelerômetros, inclinômetros ou giroscópios. Os acelerômetros medem a resultante de uma dada aceleração (normalmente em *g*) em relação aos eixos X, Y e Z. Os inclinômetros medem a inclinação (normalmente em graus) de um objeto em relação a um destes eixos. Os giroscópios, por sua vez, medem a velocidade angular (normalmente em graus por segundo) do objeto em relação a um dos eixos.

O acelerômetro especificado para o desenvolvimento desse projeto foi o MMA7361L desenvolvido pela Freescale. Por se tratar de uma aplicação alimentada por baterias, o baixo consumo do dispositivo foi um fator determinante na escolha do componente. Em modo de operação típica, o MMA7361L possui consumo máximo de 400 μ A, enquanto em modo de espera, o consumo diminui para cerca de 3 μ A (FREESCALE, 2008).

Uma vez que o MMA7361L é encapsulado em um *chip* LGA-14, com 3x5x1 mm, a soldagem manual do componente no protótipo é muito difícil. Para solucionar esse inconveniente foi utilizada uma placa de prototipagem rápida Breakout MMA7361L da LC Tech (2013) que possui este sensor montado e demais componentes necessários (Figura 3).

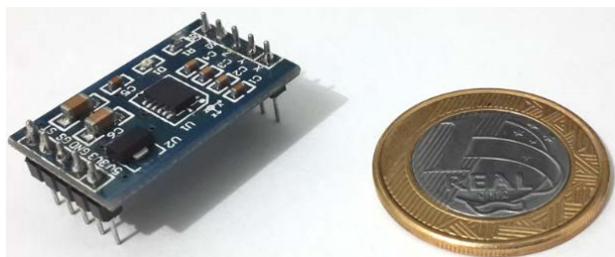


FIGURA 3 - Breakout MMA7361L da LC Tech.

4. MICROCONTROLADOR

Microcontroladores (MCU) são circuitos integrados constituídos por uma CPU (*Central Processing Unit*, ou Unidade Central de Processamento), memórias RAM e ROM e diversos periféricos (portas E/S, gerenciadores de protocolos

I²C, SPI, UART e outros). Os tipos e o número de periféricos variam em cada modelo e fabricante.

Os microcontroladores possuem capacidade de processamento menor que os microprocessadores, entretanto, como possuem periféricos integrados, sua utilização é preferível em sistemas embarcados, tais como, MP3, celulares, impressoras, relógios, calculadoras, controles remotos, entre outros.

4.1. Arduino

O Arduino é um *kit* de desenvolvimento microcontrolado de baixo custo, amplamente utilizado no meio acadêmico, bastante difundido entre os leigos em eletrônica e hobbistas, muito utilizado, em especial, pela comunidade *open-source*. O projeto Arduino foi criado por Máximo Banzhi na Interaction Design Institute Ivrea em 2003 e atualmente possui mais de 20 modelos de *kits* oficiais e um número muito expressivo de outros modelos não-oficiais (ARDUINO, 2013). O sistema Arduino é baseado em microcontroladores AVR da ATMEL.

A principal vantagem no uso de um *kit* de desenvolvimento está na rápida prototipagem e na presença de gravador integrado.

Para o projeto, foi escolhido o microcontrolador ATmega328P da Atmel Corporation. Este microcontrolador é a base do Arduino UNO, possui todos os periféricos necessários ao projeto e pode ser adquirido com baixo custo, principalmente devido à enorme demanda de chips causada pelo projeto Arduino.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Como requisitos do sistema, projetou-se o sistema para possuir fácil instalação, podendo ser aplicado tanto em veículos que possuam a luz central de freio (popularmente conhecida como *brake light*), quanto em veículos que não a possuam como item de série. O sistema também sinaliza frenagens mais rigorosas de forma mais intensa.

Como escopo limitante do trabalho, projetou-se o uso do sistema em veículos automotores de categoria B, C, D e E, como define o Código de Trânsito Brasileiro (CTB).

A pesquisa é caracterizada como de natureza exploratório-descritiva. Os dados adquiridos serão traduzidos em informações, caracterizando, assim, uma abordagem quantitativa.

Após a pesquisa bibliográfica entre diversos autores e a análise de requisitos para o sistema, foram definidas soluções para a implementação física do sistema indicativo de frenagem emergencial.

Neste trabalho, foi desenvolvido um *hardware*, contendo duas placas: a primeira é responsável pela aquisição e processamento dos sinais do sensor de

aceleração, e a segunda placa é uma matriz de LEDs com o propósito de alertar os condutores do veículo de trás.

O *hardware* foi desenvolvido nas instalações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), *campus* Florianópolis.

Para a construção do *hardware*, foi necessário desenvolver o esquemático elétrico das duas placas, bem como o desenho das placas de circuito impresso.

Após a confecção do protótipo, foi estruturado e desenvolvido o *firmware* do sistema. Foram, então, realizados ensaios iniciais em laboratório os quais auxiliaram na obtenção da versão final do protótipo.

A versão final do protótipo foi testada em um veículo automotor, em vias públicas em Florianópolis, Santa Catarina. Os testes foram efetuados em horários de pouco movimento, com o devido cumprimento das leis de trânsito, sempre com a presença de um passageiro para realizar as leituras e anotações. Desta forma, em nenhum momento o condutor realizou ações que comprometessem nem a sua própria segurança e a do passageiro, nem a de pessoas externas ao veículo.

5.1. Sistema proposto

O protótipo desenvolvido detecta a intensidade da frenagem, por meio de um acelerômetro. Os sinais do acelerômetro serão adquiridos e processados por um microcontrolador que calcula a intensidade da frenagem e a classifica de acordo com uma tabela pré-definida. Na sequência, o sistema sinaliza a frenagem por meio de uma matriz de LEDs.

A princípio, foram definidos quatro níveis de intensidade de frenagem, listados na Tabela 1.

TABELA 1 - Níveis de frenagem pré-definidos.

Estado	Nível de frenagem	Ações do <i>brake light</i>
0	$< 0,35g$	desligado
1	$0,35g \leq 0,54g$	pulsando em 3,3 Hz
2	$0,55g \leq 0,79g$	pulsando em 5,0 Hz
3	$> 0,80g$	pulsando em 10,0 Hz

O protótipo não atua sobre as luzes de freio laterais do veículo, atuando apenas sobre o *brake light*, apresentado na Figura 4.

O protótipo requer conexão com a bateria do veículo para alimentação, entretanto, a detecção da frenagem será realizada através de sensores de aceleração, portanto, não é necessária a alteração do sistema elétrico do freio padrão do veículo. Desta forma, reduz-se a quantidade de alterações elétricas

necessárias no veículo, bem como o tempo de instalação do sistema.

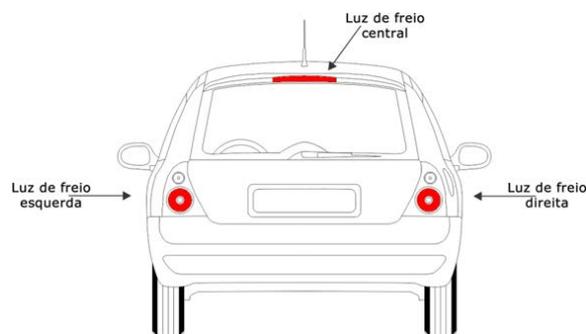


FIGURA 4 - Vista traseira de um veículo automotor categoria B.

Para o projeto, foram desenvolvidas duas placas: a Brake Light Board, na qual são posicionados os LEDs, e a CPU Board, a qual possui o restante dos elementos do sistema.

Veículos que não possuam *brake light* devem utilizar as duas placas. Os veículos que já possuam *brake light* devem utilizar a CPU Board e uma placa Brake Light Board específica para adaptar-se à mecânica do *brake light* original do veículo. Como estudo de caso, foi desenvolvida uma Brake Light Board para uso em um Renault Sandero, modelos de 2007 a 2013, substituindo a lâmpada incandescente do *brake light* original do veículo por um conjunto de LEDs.

Os LEDs além de possuírem acendimento e desligamento mais rápido e maior intensidade luminosa que a lâmpada incandescente, ainda apresenta vantagens na eficiência energética, durabilidade, direcionalidade do fluxo luminoso e menor dissipação térmica. A Brake Light Board foi projetada para ser encaixada no interior do case de plástico que abrigava a lâmpada original, apresentada na Figura 5.



FIGURA 5 - Brake light original do Renault Sandero, modelos de 2007 a 2013.

A CPU Board é responsável pela aquisição e processamento dos dados do sensor, e pelo acionamento do conjunto de LEDs da Brake Light Board. O diagrama em blocos do sistema é apresentado na Figura 6.

O sistema indicativo de frenagem emergencial é constituído pelos seguintes blocos:

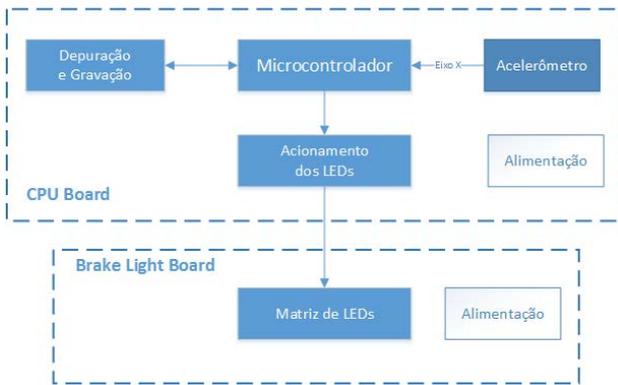


FIGURA 6 - Diagrama em blocos do sistema.

- **regulador de tensão:** fonte de alimentação linear, com o objetivo de regular a tensão fornecida pela bateria do veículo;
- **acelerômetro:** sensor de aceleração responsável por adquirir as desacelerações, obtidas a partir das frenagens do veículo;
- **gravação e depuração:** conectores dispostos na placa para a gravação e depuração do firmware do sistema. Uso exclusivo do desenvolvedor;
- **microcontrolador:** responsável por adquirir as grandezas do sensor de aceleração, processá-las e atuar no brake light;
- **brake light:** terceira luz de freio, local onde serão sinalizadas as intensidades de frenagem do veículo.

5.2. Método de prototipagem

O desenvolvimento do sistema foi dividido em duas etapas de prototipagem:

- etapa 1: Protótipo desenvolvido em matriz de contatos;
- etapa 2: Lote piloto contendo três unidades das PCIs, confeccionadas por empresa especializada.

O protótipo inicial foi testado no *kit* de desenvolvimento Arduino UNO em uma matriz de contatos, com o objetivo de validar o esquemático elétrico e o *layout*, além de possibilitar o teste com o módulo Breakout MMA7361L do acelerômetro.

Antes da definição de qualquer esquemático elétrico e/ou circuito impresso, foi necessário realizar a validação dos diversos componentes estudados e citados na fundamentação teórica deste trabalho.

Após o teste do *firmware*, o próximo passo foi a montagem do circuito em matriz de contatos, com a substituição do potenciômetro pela placa Breakout MMA7361L.

Esta metodologia de desenvolvimento é muito utilizada para novos projetos que não requeiram grande complexidade. A prototipagem torna-se mais rápida e menos dispendiosa financeiramente, por possibilitar a fácil alteração do hardware sem a necessidade de se refazer o *layout* e a confecção de uma nova placa de circuito impresso. A prototipagem em matriz de contatos é apresentada na Figura 7.



FIGURA 7 - Protótipo inicial em matriz de contatos.

Para a segunda etapa, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso para a versão final do *hardware*. Para o desenvolvimento do diagrama esquemático e do *layout* da PCI do sistema, foi utilizado o *software* Eagle PCB Design®, versão 6.2.0, desenvolvido pela CadSoft Computer. Este *software* é muito utilizado por projetistas de *hardware*, pois possui uma versão gratuita limitada ao desenvolvimento de placas dupla face com tamanho máximo de 10x8 cm; essa limitação não foi impeditiva para o uso do *software* no desenvolvimento deste projeto.

Para facilitar a montagem dos protótipos, foram usados componentes eletrônicos que possibilitam o seu manuseio sem ajuda de máquinas ou fornos industriais para a soldagem.

Foi produzido um pequeno lote piloto com três unidades, que foram confeccionadas em uma empresa de fabricação de placas de circuito impresso. Esse lote foi ensaiado de modo a servir de base para a produção voltada ao mercado. A Figura 8, ilustra o aspecto final da confecção das placas de circuito impresso.

6. RESULTADOS

Usualmente os testes de bancada são os primeiros testes a serem executados em qualquer protótipo. Estes são realizados em ambiente controlado de modo a verificar o desempenho do protótipo quando submetido a condições pré-determinadas.

Na sequência, foram realizados testes em campo para verificar o funcionamento do sistema em condições reais de uso.

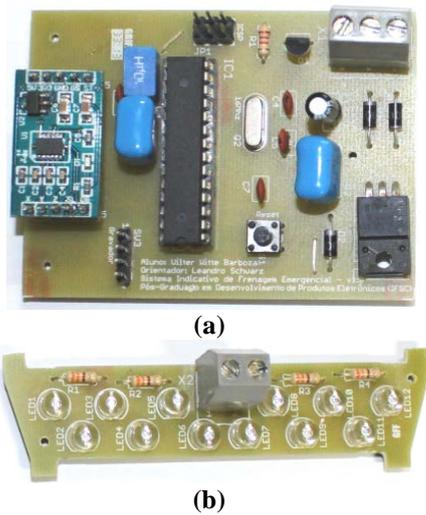


FIGURA 8 - Placas de circuito impresso confeccionadas: (a) CPU Board e (b) Break Light Board.

6.1. Testes de bancada

A Figura 9 apresenta os equipamentos e o cenário montado para o teste de bancada.

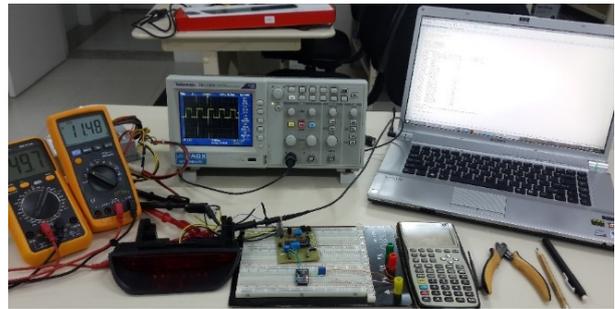


FIGURA 9 - Bancada de testes utilizada para experimento do protótipo.

Foram realizados três testes de bancada: análise da confecção das PCIs, ensaios elétricos e ensaios de funcionalidade. A documentação dos testes de bancada foi realizada através de registros fotográficos e de imagens adquiridas no osciloscópio.

Com auxílio do osciloscópio, buscou-se ilustrar as formas de onda nos diferentes níveis de frenagem emergencial, configurados no *firmware*. As imagens referentes ao acionamento do sistema de sinalização em cada um dos níveis de frenagem são apresentadas na Figura 10.

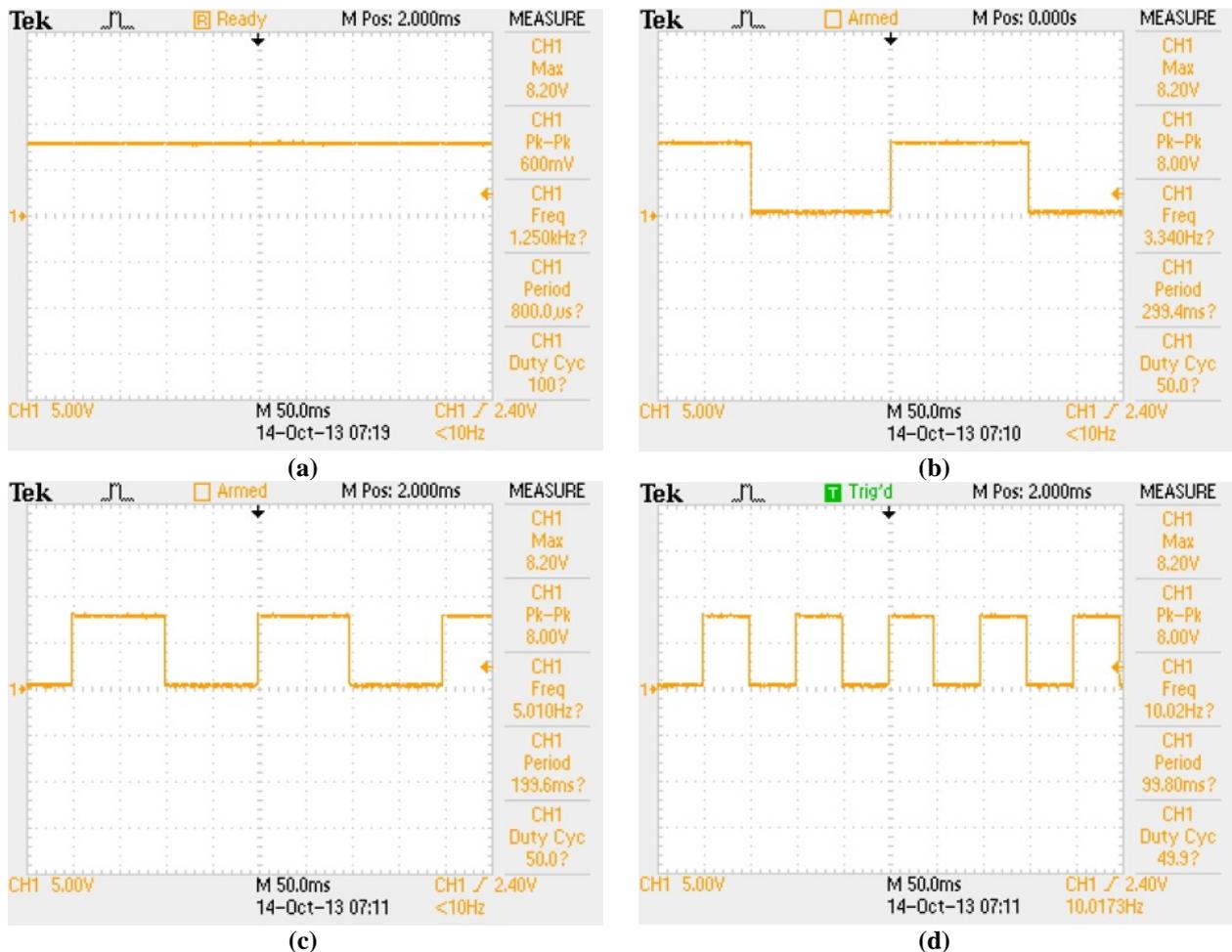


FIGURA 10 - Imagens do osciloscópio apresentando as frenagens de (a) nível 0, (b) nível 1, (c) nível 2 e (d) nível 3. Os LEDs são ativos em nível baixo.

Em uma matriz de contatos, foi montado um *trimpot* múltiplas voltas, configurado como divisor de tensão, para simular os níveis de tensão esperados em cada nível de frenagem. A tensão no *tap* do potenciômetro foi ajustada para 1,617 mV, valor correspondente a 0g no eixo X, denominado de *Vzero* no *firmware* do microcontrolador.

O potenciômetro foi variado até 2,257 mV, correspondente a 0,80g. Estes valores vetoriais da gravidade foram baseados no *firmware* desenvolvido, os dados calculados e aferidos foram apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Dados calculados e aferidos a partir da montagem apresentada na Figura 9.

Frenagem	Aceleração	Tensão calculada	Tensão aferida
Nível 0	0g	1,650 mV	1,617 mV
Nível 1	0,35g	1,930 mV	1,897 mV
Nível 2	0,55g	2,090 mV	2,057 mV
Nível 3	0,80g	2,290 mV	2,257 mV

6.2. Resultados em campo

Para esta etapa do projeto, foram realizados alguns testes em campo do protótipo. Os testes foram realizados em vias públicas na cidade de Florianópolis. É preciso salientar que os testes foram efetuados em horários de pouco movimento, com o devido cumprimento das leis de trânsito, sempre com a presença de um passageiro para realizar as leituras e anotações. Desta forma, em nenhum momento o condutor realizou ações que comprometessem nem a sua própria segurança e a do passageiro, nem a de pessoas externas ao veículo.

O percurso oficial está ilustrado na Figura 11 que demonstra o trajeto realizado, ida e volta, de 37,3 km. Este trajeto foi realizado por possuir vias de baixa velocidade, vias de alta velocidade, vias pavimentadas com asfalto e com paralelepípedos, semáforos, lombadas, e acidentes geográficos, tais como pequenos morros com estradas retas e com estradas sinuosas.

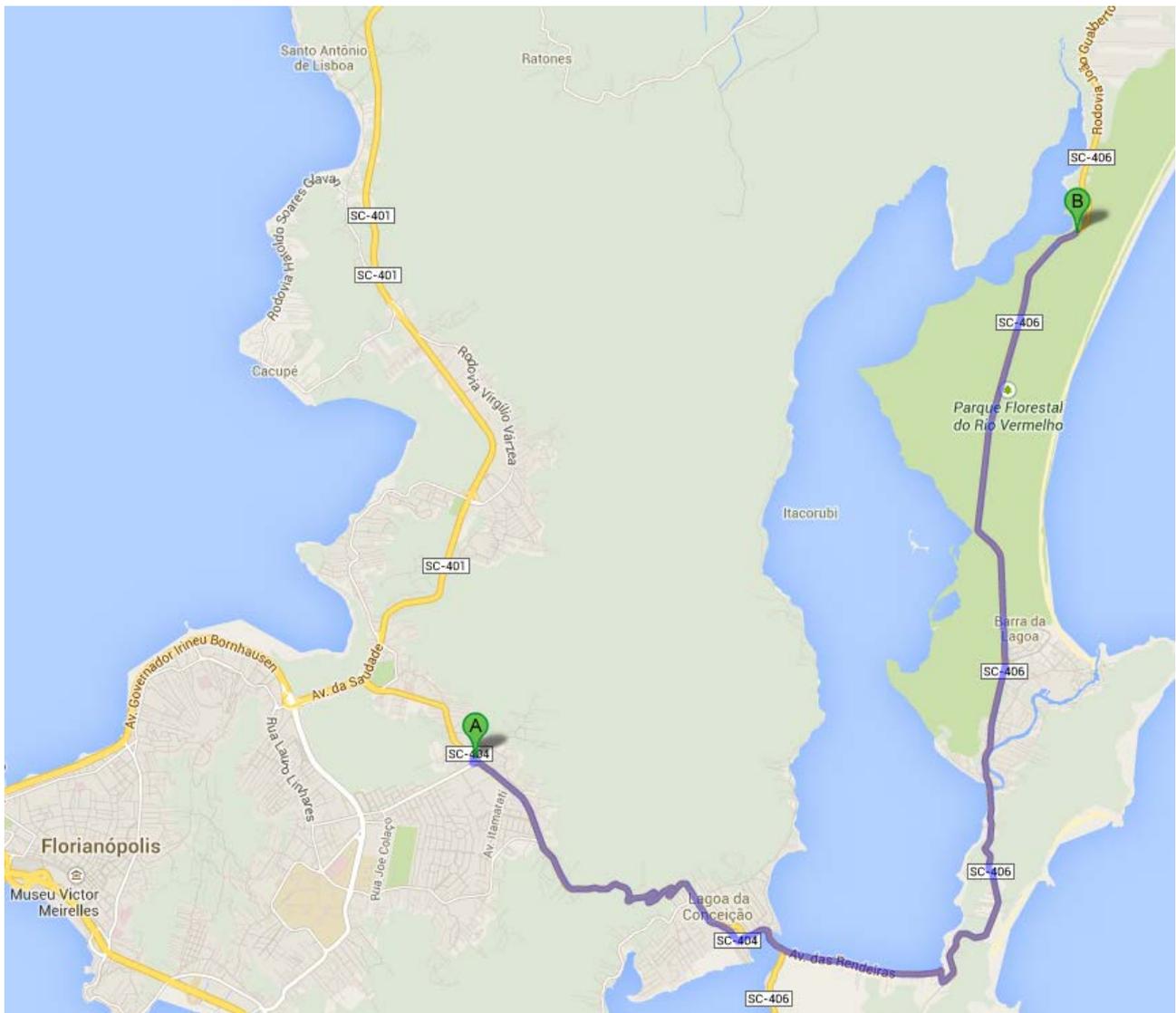


FIGURA 11 - Trajeto realizado no teste de campo.

O protótipo foi instalado no interior do veículo, de modo que a resposta do sistema não pudesse ser vista no exterior do veículo. Esta medida foi tomada tanto por segurança, de modo a evitar a confusão dos outros condutores em caso de mau funcionamento, quanto por conveniência, para facilitar a remoção do sistema para programação de ajustes no *firmware*. O *brake light* foi fixado no painel central do veículo, como demonstra a Figura 12, para a visualização do condutor e do passageiro dos níveis de frenagem configurados no *firmware*.



FIGURA 12 - Fixação do *brake light* no painel central do veículo.

A CPU Board foi fixada provisoriamente entre os bancos do condutor e do passageiro; o local foi escolhido de modo a nivelar o protótipo com a via. Para sua alimentação, foi utilizado um carregador de celular modificado.

Para se obter a versão final do sistema, foram necessários três testes em campo. A principal mudança entre cada teste envolvia a alteração da escala dos níveis de frenagem.

O protótipo se comportou conforme o esperado, e em nenhum momento foi sinalizada uma falsa frenagem emergencial. Nas vias esburacadas ou nas tachas refletivas, nas quais ocorre um impacto do veículo em um curto espaço de tempo, o protótipo não acionou o nível de frenagem, independente da velocidade do veículo. Mesmo nas vias pavimentadas com paralelepípedos, onde as vibrações ocorrem com maior frequência e com intensidades variadas, também não houve falsa sinalização de frenagem emergencial.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou o desenvolvimento de um sistema para sinalizar a frenagem de um veículo através de uma luz intermitente, para contemplar o objetivo, foi desenvolvido um sistema eletrônico com um sensor de aceleração e um sistema eletrônico de indicação luminosa, na qual são emitidos os sinais luminosos para indicação de uma frenagem emergencial. O sistema possui três níveis de sinalização de modo a indicar diferentemente a intensidade da frenagem realizada.

Foram estimadas as características de alimentação e consumo para o sistema. Quanto à alimentação, o sistema foi projetado para utilizar a bateria do próprio veículo automotor, por isso, foi projetada uma fonte de alimentação linear para condicionamento da tensão do sistema. Em relação ao consumo do protótipo, o consumo aferido ficou entre 40 mA e 80 mA. Logo, pode-se afirmar que o protótipo não demanda muito consumo e não afeta o funcionamento de outros componentes vitais do veículo automotor.

O protótipo é de fácil instalação e não requer alterações complexas no sistema elétrico do veículo. Desta forma, a curva de aprendizado do instalador e mesmo do usuário final é muito rápida, uma vez que não é necessário conhecimento básico de autoelétrica.

A instalação do sistema em um veículo automotor, bem como as ligações elétricas necessárias para o funcionamento do protótipo são muito simples, bastando apenas a sua alimentação em 12 V provinda da bateria do veículo e o nivelamento do sistema com a via.

Apesar do funcionamento adequado do veículo nas vias pavimentadas com paralelepípedos, nas tachas refletivas e em lombadas e buracos, nas situações de aclives e declives de morros, por exemplo, o protótipo apresentou sensibilidade diferente de quando se encontrava no plano. Quanto mais declinado o carro se encontrava, maior era a resultante da aceleração gravitacional no eixo X, desta maneira, a sensibilidade aumentava, sinalizando as frenagens de modo mais intenso que no plano. O efeito análogo ocorria nos aclives acentuados, nos quais a resultante da aceleração gravitacional no eixo X causava a redução da sensibilidade do sistema, sinalizando as frenagens de modo menos intenso que no plano.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. Disponível em <<http://www.arduino.cc>>. Acessado em 21 jul. 2013.

ATMEL. **Folha de dados do componente ATmega328P**. 2009. Disponível em <<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>>. Acessado em 20 jul. 2013.

BALLONE, G.J.; MOURA, E.C. **Curso de psicopatologia: atenção e memória**. PsiqWeb, 2008. Disponível em <<http://www.psiqweb.med.br/site/?area=NO/LerNoticia&idNoticia=201>>. Acessado em 15 jul. 2013.

DNIT. **Estatísticas de acidentes**. 2012. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes>>. Acessado em 10 jul. 2013.

FREESCALE. **Folha de dados do componente MMA7361**. 2008. Disponível em <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7361L.pdf?fsrch=1&sr=1>. Acessado em 20 jul. 2013.

IPEA; DENATRAN. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. 2006. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos_acidentes_transito.pdf>. Acessado em 13 jul. 2013.

LC TECH. **MMA7361 tilt sensor accelerometer module**. Disponível em <[\[inc.com/hardware/detail.aspx?id=053796b3-3b90-4fe5-8588-7b5d14bc0512\]\(http://www.lctech-inc.com/hardware/detail.aspx?id=053796b3-3b90-4fe5-8588-7b5d14bc0512\)>. Acessado em 20 jul. 2013.](http://www.lctech-</p></div><div data-bbox=)

SOUSA, L.A.P. **Taxas de desaceleração e tempos de percepção e reação dos motoristas em interseções semaforizadas**. 2011. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

THIELEN, I.P. Perspectivas para a psicologia do trânsito. **Interação em Psicologia**, v. 15, pp. 77-86, 2011.