

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

YURI PEDRONI PRADO

SISTEMA PORTÁTIL DE GEOLOCALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE FROTA

**CAXIAS DO SUL
2015**

YURI PEDRONI PRADO

SISTEMA PORTÁTIL DE GEOLOCALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE FROTA

Trabalho de Conclusão de curso de Engenharia de Controle e Automação, da Universidade de Caxias do Sul, apresentado como requisito para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador:
Dr. Maurício Zardo Oliveira

CAXIAS DO SUL
2015

YURI PEDRONI PRADO

SISTEMA PORTÁTIL DE GEOLOCALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE FROTA

Trabalho de Conclusão de curso de Engenharia de Controle e Automação, da Universidade de Caxias do Sul, apresentado como requisito para obtenção do título de Engenheiro.

Aprovado em 08/07/2015

Banca Examinadora

Prof. Dr. Maurício Zardo Oliveira
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. André Gustavo Adami
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Stanislav Tairov
Universidade de Caxias do Sul - UCS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os amigos e familiares que contribuíram de alguma forma durante minha formação acadêmica, com apoio motivacional e intelectual.

Especialmente para este trabalho agradeço a colaboração de meu tio Moacir Pedroni, que prontamente colaborou de forma criativa na confecção artesanal do invólucro do protótipo.

Agradeço também ao meu orientador, Professor Maurício Zardo, que me guiou durante o desenvolvimento deste trabalho, mostrando que é possível desenvolver conteúdo de qualidade de forma sucinta e descomplicada.

Finalmente, agradeço aos atuais e antigos colegas de trabalho, dos quais destaco a participação de Alison Souza, Alan Bonatto, Kaya Abe e Rodrigo Comin, que voluntariamente ofereceram apoio durante as dificuldades que foram encontradas.

RESUMO

Uma prova de conceito para um dispositivo eletrônico instrumentado de controle de frota de veículos de transporte terrestre é o objetivo deste trabalho. As variáveis monitoradas por este protótipo incluem: rota percorrida, posição, velocidade, data e hora, orientação, temperatura e forças da aceleração geradas por impactos e vibrações. Para a geolocalização este dispositivo conta com um módulo GPS com aquisição de posição e velocidade a uma frequência máxima de até 5Hz. O sensoriamento é feito por um módulo integrado composto por um sensor de temperatura, um sensor acelerômetro, para mensurar acelerações e impactos e um sensor giroscópio, usado para auxiliar no monitoramento de orientação do dispositivo. Há também a possibilidade de adicionar mais sensores com interface analógica ou via comunicação I2C. Os dados adquiridos são armazenados em um cartão SD removível que posteriormente pode ser conectado a um computador pessoal para transferência e análise de informações. Com o uso deste dispositivo portátil é possível fazer um levantamento de dados sobre a conduta do motorista, condução inadequada em trechos de alto risco devido à declividade ou sinuosidade e influência das más condições da estrada no veículo e na carga. A fim de exemplificar sua utilização, bem como seu modo de operação e funcionalidades, um estudo de caso é apresentado.

Palavras-chave: Rastreamento, monitoramento, sensores, geolocalização, controle de frota.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de bloco do funcionamento interno do microcontrolador	22
Figura 2: Aspecto construtivo de um acelerômetro capacitivo.....	27
Figura 3: Protocolo NMEA	29
Figura 4: Modelo genérico de um giroscópio.....	30
Figura 5: Diagrama de blocos.	32
Figura 6: Mensagem de advertência do compilador Arduino.....	33
Figura 7: Antenas usadas no protótipo.....	36
Figura 8: Arduino Mega	39
Figura 9: Diagrama elétrico do circuito.	41
Figura 10: Placa acoplada ao módulo Arduino.....	41
Figura 11: Placa acoplada, vista inferior.....	42
Figura 12: Dados obtidos dos sensores em firmware de teste	43
Figura 13: Dados dos sensores armazenados no cartão SD.....	44
Figura 14: Interface Arduino, versão 1.6.3.	46
Figura 15: Algoritmo da lógica de funcionamento.....	48
Figura 16: Embalagem que abriga o dispositivo.	51
Figura 17: Teste de campo, vista geral do mapa.....	53
Figura 18: Teste de campo, vista aproximada de uma ultrapassagem.....	54
Figura 19: Teste de campo, acelerações durante uma curva.....	56
Figura 20: Teste simulado de tombamento.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre baterias.....	25
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIRD: *Berry Impact Recording device*
CAN: *Controller Area Network*
CD: *Compact-Disc*
CS: *Chip Select*
DMS: *Degree minutes seconds*
DOD: *Department of Defense*
DOT: *Department of Transportation*
ESA: *European Space Agency*
FDR: *Flight Data Recorder*
GPS: *Global positioning system*
HD: *Hard-Drives*
I2C: *Inter-Integrated Circuit*
IDE: *Integrated Development Environment*
IRD: *Impact Recording Device*
MCU: *Microcontroller Unit*
MDF: *Medium Density Fiberboard*
MEMS: *Micro-electro-mechanical systems*
MISO: *Master Input Slave Output*
MMC: *MultiMediaCard*
MOSI: *Master Output Slave Input*
NASA: *National Aeronautics and Space Administration*
PPS: *Precise Positioning Service*
RFID: *Radio-frequency identification*
SD: *Secure Digital*
SPI: *Serial Peripheral Interface*
SPS: *Standard Positioning Service*
SSD: *Solid-State Drives*
TTFF: *Time-to-first-fix*
ULB: *Underwater Locator Beacon*
USB: *Universal Serial Bus*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.3 ÁREA DE TRABALHO	15
1.4 LIMITAÇÕES.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 DISPOSITIVOS DE SENSORIAMENTO ATUAIS.....	17
2.2 ESTUDO DE COMPONENTES	19
2.2.1 Microcontrolador	19
2.2.2 Memória Externa	22
2.2.3 Bateria	24
2.2.5 Acelerômetro	25
2.2.4 Módulo GPS.....	27
2.2.6 Giroscópio	29
3 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE RESULTADOS	31
3.1 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES	31
3.1.1 Microcontrolador	32
3.1.2 Memória Externa	33
3.1.3 Bateria	34
3.1.4 GPS.....	35
3.1.5 Acelerômetro e Giroscópio.....	37
3.2 MONTAGEM E IMPLEMENTAÇÃO	37
3.2.1 Circuito Eletrônico.....	38
3.2.2 Aquisição de Dados.....	42
3.2.3 Programação	46
3.2.2 Invólucro	50
3.3 ANÁLISE DE RESULTADOS E TESTES DO EQUIPAMENTO	51

3.3.1	Análise de percurso.....	52
3.3.2	Análise de velocidade do dispositivo	53
3.3.3	Análise de acelerações e orientações.....	55
3.3.3	Análise de situações extremas	57
4	CONCLUSÕES	59
4.1	TRABALHOS FUTUROS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	62
	ANEXO A – CÓDIGO.....	65

1 INTRODUÇÃO

Atualmente os sistemas de geolocalização estão largamente disponíveis nas mais diversas formas para a população. Tais dispositivos permitem conhecer precisamente a localização, informar coordenadas de um local desejado ou ainda um trajeto preferencial para um destino. Um destes sistemas, hoje denominado de GPS (*Global Positioning System*) é fruto de anos de pesquisas de entidades governamentais dos Estados Unidos, em busca de um modo de referenciamento em três dimensões que fosse capaz de ter cobertura completa no globo terrestre. Keplan (2006) afirma que o sistema de posicionamento em três dimensões foi uma necessidade apontada no início da década de 60. Um interesse em comum em desenvolver um modo eficaz de determinar a posição do usuário no globo uniu esforços do Departamento de Defesa (DOD), da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e do Departamento de Transportes (DOT) dos Estados Unidos no desenvolvimento de sistemas guiados por satélites, que hoje conta com 24 satélites em 6 diferentes órbitas. Apesar de sua necessidade ter sido gerada por fins militares, o governo dos Estados Unidos (proprietário e responsável pelo sistema GPS) disponibiliza gratuitamente acesso de usuários civis ao serviço de posicionamento genérico SPS (*Standard Positioning Service*), enquanto o sistema de maior precisão PPS (*Precise Positioning Service*) fica restrito a uso militar, protegido por criptografia (KEPLAN, 2006). No século 21 o sistema GPS já está mais estruturado e estável. Qualquer usuário com um aparelho receptor, seja ele um dispositivo receptor GPS ou um smartphone, é capaz de obter suas coordenadas em relação ao globo em tempo real, auxiliando a navegação e transporte. Contudo, usar um sistema tão avançado como apenas um substituto moderno dos mapas é um desperdício de potencial.

Inúmeros problemas da atualidade envolvendo logística ou rastreamento podem ter uma solução com base na tecnologia GPS, associada com outros sensores eletrônicos. Esta solução (convenientemente portátil) pode ser capaz de fornecer um histórico com diagnóstico completo de um objeto sendo transportado, de alterações em um determinado meio e da influência do meio com um objeto, por exemplo. Muitos são

os casos onde um dispositivo com tais funcionalidades pode ser empregado. Um protótipo portátil com capacidade de monitorar o ambiente ao qual está inserido, incluindo sua localização, para posteriormente informar o usuário através de comunicação sem fio ou memória removível é capaz de promover soluções para problemas logísticos ainda não estudados em detalhes. Dentro de um grande escopo de aplicações, pode-se citar alguns casos genéricos tais como:

- Controle de Frota: O dispositivo móvel é posicionado junto ao veículo ou à carga de interesse, monitorando as condições sob as quais a carga é submetida e sua trajetória até o destino. Um histórico do monitoramento de impactos, vibrações e temperatura indica se a carga esteve sob os cuidados mínimos necessários para manter sua integridade.
- Controle de transporte de valores: similarmente ao citado anteriormente, este caso conta com uma ou mais unidades do dispositivo eletrônico em cada mercadoria a ser monitorada. Todas as informações referentes ao manuseio da mercadoria são armazenadas em memória, e esta informação poderá ser trocada entre dispositivos através de uma rede de comunicação sem fio. Sendo assim, caso um pacote seja extraviado, tem-se o controle das informações no exato momento da falha.
- Monitoramento de deslocamento de sedimentos em rios e mares: Quando depositado em um rio ou até mesmo no mar, o dispositivo monitora o fluxo de água, colisão de objetos submersos e o meio ambiente ao qual está inserido, tudo pela perspectiva de uma simples rocha. É possível comparar este dispositivo a uma carcaça à prova d'água simulando uma rocha. O desafio deste caso é como recuperar o dispositivo após ele ser transportado dentro do meio (SCIENCE, 2012).
- Monitoramento de lixos e dejetos: Este tem sido um problema recorrente nos últimos anos. O dispositivo neste caso mantém seu foco no rastreamento de dejetos no perímetro urbano e rural. Este estudo pode proporcionar informações necessárias para criação de modelos que permitam prever como é o deslocamento de lixo, de sua origem para seu destino, para coleta e tratamento posterior.

- Monitoramento do saneamento urbano: O monitoramento do fluxo do esgoto urbano pode auxiliar no planejamento de melhoramento do sistema, detectando pontos críticos de gargalo de fluxo, pontos de acúmulo de dejetos e até mesmo falhas no encanamento.

Independente da aplicação ao qual sistema embarcado possa ser aplicado nota-se grandes possibilidades para tal. Devido às limitações construtivas, cabe destacar que o dispositivo usualmente não possui troca de informação em tempo real, ou seja, seu objetivo é a aquisição de informação para uma análise posterior. Neste contexto, a partir do momento em que o dispositivo é disparado para sua aplicação, o usuário não será mais capaz de receber as leituras do dispositivo até que ele o recupere.

Casos onde o circuito embarcado está junto às cargas, supõem-se que o destino é conhecido, porém em casos como o controle fluvial de sedimentos ou dejetos em rios e mares torna-se complexa a previsão de destino do dispositivo. Para isso, o dispositivo deve contar com formas de se tornar detectável com facilidade (SCIENCE, 2012). O conceito de tornar-se detectável é amplamente aplicado no segmento aeroespacial com o uso de *Flight Data Recorders* (FDR), conhecido popularmente como Caixa Preta. Os FDR usados em aeronaves usam um disco local para armazenamento das informações, logo, quando a aeronave sofre um acidente aéreo o FDR precisa ser encontrado em meio aos destroços da nave, e em muitos casos, até mesmo no fundo do mar (ASHFORD, 2010). Neste caso, o FDR faz uso do *underwater locator beacon* (ULB), um emissor de pulsos ultrassônico, que ao detectar que está submerso emite um pulsos de 37,5Khz uma vez por segundo, por até 30 dias. Este pulso não está dentro do espectro audível pelo homem, logo, é necessário fazer uso de um sonar para poder detectar o sinal que é capaz de ser reconhecido a um raio de até 4.200 metros.

Baseado no estudo de dispositivos com finalidades similares é possível concluir que a versão ideal do dispositivo deve contar com uma gama de sensores capazes de monitorar diferentes aspectos e diferentes grandezas sob o ponto de vista da aplicação. Genericamente, pode-se verificar que instrumentos de monitoramento e controle de trajetos podem considerar o uso de:

- Microcontrolador, para fazer o controle dos sensores e gerenciamento de dados.

- Memória, para armazenar os dados obtidos.
- Bateria recarregável, para garantir autonomia durante a aplicação.
- Módulo GPS, para determinar posição e conseqüentemente trajetória e velocidade.
- Acelerômetro, para identificar vibrações, impactos e o modo como o dispositivo está sendo manuseado.
- Giroscópio, para identificar orientação.
- Termômetro, para indicar temperatura ambiente e/ou do objeto a ser monitorado.
- Sensor de humidade, para monitorar a humidade ambiente, quando aplicável.
- Comunicação sem fio em aplicações onde troca de informação é necessária.
- Sonar, RFID ou dispositivo de localização, quando a aplicação exige a recuperação do dispositivo em campo.
- Demais sensores focados em aplicações específicas, como luminosidade, sensor químico, etc.

É possível, no entanto, estabelecer uma relação de módulos necessários independente da aplicação, e a partir disto, eliminar periféricos que possuam um papel secundário para a função escolhida. É possível notar que o conjunto básico do dispositivo é composto pela bateria, microcontrolador e memória, restando a seleção dos sensores que é baseada na aplicação. Desta forma, o processo de seleção dos itens fundamentais que compõem a estrutura complementar do protótipo se inicia na escolha dos sensores. Cabe destacar que a determinação dos tipos de sensores e a quantificação de seus níveis de precisão só é possível após a aplicação ser especificada. O módulo GPS, por exemplo, é capaz de operar com a antena interna em ambientes ao ar livre e ambientes fechados, desde que não esteja no subsolo, porém, o mesmo poderá exigir uma antena amplificadora ativa para aplicações subterrâneas ou aquáticas. A resolução do acelerômetro e do giroscópio pode ser dimensionada para uma maior sensibilidade se a aplicação avalia a integridade de uma carga frágil. Diferentes formas de comunicação também possuem limitantes como velocidade, alcance e propagação do sinal dentro de um determinado meio. Aplicações em rios e mares conseqüentemente necessitam de um sistema de localização para recuperação

do dispositivo. Conforme citado no caso dos FDR, a solução apresentada é um sinal ultrassônico emitido pelo dispositivo que em conjunto com um sonar permite determinar a localização do aparelho.

Cabe salientar que a complexidade que envolve este projeto limita-se ao período disponível para conclusão desde trabalho, descartando assim aplicações complexas, como as aquáticas por exemplo. Outra aplicação que não é estudada neste projeto é o controle de transporte de valores, pois a confecção de várias unidades do protótipo a fim de criar uma rede, bem como as condições necessárias para simular uma situação próxima da real, inviabiliza este caso. Sendo assim, o escopo deste trabalho e as pesquisas a serem realizadas direcionam-se ao estudo de caso envolvendo o controle de frota (ou aplicações similares). São descritos a seguir as metas e exigências esperadas para este projeto.

1.1 OBJETIVO

Desenvolver um sistema que visa a validação de conceito onde um dispositivo móvel auxilie no controle de frota e monitoramento veículos de transporte de carga. Este sistema deve ser capaz de armazenar em uma memória interna, dados de sensores eletrônicos com o objetivo de monitorar grandezas referentes à: impactos, vibrações, temperatura, orientação, posição e velocidade.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pesquisa bibliográfica sobre a situação atual de principais dispositivos similares e elementos de construção.
- Análise de aplicações específicas para o dispositivo proposto e determinação de requisitos e componentes.
- Desenvolvimento de protótipo funcional do dispositivo.
- Análise de resultados obtidos.

1.3 ÁREA DE TRABALHO

O desenvolvimento do projeto será executado nos laboratórios dos cursos de engenharia do bloco D, na Universidade de Caxias do Sul. Os laboratórios possuem computadores para pesquisa, além de bancadas com equipamentos eletrônicos como multímetro, osciloscópio, fontes de alimentação DC e componentes eletrônicos diversos.

1.4 LIMITAÇÕES

O projeto que será desenvolvido envolve tópicos associados à eletrônica, programação de microcontroladores e aquisição de dados com armazenamento das informações obtidas. O objetivo é validar o conceito de um dispositivo de controle de frota através de um sistema embarcado capaz de: monitorar posição geográfica utilizando um sistema GPS, adquirir dados sobre impactos e acelerações através de um sensor acelerômetro de três eixos, e armazenar os dados em memória Flash não volátil SD. Como a proposta visa auxiliar no controle de frota de transportadoras e aplicações similares, a autonomia estimada de operação do sistema é de no mínimo 6 horas com alimentação independente. A precisão do posicionamento deve ser de 15 metros ou superior, em uma taxa de atualização de uma leitura a cada 10 segundos. A análise de impacto deve ser capaz de mensurar colisões e impactos em veículos de transporte de carga, essa exigência é genericamente descrita como equivalente a acelerações de oito vezes a aceleração da gravidade com uma taxa de atualização de no mínimo 100 Hertz. Este protótipo será integralmente desenvolvido pelo aluno, sem o auxílio de terceiros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente este capítulo apresenta um estudo sobre as tecnologias empregadas em dispositivos similares ao proposto neste projeto. Neste contexto, são referenciadas as principais características e suas respectivas aplicações.

Adicionalmente, são avaliados os principais elementos básicos que compõem os dispositivos, tais como: sensores, transdutores e demais módulos exigidos no projeto. Seu modo de funcionamento é apresentado e sua seleção é feita conforme as exigências do projeto.

2.1 DISPOSITIVOS DE SENSORIAMENTO ATUAIS

Dispositivos capazes de ler e armazenar informações não são um conceito novo. Apesar de ainda não serem amplamente empregados na indústria, sistemas instrumentados já foram desenvolvidos, documentados e até são comercializados, como é o caso do IRD (*Impact recording Device*), dispositivo desenvolvido para avaliar impactos sofridos por frutas e vegetais, atualmente fornecido pela empresa norte americana Techmark (TECHMARK, 2015).

Colheita e pós-colheita de frutos é um campo largamente estudado por pesquisadores. Esta necessidade de estudo surgiu com o baixo aproveitamento de frutos em processos de larga escala devido a diversos fatores que impossibilitam o aproveitamento do fruto. Dentre esses fatores, Müller (2008) aponta que as perdas são dadas principalmente por ocorrência de podridões, senescência acelerada ou perda de qualidade visual ou gustativa, reduzindo a produtividade e aumentando as perdas. A fim de melhor entender processos de colheita, seleção e transporte de frutas, foram desenvolvidos então diversos dispositivos com variadas tecnologias capazes de avaliar impactos e determinar exatamente os pontos críticos de cada processo aos quais as frutas foram submetidas. Por exemplo, os aspectos construtivos para uma esfera instrumentada para sensoriamento de compressão em três dimensões são discutidos em Müller (2008). Seu foco está no monitoramento do processo pós-colheita de frutas de tamanho médio como maçãs e laranjas. Sua análise consiste em inserir seu dispositivo em meio aos frutos em diferentes casos, incluindo: caixas em formação de

pallet, esteira de seleções de frutas, transporte do *pallet* e preenchimento de silos. Seu projeto inclui sensoriamento por células de carga com extensômetros de formato esférico, simulando o formato da fruta e quantificando forças de compressão com precisão.

Outro dispositivo similar ainda dentro do ramo agrícola, porém muito menor, foi desenvolvido com a finalidade de avaliar a colheita de mirtilos em fazendas dos Estados Unidos. Com apenas 25,4 milímetros de diâmetro, o dispositivo batizado de BIRD (*Berry Impact Recording Device*) possui três acelerômetros com capacidade de mensurar impactos de 500 vezes a força da gravidade com um erro máximo estimado em 0,63% (YU et al., 2011). O objetivo do sensor BIRD é mensurar os danos causados pelas colheitadeiras mecânicas em mirtilos. Sua autonomia, no entanto, é inferior à uma hora.

Por outro lado, (D'AGOSTINE, 2005) apresenta o desenvolvimento de um sistema portátil focado em suprir as necessidades de pesquisadores no monitoramento de máquinas agrícolas, como tratores e veículos envolvidos no plantio. O objetivo principal do seu estudo, além de contribuir para o desenvolvimento da agrícola de precisão, é criar uma interconexão entre os principais sensores utilizados na área agrícola, somado ao auxílio de um GPS para a medição da resistência ao corte do solo.

Dentro do segmento de transporte de cargas e passageiros, Comin (2010) propõem um dispositivo de baixo custo e alto desempenho capaz de fazer um levantamento de dados sobre posicionamento geográfico, rotas pré-determinadas e dirigibilidade do condutor. O projeto possui comunicação por rede CAN, armazenamento de dados de GPS em cartão SD e ainda oferece a possibilidade de transmissão de informações via rede celular em tempo real. Apesar de este projeto propiciar uma solução de processamento eficiente, oferecendo um núcleo de gerenciamento de informações aplicável em qualquer veículo de transporte, a mobilidade é comprometida devido ao fato de não haver fonte própria de energia e das dimensões da placa de circuito impresso.

Cabe destacar que os dispositivos apresentados nesta seção, embora tenham diferentes finalidades e formatos, são constituídos dos mesmos elementos básicos já citados, tais como:

1. Microcontrolador: opera como uma central que cria a interface entre todos os módulos;
2. Memória externa: para o armazenamento dos dados adquiridos;
3. Bateria: nos casos em que se aplica, a bateria permite a portabilidade do sistema;
4. Sensores: utilizado para as mais diversas finalidades, como compressão, vibração/aceleração, impacto e até mesmo GPS para posicionamento.

Neste sentido, são apresentados a seguir uma breve descrição dos elementos indispensáveis para o dispositivo proposto.

2.2 ESTUDO DE COMPONENTES

Durante o desenvolvimento de um sistema embarcado uma série de estudos de conceitos e desempenho deve ser considerada. Para que os componentes sejam devidamente selecionados, é necessário estudar seus parâmetros absolutos, bem como o modo de funcionamento. Somente após um devido levantamento de informações é possível afirmar que a escolha de um determinado componente estará próxima do ideal, evitando sub ou sobre dimensionamento. A seguir estão descritos os conceitos básicos necessários para avaliar os componentes utilizados neste projeto.

2.2.1 Microcontrolador

O microcontrolador (MCU – *Microcontroller Unit*) é muitas vezes comparado ao cérebro do sistema. É através dele que toda a lógica de instruções, algoritmos e procedimentos é executada. De uma forma geral, o microcontrolador possui subsistemas necessários para ser considerado um computador em um único circuito integrado, contendo uma unidade de processamento central (CPU), memória não volátil para armazenamento do código de instruções e entradas e saídas para realizar a interface do microcontrolador com o mundo.

O grande desafio ao se trabalhar com microcontroladores é a seleção do MCU mais adequado para a aplicação, priorizando uma opção com as características e parâmetros desejados e mantendo um baixo custo (BARRETT; PACK, 2006). A escolha do microcontrolador deve ser feita com cautela para não haver sobre dimensionamento.

Dentre as diferentes variedades de MCU disponíveis atualmente, é possível classificá-los de acordo com a largura do barramento de dados (*Data Bus*) e o tamanho das memórias Flash e SRAM. Apesar dos fatores estarem relacionados entre si, cada um deles possui um papel fundamental no sistema microcontrolado, afetando o desempenho do mesmo de várias formas. A função de cada um dos itens pode ser resumida da seguinte forma (BARRETT; PACK, 2006):

- *Data Bus*: O barramento de dados é responsável por transmitir as informações entre os subsistemas do microcontrolador, e sua capacidade é medida através da quantidade de bits que o barramento é capaz de transportar em um único argumento. Geralmente, o barramento de endereço é a primeira característica a ser avaliada em um microcontrolador, e as opções mais comuns disponíveis atualmente são de 4, 8, 16 e 32 bits.
- Memória não volátil: Podendo ser do tipo EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) ou Flash. É fundamental, pois retém toda informação gravada mesmo que o circuito seja desligado. Graças a essa característica, é nesta memória que o programa de instruções é salvo. Assim, o tamanho desta memória deve ser grande o suficiente para armazenar o código do programa. O tamanho da memória interna de microcontroladores de uso geral varia entre 8KB e 256KB.
- Memória SRAM: A memória SRAM (*Static Random Access Memory*) é uma memória volátil, complementar à memória EEPROM/Flash. É nesta memória que o CPU armazena (escreve) e retira (lê) dados necessários durante a execução do programa, como por exemplo, variáveis globais e operações lógicas e aritméticas. Cabe destacar que ao perder alimentação, todos os dados temporários contidos nesta memória são perdidos.

Apenas com as três características citadas anteriormente já são possíveis gerar diversas combinações entre tamanho de memória e capacidade de processamento. Entretanto, além de capacidade, um microcontrolador pode conter diversos periféricos usados como interface com o ambiente. Dentre os principais, pode-se citar: pinos de

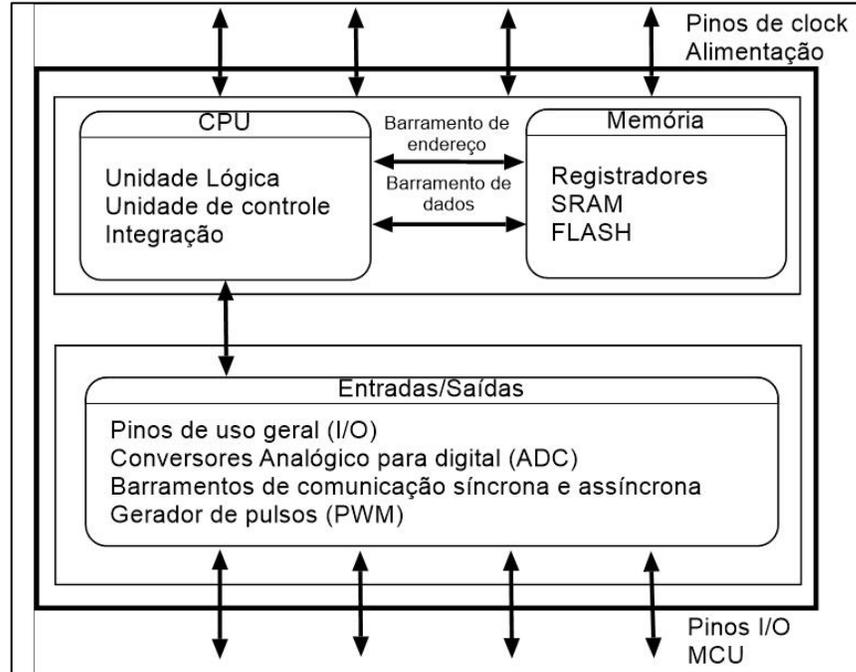
uso geral I/O (entrada/saída), gerador de pulsos PWM (*Pulse Width Modulation*), conversores de sinais analógicos para digitais, interrupções e arquiteturas de comunicação, onde esta última merece uma atenção diferenciada neste projeto.

Diferentes formas de comunicação estão disponíveis para facilitar a interface entre dispositivos eletrônicos. Elas se diferem no que diz respeito à quantidade de pinos utilizada, níveis de tensão, formato dos pacotes de dados, sincronia ou assincronia no envio de dados, velocidade de operação e relação mestre e escravo, se existente. As principais arquiteturas utilizadas em circuitos embarcados são:

- *Universal asynchronous receiver transmitter* (ou UART): Comunicação serial assíncrona que faz uso de um protocolo que contém bits de início e fim para sincronização do emissor e receptor a cada mensagem enviada.
- *Serial Peripheral Interface* (ou SPI): Comunicação serial síncrona utilizada para curtas distâncias. Exige quatro pinos e permite apenas um dispositivo mestre na rede. É comumente utilizada para cartões SD.
- *Inter-Integrates Circuit* (ou I2C): Comunicação que permite configurações contendo mais de um dispositivo mestre. Faz uso de dois pinos para a interface e é utilizado em circuitos integrados de baixa velocidade.

A Figura 1 ilustra de um modo geral o funcionamento interno de um microcontrolador, onde cada bloco representa um módulo funcional individual, e as setas representam a interface entre eles.

Figura 1: Diagrama de bloco do funcionamento interno do microcontrolador



Fonte: Autor.

Conforme descrito na Figura 1, são destacadas as principais relações entre os blocos do microcontrolador. A CPU é responsável pelo gerenciamento de dados (leitura e escrita) nas memórias do microcontrolador. Isto é feito através dos barramentos de dados e de endereço. Outra relação importante é o envio e aquisição de dados através das entradas e saídas do MCU. É através deste bloco que o chip interage com outros periféricos e com o ambiente.

2.2.2 Memória Externa

Ao se trabalhar com aquisição de informações em altas frequências, dispositivos instrumentados são capazes de gerar alto volume de dados em condições de operação ininterrupta. Desta forma, se o dispositivo não contar com uma forma de registro em tempo real destes dados, eles podem ser perdidos. Nestes casos, é necessário recorrer para dispositivos de memórias não voláteis externas ao microcontrolador de capacidade adequada, ou seja, se a aplicação exige que a informação não seja perdida durante o processo é preciso investir em um meio seguro e eficaz de reter os dados.

A tecnologia de memória FLASH está no mercado desde 1984, quando foi desenvolvida pela Toshiba (TOSHIBA, 2015). Sua capacidade de reter dados mesmo quando o dispositivo for desconectado de sua fonte de energia fez com que essa tecnologia se tornasse amplamente usada em dispositivos como: computadores, tablets, câmeras digitais, telefones celulares e instrumentos musicais (KINGSTON, 2015).

No que diz respeito à linha de produtos disponíveis com a tecnologia FLASH, é possível citar: *USB Flash Drivers*, *MultiMediaCard* (MMC) , *Secure Digital Cards* (SD Card) e *Solid-State Drives* (SSD). Cada dispositivo se destaca por uma característica única, onde as principais são evidenciadas a seguir (KINGSTON, 2015):

- **USB Flash Driver:** Introduzido em 2002, o USB Flash Driver veio como o substituto do *Compact-Disc* (CD). Portátil e veloz, o USB suporta grande capacidade de dados e a facilidade de reescrevê-los ou simplesmente apagar as informações. Esta linha de memórias é compatível com o padrão *Universal Serial Bus* (USB), possibilitando ao usuário compatibilidade com a maioria dos computadores pessoais disponíveis hoje.
- **MMC:** Direcionado para aplicações portáteis, o MMC surgiu em 1997 como sucessor da tecnologia *Compact Flash*. Com apenas 1,4 milímetros de espessura e tamanho que pode ser comparado a um selo de uma carta, o MMC foi por anos a melhor alternativa para armazenamento portátil.
- **SD:** Sucessor do MMC, o SD foi desenvolvido baseado na segunda geração da tecnologia MMC. Com tamanho compatível com ao seu antecessor, o SD conta com a adição de criptografia de segurança para proteção de arquivos com direitos autorais e proteção contra gravação, destacando-se como media móvel. O cartão SD tornou-se a opção mais viável para aplicações portáteis hoje devido à sua alta capacidade de armazenamento.
- **SSD:** A tecnologia mais nova dentre as citadas, com lançamento em 2007, os *Solid-State Drives* vieram como substitutos dos *Hard-Drives* (HD). O

SSD vem ganhando mercado a cada ano devida as sua rápida taxa de transferência e alta resistência à choques se comparado a um HD. Apesar das vantagens, o SSD prioriza velocidade e capacidade de armazenamento, deixando tamanho e peso como atributos secundários.

2.2.3 Bateria

Conforme já apresentado, há um grande escopo de aplicações que podem ser estudadas com o auxílio de um dispositivo portátil de monitoramento. Para que isso seja viável, um dos fatores críticos do projeto é o tempo que o dispositivo fica operante sem alimentação externa. Casos específicos onde não há possibilidade de manter uma fonte de energia conectada ao dispositivo requerem uma solução robusta, capaz de se manter autônoma por horas ou até mesmo dias através de baterias. Algumas aplicações que ilustram essa peculiaridade são: aplicações subaquáticas onde o dispositivo terá de operar de maneira independente por dias, aplicações móveis como cargas a serem transportadas entre veículos e estabelecimentos, aplicações que expõem o dispositivo a intempéries ou locais que simplesmente não dispõem de uma fonte de alimentação.

A capacidade da bateria é diretamente responsável pela autonomia do sistema. No caso de um monitoramento de frota em transportadora, o dispositivo terá uma flexibilidade que lhe permite ser transportada junto de uma carga ou ser realocada para outro veículo sem a necessidade de adaptações complexas ou instalação elétrica no veículo, como é o caso de rastreadores atuais.

No que se refere ao gerenciamento de energia do sistema, dois tópicos devem analisados do ponto de vista do sistema embarcado: consumo de corrente do sistema e autonomia mínima desejada. Por outro lado, quando se analisa a tecnologia envolvida na bateria, três parâmetros se destacam: densidade energética (que envolve peso e volume), ciclos de carga e descarga, e longevidade da carga (MICROCHIP, 2007).

Quanto à classificação das baterias, podem-se separar as tecnologias de acordo com sua composição química, das quais as mais utilizadas em aplicações genéricas são: Alcalinas, Chumbo-ácidas seladas (SLA), Níquel-Cadmio (NiCd), Níquel-hidreto metálico (NiMH), Lítio-Íon (Li-Ion) e Lítio-Íon polímero (Li-Po) (MICROCHIP, 2007).

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as baterias citadas em relação à sua densidade energética, ciclos de carga e descarga e investimento inicial.

Tabela 1: Comparativo entre baterias

Composição Química	Densidade de Energia (W-hr/Kg)	Densidade de energia (W-hr/l)	Ciclos de carga e descarga	Custo Inicial
Alcalina	145	400	1	Muito baixo
SLA	30-40	50-80	50-500	Baixo
NiCd	40-80	100-150	1500	Baixo
NiMh	60-100	160-230	800	Médio
Li-ion	110-130	210-320	1000	Alto

Fonte: MICROCHIP (2007)

Conforme pode ser observado, a bateria alcalina possui menor investimento, maior densidade energética, porém não aceita recargas, comprometendo a portabilidade. Além disto, a bateria Li-íon também possui alta densidade energética, possibilita uma grande quantidade de ciclos de carga, mas apresenta um alto custo. Contudo, os requisitos do projeto exigem um baixo volume, com a finalidade de facilitar a portabilidade do sistema, logo, alta densidade energética devem ser tomada como principal fator a ser considerado. As demais opções de baterias foram descartadas devidas a sua menor densidade energética.

Por outro lado, uma alternativa para as baterias Li-íon são as baterias Li-Po, que possuem alta eficiência e mesma tecnologia à base de Lítio-íon, porém com a vantagem de um tamanho reduzido. Graças a essas características, as baterias Li-Po são amplamente usadas em aplicações portáteis dentro do campo das telecomunicações e informática (LINDEN; REDDY, 2002).

2.2.5 Acelerômetro

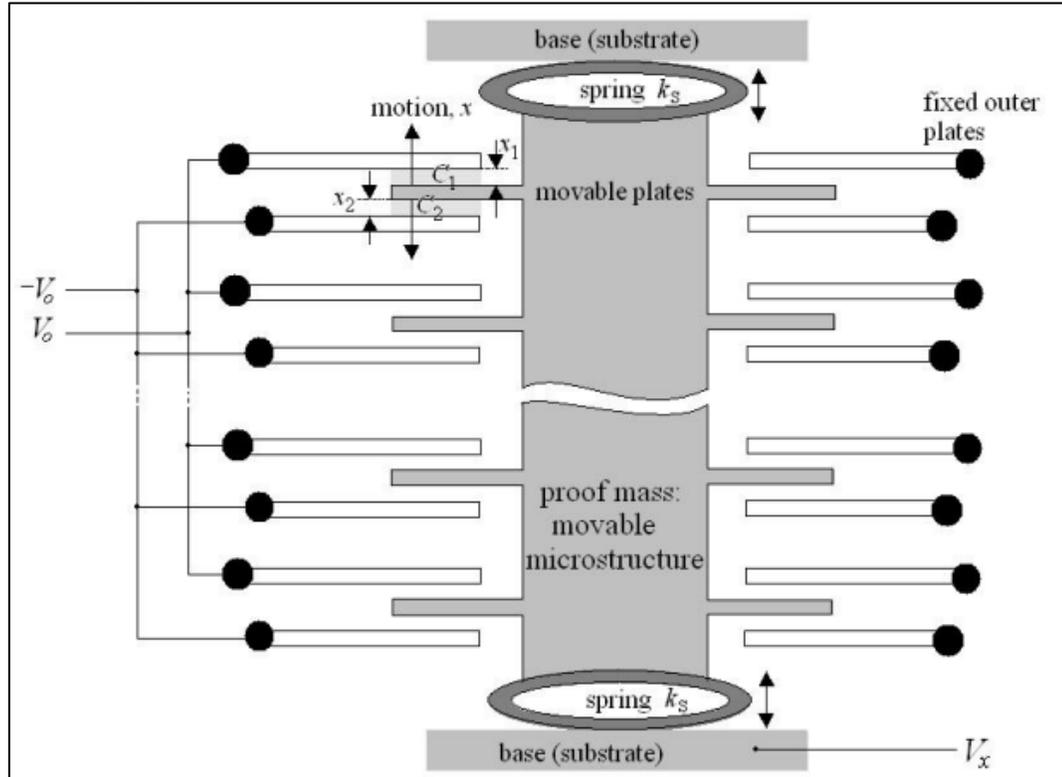
Dispositivos dotados de acelerômetros são especialmente úteis e amplamente utilizados para avaliar e mensurar vibrações e impactos, onde ocorrem alterações de aceleração. Dentre os casos mais comuns onde este tipo de sensor é utilizado, pode-se

incluir sensibilidade de linhas de empacotamento, testes de colisão de carros e até mesmo para estipular as forças aplicadas em carros de corridas (SINCLAIR, 2001).

Tratando-se de métodos para mensurar a força da aceleração, é possível classificar os acelerômetros pelos seus aspectos construtivos. Dentre os principais modelos de acelerômetros podem-se citar os do tipo piezoelétrico e capacitivo. O primeiro tipo, acelerômetro piezoelétrico, foi a tecnologia pioneira para mensurar a influência da aceleração. Esse modelo é composto de estruturas cristalinas microscópicas que geram um diferencial de potencial em seus terminais quando sujeitos à força da aceleração (SINCLAIR, 2001).

Paralelamente aos sensores piezoelétricos, foram desenvolvidos os acelerômetros capacitivos, com o objetivo de serem menores, mais precisos, porém mais complexos (ANDREJASI, 2008). Sensores capacitivos utilizam do conceito básico de capacitância em associação com aspectos construtivos mecânicos variáveis, visando criar uma réplica miniaturizada de um capacitor variável. Seu modo de funcionamento consiste de uma massa de prova, composta de diversas placas paralelas. Esta massa é fixa à base mecânica do acelerômetro através de molas, sendo assim, com esforços mecânicos de aceleração essa massa pode ser deslocada no sentido das molas. Também fixo à base estão outras placas paralelas não móveis, constituindo a segunda parte da representação do capacitor. As placas paralelas fixas e móveis atuam como eletrodos de um capacitor e o material que separa as placas pode ser comparado a um dielétrico. Sendo assim, quando houver uma força de aceleração atuando no sentido de uma das extremidades da massa, a mesma irá se deslocar e conseqüentemente alterar a distância entre as placas dos eletrodos, alterando assim a capacitância total do sistema. Um processamento adicional é necessário para converter e condicionar essa capacitância em uma escala mensurável de tensão, adicionando uma maior complexidade no sistema se comparado a um acelerômetro piezoelétrico. Em casos de acelerômetros com dois ou três eixos, o sistema é simplesmente replicado nos sentidos adicionais. Para ilustrar esse sistema, a Figura 2 apresenta um modelo básico de acelerômetro capacitivo de uma dimensão.

Figura 2: Aspecto construtivo de um acelerômetro capacitivo.



Fonte: (ANDREJASI, 2008)

Mensurar aceleração é uma função de suma importância para o projeto. Com as devidas medições e modelamento da informação, será possível mensurar e quantificar impactos e vibrações sofridas pela carga durante o manuseio e transporte. Por conta disso, o dispositivo usado para medir aceleração deverá ser capaz de quantificar variações de acelerações nos três eixos ortogonais, X, Y e Z. Assim, através de projeções vetoriais será possível determinar o sentido e magnitude de forças resultantes aplicadas sobre a carga.

2.2.4 Módulo GPS

Conforme citado anteriormente, o sistema de navegação global mais difundido mundialmente é o norte americano *Global positioning system* (GPS), disponível gratuitamente para uso civil, entretanto outros sistemas de posicionamento global alternativos já estão em funcionamento ou em desenvolvimento. Por exemplo, a versão Russa, desenvolvida para fins militares e civis é denominada GLONASS (*Global*

Navigation Satellite System) funciona de forma independente ao GPS (RUSSIA, 2015). Outro sistema ainda em fase de projeto sem fins militares, que visa fins puramente civis é o Galileo, em desenvolvimento pela ESA (*European Space Agency*). A União Europeia em conjunto com outros países associados à ESA estão unindo esforços para a criação de um sistema independente de posicionamento, que não sofra influencia por conflitos militares (ESA, 2015).

Como o sistema de GPS não possui restrições em seu modo de baixa precisão cabe ao usuário apenas adquirir um circuito receptor com antena capaz de captar e sustentar uma conexão estável com os satélites (ESTADOS UNIDOS, 2015). No que se refere ao chip receptor, muitas características influenciam no modo de funcionamento e qualidade da conexão. Entre as principais características de um receptor GPS, pode-se citar: tempo necessário para gerar primeiro dado válido (*Time-to-first-fix*, ou TTFF), sensibilidade, frequência de atualização, precisão horizontal de posição e limites de operação (U-BLOX, 2015).

Outro fator que difere os receptores GPS é o protocolo trabalhado para interpretação e formato da informação transmitida. Entre os protocolos mais adotados, pode-se citar o NMEA 0183 (*National Marine Electronics Association*), o RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) e o TSIP (*Trimble Standard Interface Protocol*). É possível também que o fabricante do receptor GPS possua seu próprio protocolo implementado em seus produtos, como é o caso do protocolo UBX, propriedade U-Blox (NMEA, 2015; RTCM, 2015; U-BLOX, 2015).

Na Figura 3 é possível visualizar um exemplo de formato em que o protocolo NMEA fornece as informações adquiridas. Ao início de cada linha existe uma palavra que define como os dados subsequentes devem ser interpretados. No caso, para a linha \$GPGGA, a aplicação exemplificada na Figura 3 apresenta: Hora em que a leitura ocorreu, latitude, longitude, qualidade do sinal, número de satélites conectados, diluição da posição horizontal, altitude, altura do geóide, hora e dígito verificador, respectivamente. Esses dados estão separados por vírgulas, e as palavras no início de cada frase chamadas de *Data type* (NMEA, 2015).

Figura 3: Protocolo NMEA

```

$GPRMC,012202.00,A,2907.58806,S,05107.70222,W,0.218,,270515,,,A*7A
$GPVTG,,T,,M,0.218,N,0.403,K,A*2F
$GPGGA,012202.00,2907.58806,S,05107.70222,W,1,04,1.92,872.5,M,3.9,M,,*65
$GPGSA,A,3,28,20,09,30,,,,,,,,,2.96,1.92,2.25*02
$GPGSV,2,1,05,09,34,057,27,20,20,236,34,23,,,29,28,68,327,32*4F
$GPGSV,2,2,05,30,57,179,34*45
$GPGLL,2907.58806,S,05107.70222,W,012202.00,A,A*6C

```

Fonte: Autor.

Por fim, o último tópico de maior relevância na seleção de um receptor GPS é a forma com que ele irá comunicar com o microcontrolador. Em um único chip receptor diversas opções de comunicação podem estar disponíveis, entre as quais UART, SPI e USB podem ser consideradas as mais comuns.

Os receptores GPS mais básicos disponíveis no mercado não requerem configurações adicionais. Após ser devidamente conectado e energizado, o receptor inicia automaticamente a busca por satélites. O *Time-to-first-fix* varia com o modelo e fabricante do receptor, e é afetado por condições climáticas, conforme indicado em datasheet. Quando o receptor estiver sob boas condições (ou seja, ao ar livre e céu sem nuvens), o TTFF não deve ultrapassar 32 segundos nos modelos da linha NEO-6P do fabricante U-Blox (U-BLOX, 2015).

Após ser estabelecida uma conexão onde o receptor é capaz de receber pacotes de dados válidos com estabilidade, informações sobre tempo, qualidade de sinal e posição, são enviados periodicamente para o microcontrolador.

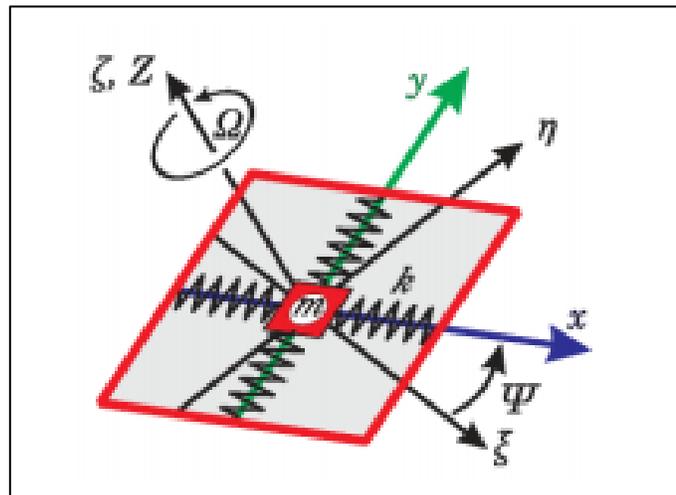
2.2.6 Giroscópio

Comumente confundido com o acelerômetro, o giroscópio também faz uso da força aceleração, porém, especificamente para calcular orientação e rotação. Partindo do princípio do modelo de giroscópio mecânico clássico, composto por um ou mais discos girantes que mantinham sua posição absoluta, o giroscópio mecânico serve como referência para a alteração orientação da estrutura com relação ao disco girante. Sendo assim, a medida relativa da estrutura poderia então ser correlacionada ao movimento absoluto entre a estrutura e o referencial externo (AGUIRRE, 2014).

Quando o conceito de orientação é aplicado à eletrônica, o princípio do giroscópio básico dá lugar ao à tecnologia MEMS (*micro-electro-mechanical systems*) que representam sistemas mecânicos em escala microscópica. Apesar do modo de funcionamento não ser o mesmo, o nome e função permanecem idênticos. Quando em conjunto com o acelerômetro, o giroscópio se torna uma excelente ferramenta complementar permitindo ser possível obter dados relativos ao posicionamento do objeto avaliado.

Tal qual o acelerômetro capacitivo, o princípio de funcionamento de um giroscópio baseia-se na medição da variação de capacitância de um modelo mecânico que reproduz um capacitor. Uma massa de prova é suspensa em dois eixos dentro de uma armação. Quando o sistema é rotacionado em um dos eixos, ocorre uma diferença de referência entre a massa e a armação, que é proporcional a uma velocidade angular no eixo rotacionado. A força Coriolis de acoplamento entre os eixos não rotacionados resulta em uma troca de forças que é utilizada para determinar a alteração na capacitância do sistema (TRUSOV, 2011). A Figura 4 exemplifica uma massa de prova suspensa dentro da armação.

Figura 4: Modelo genérico de um giroscópio.



Fonte: (TRUSOV, 2011)

3 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE RESULTADOS

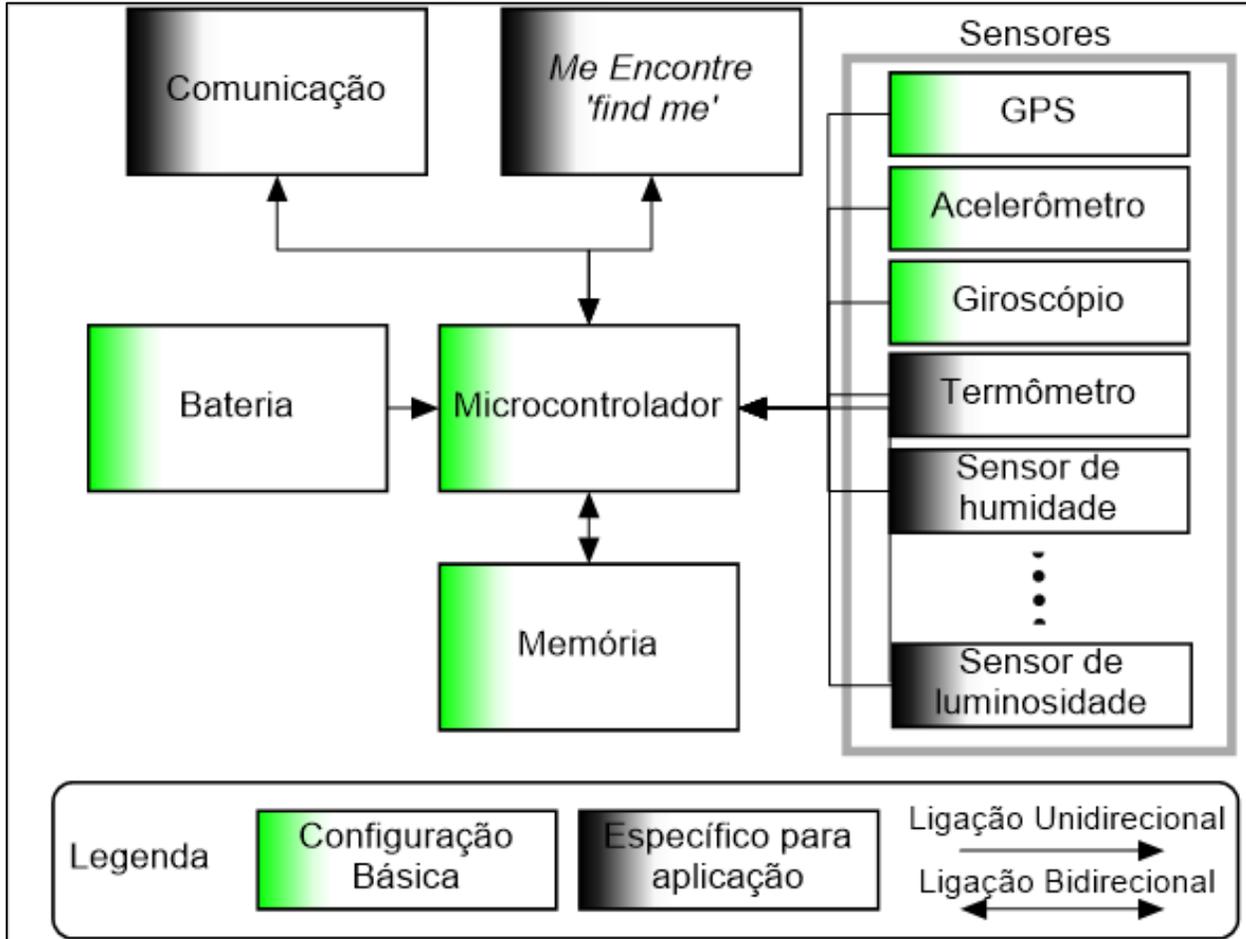
Conforme já evidenciado nos capítulos anteriores, o primeiro passo no desenvolvimento de um dispositivo instrumentado é avaliar os componentes eletrônicos e sensores a serem utilizados baseando-se na aplicação e suas exigências. Desta forma, este capítulo busca contribuir neste sentido. Primeiramente, discute-se sobre os aspectos construtivos e implementação, onde uma atenção especial é dada sob ponto de vista de montagem do circuito eletrônico. A lógica de integração do sistema e o modelo completamente funcional são apresentados, e em seguida a embalagem do dispositivo é discutida. Por fim, testes de campo com o protótipo funcional são exemplificados e analisados. Os testes possuem seus objetivos detalhados para que a eficiência e desempenho do protótipo sejam avaliados.

3.1 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES

Inicialmente, a escolha dos sensores e do GPS prioriza tecnologias de qualidade já comprovada, baixo custo e disponibilidade no mercado, de acordo com os dados apresentados no capítulo anterior. Durante a definição de componentes é importante ressaltar que o correto dimensionamento só ocorre quando as condições da aplicação são avaliadas e mensuradas. Porém, para este projeto a bibliografia estudada e os dispositivos citados no Capítulo 2 atuam referências para esta definição. Neste sentido, sensores, precisão, frequência de operação, e condições de funcionamento são fatores a serem estudados com cautela para evitar sobre ou sub dimensionamento do produto, impactando diretamente na sua eficiência e no seu custo. Conseqüentemente, baseado nas primeiras decisões, tem-se então dados suficientes para a seleção de um microcontrolador, memória e bateria para o sistema. Sendo assim, os componentes usados no dispositivo estão listados nas seções a seguir, bem como sua respectiva justificativa.

A Figura 5 evidencia a relação de dependência que os módulos terão entre si, bem como o fluxo de dados e a necessidade dentro de uma aplicação genérica.

Figura 5: Diagrama de blocos.



Fonte: Autor.

3.1.1 Microcontrolador

O microcontrolador é um componente que exige cautela ao ser selecionado, pois existe uma imensa variedade de opções disponíveis no mercado. A aplicação em questão não exige um microcontrolador de funções dedicadas, ou seja, é possível suprir as necessidades do projeto com um *general purpose* MCU (MCU de aplicações gerais) que seja dotado de módulos com comunicações I2C e SPI para interface com sensores e GPS. Pelo fato do sistema ser um supervisor e não possuir atuadores, pinos de propósitos gerais, PWMs e conversores AD são dispensáveis.

Como o projeto conta com diversas formas de comunicação, a memória não volátil exigida deverá ter capacidade suficiente para armazenar diferentes bibliotecas de comunicação e suas rotinas. Sendo assim, a memória não volátil deverá ser igual ou

superior a 32KB. Neste caso, a plataforma Arduino aparenta ser uma opção conveniente, pois é amplamente difundida em aplicações acadêmicas e didáticas. Seu ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) possibilita o uso de funções específicas pré-programadas para uso geral, permitindo ao usuário manter o foco na aplicação. Este sistema é composto de um microcontrolador de baixo consumo de corrente que conta com um barramento de dados de 8 bits, 256 kB de memória programável Flash, e 8 kB de memória SRAM. Este microcontrolador possui quatro barramentos de comunicação serial UART e pinos dedicados para comunicação SPI. A Temperatura de operação pode variar de -40°C a 85°C (ATMEL, 2015).

Uma das dificuldades observadas nesta fase do projeto foi a capacidade de memória do microcontrolador. Primeiramente, é utilizado o microcontrolador ATmega328P com capacidade 2kB de memória dinâmica (SRAM) e 32kB de memória programável Flash, para armazenamento do programa (ATMEL, 2015). Ao reunir todos os componentes do projeto em uma única versão de firmware, ambas as memórias chegam a 84% de sua capacidade, gerando instabilidade na execução do programa onde uma ou mais instruções não são executadas conforme a lógica de programação. A solução para esta limitação é a troca de microcontrolador para a versão ATmega2560 que conta com 256kB de memória FLASH e 8kB de memória SRAM. A Figura 6 ilustra a mensagem de advertência gerada pela IDE do programa.

Figura 6: Mensagem de advertência do compilador Arduino.

```
Sketch uses 27,268 bytes (84%) of program storage space. Maximum is 32,256 bytes.  
Global variables use 1,727 bytes (84%) of dynamic memory, leaving 321 bytes for local variables. Maximum is 2,048 bytes.  
Low memory available, stability problems may occur.
```

Fonte: Autor

3.1.2 Memória Externa

Conforme citado na seção 3.1, não é possível dimensionar com exatidão os sensores a serem utilizados sem antes executar uma análise da aplicação.

Então, com base nos dispositivos similares estudados no primeiro Capítulo é estipulado uma taxa de atualização de 100Hz para os sensores. É esperado que pelo menos 700 amostras sejam geradas a cada segundo, se somado os sensores acelerômetro, giroscópio e termômetro. Além disso, os parâmetros de coordenadas obtidos pelo GPS resultam em um volume considerável de fluxo de dados. Esse fluxo de dados requer um modo auxiliar de armazenamento de informações, do contrário a autonomia do dispositivo pode estar comprometida por falta de memória.

A tecnologia SD é muito atrativa pelo seu tamanho, capacidade e portabilidade. Após os dados serem gravados em um cartão SD, ele pode ser facilmente retirado e conectado em um computador pessoal para extração da informação, sem a necessidade de criar programas ou modos de interface entre o dispositivo e um computador. A tecnologia SD possui uma enorme variedade de opções para capacidade de armazenamento, suprimindo então a alta demanda do sistema. Outro ponto positivo é que este modelo de memória trabalha com comunicação SPI de quatro pinos, não exigindo circuitos integrados dedicados para a interface cartão SD-microcontrolador. Por outro lado, o principal ponto negativo desta tecnologia é o elevado consumo de corrente, alguns fabricantes apontam que a corrente drenada pelo processo de escrita no cartão pode chegar até 100mA (SANDISK, 2015). A Temperatura de operação fica em torno de -25°C a 85°C.

Para este experimento um cartão micro SD de 8GB com um adaptador para o formato SD é utilizado.

3.1.3 Bateria

Conforme mencionado, as baterias mais utilizadas no mercado que suprem as necessidades da maioria dos dispositivos portáteis são as baterias de Lítio-Íon. Sua grande densidade energética e baixo volume fazem delas a melhor opção, mesmo que seu custo não seja igualmente atrativo. Uma das exigências incluídas no projeto define como autonomia mínima 6 horas de operação contínua. Conforme consumo de corrente dos componentes apresentados neste capítulo, espera-se um consumo médio mínimo de 80mA para condições normais de operação, e no máximo 150mA, para condição de aquisição de sinal do GPS. Sendo assim, considerando o pior caso de consumo na

escolha da bateria, se chega a um valor de capacidade mínima de 900mAh para um período de 6 horas operando. Cabe destacar que em altas temperaturas a atividade química aumenta dentro da bateria, ocasionando uma rede de perda de capacidade, também conhecido como *self-discharge*. De acordo com (LINDEN, 2002), a temperatura ideal de operação de uma bateria fica entre 20°C e 40°C. Neste caso é utilizado uma bateria de 2200mAh, permitindo até 14 horas de operação.

3.1.4 GPS

Tratando-se de módulos GPS, precisão de posicionamento, frequência de atualização, e tempo de partida são algumas das características mais importantes a serem observadas. Como a aplicação em questão não exige um detalhamento extremamente preciso e contínuo da posição do veículo, grande parte dos módulos GPS disponíveis no mercado se adequam às exigências. A série NEO-6 de módulos GPS do fabricante uBlox possui uma precisão de posição horizontal de 2,5 metros, frequência de atualização de até 5 amostras por segundo e primeira leitura válida em até 32 segundos. A forma de comunicação disponível é via UART ou USB. Após adquirir sinal, o consumo do módulo não ultrapassa a casa dos 40mA, e a temperatura de operação fica na faixa entre -40°C e 85°C (U-BLOX, 2015).

Adicionalmente, ainda analisando o módulo GPS é possível destacar a importância da antena. A principal função de uma antena receptora é captar ondas eletromagnéticas de interesse irradiadas no espaço por uma antena transmissora. Neste caso, a antena é responsável por captar as ondas enviadas pelos satélites GPS e incorporar a informação válida no sistema receptor (JUNIOR, 2004). Outro fator importante na categorização de uma antena é o seu princípio de funcionamento. Atualmente, no que se diz respeito ao condicionamento dos sinais captados é possível classificar uma antena com passiva ou ativa. Enquanto a antena passiva não promove nenhum tipo de condicionamento de sinal captado antes de alimentá-lo ao sistema, a antena ativa dispõe de um filtro pré-amplificador que atenua os ruídos e amplifica o sinal na faixa de interesse (JUNIOR, 2004).

A primeira antena utilizada no projeto é uma antena do tipo *Patch*, também chamada de *MICROSTRIP*. Esse tipo de antena é popular em dispositivos GPS

portáteis pelo seu tamanho compacto é simples aspecto construtivo. Esta antena passiva é composta de uma placa de circuito impresso montada paralelamente a uma base. Essas placas são separadas por um material isolante, normalmente porcelana ou ar. O ganho máximo deste modelo de antena é de 7dB (JAMES; HALL, 1989). Já a segunda proposta conta com uma antena ativa compatível com a alimentação 3,3V, consumo de 9mA e ganho de 27dB (RSDOBRAZIL, 2015), o que permanece dentro das especificações do módulo receptor GPS que exige um ganho máximo de 50 dB (U-BLOX, 2015).

Ambos os modelos de antenas utilizados no protótipo podem ser vistos na Figura 7. No lado esquerdo da figura se encontra a antena do tipo *Patch*, e no lado direito a antena ativa.

Figura 7: Antenas usadas no protótipo.



Fonte: Autor

Cabe salientar que durante os testes individuais dos módulos do projeto, é possível constatar que o tempo de aquisição de sinais válidos do GPS sofre muita influência de fatores climáticos. Em situações desfavoráveis, o tempo estimado para o TTFF supera a margem dos 15 minutos (chegando a 3 horas). Para solucionar esta fraca aquisição de sinal opta-se então pela troca da antena receptora conforme citado previamente.

3.1.5 Acelerômetro e Giroscópio

Conforme já apontado anteriormente, os dispositivos MEMS, onde os acelerômetros estão inclusos, estão em escala evolutiva que atualmente vivencia seu auge. A capacidade de representar sistemas mecânicos de forma miniaturizada permite uma série de vantagens que tornam os acelerômetros capacitivos uma opção atraente: são menores e mais precisos. A família MPU-6XXX de acelerômetros do fabricante InvenSense possui precisão configurável de 2g até 16g com tolerância de 3%, e taxa de atualização de até 1000Hz com comunicação I2C (INVENSENSE, 2015). Uma das grandes vantagens deste circuito integrado é o compartilhamento do mesmo encapsulamento com um sensor giroscópio e um termômetro. Em outras palavras, em um mesmo chip é possível obter a leitura de três sensores, tudo isso associado a um consumo inferior a 4mA e temperatura de operação de -40°C até 85°C, fazendo deste chip uma ótima opção de acelerômetro e giroscópio integrado.

Sob a perspectiva do sensor giroscópio cabe destacar que sua função é auxiliar o acelerômetro e permitir uma leitura aprimorada de orientação. O giroscópio integrado no chip do MPU-6050 possui uma escala de trabalho que chega a um limite de até 2000°/s, para as mesmas condições de trabalho do acelerômetro (INVENSENSE, 2015).

Devido à capacidade de monitorar três grandezas em um único circuito integrado, o MPU-6050 se mostra uma escolha adequada ao projeto. As tolerâncias estão dentro das especificações listadas, e o termômetro integrado adiciona uma funcionalidade extra ao projeto.

3.2 MONTAGEM E IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção é detalhada a montagem e integração dos módulos usados no dispositivo instrumentado. Na primeira etapa é descrito a montagem da placa que comporta os componentes e seu circuito eletrônico. Em seguida, a forma com que os dados são adquiridos é detalhada junto das conversões necessárias para tornar os dados interpretáveis. A interface entre os módulos eletrônicos citados são abordados

junto da lógica de programação do microcontrolador. Por fim, é discutida a embalagem que abriga o produto. Cabe destacar que o estudo sobre transferências mecânicas, como vibração e esforços, não é abordado neste projeto, logo, supõem-se de modo simplificado que todos os esforços aplicados no invólucro do dispositivo são inteiramente transferidos para os sensores, desprezando então perdas por transferências mecânicas.

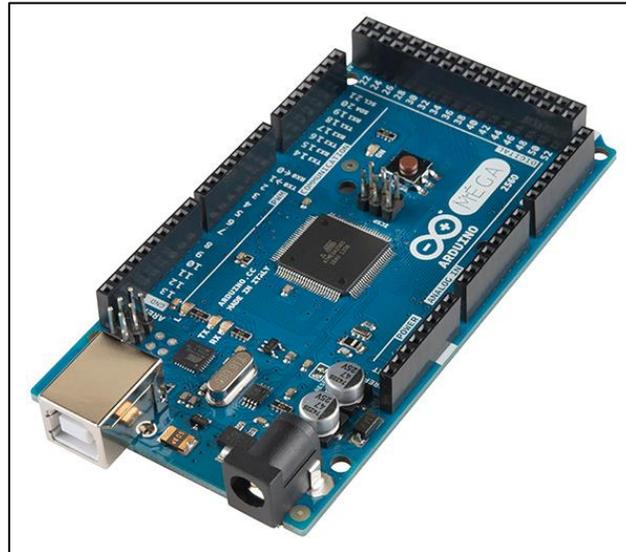
3.2.1 Circuito Eletrônico

Observa-se que as opções disponíveis para montagem de um circuito eletrônico são: montagem em *protoboard*, montagem em placa de fenolite com conexões feitas através de trilhas de cobre no processo de corrosão por percloroeto de ferro, montagem em placa com furação padrão e conexão por fios, e finalmente desenvolvimento de placa dedicada utilizando software de layout eletrônico e confecção da placa.

Por outro lado, a plataforma de desenvolvimento Arduino já possui conectores de espera com acesso diretamente aos pinos do microcontrolador, logo a opção mais indicada para um protótipo de curto prazo é montagem dos módulos em uma placa que possa ser acoplada aos seus conectores. Adicionalmente, caso um ou mais módulos necessitem ser substituídos ou até mesmo alguma mudança de projeto seja necessária, é possível realizar alterações com facilidade neste tipo de placa.

A Figura 8 mostra em detalhe como a plataforma *Arduino Board Mega 2560* utilizada que possui conectores de espera para que placas dedicadas sejam acopladas (ARDUINO, 2015).

Figura 8: Arduino Mega



Fonte: (ARDUINO, 2015)

Resumidamente, cada um dos pinos é indicado de acordo com sua funcionalidade: pinos somente numerados são pinos digitais de uso geral, pinos com prefixo 'A' indica que são conversores analógicos e pinos com prefixo 'RX/TX' indica que estão preparados para comunicação UART. Alguns pinos possuem uma ou mais funções adicionais, como é o caso dos pinos 50 a 53 que são utilizados para comunicação SPI (ARDUINO, 2015). Esta plataforma possui todas as interfaces exigidas para comunicar com os sensores e GPS. Para maiores informações, vide datasheet referente ao microcontrolador (ATMEL, 2015).

Cabe salientar que se recomenda que as funcionalidades dos componentes sejam previamente testadas ao se iniciar a montagem da placa que será acoplada na plataforma Arduino, evitando retrabalhos. A partir disto, a fim de manter o dispositivo o menor possível, uma placa de furação padrão foi cortada nas dimensões 65x55mm. Com esta área é possível acomodar todos os componentes em sua superfície, contando ainda com a vantagem de permanecer na mesma largura do espaçamento entre os conectores do Arduino. O resultado é uma placa compacta que pode ser substituída ou modificada facilmente. Para criar as ligações elétricas entre a placa acoplada com o microcontrolador e garantir uma fixação efetiva, conectores do tipo

macho foram soldados na parte inferior da placa. As ligações entre os circuitos e os conectores foram feitas de cabos do tipo *Flat*.

Para permitir um acoplamento entre o cartão SD, que trabalha em tensões de 3,3V, com o as portas de saída do microcontrolador que operam em torno de 5V, é necessário a utilização de um divisor resistivo para não danificar o cartão SD. Os pinos CS, SCK e MOSI tiveram suas tensões reduzidas de acordo com o seguinte cálculo.

$$V_{SD} = V_{MCU} * \frac{R1}{R1 + R2}$$

$$3,3 = 5 * \frac{R1}{R1 + R2}$$

$$0,66 = \frac{R1}{R1 + R2}$$

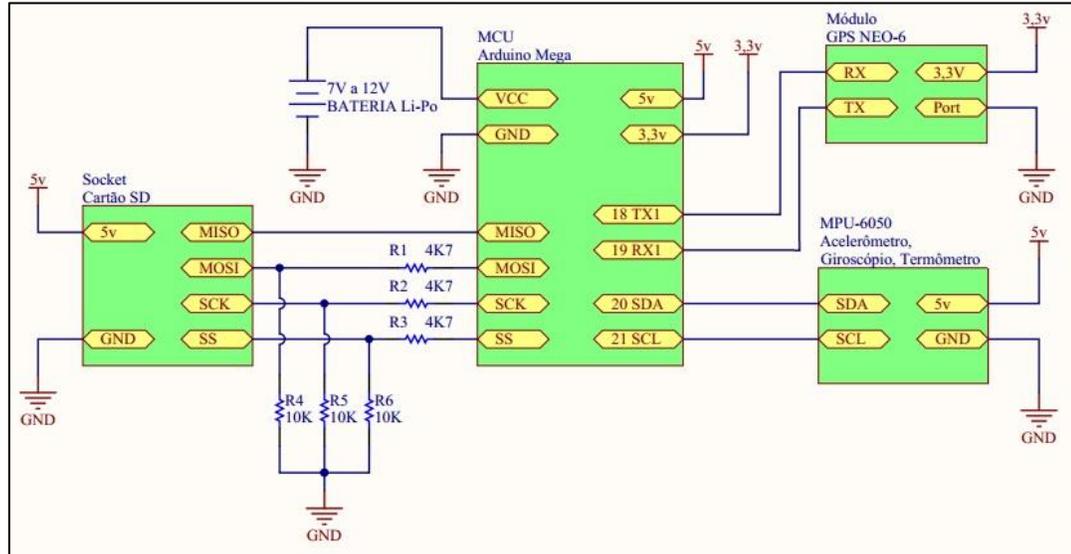
Assim, a relação entre o resistor R1 e a soma das resistências da malha deve ser de 66%. Selecionando o valor comercial de 10k ohms para o resistor R1, a equação resulta em 5k1 ohms para R2. O valor comercial mais próximo disponível é de 4k7. Assim, a tensão esperada nos terminais do cartão SD é de aproximadamente 3,4V, conforme cálculo a seguir.

$$V_{SD} = V_{MCU} * \frac{R1}{R1 + R2} = 5 * \frac{10k}{10k + 4k7} = 3,4V$$

É possível considerar o efeito da propagação de erro devida a variação dos resistores e da tensão fornecida. No entanto, o valor resultante ainda está dentro dos limites de operação do componente (SANDISK, 2015).

A Figura 9 ilustra o diagrama elétrico do circuito completo que compõem a placa confeccionada. Para fins de simplificação do diagrama, a base Arduino não está completamente ilustrada, sendo representada apenas pelo microcontrolador com respectivos pinos usados.

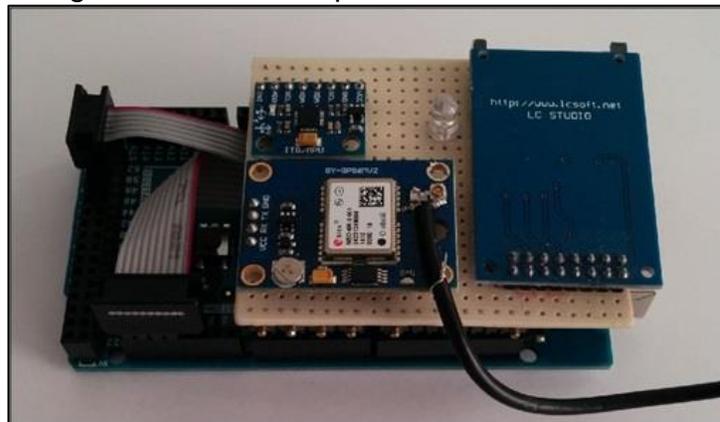
Figura 9: Diagrama elétrico do circuito.



Fonte: Autor

O resultado prático pode ser conferido na Figura 10, onde é possível ver a vista superior da placa já acoplada na plataforma Arduino. As ligações elétricas são propositalmente posicionadas no lado inferior a fim de não expor as ligações elétricas.

Figura 10: Placa acoplada ao módulo Arduino.

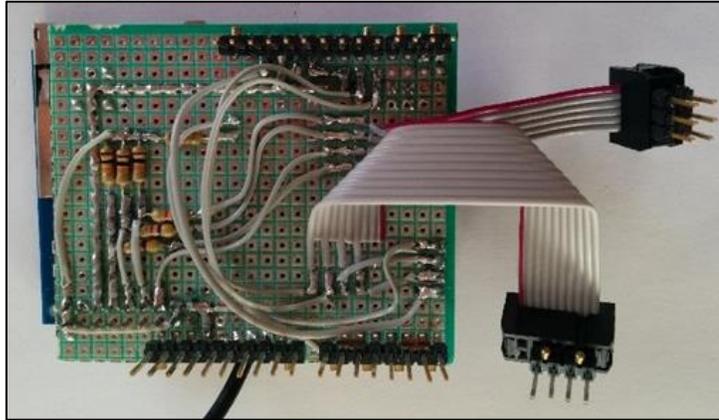


Fonte: Autor.

Apesar de nem todos os pinos do conector estarem sendo utilizados, os mesmos foram mantidos como forma de manter flexibilidade e conveniência para remover a placa, e mesmo assim mantê-la fixada com segurança durante a aplicação. Além disso, como a área exigida para acomodar os componentes é inferior à base Arduino, as

demais ligações foram feitas utilizando cabos *Flat* diretamente dos componentes para o conector do microcontrolador. A vista inferior da placa é apresentada na Figura 11.

Figura 11: Placa acoplada, vista inferior.



Fonte: Autor

3.2.2 Aquisição de Dados

Como salientado na subseção 3.2.1, cada um dos módulos deve ser testado individualmente de modo à garantir sua funcionalidade básica, para então posteriormente serem reunidos em um único circuito eletrônico. Referente à aquisição de dados, primeiramente busca-se dados consistentes e testes do módulo GPS. Neste sentido, os pinos RX1/TX1 da base Arduino são ligados aos pinos TX/RX do módulo receptor GPS, estabelecendo então uma comunicação serial UART. Posteriormente, é adicionado ao circuito o módulo MPU-6050 contendo o acelerômetro e giroscópio. Para a interface entre a base e os sensores são conectados os pinos SDA e SCL do Arduino nos respectivos pinos do circuito MPU-6050.

Ao ser acessado por um computador pessoal (porta USB), a IDE Arduino cria uma interface serial que permite ao usuário enviar informações em tempo real do programa em andamento no microcontrolador para a tela do computador. Através desta interface é possível fazer a leitura das sentenças NMEA do GPS e comprovar seu funcionamento. Utilizando o mesmo método é possível visualizar os dados capturados pelos sensores. O resultado pode ser observado na Figura 12.

Figura 12: Dados obtidos dos sensores em firmware de teste

```

*****
AcX = -1300 | AcY = -108 | AcZ = 17028 | Tmp = 25.05 | GyX = -318 | GyY = 126 | GyZ = 15
AcX = -1288 | AcY = -76 | AcZ = 17020 | Tmp = 25.00 | GyX = -349 | GyY = 172 | GyZ = 11
AcX = -1396 | AcY = -72 | AcZ = 17004 | Tmp = 25.05 | GyX = -333 | GyY = 157 | GyZ = 4
AcX = -1408 | AcY = 12 | AcZ = 17040 | Tmp = 25.05 | GyX = -320 | GyY = 137 | GyZ = 5
AcX = -1388 | AcY = -28 | AcZ = 16892 | Tmp = 25.14 | GyX = -331 | GyY = 160 | GyZ = 8
AcX = -1292 | AcY = -16 | AcZ = 17048 | Tmp = 25.05 | GyX = -325 | GyY = 151 | GyZ = 32
AcX = -1360 | AcY = 36 | AcZ = 16864 | Tmp = 25.09 | GyX = -328 | GyY = 154 | GyZ = 12
latitude: -29.126464
longitude: -51.128368
Age: 86
Speed: 0.741
Altitude: 855.500
Ano: 2015 - Mes: 5 - Dia: 3 - hora: 21:45:57
*****

```

Fonte: Autor

Nesta interface serial gerada pela IDE Arduino é possível acompanhar a aquisição de dados dos módulos no instante em que eles estão ocorrendo. As primeiras linhas fornecem valores de aceleração, temperatura e velocidade angular, e o formato em que os dados se encontram é discutido posteriormente. Logo após as informações dos sensores, linhas de dados provenientes do GPS mostram na tela a latitude e longitude, dada em graus e minutos, a idade da informações adquirida (quando ela foi adquirida), em milissegundos, a velocidade ao qual o receptor está se locomovendo, em Km/h, altitude, em metros, e data e hora.

Com esta validação das informações é possível concluir que os módulos estão operantes, permitindo então o acoplamento do cartão SD ao sistema. O *socket* que irá abrigar o cartão SD liga diretamente os contatos do cartão com os pinos do microcontrolador, conforme evidenciado na Figura 9. Uma vez que é possível criar arquivos e gravar dados no cartão SD, os dados dos sensores podem ser gravados diretamente em um arquivo dedicado para o armazenamento destes dados. As conexões entre o microcontrolador e o *socket* são feitas pelos pinos dedicados à comunicação SPI: *Master Input Slave Output* (MISO), canal de saída de dados do microcontrolador e entrada do cartão SD, *Chip Select* (CS), permite ao microcontrolador colocar o dispositivo escravo em um modo que passe a ignorar as mensagens na rede SPI, particularmente útil em redes com vários dispositivos, *Master Output Slave Input*

(MOSI), canal de saída do cartão SD e entrada para o microcontrolador e finalmente SCK, que cria permite o sincronismo de velocidade da conexão.

Na Figura 13 é possível verificar como os dados estão dispostos no arquivo de texto criado para armazenar as informações.

Figura 13: Dados dos sensores armazenados no cartão SD.

```

LOG_MEGA_1.TXT - Notepad
File Edit Format View Help
-1843;-504;-536;-344;132;36;-2752;;
-1854;-491;-526;-353;166;15;-2800;;
-1837;-490;-534;-352;151;38;-2752;;
-1851;-495;-555;-358;151;38;-2736;;
-1853;-503;-539;-350;147;50;-2752;;
-1852;-516;-526;-326;145;44;-2768;;
-1846;-507;-547;-359;159;44;-2752;;
-1845;-500;-526;-343;139;45;-2736;;
-1853;-503;-533;-353;157;26;-2752;1;2907.59;5107.70;869.50;1.07;21:57:41
-1853;-521;-535;-350;140;48;-2752;;
-1846;-498;-531;-339;148;42;-2720;;
-1858;-504;-538;-349;128;44;-2784;;

```

Fonte: Autor

Etiquetas e indicadores são removidos para priorizar um consumo baixo de armazenamento. Além disso, os dados estão em sua forma inicial para não consumir processamento do microcontrolador durante a aquisição dos mesmos, ou seja, ainda é necessário converter os valores para que os mesmos possam ser interpretados. Sendo assim, a ordem de dados das colunas no arquivo é a seguinte:

1. Aceleração no eixo X
2. Aceleração no eixo Y
3. Aceleração no eixo Z
4. Rotação no eixo X
5. Rotação no eixo Y
6. Rotação no eixo Z
7. Temperatura
8. GPS FIX (valor 1 para leitura válida, 0 para inválida)
9. GPS Latitude

- 10. GPS Longitude
- 11. GPS Altitude
- 12. GPS Velocidade
- 13. GPS Hora : Minutos : Segundos

3.2.2.1 Conversão dos dados

Cabe destacar que os dados recebidos e armazenados necessitam ser convertidos para representar uma unidade mensurável. Isso é aplicável para as informações provenientes dos sensores e do GPS. Este pós-processamento é informativo e não está incluso na lógica de programação do microcontrolador.

Observando a primeira coluna da Figura 13, é apontada aceleração no eixo X, mostrando valores em torno de 1850 unidades. Para se obter a aceleração mensurável é necessário dividir este valor pela excursão máxima de 16 bits no formato de complemento de 2, onde metade da excursão é positiva e metade negativa, conforme indicado no manual do fabricante. Após isto, basta multiplicar o valor da sensibilidade configurada (para este teste, é aplicado para 16G de sensibilidade). Neste caso, pode-se interpretar este valor como:

$$Aceleração = \frac{AcX}{\frac{2^{16}}{2}} * Config = \frac{1850}{32767} * 16 = 0,90334 G$$

O valor de 0,90334G equivale a aproximadamente uma vez a aceleração da gravidade no sentido do eixo X positivo. Os demais eixos apresentam acelerações próximas 0,2441G. Isso pode ser interpretado como o circuito em repouso, levemente inclinado.

Já no caso do módulo GPS, latitude e longitude são dadas em graus e minutos, onde os dois primeiros dígitos se referem aos graus, e os demais dígitos representam os minutos. Por exemplo, ainda na Figura 13, a nona coluna se refere à latitude, o valor indicado é de '2907.59'. Para converter este dado para o padrão graus, minutos e segundos (DMS) é necessário separar os respectivos dígitos. Os primeiros dois dígitos, neste caso o '29', se refere aos graus. O valor restante são os minutos, onde '07' permanece inalterado, e o valor residual, '0,59', é multiplicado por 60 para ser

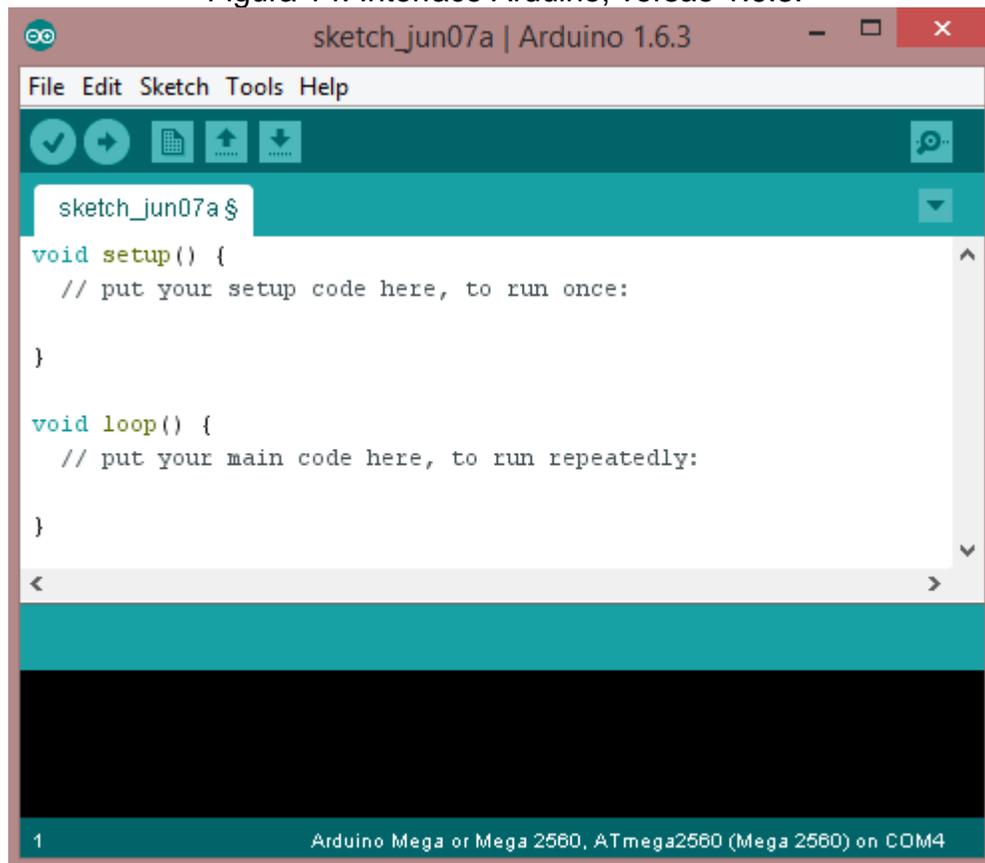
convertido em segundos. Neste exemplo, converte-se então '2907.59' para o padrão DMS 29°07'34".

Por fim, a velocidade indicada na décima primeira coluna é dada em Knots. A conversão para o padrão Km/h é simplesmente feita pela multiplicação do valor pela constante 1,852Km/h/Knots.

3.2.3 Programação

A programação de microcontroladores na plataforma Arduino é feita através da IDE Arduino. Esta ferramenta, que é fornecida gratuitamente, trabalha com linguagem C e permite que o código escrito seja gravado diretamente no microcontrolador através do cabo USB que conecta o computador pessoal à placa (ARDUINO, 2015). A Figura 14 mostra a interface Arduino.

Figura 14: Interface Arduino, versão 1.6.3.



Fonte: Autor

Os códigos são constituídos de basicamente duas partes: *Setup* e *Loop*. A função *Setup* abriga todos os comandos de configurações que não serão alterados ao longo da execução do programa, ou seja, instruções que serão executadas uma única vez. São atribuídos, por exemplo, velocidade de comunicação, valores de constantes, funções de pinos, criação de arquivos no cartão SD e etc. Por outro lado, a função *Loop* contém todo o algoritmo de funcionamento que será repetido enquanto o programa estiver sendo executado. Neste caso, a função *Loop* será responsável por abrigar a leitura e aquisição de dados dos sensores e gravar esta informação no cartão SD.

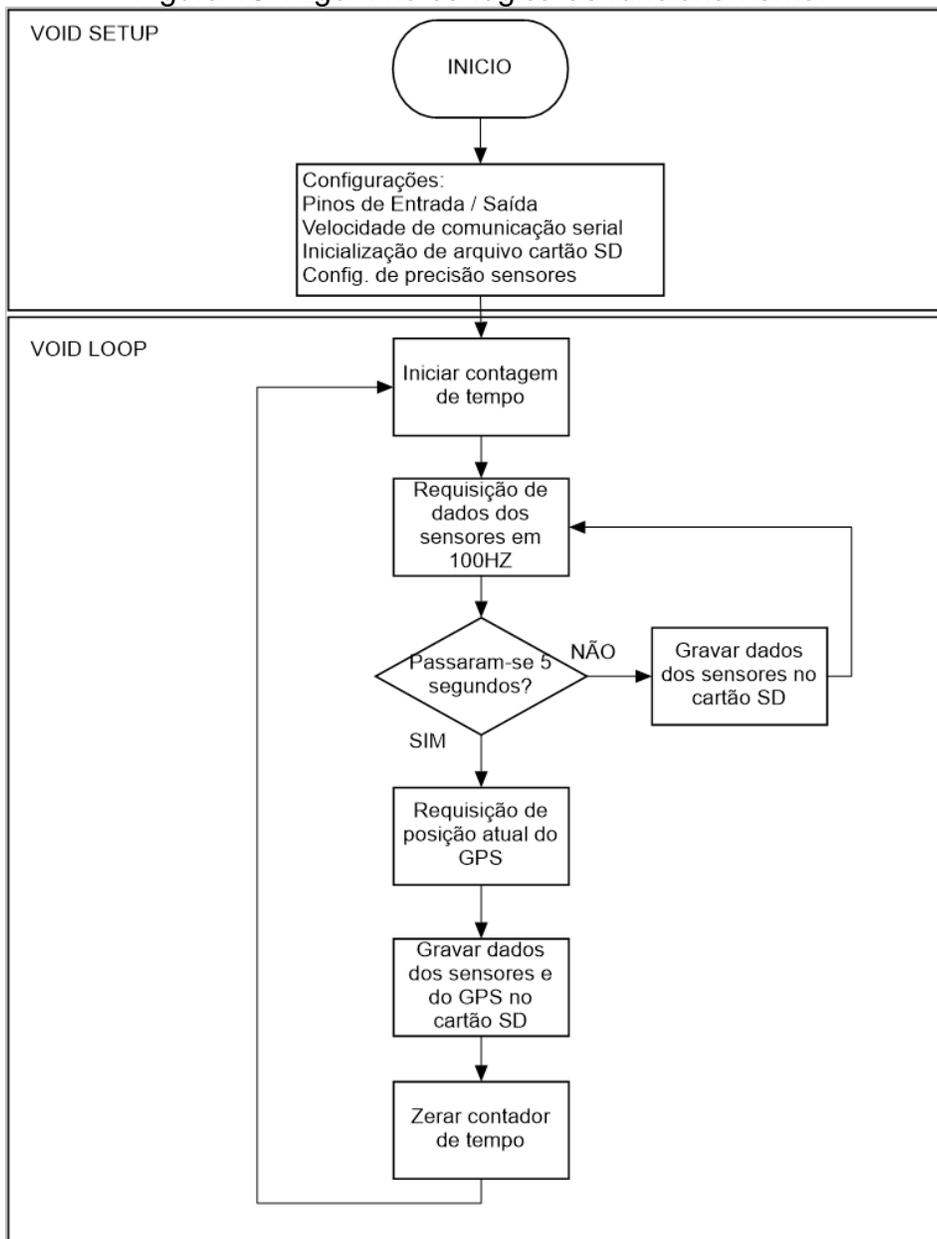
A Figura 15 ilustra a lógica de funcionamento do programa através de um diagrama de blocos simplificado.

A lógica do programa utilizado neste projeto configura os parâmetros iniciais que garantem o funcionamento adequado do circuito eletrônico. Os pinos de entrada, saída e comunicação são declarados e têm suas funções atribuídas. Em seguida, configurações iniciais de comunicação como velocidade e pinos utilizados são executadas sequencialmente. Para finalizar a rotina de configuração, o arquivo que irá armazenar os dados adquiridos é criado dentro do cartão SD com o nome "*log.txt*". A extensão *.txt* garante que este arquivo será facilmente lido e interpretado por qualquer editor de texto. Caso um arquivo de nome idêntico já exista no cartão SD durante a inicialização, ele é então aberto e preparado para ser escrito.

Após a conclusão com sucesso da função *void setup*, a função *void loop* é executada sequencialmente. Primeiramente um contador de tempo em passos de 1 milissegundo gerado através de interrupções é iniciado, e a requisição de dados é feita via comunicação I2C para o chip contendo os sensores. Após, é feita uma verificação de tempo periódica para avaliar se o contador de tempo superou a marca de 5 segundos desde o instante que o contador foi iniciado. Caso a resposta seja negativa, os dados recém-adquiridos dos sensores são gravados no cartão SD e mais dados são requisitados novamente. Quando a condição de 5 segundos for positiva, o microcontrolador lê a posição e velocidade atuais e as escreve juntamente com as informações dos sensores no cartão SD. O contador de tempo é então reiniciado para que outros 5 segundos possam ser contados, completando um algoritmo de duas

condições em um laço infinito de repetições. O algoritmo completo e funcional ocupa 24.936 bytes da memória Flash do microcontrolador.

Figura 15: Algoritmo da lógica de funcionamento.



Fonte: Autor

É importante salientar que apesar de não estar incluído no diagrama simplificado, foi adotado o uso de um contador *watchdog* como medida de assegurar que o microcontrolador não congele durante a execução do código. O contador

watchdog, como o próprio nome já diz, é um rotina de segurança que monitora a execução das instruções do microcontrolador. Caso algum erro seja gerado e o microcontrolador pare de executar as instruções do programa, após exatos 8 segundos a função *watchdog* reinicia o microcontrolador, obrigando-o a executar o código desde o início.

Para o funcionamento de programas em linguagem C é necessário a inclusão de bibliotecas de instruções no início do código. As bibliotecas são arquivos fornecidos por fabricantes de microcontroladores ou até mesmo usuários, contendo instruções e funções direcionadas para as aplicações específicas. Algumas bibliotecas básicas já estão incluídas no ambiente de desenvolvimento Arduino, porém quando se trata de aplicações específicas, como e o caso do GPS, uma biblioteca dedicada deve ser adicionada ao código. Essas bibliotecas são encontradas de forma gratuita nos *websites* de fabricantes. Para o código deste projeto foram utilizadas as seguintes bibliotecas (ARDUINO, 2015):

- SPI.h: Biblioteca já inclusa no pacote da IDE Arduino. Esta biblioteca contém as instruções e funções necessárias para criar uma comunicação serial do tipo SPI com outros dispositivos. Ela é necessária para o uso do cartão SD.
- SD.h: Bem como a biblioteca SPI.h, a biblioteca SD.h está contida na IDE Arduino. Com ela as funções de criação, leitura e escrita de arquivos são incluídas e permitem o gerenciamento de informações no cartão SD. Esta biblioteca é dependente das funções contidas na biblioteca SPI.h, logo ambas devem ser inclusas no código para tornar o uso do cartão SD possível.
- Wire.h: A biblioteca Wire.h funciona de forma similar à biblioteca SPI.h, porém com o objetivo fornecer funções de comunicação para a arquitetura I2C. Esta biblioteca é utilizada para compor a interface entre o microcontrolador e o circuito integrado MPU-6050, responsável pelos sensores.
- Adafruit_GPS.h: A biblioteca responsável pelo gerenciamento de dados e comunicação com o módulo GPS não está incluída no pacote básico de compilação. Ela é fornecida pela empresa *Adafruit* e seu *download* pode ser feito gratuitamente no *website* (ADAFRUIT, 2015). Há poucas diferenças entre as bibliotecas GPS disponíveis atualmente. Algumas possuem o diferencial de

fornecer os dados em formatos variados, porém estas funcionalidades custam processamento e memória do microcontrolador. A função básica desta biblioteca é sustentar a comunicação serial com o módulo GPS e retirar as informações válidas das sentenças NMEA.

- `avr/wdt.h`: Por fim, a última biblioteca utilizada diz respeito ao contador *watchdog*. Esta função agrega segurança ao dispositivo diminuindo a possibilidade de um mal funcionamento interromper a aplicação. Esta biblioteca é fornecida pelo fabricante do microcontrolador (ATMEL, 2015).

A lógica de programação completa pode ser vista no ANEXO A.

3.2.2 Invólucro

Uma vez concluída a placa do protótipo é possível dimensionar um invólucro que servirá para acomodar os circuitos eletrônicos juntamente da bateria. A importância da embalagem muitas vezes é subestimada. Além de proteger os circuitos eletrônicos de impactos mecânicos diretos, ela ainda serve de proteção contra poeira, respingos d'água e outros intempéries que podem comprometer o sistema.

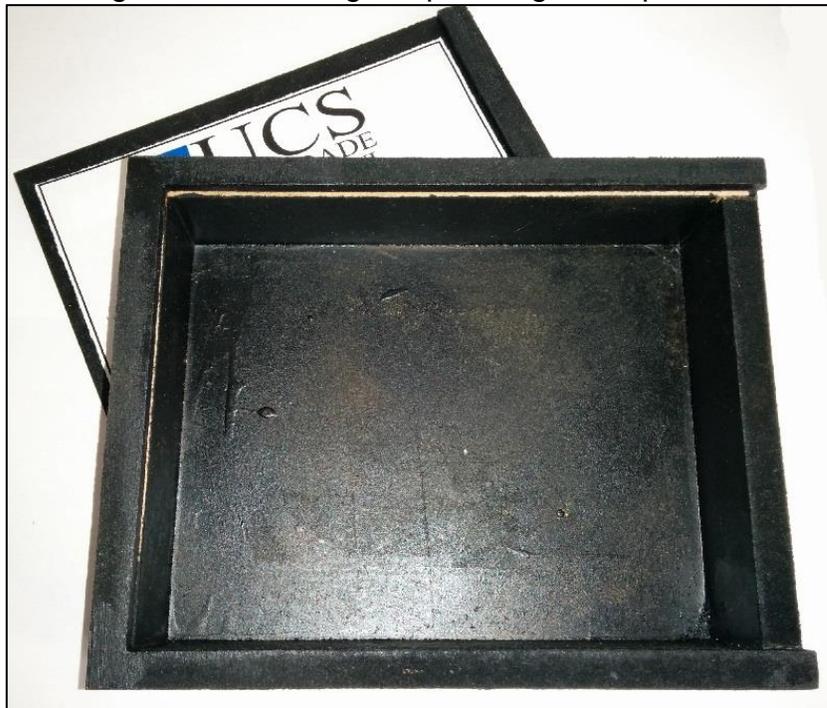
O encapsulamento do dispositivo deve contar com um material resistente o suficiente para manter os circuitos protegidos em ambientes onde constantemente estará exposto a impactos e compressão. Além disso, esta cápsula deverá contar com uma ou mais formas de fixação na carcaça dos veículos ou da carga. Tudo isso sem limitar a flexibilidade e mobilidade do protótipo, já que o mesmo deve ser recuperado toda vez que se deseja ter acesso aos dados adquiridos. Algum dos modos de fixação mais convenientes para a aplicação:

- Fixação magnética para superfícies metálicas;
- Fixação do tipo grampo com retenção por mola (prendedor);
- Fixação por compressão (morsa);

Neste projeto, a prova de conceito não será estudado ou desenvolvido uma solução efetiva para esta questão. Por isso, opta-se por um invólucro genérico que será montado visando apenas proteção do protótipo em uma forma horizontalizada onde a bateria (de dimensões 115x35mm) fica disposta ao lado do circuito eletrônico (100x55mm). Baseado nas dimensões de ambos, somado a um coeficiente de

segurança para as fivelas de fixação, chegou-se á medida de 155x120mm de espaço interno para a caixa. A tampa funciona na forma de corrediça no sentido horizontal, tornando desnecessário então o uso de dobradiças. A alternativa de material foi compor o corpo da caixa com *Medium Density Fiberboard* (MDF), amplamente utilizado na indústria de móveis devido á sua resistência mecânica, ainda associada com o baixo peso e facilidade caso modificações sejam necessárias. Na Figura 16 é possível observar a caixa do protótipo nas especificações citadas.

Figura 16: Embalagem que abriga o dispositivo.



Fonte: Autor.

3.3 ANÁLISE DE RESULTADOS E TESTES DO EQUIPAMENTO

Uma vez que os testes preliminares de cada módulo foram executados individualmente é possível elaborar uma forma de avaliar o seu desempenho em conjunto. A finalidade de um teste em campo visa expor o dispositivo às condições reais de temperatura, acelerações, vibrações, deslocamento e velocidade. Sendo assim, é executado um teste de duas horas de duração onde foi esperado que o

dispositivo efetuasse um monitoramento da rota percorrida e das acelerações por ele sofridas. Tais resultados são apresentados a seguir.

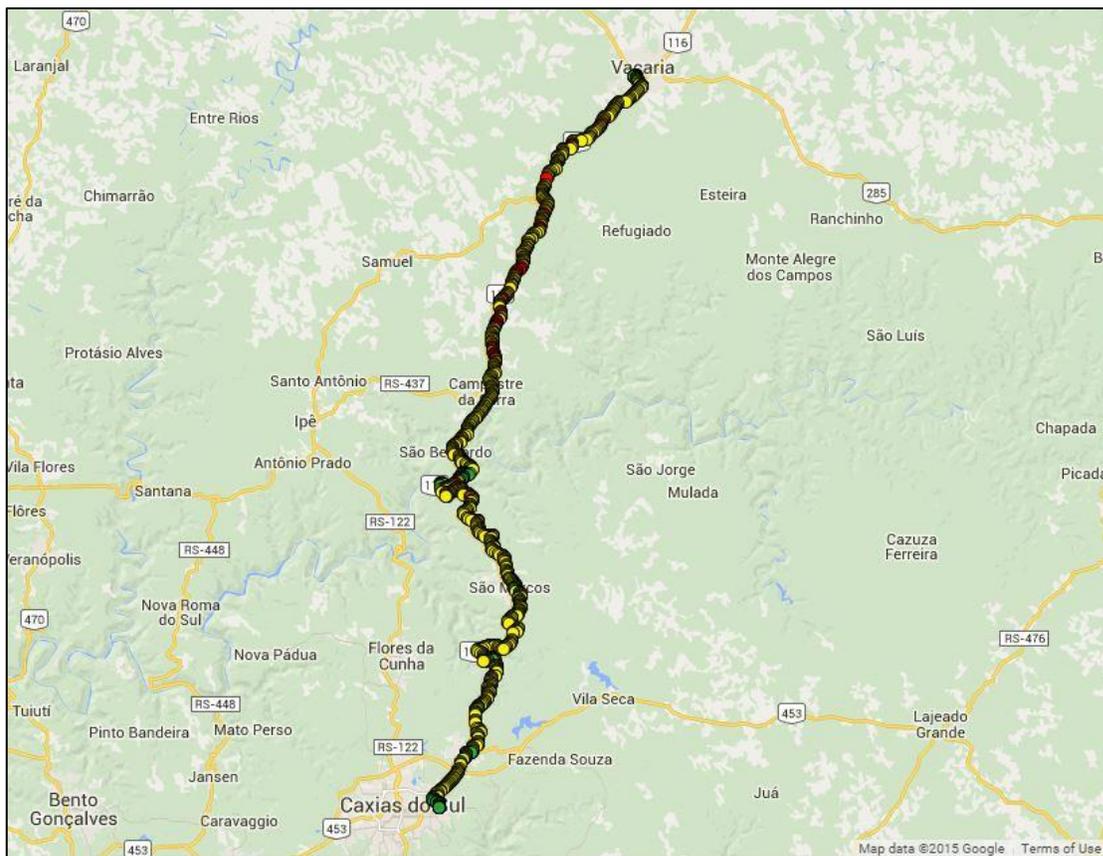
3.3.1 Análise de percurso

O teste simulando uma viagem é executado em um veículo de transporte leve. A rota a ser percorrida tem início na Universidade de Caxias do Sul e seu ponto de destino é a cidade de Vacaria, no Rio Grande do Sul, pela estrada federal BR-116, totalizando uma distância aproximada de 110Km. Destaca-se que o teste é realizado sob condições reais de trânsito, incluindo: limites de velocidade que variam de 40km/h até 80km/h, fluxo lento devido à veículos de carga, fiscalização eletrônica, ultrapassagens, semáforos e lombadas. O percurso teve início as 18:30h e término por volta das 20:20h. As condições climáticas foram adversas, incluindo chuva e neblina.

O dispositivo tem o GPS configurado para aquisição de dados em um intervalo de 5 segundos (1200 e 1500 pontos de aquisição de dados durante o teste). Os sensores acelerômetro, giroscópio e termômetro atuam juntamente dentro do mesmo encapsulamento do circuito integrado MPU-6050 com uma taxa de atualização de 100Hz. A escrita dos dados no cartão SD é feita a cada aquisição de dados, em outras palavras, na mesma frequência de operação dos sensores.

Uma vez executado o percurso e concluída a aquisição de dados, os pontos obtidos pelo GPS são então convertidos do tradicional formato DMS (Graus, minutos e segundos) em coordenadas geográficas no formato único de graus decimais. Isso é necessário para fins de compatibilidade com o formato exigido pelo *website* onde as coordenadas serão convertidas em pontos em um mapa. Esta ferramenta está disponível de forma gratuita no *website* da empresa (GOOGLE, 2015). A Figura 17 mostra de forma ampla o percurso percorrido durante o teste.

Figura 17: Teste de campo, vista geral do mapa.



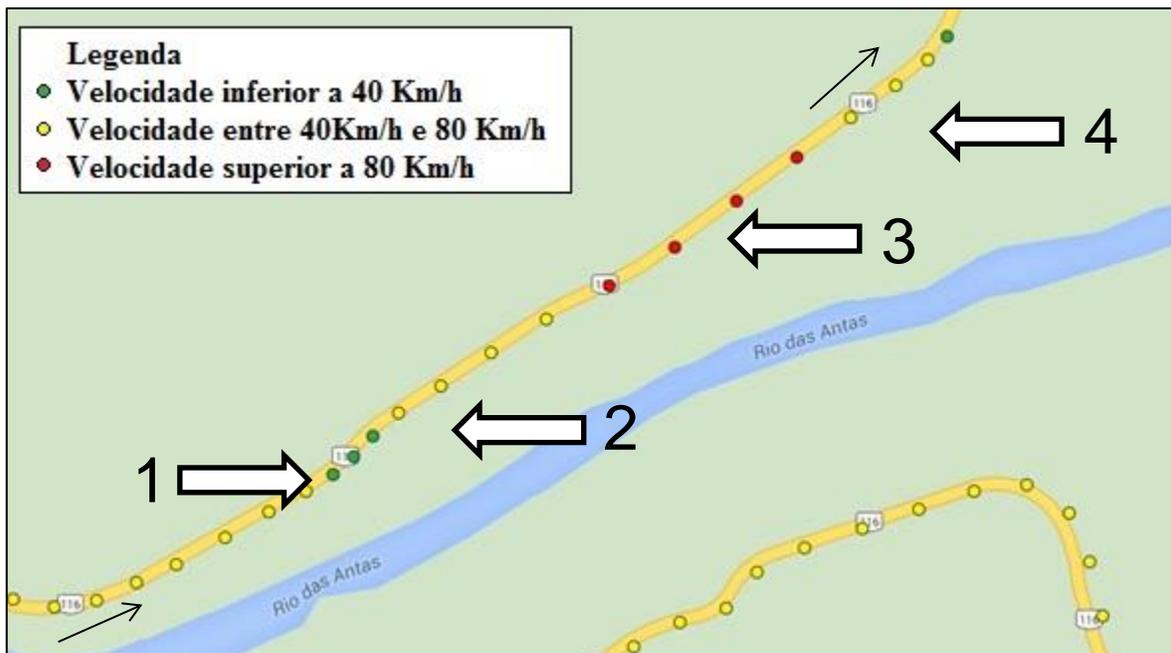
Fonte: Autor

Sob uma análise geral pode-se notar que o traçado segue de forma fiel a estrada, deixando clara a atuação do dispositivo ao longo do percurso. Com a data e hora definidas é possível saber exatamente o instante do início do trajeto tal quais eventuais paradas até seu destino. Nenhum dos pontos apresenta deslocamento significativo para fora dos limites da estrada, concluindo que a precisão do módulo GPS é eficiente o suficiente para garantir um traçado contínuo e confiável.

3.3.2 Análise de velocidade do dispositivo

Para se obter informações mais específicas de um ponto de interesse é possível aumentar a escala do mapa. A Figura 18 retrata um ponto singular do trajeto.

Figura 18: Teste de campo, vista aproximada de uma ultrapassagem.



Fonte: Autor

É possível apontar diversas peculiaridades sobre o comportamento do condutor e controle de velocidade. Primeiramente, os pontos foram classificados em três categorias: os pontos verdes retratam locais onde a velocidade absoluta é inferior a 40km/h, pontos amarelos se referem a instantes onde a velocidade se enquadra na faixa entre 40km/h e 80km/h, e por fim, os pontos vermelhos são os locais onde a velocidade ultrapassou os 80km/h.

Para uma melhor interpretação quatro pontos de interesses foram adicionados na figura. Cada um deles descrito a seguir:

1. Momento de desaceleração do veículo. Este trecho da rodovia BR-116 possui apenas uma única pista em cada sentido, com uma declividade rigorosa para veículos pesados. A desaceleração neste instante pode ser justificada por uma lentidão no fluxo de veículos. Esta, geralmente é ocasionada por veículos de carga em trechos que não possuem pista auxiliar, consequentemente prejudicando o fluxo de veículos.
2. Após alguns instantes de lentidão no fluxo é possível notar um distanciamento crescente dos pontos, consequentemente a velocidade

atinge níveis superiores a 40Km/h. Esta alteração no comportamento da condução do veículo pode ser interpretada como uma possível ultrapassagem que se estende por mais alguns instantes.

3. Neste ponto a possível ultrapassagem atinge seu ápice e supera a margem dos 80km/h. O distanciamento entre os pontos se torna muito mais evidente se comparado aos casos anteriores.
4. Por fim há uma desaceleração, a velocidade do veículo se normaliza e fica dentro dos limites de um fluxo desobstruído.

3.3.3 Análise de acelerações e orientações

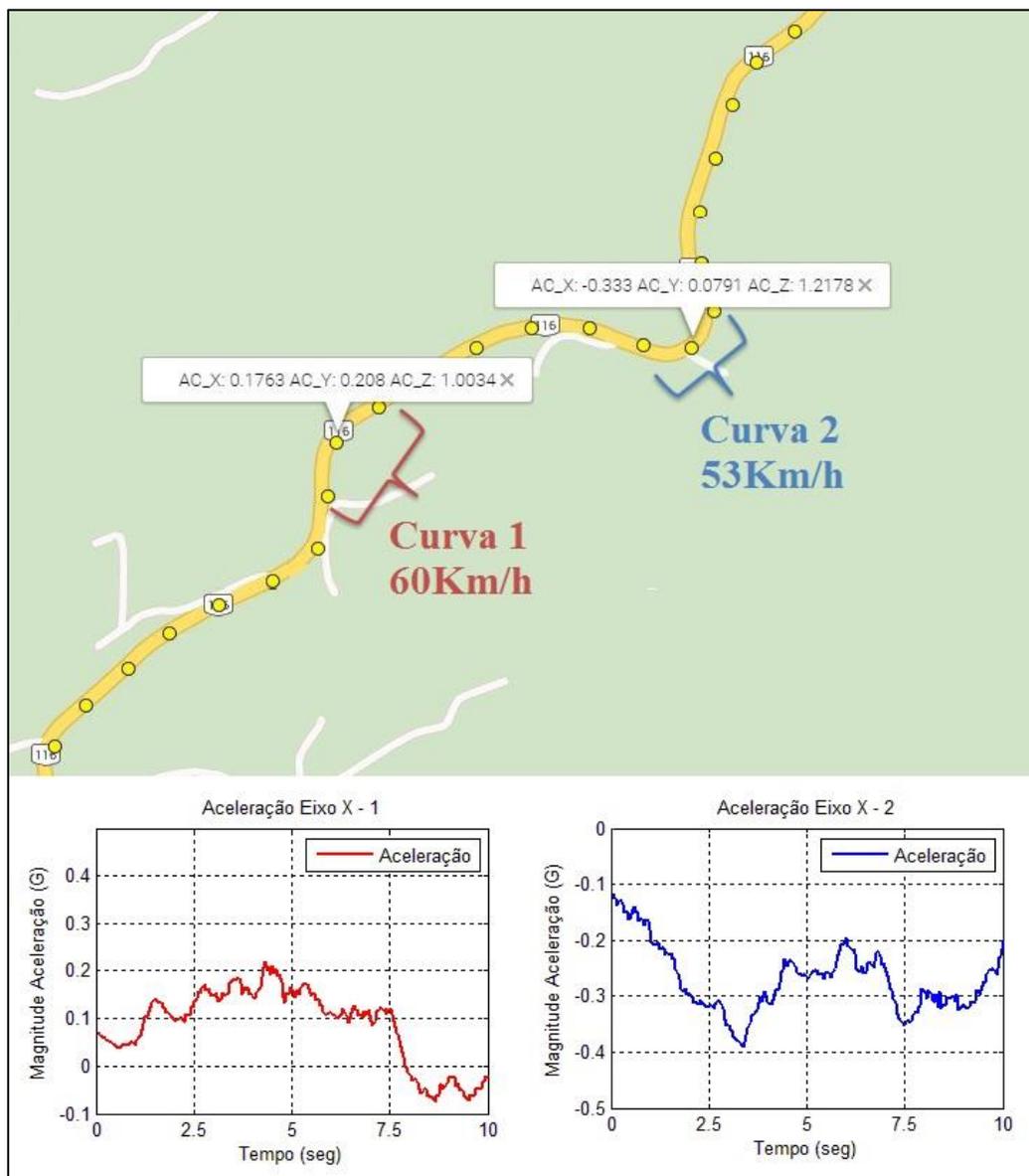
Entretanto, outras informações podem ser obtidas com o dispositivo. Além da conduta do motorista quanto à rota, é possível avaliar informações como: influência das más condições da estrada no veículo ou diretamente na carga, condução inadequada em trechos de alto risco devido a declividade ou sinuosidade, ou até mesmo direção imprudente por parte do condutor. Avaliar o sistema sob a perspectiva da estrada possibilita um levantamento de informações sobre como isto pode afetar negativamente a qualidade do transporte.

Entre outros casos específicos que envolvem aceleração, pode-se citar o escorregamento e tombamento lateral, proveniente de altas velocidades durante curvas acentuadas. Quando um determinado objeto transportado, podendo ser representado por uma caixa, não está devidamente posicionado ou fixado dentro de um compartimento de carga e este sofre a atuação de forças provenientes da aceleração, a mesma está sujeita a um escorregamento dentro do compartimento, possivelmente colidindo com outros objetos ou até mesmo com as paredes internas do veículo. Um outro caso também envolvendo influência de forças gerada pela aceleração é o tombamento lateral, onde uma força é aplicada na carga produzindo um momento que, quando não associado com deslizamento, provoca um tombamento, podendo danificar os objetos dentro do compartimento.

Para ilustrar um caso de aceleração lateral, um determinado trecho do trajeto foi selecionado e duas curvas de comportamentos distintos foram avaliadas. A Figura 19

mostra em destaque duas situações: uma curva de acentuação leve, e uma velocidade média de 60km/h, e uma curva de maior acentuação porém menor velocidade, 53km/h.

Figura 19: Teste de campo, acelerações durante uma curva.



Fonte: Autor

O objetivo desta análise é avaliar o comportamento da aceleração em diferentes pontos durante uma curva. Para este teste foram utilizadas as amostras que abrangem os 5 segundos que antecedem o ponto central da curva, e os 5 segundos

subsequentes, totalizando um total de 1000 amostras para uma taxa de aquisição de dados de 100Hz.

Cabe ressaltar que, na ausência de dados concisos sobre o veículo e a carga, não é possível simular ou prever a influência destas forças sobre a carga/veículo. Em outras palavras, para um equacionamento completo, dados como massa e volume necessitam ser considerados para se obter um resultado conclusivo.

Ainda com base na Figura 19, a primeira curva (menos acentuada) apresenta um aumento crescente da aceleração. Durante a primeira metade do processo a aceleração tem um aumento aproximado de 0,15 vezes a aceleração da gravidade, distribuído por 5 segundos. O mesmo pode ser observado para os 5 segundos finais, onde a aceleração decresce a um passo levemente mais acelerado, buscando a estabilização em 0G. Já a segunda curva exibe um resultado mais agressivo. Apesar de a velocidade ser aproximadamente 7Km/h menor, a acentuação da curva resulta em um comportamento mais dinâmico. Após romper o repouso de aceleração lateral, o sensor apresenta um ganho total de 0,3G em 3 segundos, atingindo um pico de 0,4G, o que pode ser interpretado como uma taxa de aceleração 3 vezes mais que o primeiro caso. Após o ápice, há uma estabilização e um retorno mais suave ao repouso.

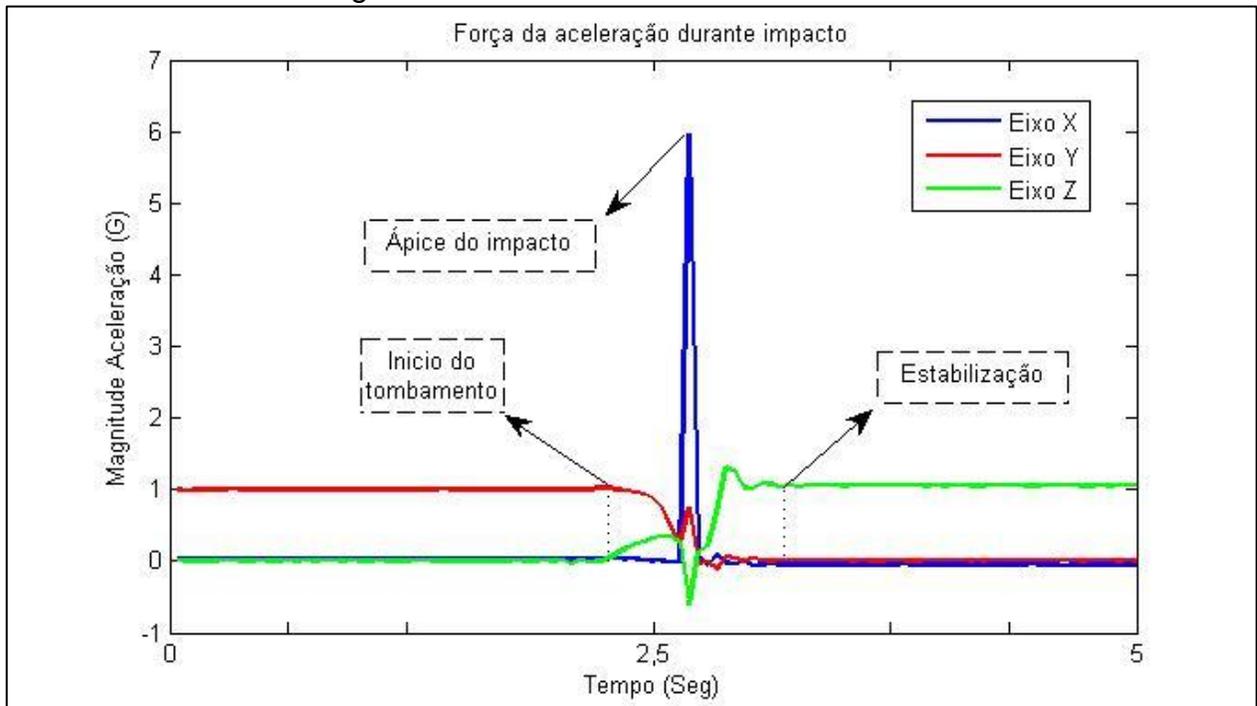
3.3.3 Análise de situações extremas

Conforme já mencionado, não é possível fazer uma análise quantitativa sem dados reais sobre dimensões e massa da carga, logo, os dados discutidos neste teste servem como um estudo prévio para diversas situações que podem ocorrer ao longo de uma viagem. Com o devido modelamento de informações é possível desenvolver uma simulação de comportamento para a carga, envolvendo todos os fenômenos mensuráveis do transporte.

Seguindo esta linha de análise, o próximo teste simula um tombamento simples sobre o próprio eixo. Nesta simulação o dispositivo é fixado ao topo de uma caixa de MDF com altura aproximada de 170mm. Para forçar o tombamento, a caixa sofre uma força manual em uma de suas arestas superiores, até que a mesma apresente um rotacionamento sobre seu próprio eixo no sentido em que a força é aplicada, resultando em um impacto no instante em que a face da caixa colide com o chão. O processo de

tombamento, desde o instante em que a força é aplicada até o momento da estabilização do sistema, tem duração aproximada de 1 segundo. A Figura 20 exhibe com detalhes a simulação, do instante de repouso, passando pelo instante do impacto, até encontrar o repouso novamente.

Figura 20: Teste simulado de tombamento.



Fonte: Autor

Ao presumir que cada um dos eixos está disposto ortogonalmente em relação aos outros, fica claro a representação da figura no momento de repouso, onde dois eixos não possuem aceleração expressiva enquanto um terceiro apresenta uma aceleração de 1G. Após a força ser aplicada no topo da caixa, o eixo Y que antes exibia a aceleração exata da gravidade começa a decair naturalmente até o impacto. Não é conclusivo como o impacto atua em cada eixo, porém as magnitudes das acelerações foram registradas, apontando um ápice em 6 vezes a aceleração da gravidade ao longo do eixo X.

4 CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho é discutido o potencial que ferramentas de posicionamento global. Os problemas da atualidade que estão relacionados com aplicações de alta complexidade como logística e monitoramento compartilham soluções que já estão sendo desenvolvidas por pesquisadores. Dentro do vasto escopo proposto, o monitoramento de frota de veículos é utilizado para provar a eficiência de um protótipo com monitoramento de posição, velocidade, orientação e impactos. Este trabalho busca contribuir neste sentido utilizando e tecnologias que estão no mercado por vários anos podem ser unidas através de uma plataforma simplificada para solucionar problemas ainda presentes hoje.

O teste de campo realizado em um veículo leve de transporte, com um percurso de aproximadamente duas horas, mostra que mais de 1400 amostras de posicionamento podem ser geradas. Esta diversidade de pontos associada aos dados captados pelos sensores torna possível uma gama de análises, das quais é discutida em detalhes a análise de percurso, análise de velocidade, análise de acelerações laterais e uma análise de situação extrema, envolvendo uma simulação de tombamento. Para todos os pontos ressaltados durante o teste o dispositivo se apresenta apto a desempenhar seu papel, mostrando que o dimensionamento dos sensores nos aspectos de resolução e precisão está dentro dos limites necessários para se gerar uma análise de caso conclusiva.

Cabe salientar que após a migração do microcontrolador ATmega328P para o ATmega2560 não houve mais dificuldades de execução ou inconsistência de lógica durante o funcionamento. A capacidade do novo microcontrolador excede as necessidades do projeto, porém não há uma proposta intermediária disponível para a plataforma Arduino, utilizada no projeto. Além disto, o módulo GPS mostrou precisão dentro da faixa especificada e grande consistência nos dados. A antena ativa permite que o parâmetro TTFF fique abaixo da margem de 1 minuto, mesmo em condições climáticas não favoráveis. No entanto, houve perdas de sinal durante o teste de campo, variando de 20 a 30 segundos sem dados válidos para posição e velocidade. Apesar da causa ainda ser desconhecida, é possível que isso seja decorrente da reinicialização do

microcontrolador por parte do supervisor *watchdog*, gerando então a necessidade de avaliar o código em busca de instruções que possam vir a interromper o funcionamento do microcontrolador.

Na mesma linha de análise é possível afirmar que os instrumentos de sensoriamento também cumpriram com os requisitos especificados nas limitações. Com o mesmo circuito integrado é possível ainda elevar a taxa de atualização para 10 vezes mais que o valor atual de 100Hz, obtendo uma análise ainda mais fiel à realidade. A resolução do sensor também se mostra bem dimensionada, visto que durante o teste de tombamento o pico de maior aceleração beira os 6G, permitindo ainda uma grande margem de excursão até seu limite de 16G.

Para o armazenamento de dados o cartão SD mostra-se crucial. A grande facilidade de transferir os dados adquiridos para um computador torna os cartões SD uma mídia de grande flexibilidade. O tamanho do arquivo que armazena os dados adquiridos varia com a frequência de atualização e tempo de operação. Logo, um cartão SD de 1Gb de capacidade é o suficiente para um semana de operação, considerando 6 horas diárias de funcionamento.

Sob um aspecto geral, conclui-se que o protótipo atinge os objetivos propostos. Tanto os parâmetros exigidos, quanto o desempenho dos componentes tornam possível a execução de um teste de campo sem apresentar falhas de significância que possam invalidar ou tornar inviável o projeto.

4.1 TRABALHOS FUTUROS

A partir deste projeto, observa-se que diversas melhorias podem ser feitas sob vários aspectos com o intuito de aperfeiçoar o sistema sob o ponto de vista de custo e confiabilidade. Neste contexto, tem-se:

- 1) A plataforma Arduino pode ser substituída por uma placa de circuito impresso devidamente dimensionada e confeccionada.
- 2) O *socket* do cartão SD pode ser substituído pela sua versão miniaturizada, visando o cartão micro SD. Com essa redução de área o dispositivo é reduzida. Isto não requer a necessidade de gerar retrabalhos na lógica do programa, pois ambos os cartões são inteiramente compatíveis.

- 3) O invólucro do dispositivo deverá ser projetado para acomodar perfeitamente a placa de circuito impressa. O projeto da embalagem deve ser feito de modo que os aspectos construtivos mecânicos influenciem o mínimo possível nas medições dos sensores.

REFERÊNCIAS

- ADAFRUIT, **Adafruit Ultimate GPS**, Disponível em <<https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-ultimate-gps.pdf>>. Acesso em 15 de Junho de 2015.
- AGUIRRE, Luis Antonio. **Fundamentos da Instrumentação**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.
- ANDREJASI, Matej. **MENS Accelerometers**. University of Ljubljana, Seminário, 2008. Disponível em <http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2007_2008/MEMS_accelerometers-koncna.pdf>. Acesso em 29 de Maio de 2015.
- ARDUINO, **Arduino Board Mega 2560**, Disponível em <<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>. Acesso em 8 de Junho de 2015.
- ARDUINO, **Libraries**, Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>>. Acesso em 28 de junho de 2015.
- ASHFORD, Peter. Technically Speaking: Flight Data Recorders. **Avionics News**, Lee's Summit, v. 47, n. 2, p.70-71, fev. 2010. Mensal.
- ATMEL, **ATmega2560 8-bit Atmel Microcontroller with 64K/128K/256K Bytes In-System Programmable Flash**, Disponível em <<http://www.atmel.com/Images/doc2549.pdf>>. Acesso em 8 de Junho de 2015.
- ATMEL, **ATmega328P 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash**, Disponível em <<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>>. Acesso em 8 de Junho de 2015.
- ATMEL, **<avr/wdt.h>: Watchdog timer handling**, Disponível em <http://www.atmel.com/webdoc/AVRLibcReferenceManual/group_avr_watchdog.html>. Acesso em 15 de Junho de 2015.
- BARRETT, Steve F.; PACK, Daniel J.. **Microcontrollers Fundamentals for Engineers and Scientists**. 1 ed. Laramie: Morgan & Claypool, 2006. 115 p.
- COMIN, Rodrigo. **Sistema de Aquisição de Dados para Veículos com Armazenamento em SDCARD e Transmissão via GPRS**. 2010. 199 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2010.

D'AGOSTINI, Rafael da Rolt. **Sistema de Aquisição de Dados Geoposicionado Aplicado à Medição de Resistência ao Corte do Solo**. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ESA, European Space Agency, **Galileo Navigation**, Disponível em <http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo>. Acesso em 28 de junho de 2015.

ESTADOS UNIDOS, National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, **GPS.GOV**, Disponível em <<http://www.gps.gov/systems/gps/>>. Acesso em 23 de Maio de 2015.

GOOGLE, **Google Maps**, Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em 29 de Maio de 2015.

INVENSENSE, **MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4**, Disponível em <https://www.olimex.com/Products/Modules/Sensors/MOD-MPU6050/resources/RM-MPU-60xxA_rev_4.pdf>. Acesso em 20 de Abril de 2015.

JAMES, James R.; HALL, Peter S.. **Handbook of Microstrip Antennas**. London: Peter Perigrinus Ltd, 1989.

JUNIOR, Jaime Freiberger. **Antenas de receptores GPS: Características gerais**. Universidade Federal do Paraná, 2004. Disponível em <http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/ckrueger/pessoal/D_antenas.pdf>. Acesso em 16 de Junho de 2015.

KAPLAN, Elliott D.; HEGARTY, Christopher J.. **Understanding GPS: Principles and Applications**. 2. ed. Norwood: Artech House, 2006.

KINGSTON, **Flash Memory Guide**, Disponível em <<http://media.kingston.com/pdfs/FlashMemGuide.pdf>>. Acesso em primeiro de Junho de 2015.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B.. **Handbook of batteries**. 3. ed. New York: Mcgraw-hill, 2002. 1454 p.

MICROCHIP, **AN1088 Selecting the Right Battery System For Cost-Sensitive Portable Applications While Maintaining Excellent Quality**, Disponível em <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01088a.pdf>>. Acesso em 26 de Maio de 2015.

MÜLLER, Ivan. **Sistemas Instrumentados Portáteis**: Esferas instrumentadas para sensoriamento de forças em três dimensões. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NMEA, National Marine Electronics Association, **NMEA 0183 Standard**, Disponível em <http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp>. Acesso em 11 de Junho de 2015.

RSDOBRASIL, **ANT GPS 03 Series Active Antenna Specification**, Disponível em <http://www.rsdobrasil.com.br/produtos_arquivos/af53e05da3a39da342bcc9aa8696263c_12012011110109_.pdf>. Acesso em 28 de junho de 2015.

RTCM, Radio Technical Commission for Maritime Services, **RTCM 10403.2**, Disponível em <<http://www.rtc.org/overview.php#Standards>>. Acesso em 11 de Junho de 2015.

RUSSIA, Federal Space Agency, **Information-Analitical Centre**, Disponível em <<https://www.glonass-iac.ru/en/AboutIAC/>>. Acesso em 28 de junho de 2015.

SANDISK, **SanDisk SD Card Product Family**, Disponível em <<http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/M-Systems%20Inc%20PDFs/SD%20Card%20Prod%20Family%20OEM%20Manual.pdf>>. Acesso em 15 de Junho de 2015.

SCIENCE, **SCIENCE: How to Build a Smarter Rock**. Washington Dc, 14 dez. 2012. Disponível em: <www.sciencemag.org>. Acesso em: 01 de maio de 2013.

SINCLAIR, Ian R.. **Sensors and Transducers**. 3. ed. London: Butterworth-heinemann, 2001.

TECHMARK. **The Impact Recording Device**. 2015. Disponível em: <<http://www.techmark-inc.com/ird.asp>>. Acesso em: 20 de abril de 2015.

TOSHIBA, **About Toshiba**, 2015. Disponível em: <<http://toshiba-memory.com.sg/about.html>>. Acesso em 28 de junho de 2015.

TRUSOV, Alexander A. **Overview of MEMS Gyroscopes: History, Principles of Operations, Types of Measurements**. University of California, 2011. Disponível em <<http://www.alexandertrusov.com/uploads/pdf/2011-UCI-trusov-whitepaper-gyros.pdf>>. Acesso em 30 de Maio de 2015.

U-BLOX, **NEO-6 u-blox 6 GPS Modules**, Disponível < www.u-blox.com>. Acesso em 16 de Abril de 2015.

YU, Pengcheng et al. Development of the Berry Impact Recording Device sensing system: Hardware design and calibration. **Computers And Electronics In Agriculture**. Athens, p. 103-111. August, 2011.

ANEXO A – CÓDIGO

```

/* Universidade de Caxias do Sul      */
/* Trabalho de Conclusão de Curso     */
/* Dispositivo portátil de geolocalização
   e monitoramento de frota          */
/* Autor: Yuri Pedroni Prado          */
/* Orientador: Dr. Maurício Z. Oliveira */
/*      Março/ Julho de 2015          */

/* Diagrama de conexão

-----
GPS  VCC|-- --|3v3
    RX |-- --| 18   Arduino
    TX |-- --| 19   MEGA
    GND|-- --|GND
-----

-----
SD   GND |-- --|GND
    MISO|-- --| 50   Arduino
    SCK |-- --| 52   MEGA
    MOSI|-- --| 51
    CS  |-- --| 45 (ou 53)
    +5v |-- --| +5v
    +3v3|--
-----

-----
ACCEL VCC|-- --| 5V
GYRO  GND|-- --| GND   Arduino
TEMP  SCL|-- --| 21
      SDA|-- --| 20
      |--
-----

/* Mensagens de error enviadas para serial
E01 : Falha ao iniciar o cartão SD
E02 : Reset em 5 segundos...
E03 : Impossivel abrir arquivo
E04 : Falha escrever arquivo! Codigo congelado...
E05 : Arquivo pronto!
*/

/* Bibliotecas */
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>

```

```

#include <Adafruit_GPS.h>
#include <avr/wdt.h>

/* Inicialização da comunicação serial */
HardwareSerial mySerial = Serial1;
Adafruit_GPS GPS(&Serial1);

/* Criado variável do tipo arquivo, para cartão SD */
File GPSTData;

/* Pino CS do SD deve estar conectado no pino 10 do Arduino*/
#define chipSelect 49

/* Variáveis do Acelerômetro e Giroscópio */
const int MPU = 0x68; // Endereço I2C do CI MPU-6050
int16_t AcX, AcY, AcZ, Tmp, GyX, GyY, GyZ;
bool led_negate = false;
char conta_ciclos;
uint32_t indexador = 0;

/* Declara função reset, endereço 0 */
void(* resetFunc) (void) = 0;

void setup()
{
  /* Inicializa e configura watchdog para 8 segundos */
  wdt_enable(WDTO_8S);
  /* Baud rate configurado em 9600 para cartão SD e GPS*/
  Serial.begin(9600);
  GPS.begin(9600);

  /* Configura GPS para enviar dados da configuração mínima */
  GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_OUTPUT_RMONLY);

  /* Pino CS (45) deve ser configurado como saída */
  pinMode(49, OUTPUT);

  /* Led piscando a cada meio segundo */
  pinMode(7, OUTPUT);

  /* Inicia e liga o Acelerômetro e Giroscópio */
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x6B); // Registrador PWR_MGMT_1
  Wire.write(0); // Armazenado valor 0 (Wake-up MPU-6050)
  Wire.endTransmission(true);
  Wire.beginTransmission(MPU);

```

```

Wire.write(0x1C);          // Registrador MPU6050_ACCEL_CONFIG
Wire.write(0b00011000);   // Altera resolução Acelerômetro para
16G
Wire.endTransmission(true);

/* Verifica se o cartão SD está presente e pode ser inicializado
*/
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println(F("E01"));
  // Aguarda 5 segundos e reinicia o código
  Serial.println(F("E02"));
  delay(5000);
  // Reinicia Arduino
  resetFunc();
}

/* Abre ou Cria arquivo no cartão SD */
GPSData = SD.open("log.txt", O_CREAT | O_WRITE | O_APPEND);
// Testa ponteiro do arquivo
if ( ! GPSData ) {
  int i = millis() + 5000; // 5 segundos
  Serial.println(F("E03"));
  do {
  } while ( i > millis() ); // Aguarda 5 segundos
  Serial.println(F("E04"));
  do; while (true); // Congela código
} else {
  Serial.println(F("E05"));
}

/* Interrupção dos sensores */
OCR0A = 0xAF;
TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);
}

/* Interrupção a cada milisegundo, procura novos dados no GPS e
os armazena */
SIGNAL(TIMER0_COMPA_vect) {
  char c = GPS.read();
}

/* Inicia timer de referencia para LED e GPS */
uint32_t timer = millis();
uint32_t timer2 = millis();

/* Função para fechar e abrir o arquivo no cartão SD, usado para
'salvar' os dados */

```

```

void fechar_SD(void) {
    GPSTData.close();
    GPSTData = SD.open("log.txt", FILE_WRITE);
}

/* Função que requisita dados para o chip dos sensores, salva os
dados em variáveis */
void requisitar_dados_accel(void) {
    int erro;
    AcX = 0;
    AcY = 0;
    AcZ = 0;
    Tmp = 0;
    GyX = 0;
    GyY = 0;
    GyZ = 0;
    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x3B); // Começa pelo endereço 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
    if (Wire.endTransmission(false) != 0) {
        resetFunc();
    }
    Wire.requestFrom(MPU, 14, true); // Leitura de 14 registradores
    AcX = Wire.read() << 8 | Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) &
0x3C (ACCEL_XOUT_L)
    AcY = Wire.read() << 8 | Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) &
0x3E (ACCEL_YOUT_L)
    AcZ = Wire.read() << 8 | Wire.read(); // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H) &
0x40 (ACCEL_ZOUT_L)
    Tmp = Wire.read() << 8 | Wire.read(); // 0x41 (TEMP_OUT_H) &
0x42 (TEMP_OUT_L)
    GyX = Wire.read() << 8 | Wire.read(); // 0x43 (GYRO_XOUT_H) &
0x44 (GYRO_XOUT_L)
    GyY = Wire.read() << 8 | Wire.read(); // 0x45 (GYRO_YOUT_H) &
0x46 (GYRO_YOUT_L)
    GyZ = Wire.read() << 8 | Wire.read(); // 0x47 (GYRO_ZOUT_H) &
0x48 (GYRO_ZOUT_L)
}

/* Função para gravar os dados dos sensores no cartão SD */
void gravar_SD_accel(void) {
    GPSTData.print(AcX);
    GPSTData.print(F(";"));
    GPSTData.print(AcY);
    GPSTData.print(F(";"));
    GPSTData.print(AcZ);
    GPSTData.print(F(";"));
    GPSTData.print(GyX);
}

```

```

GPSData.print(F(";"));
GPSData.print(GyY);
GPSData.print(F(";"));
GPSData.print(GyZ);
GPSData.print(F(";"));
GPSData.print(Tmp / 340.00 + 36.53);
GPSData.print(F(";"));
return;
}

/* Função para gravar os dados do GPS no cartão SD, se a condição
for verdadeira */
void gravar_SD_gps(bool a) {
  if (a == true) {
    GPSData.print((int)GPS.fix);
    GPSData.print(F(";"));
    GPSData.print(GPS.latitude, DEC);
    GPSData.print(F(";"));
    GPSData.print(GPS.longitude, DEC);
    GPSData.print(F(";"));
    GPSData.print(GPS.altitude, DEC);
    GPSData.print(F(";"));
    GPSData.print(GPS.speed, DEC);
    GPSData.print(F(";"));
    GPSData.print(GPS.hour, DEC);
    GPSData.print(F(";"));
    GPSData.print(GPS.minute, DEC);
    GPSData.print(F(";"));
    GPSData.println(GPS.seconds, DEC);
  } else {
    GPSData.println(F(";No fix"));
  }
  return;
}

//
=====
//
// ==                               MAIN LOOP
// == //
//
=====
//
void loop()
{
  // Garante que a condição inicia em falsa
  bool caso = false;

```

```

// Avisar ao contador watchdog que o programa ainda esta rodando
wdt_reset();

// Caso o contador interno millis dê overflow, reinicia
contador timer
if (timer > millis()) timer = millis();
if (timer2 > millis()) timer2 = millis();

// Quando uma mensagem NMEA for recebida, confere o checksum
if (GPS.newNMEAreceived()) {
    if (!GPS.parse(GPS.lastNMEA()))
        return; // Caso ocorra erro em processar uma mensagem,
                // aguarda a proxima
}
// A cada 5 segundos, executa esta função
if (millis() - timer > 5000) {
    timer = millis(); // reinicia o timer
    // Incrementa conta_ciclos a cada 5 segundos.
    conta_ciclos++;
    // Manda dados do GPS pela serial, se o arduino estiver
    // conectado em um PC
    Serial.print(GPS.hour, DEC); Serial.print(':');
    Serial.print(GPS.minute, DEC); Serial.print(':');
    Serial.println(GPS.seconds, DEC);
    Serial.print(F("Fix: ")); Serial.println((int)GPS.fix);
    Serial.print(F("AcX: ")); Serial.println(AcX);
    Serial.print(F("Index: ")); Serial.println(indexador);
    // Permite que os dados do GPS sejam gravados no cartão SD
    caso = true;
    // Zera contador de amostras dos sensores
    indexador = 0;
}

// Executa função de requisição de dados dos sensores
requisitar_dados_accel();

indexador++;
GPSData.print(indexador);
GPSData.print("&");
// Grava dados dos sensores no cartão SD
gravar_SD_accel();
// Grava dados do GPS no cartão SD, se condição verdadeira
gravar_SD_gps(caso);
// Controle de intervalo de aquisição de dados
delay(40);
//A cada 15 segundos (3x5seg), fecha e abre arquivo no cartão
if (conta_ciclos > 3) {

```

```
Serial.println(F("gravou"));
fechar_SD();
conta_ciclos = 0;
//Caso ocorra erro na gravação, reinicia
if (GPSData == 0) {
  Serial.println(F("RESET"));
  delay(100);
  resetFunc();
}
}

// Rotina de Piscar o LED
if (millis() - timer2 > 1000) {
  timer2 = millis(); // reset timer
  if (led_negate == true) {
    digitalWrite(7, HIGH);
    led_negate = false;
  } else {
    digitalWrite(7, LOW);
    led_negate = true;
  }
}
// Fim
}
```