

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE
DADOS UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO PARA
AVALIAÇÃO DE PATINAGEM EM TRATORES AGRÍCOLAS**

FILIFE AMBRÓSIO LOURES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2017

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE
DADOS UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO
PARA AVALIAÇÃO DE PATINAGEM EM TRATORES AGRÍCOLAS**

FILIFE AMBRÓSIO LOURES

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Ricardo Ferreira Garcia

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCH / UENF

068/2017

L892 Loures, Filipe Ambrósio.

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados utilizando plataforma arduino para avaliação de patinagem em tratores agrícolas / Filipe Ambrósio Loures – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

59 f.

Bibliografia: f. 42 - 47.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Orientador: Ricardo Ferreira Garcia

1. Arduino. 2. Mecanização Agrícola. 3. Patinagem. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

631.3

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE
DADOS UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO PARA AVALIAÇÃO
DE PATINAGEM EM TRATORES AGRÍCOLAS

FILIFE AMBRÓSIO LOURES

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 01 de agosto de 2017

Comissão Examinadora

Elias Fernandes de Sousa (D.Sc., Engenharia Agrícola/UFV) – UENF

Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia/UFV) – UENF

Delorme Corrêa Júnior (D.Sc., Engenharia Agrícola/UFLA)

Ricardo Ferreira Garcia (D.Sc., Engenharia Agrícola/UFV) – UENF
(Orientador)

DEDICO

A Deus;

À minha mãe, Alzira Ambrósio Rodrigues Loures;

Ao meu pai, Alfredo Rosa Loures;

Aos meus irmãos, Tiago, Rafael e Marcos;

À minha esposa, Sheila Andrade Abrahão Loures;

Ao meu filho, Daniel Abrahão Loures.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste curso;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense *Campus* Bom Jesus do Itabapoana;

Ao senhor Edinaldo José Abrahão pela disponibilização de seu trator e sua fazenda para realização de parte dos ensaios;

Ao professor Ricardo Ferreira Garcia pela orientação na realização do presente trabalho;

Aos colegas do laboratório de engenharia agrícola da UENF, em especial a Saulo e Karina;

Aos colegas de trabalho do IFF campus Bom Jesus, em especial aos professores Lanusse e Luis Carlos F. Garcez;

Aos colegas da coordenação do curso técnico em Meio Ambiente do IFF;

Aos meus pais e irmãos, a minha esposa Sheila e seus pais, pelo apoio e incentivo para realização deste trabalho;

Por fim, agradeço a todos que direta e indiretamente contribuíram para realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Mecanização agrícola.....	4
2.2 Tratores agrícolas.....	6
2.3 Desempenho dos tratores agrícolas.....	10
2.3.1 Patinagem dos rodados.....	10
2.3.2 Lastragem.....	14
2.4 Danos ambientais provocados pelo uso de máquinas agrícolas.....	15
2.4.1 Compactação do solo.....	16
2.5 Aquisição de dados em máquinas agrícolas.....	17
2.5.1 Sistema Arduino.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Desenvolvimento do protótipo para aquisição de dados.....	23
3.2 Testes preliminares.....	25
3.3 Testes para avaliação da patinagem do rodado traseiro.....	26
3.4 Avaliação da patinagem em condições com carga.....	28
3.4.1 Teste de referência.....	28
3.4.2 Avaliação da patinagem em relação ao teste de referência.....	28
3.4.3 Descrição dos tratamentos nos testes de patinagem com carga...	29

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Avaliação da patinagem utilizando o sistema padrão e o sistema desenvolvido em condições de solo cultivado com carga.....	36
4.2 Avaliação da patinagem utilizando o sistema padrão e o sistema desenvolvido com variação de velocidade de deslocamento em função da marcha de operação.....	38
4.3 Estimativa dos custos dos componentes do sistema.....	39
5. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
APÊNDICE A.....	48
APÊNDICE B.....	55
APÊNDICE C.....	59

RESUMO

LOURES, Filipe Ambrósio. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Agosto de 2017. Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados utilizando plataforma Arduino para avaliação de patinagem em tratores agrícolas. Orientador: Prof. Ricardo Ferreira Garcia.

A mecanização agrícola é uma atividade que visa atingir altas produtividades agropecuárias, aliada a racionalização de custos e preservação de recursos ambientais. Para isso, tem como objetivo o emprego correto de máquinas e equipamentos agrícolas. A mecanização promove uma interação homem-máquina-meio ambiente quem vem passando por transformações constantes mediante o surgimento de novas tecnologias. Para isso, torna-se necessário obter dados que possam descrever o comportamento de conjuntos mecanizados. A obtenção de dados é uma das etapas trabalhosas em um ciclo de pesquisa. Com isso, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um sistema de aquisição automática de dados para avaliação de patinagem de tratores agrícolas. O sistema foi desenvolvido utilizando uma plataforma composta por uma placa eletrônica Arduino acoplada a placas pré-fabricadas e por sensores para avaliação de patinagem em tratores agrícolas visando o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo final. Sistemas como esse permitem a automação da aquisição de dados aos produtores agrícolas que utilizam máquinas nas operações de campo, mas não dispõem de recursos financeiros suficientes para renovação de suas frotas, e ou até mesmo compra das placas tradicionais pré-

programadas. O aplicativo foi desenvolvido para coletar, processar e exibir os dados provenientes dos sensores em um display LCD I2C e armazenar os dados em cartão micro SD. Foram realizados testes em dois modelos de tratores para avaliação da patinagem da roda traseira obtida pelo sistema, em pista com solo firme. Para avaliar a patinagem obtida pelo sistema em condições de campo, foram realizados testes com um trator John Deere 5705 4x2TDA, promovendo o revolvimento do solo, utilizando arado de disco, em solo cultivado. Em terreno com 9% de aclive foram realizadas 4 repetições e em terreno com declividade menor que 1%, determinou-se 6 tratamentos, cada um com 3 repetições, variando a distância percorrida e a marcha de operação. Os resultados obtidos demonstraram a aplicabilidade do sistema desenvolvido, visto que não houve diferença estatística entre as patinagens obtidas por este e pelo sistema padrão convencionalmente utilizado. Além disso, os resultados demonstram a versatilidade do protótipo, sendo eficaz em ambos os tratores testados em solo firme, em condições de solo cultivado com carga, com e sem aclive e em condições diferentes de velocidade e distância. Conclui-se que o protótipo desenvolvido registrou dados condizentes com os propostos pela metodologia ASAE (2003), atribuindo confiabilidade ao sistema. Ressaltando o baixo custo de investimento para construção do equipamento.

Palavras-chave: Arduino, mecanização agrícola, sensores, patinagem.

ABSTRACT

LOURES, Filipe Ambrósio. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. July, 2016. Development of a data acquisition system using Arduino platform for slippage evaluation in agricultural tractors. Advisor: Prof. Ricardo Ferreira Garcia.

Agricultural mechanization is an activity that aims to achieve high agricultural productivity, combined with cost rationalization and preservation of environmental resources. For this purpose, the objective is the correct use of machines and agricultural equipment. Mechanization promotes a man-machine-environment interaction that has undergone constant transformations through the emergence of new technologies. For this it is necessary to obtain data that can describe the behavior of mechanized assemblies. Obtaining data is one of the laborious steps in a research cycle. Therefore, the objective of this work was to develop a system of automatic data acquisition for evaluation of skating of agricultural tractors. The system was developed using a platform composed of an Arduino electronic board coupled to prefabricated shields and sensors for evaluation of slippage in agricultural tractors aiming at the development of a low cost final equipment. Systems such as this allow the automation of data acquisition to agricultural producers who use machines in field operations, but do not have sufficient financial resources to renew their fleets, or even purchase preprogrammed traditional plates. The application was developed to collect, process and display data from sensors on an I2C LCD display and store the data on micro SD card.

Tests were carried out on two tractor models to evaluate the rear wheel skid obtained by the system on a firm ground track. Seeking evaluate the slippage obtained by the system under field conditions, tests were carried out with a John Deere 5705 4x2TDA tractor, promoting the soil rotation using disc plow, in cultivated soil. In field with 9% of slope, 4 replications were performed and in terrain with slope of less than 1%, 6 treatments with 3 replications each, were determined, varying the distance covered and the operating gait. The results demonstrated the applicability of the developed system, since there was no statistical difference between the skids obtained by this and the standard system conventionally used. In addition, the results demonstrate the prototype versatility, being effective in both tractors tested on firm soil, under conditions of cultivated soil with load, with and without slope, and under different conditions of speed and distance. It is concluded that the developed prototype recorded data consistent with those proposed by the ASAE methodology (2003), attributing reliability to the system. Highlighting the low investment cost for the construction of equipment.

Keywords: Arduino, agricultural mechanization, sensors, slippage.

1. INTRODUÇÃO

A inserção das máquinas nas atividades agrícolas teve início no período da revolução industrial. Esse fato ocorreu devido ao processo de urbanização, que retirou a mão de obra do campo e aumentou a demanda por matéria-prima para produção e abastecimento das cidades que se formavam. A mecanização agrícola permitiu o aumento das áreas cultivadas e também da produtividade, reduzindo inclusive o tempo dedicado à produção.

Com o tempo, as tecnologias envolvidas nesse processo se aperfeiçoaram, e as técnicas de produção, que se limitavam ao uso de ferramentas artesanais, agora são controladas por processos automáticos que podem restringir a interação homem e máquina ao simples apertar de botões conforme interpretação de informações mostradas nos painéis.

Porém, essa evolução no processo de produção também resulta em um maior potencial de degradação ambiental, sobretudo no que diz respeito à produção agrícola, em um maior potencial de compactação dos solos, decorrente de excesso de peso, que por consequência reduz a capacidade do mesmo em conservar água. Além disso, as próprias máquinas podem sofrer um desgaste prematuro. Em contrapartida, a falta de lastro pode provocar uma patinação excessiva, que teria como consequência uma maior erosão do solo e também desgaste excessivo dos pneus.

Entender a interação homem, máquina e meio ambiente permite buscar um processo produtivo mais sustentável, alcançando ganhos econômicos e

reduzindo os impactos ambientais que se propagarão às gerações futuras. Percebe-se então a relevância na obtenção de dados para se mensurar essas interações.

A aquisição de dados é uma atividade essencial em todo tipo de tecnologia e ciência que visa apresentar ao observador, os valores das variáveis, ou parâmetros, que estão sendo medidos. Geralmente, este valor numérico, ou medido, não é igual ao valor real da variável, ou seja, o sistema de aquisição tem como entrada o valor real da variável e sua saída é o valor medido (GARCIA, 2002).

A tomada de dados é uma das etapas mais trabalhosas de um ciclo de pesquisa, pode-se automatizar os registros sem comprometer a precisão, reduzindo os erros gerados na transcrição de dados, eliminando variações induzidas pelo operador nos processos de coleta de dados e aumentando a taxa de leitura de dados.

A obtenção de resultados satisfatórios, a partir de um sistema de aquisição baseado em um computador pessoal (PC), depende do computador, de sensores, do condicionamento de sinais e dos equipamentos e programas de aquisição.

Nos equipamentos que se deseja monitorar, ou controlar, são instalados sensores, que transformam um fenômeno físico em sinais elétricos. Os sinais elétricos produzidos variam de acordo com os parâmetros físicos, que estão sendo monitorados, e devem ser condicionados para fornecer sinais apropriados à placa de aquisição de dados. Os acessórios de condicionamento de sinais amplificam, isolam, filtram e excitam sinais para que estes sejam apropriados às placas de aquisição. Uma vez condicionados e trabalhados na forma desejada, os sinais podem ser lidos em computadores, com placas específicas instaladas, e armazenados em diferentes formas, como arquivos de texto. (GARCIA et al., 2003).

A configuração, o controle e monitoramento de informações e dados de campo relativos a operações agrícolas podem ser realizados com o auxílio de sistema de aquisição de dados utilizando placas eletrônicas de baixo custo e de hardware e programação abertos. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema para aquisição automática de dados para registro e determinação de valores de patinagem dos rodados de tratores agrícolas, de

forma eficiente e reduzindo os erros tradicionais gerados pela coleta de dados convencional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Mecanização Agrícola

As operações agrícolas começaram a ser mecanizadas principalmente por dois fatores – o crescimento da população mundial e conseqüentemente a necessidade de maior produção de alimentos e um número cada vez menor de pessoas empregadas na agricultura. (GARCIA et al., 1998).

Além do crescimento da população, com a globalização, veio a necessidade do aumento da produção de gêneros alimentícios industrializados, levando à necessidade do aumento da produção de matéria-prima proveniente da agricultura. Sendo assim, com o uso da tecnologia, o trabalho que um homem saudável produziria, ao final de uma jornada de dez horas no cabo de uma enxada, poderia ser obtido em poucos segundos, utilizando-se um moderno trator agrícola. (HERMAM, 1992).

De acordo com Cunha et al. (2009), a mecanização agrícola ajuda a garantir melhores produtividades e permite o cultivo de maiores áreas, sendo essencial na agricultura moderna. Atividades como preparo de solo, adubação, pulverização e colheita, antes realizadas com trabalho manual e animal, hoje podem ser desenvolvidas com o auxílio de máquinas.

A mecanização agrícola brasileira teve o seu grande desenvolvimento a partir de 1959, com o trabalho manual e semimecanizado sendo substituído gradativamente pelo mecanizado. (Figura 1). (RINALDI, 2011).

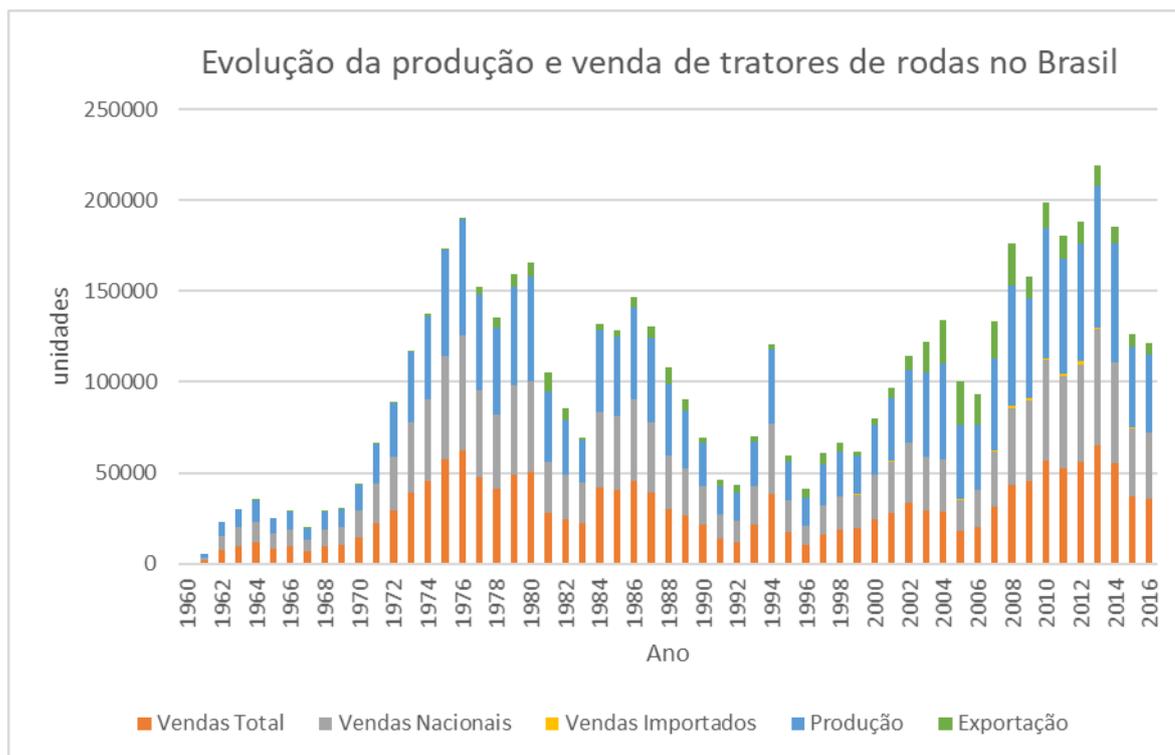


Figura 1. Evolução da produção e venda de tratores de roda no Brasil no período de 1960 a 2016. Fonte: ANFAVEA., 2017.

Toda essa modernização da agricultura brasileira propiciou impactos distintos em diferentes regiões, tendo como impactos positivos, o grande aumento da produtividade de alimentos e da produtividade agrícola; o desenvolvimento agrícola; a expansão da fronteira agrícola e o desenvolvimento tecnológico. E como impactos negativos, o aumento das despesas com o cultivo e o endividamento dos agricultores; o crescimento da dependência entre os países; o esgotamento do solo; o ciclo vicioso de fertilizantes; a perda de biodiversidade; a erosão do solo; a poluição do solo causada pelo uso de fertilizantes e a redução da mão de obra rural, aumentando o êxodo rural. (FRANCISCO, 2016).

A necessidade do aumento da capacidade de trabalho do homem do campo, face à crescente escassez de mão de obra rural, e a migração das populações rurais para as zonas urbanas, devido ao processo de desenvolvimento econômico pelo qual tem passado o país, se destacam então como os principais motivos para a evolução da mecanização e consequentemente dos tratores agrícolas. Porém, estratégias e providências para redução do custo com uso de máquinas agrícolas são urgentes e muito esperadas pelos

agricultores. Segundo Lopes et al. (2003a), o uso intensificado de tratores agrícolas objetivando uma agricultura desenvolvida e implicando em grades áreas cultivadas, pode ser responsável por quase metade do custo por área.

2.2 Tratores Agrícolas

Envolvido em praticamente todas as operações mecanizadas realizadas no campo, o trator agrícola consiste na principal fonte de potência na agricultura, sendo a base de grande parte das atividades agrícolas. É conceituado como uma máquina de tração projetada e inicialmente recomendada a fornecer potência aos equipamentos agrícolas, proporcionando uma força na direção de avanço para tracionar os equipamentos de preparo do solo e/ou outros implementos agrícolas. (ASAE, 1994).

A mecanização agrícola no Brasil, antes de 1960, baseava-se exclusivamente na importação de máquinas e implementos necessários, sendo os EUA os pioneiros no uso de tratores. Somente após 1960, o Brasil deu início à produção de máquinas no país com a implantação da indústria brasileira de tratores.

A decisão de produzir tratores agrícolas nacionais partiu do governo federal, com o estabelecimento do “Plano Nacional da Indústria de Tratores Agrícolas” instituído pelo decreto 47.473 de 22 de dezembro de 1959 (Simpósio Nacional de Tratorização da Cultura Canavieira, 1960). Por esse decreto ficava proibida a importação de tratores a partir de julho de 1960. (BALESTREIRE, 1992).

Após a década de 60, a evolução da comercialização de máquinas agrícolas esteve diretamente interligada à política agrícola implementada pelos governos, especialmente às linhas de crédito estabelecidas. A restrição ao crédito subsidiado sempre foi um dos principais fatores a interferir na diminuição da produção e venda de tratores. Programas como Moderfrota (Modernização da Frota de Máquinas e Equipamentos Agrícolas) tiveram um importante papel na performance do agronegócio no Brasil, uma vez que viabilizaram a aquisição de máquinas a juros baixos, podendo os agricultores renovarem a frota. O início da década de 90 foi marcado por uma redução na comercialização de máquinas de menor potência em detrimento de máquinas de maior potência, influenciando

além das políticas agrícolas, as vendas de máquinas agrícolas no Brasil até o ano de 2005. Já a partir de 2007, os planos de incentivos dos governos federal e estadual, como o Trator Solidário, foram responsáveis por um aumento significativo na comercialização de tratores de faixa de potência até 75 cv, destinados à agricultura familiar, aumentando a participação da faixa de potência 50-99 cv no total de vendas domésticas de tratores de rodas. (MELO et al., 2012).

Durante estes anos, os tratores tiveram mudanças circunstanciais, que marcaram sua trajetória tecnológica e mudaram a maneira dos produtores agrícolas realizarem o cultivo no mundo. (Quadro 1).

Quadro 1. Principais marcos na evolução dos tratores.

Data	Modelo	Principais mudanças
1858	Primeiro trator	J.W.Fawkes puxou um arado de oito discos utilizando um sistema com motor a vapor (41 ton).
1892	Froelich	Primeiro trator movido à gasolina.
1905		Primeira indústria de tratores – Hart Parr Company.
1917	Fordson	Linha de produção – primeiro trator montado em série.
1921	Lanz Bulldog	Poderia ser operado tanto com gasolina quanto óleo vegetal.
Década de 1920	Modelo “D”	Custo de produção menor que o Fordson.
1925	Farmall	Primeiro trator adaptável a uma série de operações agrícolas e mecanismo que facilitava a elevação dos implementos do nível do solo.
1932		Primeiro trator com pneus.
1938	95% das marcas	Substituição de rodas de ferro pelas rodas pneumáticas de borracha.
1939	Ferguson	Introdução de levante hidráulico de três pontos.
1952	Ferguson	Introdução de sistema de direção hidráulica.
1948-1968	Setor em geral	Aumento da potência de 27 hp para 79 hp.
1970-1978	Setor em geral	Introdução de turbo compressor e intercooler nos motores a diesel.
1979-1985	Setor em geral	Tratores equipados com sensores e sistema de controle automático.
1990-atual	Setor em geral	Oferta de equipamentos mais potentes, novos pneus, eletrônica embarcada, equipamentos para sensoriamento remoto.

Fonte: Vian et al., 2013.

Para minimizar os impactos causados pelo atrito das antigas rodas metálicas com garras no solo, e viabilizar a circulação dos tratores agrícolas pelas estradas, houve uma evolução para os conjuntos rodados pneumáticos. Com essas transformações, a durabilidade e o comportamento da máquina passaram a ser limitados ou otimizados, conforme uma série de opções técnicas que nem sempre são observadas, como tamanho dos pneus, características técnicas, pressão de inflação, dentre outras. Um rodado sobrecarregado tem sua vida útil reduzida; porém, o pensamento contrário gera custos excessivos, uma vez que a falta de peso pode chegar a prejudicar sua tração, destacando-se que, por não apoiar toda a banda de rodagem, pode-se aumentar a patinagem. Dessa forma, fica evidente a importância de se selecionar adequadamente o rodado conforme a aplicação e procurar que seu uso para cada circunstância ocorra em condições que resultem em melhores benefícios e maior durabilidade. (MARQUES, 2008).

Os rodados constituem o elemento de interface máquina e solo e têm como principais funções oferecer aos tratores apoio, sustentação, direcionamento e locomoção própria, além de serem responsáveis por gerar esforço de tração. Os rodados de tratores podem ser de dois tipos: esteiras ou pneumáticos. Podendo também ser classificados em simples ou duplos. (FURLANI e SILVA, 2006).

Os rodados pneumáticos são constituídos por aro, válvula, cubo de roda e pneus. Os pneus mais utilizados no Brasil podem ser classificados conforme demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2. Tipos de pneus agrícolas mais difundidos no Brasil, de acordo com a sua aplicação.

Classificação	Símbolo	Características
Tração	R-1	Pneus para rodas motrizes de tratores e colhedoras. Indicados para trabalhos em solos com boas características de tração. São os mais utilizados.
Tração	R-2	Pneus para rodas motrizes de tratores e colhedoras. Indicados para solos inconsistentes, moles e excessivamente úmidos. Largamente utilizados em trabalhos em lavouras de arroz irrigado.
Tração	R-4	Pneus para rodas motrizes de tratores industriais e outras máquinas para movimentação de terra e florestais.
Direcional	F-1	Pneus para eixos direcionais não tracionados de tratores e colhedoras. Apresentam um ressalto (raia) ao longo de seu plano médio.
Direcional	F-2	Pneus para eixos direcionais não tracionados de tratores e colhedoras. Apresentam duas ou três raias ao longo de seu plano médio.
Direcional	F-3	Pneus para eixos direcionais não tracionados de tratores e colhedoras. Multirraiadados.
Transporte	I-1	Pneus para uso em implementos e carretas.
Tração/ Motocultivadores	G-1	Pneus especialmente desenvolvidos para rodas motrizes de motocultivadores e microtratores. O desenho de sua banda de rodagem se assemelha ao dos pneus R-1.

Fonte: FURLANI e SILVA, 2006.

Os tratores agrícolas possuem todos os componentes montados em uma estrutura denominada chassi, sendo constituídos de sistema de transmissão, sistema hidráulico, rodados e o motor. O motor de combustão interna é o tipo que mais atende a característica de potência necessária nos tratores, podendo ser de ciclo Otto, em tratores de baixa potência, e de ciclo Diesel, aplicados em tratores de maior potência. (VARELLA, 2016; GARCIA, 2015).

Segundo SENAR (2014), conforme a tração, o trator pode ser classificado em:

- Trator 4x2 (Tração Simples) - possui 4 rodas, sendo as duas traseiras de tração e as duas dianteiras, menores, apenas com finalidade direcional;
- Trator 4x2 TDA (Tração Dianteira Auxiliar) – as rodas dianteiras, são menores que as traseiras e além de possuir função direcional, são providas de tração. Quando acionada a TDA, o rodado dianteiro tem um avanço de velocidade de aproximadamente 5% em relação à traseira. Os rodados traseiros e dianteiros podem ter disposição de montagem individual ou dupla;
- Trator 4x4 - possui todas as rodas do mesmo tamanho, providas de tração permanente, com velocidade igual nos dois eixos. Normalmente o sistema de direcionamento do trator se dá pela articulação do chassi.

2.3 Desempenho dos tratores agrícolas

Nos últimos anos, o setor de mecanização agrícola tem passado por um período de evolução muito grande, despertando um interesse em pesquisas cada vez mais pronunciado. Entre as principais áreas envolvidas nas pesquisas, destaca-se o conhecimento do desempenho do trator e o entendimento dos aspectos básicos do desempenho para que possam trabalhar de maneira mais eficiente. A avaliação dos fatores de desempenho dos tratores agrícolas é essencial para gerar informações que possibilitem ao agricultor conhecer a máquina e obter o conjunto mecanizado para a otimização dos recursos, em relação ao aspecto operacional, econômico e financeiro. (RINALDI, 2011).

Segundo Araújo (2013), os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado pela patinagem dos rodados, consumo de combustível e força na barra de tração. Sendo a patinagem das rodas motrizes um dos principais problemas que afetam o desempenho nos tratores, contribuindo para a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível. (SOUZA et al., 2014).

2.3.1 Patinagem dos rodados

A Norma EP496.2 (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE, 1997a), define a patinagem de um rodado de tração como a redução de deslocamento em determinada condição de piso comparada com

uma condição específica, também chamada condição zero, onde se mede o rolamento do rodado em piso indeformável e em situação sem carga.

Goering et al. (2003) definiram patinagem como a diferença entre as velocidades de deslocamento teórica e real, normalizada pela velocidade teórica. É um fenômeno decorrente dessa interação rodado-solo e que tem significativa influência sobre o desempenho operacional dos tratores. A patinagem ocorre quando a velocidade de deslocamento teórica (velocidade rotacional das rodas motrizes) não é inteiramente convertida em deslocamento e torna-se superior à velocidade real. (Correa Junior, 2017).

Herzog et al. (2002) atribuem a ocorrência da patinagem em tratores agrícolas a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado equipamento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes, conforme relatado por Herzog et al. (2002).

Patinagem é um fator que influencia diretamente a capacidade do trator promover a tração, sendo a denominação do deslizamento entre a superfície da banda de rodagem e o solo. (MIALHE, 1996).

Existe uma patinagem ideal dos pneus para cada tipo de solo (Tabela 1), com a qual se obtém a maior eficiência tratória, que é a relação entre potência na barra de tração e a potência no eixo motriz. (ASAE, 2003).

Tabela 1. Patinagem ideal em função da condição do solo.

CONDIÇÕES DO SOLO	PATINAGEM IDEAL
Concreto	4 a 8%
Solos firmes	8 a 10%
Solos cultivados	11 a 13%
Solos macios ou arenosos	14 a 16%

Nos tratores agrícolas, a patinagem ocorre devido a diversos fatores, entre eles o tipo de pneu e seu estado de conservação, a calibração ou pressão de inflação, a carga, o tipo da banda de rodagem e condições do solo, solto ou firme. Além disso, a declividade e o teor de água do solo também podem afetar a patinagem das rodas motrizes do trator. (LANÇAS e UPADHYAIA, 1997).

Perda de potência, redução na velocidade de deslocamento e desgaste acelerado dos pneus, são fatores que podem ocorrer em casos de patinagem excessiva. O aumento do lastro e a redução da carga na barra de tração ou no

engate de três pontos podem evitar essas consequências. A patinagem reduzida em geral representa excesso de lastro no trator, exigindo o aumento da potência requerida para movimentar o trator e reduzindo a potência disponível para tracionar o implemento. Nestes casos há aumento do desgaste do motor e do consumo de combustível, sendo necessário reduzir o lastro da máquina. Tratores modernos podem ser equipados com monitores de desempenho que fornecem ao operador importantes informações, inclusive a patinagem das rodas sob condições de grande exigência de potência. (GARCIA, 2015).

Levando em consideração a variação da velocidade de deslocamento da roda em relação à velocidade dada em uma condição de referência, o patinamento das rodas motrizes pode ser determinado. Podendo ser expresso pela Equação 1 (ASAE, 2003):

$$S = \frac{A_n - A_1}{A_n} 100 \quad (1)$$

em que:

S = patinagem do pneu (%);

A_n = deslocamento percorrido em condições sem carga por revolução da roda, m;

A_1 = deslocamento percorrido em condições com carga por revolução da roda, m.

Estudo realizado por Gabriel Filho et al. (2004) com trator FORD New Holland 7630, aspiração forçada, 4x2 TDA, equipado com rodados traseiros 18.4-34 inflados a 370 kPa, totalmente lastrado (6.400 kg), em solo argiloso e com declividade entre 0,0 a 0,03 m.m⁻¹, demonstrou que a cobertura do solo interfere na capacidade do trator em desenvolver esforço para tracionar máquinas e implementos enquanto o tipo de cobertura pode causar mudanças de patinagem e na eficiência tratória.

Avaliando a relação da patinagem dos rodados com as condições de pressão e velocidades de deslocamento, Feitosa et al. (2015) concluíram em seu estudo que o avanço cinemático do trator estudado é afetado pelas combinações de pressões internas dos pneus, alcançando-se um valor ideal quando aplicadas as maiores pressões nos pneus dianteiros e traseiros. Os testes também permitiram concluir que as velocidades de deslocamento assim como a interação entre os dois fatores não alteram a patinagem dos rodados do trator quando se

desloca sem carga na barra de tração em piso de textura argilosa cultivado no sistema de plantio direto há aproximadamente seis anos. Foi observada também que a aplicação das pressões de 110 e 124 kPa nos pneus dianteiros e traseiros do trator (modelos diagonais 12.4-24 e 18.4-30), combinada com a velocidade de deslocamento de $1,51 \text{ m.s}^{-1}$, resulta a maior redução na porosidade total do solo.

Gabriel Filho et al. (2010), trabalhando com um trator John Deere 6600 com a tração dianteira auxiliar (TDA) acionada e exercendo esforço na barra de tração, observaram que, ao se elevar gradualmente a velocidade de deslocamento de $0,97 \text{ m.s}^{-1}$ para cerca de $1,67 \text{ m.s}^{-1}$, não foram obtidas variações significativas na patinagem dos rodados.

Avaliando a influência dos fatores pressão de inflação (sob quatro níveis nos pneus dianteiros/traseiros 1,65kPa/193kPa; 138kPa/165kPa; 110kPa/138kPa; 83 kPa/110 kPa) e carga sobre o rodado motriz (5227kgf; 4.941kgf; 4.657kgf; 4384kgf), combinados com e sem o uso da TDA, em situação de campo, Yanai et al. (1999) demonstraram que o aumento dos níveis de lastragem reduz a patinagem e o coeficiente de tração, e que o uso da tração dianteira auxiliar influencia significativamente e positivamente, reduzindo a patinagem.

Segundo trabalho realizado por Campos et al. (2008), o avanço cinemático (percentual calculado para a diferença de rotação da roda dianteira em relação à roda traseira, para compensação da diferença no diâmetro dos conjuntos rodados, em tratores 4x2 TDA) de 3% resulta em maior potência na barra de tração, menor patinagem e menor consumo de combustível, considerando um trator agrícola com três diferentes valores de avanço cinemático (3%, 6% e 12%) em função da carga na barra de tração em uma superfície rígida.

A pressão de inflação dos pneus do trator está diretamente relacionada com a patinagem, alterando significativamente o desempenho do trator. Em estudo realizado por Monteiro et al. (2013), avaliando a patinagem com auxílio de geradores de impulsos, demonstraram um menor consumo horário e específico de combustível e a menor patinagem dos rodados com a pressão de inflação dos pneus de 110,4 kPa nos pneus dianteiros e traseiros do trator, evidenciando que pressões mais baixas melhoram o desempenho energético e operacional do trator.

2.3.2 Lastragem

A operação de lastragem significa adicionar peso à estrutura do trator, sendo necessária em certos casos para controlar a patinagem das rodas motrizes e a instabilidade da direção quando se traciona implementos que requerem elevada força de tração. (GARCIA, 2015).

De acordo com Schlosser (2005), a maioria dos tratores fabricados no Brasil, apresenta clara tendência em diminuir a relação peso e potência com o aumento da potência bruta no motor, verificando-se assim, uma certa inadequação dos projetos dos tratores agrícolas, principalmente considerando os tratores de menor potência. No que se refere aos tratores de maior potência, há uma maior necessidade de aumento na quantidade de lastro possível de ser adicionada, havendo assim uma necessidade de capacitação de seus usuários, para que a adição de peso seja feita de maneira correta.

O uso da lastragem de forma incorreta pode afetar o desempenho do trator e aumentar a compactação do solo. O baixo lastro pode acarretar na excessiva patinagem das rodas, desgaste acentuado dos pneus, alto consumo de combustível e capacidade operacional. Já o alto lastro pode ocasionar o aumento da carga sobre a transmissão, o rompimento das garras dos pneus, a compactação do solo e o alto consumo de combustível.

Segundo Spagnolo et al. (2012), níveis mais baixos de pressão de inflação causam ao trator um aumento do consumo de combustível quando se utilizam pneus usados. Enquanto as taxas mais elevadas de lastro proporcionam melhores condições de tração e menor consumo de combustível quando são utilizados pneus novos.

Estudo realizado por Yanai et al. (1999) concluiu que mantendo-se uma força de tração constante de 12,2 kN, os níveis de lastragem e os níveis de combinação de pressão de inflação estudados, com e sem o uso da tração dianteira auxiliar, não afetam a rotação do motor e o consumo horário de combustível do trator. E, que determinadas combinações de pressão e lastragem como 138 kPa e 51,28 kN permitem que o trator opere desenvolvendo maior velocidade de deslocamento com menor patinagem das rodas motrizes.

Avaliando o desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais, em três condições de lastragem líquida, com 0%, 37,5% e 75% de água, em três condições de deslocamento e em uma superfície de solo com cobertura vegetal, Monteiro et al. (2009) observaram que o pneu radial com 37,5% de água obteve os menores valores de patinação e consumo horário de combustível e o trator equipado com pneus diagonais obteve os melhores resultados com o lastro líquido de 75%.

Comparando o consumo de combustível de um trator em duas condições de lastragem – com e sem água nos pneus, os resultados obtidos por Lopes et al. (2003b) evidenciaram que a condição de lastragem com água nos pneus oferece um menor consumo específico.

Em contrapartida, avaliando o efeito de lastro e de pressão de pneus inflação líquido sobre parâmetros de desempenho do trator, Serrano et al. (2008) concluíram que o uso de lastro líquido nos pneus não melhora a taxa de trabalho, e causa um aumento de 5% a 10% no consumo de combustível por hectare. Devendo ser questionado o uso comum e indiscriminado de lastro líquido para evitar a compactação do solo.

Corrêa (2003) destaca que a ação de lastragem não é uma mera colocação ou retirada de massas em alguma parte do trator. É preciso respeitar a configuração de cada modelo e as necessidades da operação agrícola. Os tratores são disponibilizados no mercado com duas especificações de massa – sem lastro e com lastro máximo. Normalmente, isso é feito com base em estudos empíricos de projeto e/ou em estudos de experimentação técnica e/ou em campo. Quando o trator vem equipado com lastros máximos, não significa que deva ser usado sempre com eles. Ajustes são permitidos, e devem ser observados para alcançar um bom desempenho e evitar efeitos nocivos ao solo como a compactação.

2.4 Danos ambientais provocados pelo uso de máquinas agrícolas

A seleção e o manejo dos equipamentos agrícolas e os sistemas de produção, devem ser correspondentes às características pedológicas e às necessidades fitotécnicas do solo. O solo agrícola, como fator de produção, exige a manutenção e a garantia de sua perenidade. O tráfego contínuo de máquinas

dentro de uma área tem provocado alterações significativas no solo no que diz respeito à compactação. (MAZIERO et al., 1997).

Portanto, a indispensável mecanização das operações agrícolas deve obter níveis de compactação ao longo do perfil do solo que não sejam restritivos ao desenvolvimento da cultura. Quanto aos vários fatores que concorrem para os agravamentos do fenômeno, como é o caso da patinação dos rodados, o domínio sobre os processos pelos quais a compactação do solo pode ser modificada e controlada, bem como a forma de determiná-la, é essencial para uma agricultura permanente. (MAZIERO et al., 1997).

2.4.1 Compactação do solo

A compactação do solo pode ser definida como um processo onde muitas alterações são provocadas em sua estrutura e em diversas características de seu comportamento. É um acontecimento não natural onde ocorre redução da porosidade e permeabilidade, e a sua resistência é aumentada. (RICHART et al., 2005).

Mantovani (1987) destaca a crescente preocupação de agricultores com a compactação do solo e suas consequências em áreas trabalhadas com máquinas agrícolas e implementos, sobretudo em situações onde o manejo adequado do solo é considerado secundário.

Os danos ao solo ocasionados pelo tráfego de maquinários podem interferir no adequado desenvolvimento do sistema radicular das plantas, apresentando como principal dano a diminuição da produtividade das culturas. Adicionalmente, a compactação do solo é mais acentuada sob menores teores de água no solo. (PEZZONI FILHO, 2014).

Alguns fatores apontados como causa da compactação e modificação da estrutura e propriedades físicas do solo são: a distribuição do peso do trator; dimensões, tipo de estrutura e pressão interna dos pneus; área de contato e pressão de contato entre o pneu e o solo; velocidade de deslocamento; intensidade de tráfego e operações realizadas pelos tratores. Ou seja, o tráfego de máquinas agrícolas é apontado como a principal causa da compactação, intensificando-se pelo incremento no peso das máquinas e implementos e a

velocidade de deslocamento dos tratores durante as operações agrícolas. (MAZEIRO et al., 1997; FEITOSA et al., 2015).

Gabriel Filho (2010) destacou a influência da superfície do solo na capacidade do trator em desenvolver a tração e limitando seu desempenho, ressaltando as consequências à vegetação quando operado em condições inadequadas.

De acordo com estudo realizado por Barbosa et al. (2004), o tráfego do trator agrícola, em condições elevadas de pressão de insulflagem e patinagem, causa deslocamento das curvas tensão e deformação para regiões de maiores tensões cisalhantes, podendo ensejar degradação da estrutura do solo.

Segundo Lopes e Lanças (2000), uma alternativa para minimizar a compactação e aumentar a eficiência de tração pode ser o uso de pneu de baixa pressão em tratores agrícolas.

Mazeiro et al. (1997), trabalhando com um trator Massey Ferguson 275 devidamente instrumentado para determinação de patinagem e força de tração na barra, com peso total de 39.306 N, sendo 10.738 N no eixo dianteiro e 28.568 N no eixo traseiro e distância entre eixos de 2.150 mm, pneus inflados com pressão de 125 kPa em uma área plana e nivelada, constaram em seu trabalho um aumento progressivo do efeito compactante da patinagem sobre o solo, de 19,2; 22,0 e 31,9% de compactação, quando se passou de 0 para 10, 20 e 30% de patinagem, respectivamente.

2.5 Aquisição de dados em máquinas agrícolas

Visando à competitividade e satisfação dos consumidores, atualmente é necessário um aumento da eficiência em todos os setores da economia, inclusive no setor agrícola. A adequação do maquinário e desenvolvimento de sistemas de informação geográfica e de posicionamento global entre outras técnicas estão proporcionando à agricultura ganhos crescentes, permitindo aumento da produção e redução dos danos ambientais. Oferecendo tais vantagens ao setor agrícola, os sistemas informatizados vêm conquistando espaço neste setor. (KLAVÉR et al., 2011; KLAVÉR et al., 2013).

A aquisição de dados para a avaliação operacional de uma máquina agrícola tem como objetivo apresentar ao observador os valores das variáveis, ou

parâmetros, que estão sendo medidos. Geralmente, este valor numérico, ou medido, não é igual ao valor real da variável, ou seja, o sistema de aquisição tem como entrada o valor real da variável e sua saída é o valor medido. (GARCIA et al., 2003).

Uma vez que a tomada de dados é uma das etapas mais tediosas de um ciclo de pesquisa, pode-se automatizar o sistema de aquisição sem comprometer a precisão, reduzindo os erros gerados pela transcrição de dados, eliminando as variações induzidas pelo operador nos processos de coleta de dados e aumentando a taxa de leitura de dados. (JOHNSON, 1997).

Atualmente, a maioria dos cientistas e pesquisadores utiliza computadores pessoais com placas de expansão para aquisição de dados em pesquisas laboratoriais, controle industrial e em testes e medições. Na agricultura, vários pesquisadores têm trabalhado em diferentes áreas, utilizando algum tipo de sistema de aquisição de dados com a finalidade de monitorar eventos em suas pesquisas. A versatilidade de um sistema de aquisição também se torna importante, permitindo sua adaptação para diferentes pesquisas. (Garcia, 2015).

2.5.1 Sistema Arduino

Arduino é uma plataforma física computacional tipo código aberto (*open-source*) baseada em uma placa de microcontrolador simples, e um ambiente de desenvolvimento para escrever programas para a placa de controle. Pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos, tendo entradas a partir de uma variedade de sensores ou interruptores, e controle de uma variedade de luzes, motores e outras saídas físicas. Projetos com placa Arduino podem ser independentes (*stand-alone*), ou se comunicar com programas rodando em seu computador, como *Flash*, *Processing* e *MaxMSP*. As placas podem ser montadas a mão ou comprados pré-montado, e o código de programação aberto IDE pode ser baixado gratuitamente. A linguagem de programação Arduino é uma aplicação baseada em *Wiring*, semelhante a uma plataforma computacional física, que é baseada no ambiente de programação de *Processing multimedia*. (ARDUINO, 2016).

O sistema Arduino, além de simplificar o processo de trabalhar com microcontroladores, oferece algumas vantagens para professores, estudantes e amadores interessados em relação a outros sistemas:

- Custo - placas Arduino são relativamente baratas em comparação com outras plataformas de microcontroladores. A versão mais econômica da placa Arduino pode ser montada a mão, e até mesmo os módulos pré-montados Arduino custar menos de R\$ 100,00.

- Plataforma cruzada - o software Arduino pode ser executado em Windows, Macintosh OSX e sistemas operacionais *UNIX*. A maioria dos sistemas de microcontroladores é limitada ao Windows.

- Ambiente de programação simples - o ambiente de programação Arduino é fácil de usar para iniciantes, mas suficientemente flexível para usuários avançados para aproveitar bem. Para os professores, é convenientemente baseado no ambiente de programação *Processing*, por isso, o aprendizado de programação dos alunos neste ambiente estará familiarizado com o do Arduino.

- *Software open-source* - o programa Arduino é publicado como ferramentas de código aberto, tendo disponível sua extensão por programadores experientes. A linguagem pode ser expandida através de bibliotecas em C++, e os usuários que querem entender os detalhes técnicos podem dar o salto do Arduino para a linguagem de programação AVR-C no qual ele se baseia. Da mesma forma, pode-se adicionar código AVR-C diretamente em programas Arduino.

- Hardware open-source - a placa Arduino é baseada em microcontroladores ATMEGA. Os projetos para os módulos são publicados sob licença da Creative Commons, para que projetistas de circuitos experientes possam fazer a sua própria versão do módulo, ampliando-a e melhorando-a. Mesmo os usuários relativamente inexperientes podem construir o módulo de versão de placa de ensaio, a fim de entender como ele funciona e economizar dinheiro. (ARDUINO, 2017).

A utilização da placa Arduino permite diversas aplicações em ramos diferentes envolvendo a aquisição automática de dados.

Em trabalho realizado por Galante e Garcia (2014), referente ao desenvolvimento de uma solução para o gerenciamento da produção agrícola, desde os sensores no campo até o programa que gerencia os mesmos, utilizou-se um sistema de aquisição de dados usando o Arduino com um GPS acoplado

ao mesmo e um programa que faz leituras do GPS e do sensor que estiver conectado e armazenado em um cartão de memória. Através do desenvolvimento de um programa, os dados lidos são exportados, convertendo-os para valores não geográficos e valores geográficos. O trabalho mostrou que é possível, a um custo acessível, ter um sistema automatizado para o gerenciamento da produção agrícola de uma fazenda.

Com o objetivo de utilizar uma plataforma de computação física de código fonte aberto e de baixo custo para avaliação de um sensor de fluxo, utilizado na determinação de consumo de combustível de máquinas agrícolas em ensaios na área de mecanização agrícola, Garcia et al. (2015) utilizaram uma placa eletrônica e um sensor de fluxo volumétrico para desenvolver um sistema de aquisição de dados no ambiente Arduino. Foi criado um algoritmo especificamente com a função de realizar a leitura de dados do sensor de fluxo de fluido e observou-se ótimo funcionamento do aplicativo desenvolvido na função de determinar o volume de fluido por meio do sensor, observando ainda capacidade de expansão para uso com outros sensores.

Utilizando o sistema Arduino com o objetivo de criar uma versão de baixo custo de um sistema de medição de deformações em estruturas na área de engenharia civil, Dinis (2010) utilizou a plataforma Arduino Duemilanove como plataforma de interface com o LabVIEW e obteve um sistema de aquisição de baixo custo em detrimento das dispendiosas placas de aquisição de dados.

Visando à determinação de temperatura e umidade relativa do ar, Soares et al. (2012) utilizaram o Arduino aplicado como um sistema simples de aquisição de dados, mostrando-se uma opção viável e atrativa a partir de sua fácil interface de programação, indicado para usuários iniciantes e intermediários.

Souza et al. (2011) apresentam exemplos de algumas aplicações didáticas da placa Arduino para o ensino de física, que se restringiram basicamente ao seu uso como placa de aquisição de dados. Entretanto, os autores citam que as possibilidades de aplicação vão muito além, ressaltando que aplicações com pequenos componentes eletrônicos como resistores, termistores e LDR's, podem ser usadas com transdutores de muito baixo custo como complementos muito simples para a placa Arduino. Além disto, todo o sistema de aquisição de dados tem alta portabilidade, sendo conveniente para experiências de campo, quando usados com um laptop.

Cavalcante et al. (2011), apresentaram, em seu trabalho, diferentes modos de operar o Arduino para funcionar como uma interface alternativa na aquisição e automação de dados em atividades experimentais de física via porta USB do computador. Foi selecionado como exemplo de aplicação o estudo de carga e descarga de um capacitor. As etapas de interação com o Arduino passaram pelo processo de construção do circuito, coleta e armazenagem de dados em formato .txt e visualização gráfica em tempo real através da linguagem *Processing*. Para cada etapa, foram apresentadas propostas didáticas de utilização, todos os códigos fonte necessários para a interação com o Arduino, além de links para acesso a tutoriais que possibilitam a reprodução deste e outros experimentos.

Kamogawa e Miranda (2013) utilizaram a plataforma de hardware open source Arduino para controlar válvulas solenoides para soluções de tratamento em sistemas de análise de fluxo. Nas avaliações, observaram que o Arduino provou ser um microcontrolador confiável com baixo custo e interface simples, permitindo a comunicação USB com dispositivos solenoides utilizados em sistemas de fluxo.

Sabo et al. (2013) desenvolveram um aplicativo, utilizando o Arduino, com o objetivo de criar um sistema computacional integrado de apoio à agricultura familiar focado na viticultura. O sistema consiste no conjunto de microestações agrometeorológicas que fazem a leitura de sensores que monitoram a plantação e são dotadas de dispositivos de comunicação sem fio e juntas formam uma rede, que continua funcionando e se adapta a situações de maneira dinâmica, como, por exemplo, caso uma microestação seja excluída ou inserida na rede. O sistema visa oferecer uma base de dados com informações agrometeorológicas aos agricultores e, que a partir das informações oferecidas os agricultores possam elaborar o planejamento adequado do manejo e cultivo da cultura da uva, e colher todos os benefícios advindos do uso dessa tecnologia de apoio.

Costa et al. (2014) desenvolveram um sistema microcontrolado de código aberto com tecnologia ARM Arduino para a aquisição e condicionamento de sinais elétricos em tempo real, podendo ser empregado em indústrias, universidades, laboratórios e protótipos gerais. Apresentaram uma solução viável, robusta, funcional e prática, e comparando-o com as soluções comerciais atuais, o mesmo tem um custo visivelmente menor, em média de oito a dez vezes. Foi observado

que sistemas similares ao proposto, porém sem a flexibilidade e possibilidade de alteração estrutural, têm custo médio de R\$ 550,00, e aliado a esses pontos, ainda é possível modificar o projeto conforme necessidade, o que reduz ainda mais o custo frente às soluções comerciais existentes e expande sua empregabilidade, seja ela simples ou complexa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no Instituto Federal Fluminense *Campus* Bom Jesus e na fazenda Palha Velha, em Luminárias, MG.

3.1 Desenvolvimento do protótipo para aquisição de dados

Para o desenvolvimento do sistema de aquisição de dados, foram utilizados os seguintes componentes:

- placa eletrônica Arduino modelo NANO versão 3.0;
- placa *shield display* LCD-I2C;
- placa *shield* micro SD;
- placa *shield* GPS; e
- sensor *reed switch*.

Esse conjunto foi alimentado por uma bateria de celular 3,5 V utilizando um amplificador de corrente regulado à tensão de 5 V. Um notebook i7 foi utilizado na programação da unidade e transmissão de dados do cartão micro SD.

O esquema de ligação dos componentes é apresentado na Figura 2, e no Quadro 1C (APÊNDICE C).

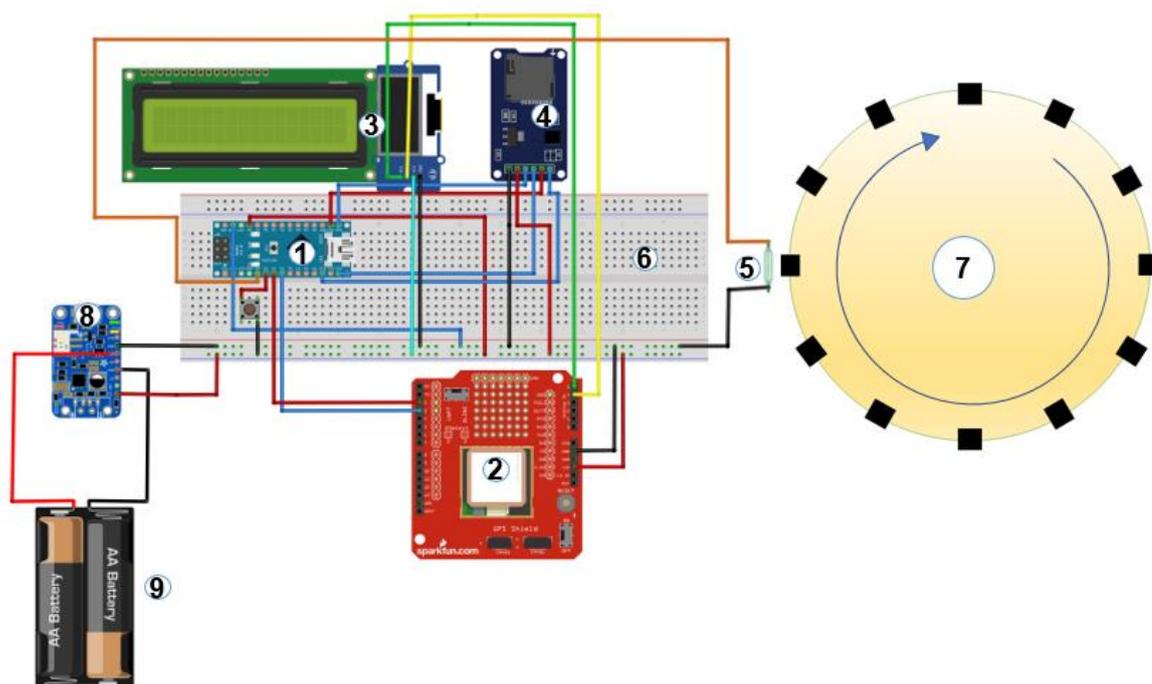


Figura 2. Esquema de ligação dos componentes: 1 - placa Arduino NANO; 2 - *shield* GPS; 3 - *display* LCD-I2C; 4 - *shield* microSD; 5 - sensor *reed switch*, 6 - protoboard; 7 - roda acionadora com conjunto de ímãs; 8 - amplificador de corrente; 9 - bateria.

A placa eletrônica Arduino NANO 3.0 é constituída por 14 pinos digitais, 8 pinos de entrada analógica com 10 bits de resolução e um microprocessador ATmega 328, processador EEPROM de 1 kb e SRAM 2 kb, a tensão ideal de alimentação especificada pelo fabricante é de 7 V a 12 V. A placa tem a função de receber os sinais emitidos pelos sensores e processá-los conforme determinado pelo código desenvolvido.

A placa *shield display* LCD-I2C tem a função de informar ao observador os dados processados pelo Arduino.

A placa *shield* micro SD registra no cartão de memória o arquivo de texto com extensão .txt dos dados obtidos nos testes e informados no display, para posterior conferência dos resultados.

A placa *shield* GPS é utilizada para fornecer ao sistema os dados com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) indicando a posição do sistema a cada instante, coordenadas essas que serão processadas pela placa para obtenção do deslocamento e cálculos de patinagem.

O sensor *reed switch* tem seu contato fechado sempre que há variação do fluxo do campo magnético em decorrência da movimentação de um ímã por ele, emitindo um pulso elétrico a cada passagem do ímã.

Utilizando o ambiente de desenvolvimento Arduino 1.6.6, na versão de instalação para sistema operacional *Windows*, desenvolveu-se um aplicativo para aquisição automática de dados para coletar, processar e armazenar os dados provenientes dos sensores em um cartão micro SD.

Quando iniciado o sistema, o *display* apresenta ao usuário os dados enquanto lidos. O aplicativo desenvolvido tem a função de criar e abrir um arquivo para armazenagem dos dados, adquirir dados provenientes do sensor *reed switch* e GPS, processando-o com a finalidade de obter o deslocamento teórico da roda e o real do trator, comparando-os e determinando a patinação da roda motora do trator. Os dados são gravados em um cartão micro SD e apresentados no *display* enquanto o sistema está em funcionamento. Um botão de *reset* permite interromper a leitura e iniciar nova coleta de dados.

Os sensores foram conectados em uma placa de terminais modelo *Protoboard* 840, e utilizando-se fios *jumpers*, e cabo USB AB, realizou-se a ligação dos sensores, placa Arduino e computador. Os dados gerados foram gravados em cartão micro SD utilizando-se uma placa com esta finalidade. E, os dados foram coletados removendo o cartão e transferindo-o para um *notebook*.

3.2 Testes preliminares

Após a montagem e implementação do sistema de aquisição de dados, foram realizados testes preliminares para avaliar a contabilização de pulsos pelo sensor e a conversão dos pulsos em distância percorrida utilizando uma roda com perímetro de 1 m.

3.3 Testes para avaliação da patinação do rodado traseiro

Após os ensaios preliminares, o sistema de aquisição automática de dados foi montado em conjuntos mecanizados, a fim de avaliar seu desempenho durante trabalho de campo. A avaliação da patinação foi realizada em dois tratores – modelo Valtra BF75 cafeeiro 4x2 TDA e John Deere 5705 4x2 TDA,

conforme caracterização no Quadro 3. Os testes foram realizados no Instituto Federal Fluminense *Campus* Bom Jesus e na fazenda Palha Velha, em Luminárias, MG

Quadro 3. Características dos tratores Valtra BF75 e John Deere 5705.

Trator modelo Valtra BF75 cafeeiro 4x2 TDA.	
Potência do motor na rotação nominal	77 cv (56,6 kW) a 2.300 rpm
Faixa de rotação com potência constante	2.000 - 2.400 rpm
Torque máximo	265 Nm (26,9 kgf.m) a 1.400 rpm
Pneu traseiro	Diagonal 14.9-24 R1
Perímetro teórico da roda traseira	3,83 m
Perímetro efetivo da roda traseira*	3,57 m
Massa	3.186 kg
Trator modelo John Deere 5705 4x2 TDA.	
Potência do motor na rotação nominal	85 cv (62,6 kW) a 2.400 rpm
Faixa de rotação com potência constante	2.000 - 2.400 rpm
Torque máximo	330 Nm (33,6 kgf m) a 1.600 rpm
Pneu traseiro	Diagonal 18.4-30 R1
Perímetro teórico da roda traseira	4,78 m
Perímetro efetivo da roda traseira*	4,56 m
Massa	4.073 kg

* distância medida para uma volta da roda traseira do trator nas condições do teste.

O sensor *reed switch* foi montado próximo à roda traseira do trator sob uma haste rígida para a determinação do registro de pulsos pela roda traseira do trator que teve ímãs fixados e espaçados por distâncias iguais (Figura 3). No trator Valtra, foram instalados seis ímãs na roda traseira do trator, atribuindo ao conjunto uma distância de 0,595 m por pulso elétrico processado pela placa, no John Deere, foram instalados 12 ímãs, atribuindo 0,380 m por pulso.



Figura 3. Detalhe de instalação do sensor *rede switch* montado próximo à roda traseira do trator.

O perímetro efetivo de deslocamento da roda foi obtido medindo-se o deslocamento do trator após sua roda traseira completar uma volta, na condição do trator sem carga. Com essa medida, a distância correspondente a cada pulso foi definida dividindo-se o perímetro efetivo de deslocamento da roda pelo número de ímãs utilizados. Com estes dados, foi determinado o deslocamento teórico do trator (dt). (APÊNDICE A).

O registro da posição real do trator foi realizado utilizando as coordenadas geográficas captadas pelo *shield* GPS – conforme o deslocamento do trator, as posições foram registradas com o horário referencial do fuso. O deslocamento real obtido pelo GPS ($dgps$) foi calculado pela diferença entre as posições. O registro dos dados salvos no cartão micro SD foi fixado para um intervalo de um segundo, assim o tempo gasto para o deslocamento também foi registrado. Com isso, o cálculo da velocidade média real foi determinado dividindo-se a distância efetivamente percorrida pelo tempo de deslocamento.

A patinação do rodado motriz do trator sistema foi determinada pela Equação 2.

$$S = \left(\frac{dt}{dgps} - 1 \right) 100 \quad (2)$$

em que:

S = patinagem (%);

dt = deslocamento teórico, m;

d_{gps} = deslocamento real obtido pelo GPS, m.

3.4 Avaliação da patinagem em condições com carga

Para avaliar a funcionalidade do sistema em operações agrícolas foram realizados testes adicionais.

Para avaliação da patinagem em condições com carga foi utilizado o trator John Deere 5705 4x2TDA com a tração dianteira acionada.

Ao trator foi acoplado um arado modelo Baldan com quatro discos (30") realizando o revolvimento de solo cultivado com *brachiaria brizantha*.

3.4.1 Teste de referência

Inicialmente foi medido o perímetro efetivo de deslocamento de uma volata da roda traseira (Pef.) do trator com o arado acoplado, sem realizar o revolvimento do solo (condição sem carga).

Ao código do sistema foi inserido o valor equivalente para cada pulso conforme a divisão do Pef. encontrado pelo número de ímãs utilizados.

A partir do Pef. determinou-se o deslocamento do conjunto mecanizado considerando distâncias equivalentes para o número de voltas completas da roda traseira.

3.4.2 Avaliação da patinagem em relação ao teste de referência

Para obtenção da patinagem em condição com carga foi realizada a operação de revolvimento do solo para a mesma distância estabelecida no teste de referência.

Em todos os testes foram obtidas patinagens conforme a metodologia padrão descrita na norma EP496.2 (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE, 2003), as quais foram comparadas estaticamente com as patinagens obtidas pelo sistema.

3.4.3 Descrição dos tratamentos nos testes de patinagem com carga

Para avaliação do sistema foram realizados testes em terreno em aclave de 9% e em terreno com declividade média menor que 1%.

Foram realizadas quatro repetições para testes onde se realizou o revolvimento do solo em terreno com aclave de 9%.

Foram realizados seis tratamentos em terreno com declividade menor que 1%, com três repetições, variando as marchas de operação e a distância total de percurso, conforme o Quadro 4.

Quadro 4. Divisão dos tratamentos por marcha de operação e distância por percurso, utilizando trator John Deere 5705 4x2TDA.

Marcha a 1.600 rpm	Distância (m)	Nº de voltas da roda traseira no teste de referência
3b	26,35	6
3b	35,12	8
3a	35,12	8
2b	48,40	11
2b	61,60	14
1b	66,00	15

3.5 Análise estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente usando os programas Excel® para geração de tabelas, gráficos e análises de variância dentro dos tratamentos e, para análise de comparação das médias dos tratamentos, foi utilizado o programa Sisvar®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando o ambiente de desenvolvimento Arduino, foi desenvolvido um aplicativo para aquisição automática de dados. O aplicativo foi desenvolvido para coletar, processar e exibir os dados provenientes dos sensores em um display LCD I2C e armazenar os dados em cartão micro SD (Figura 4).

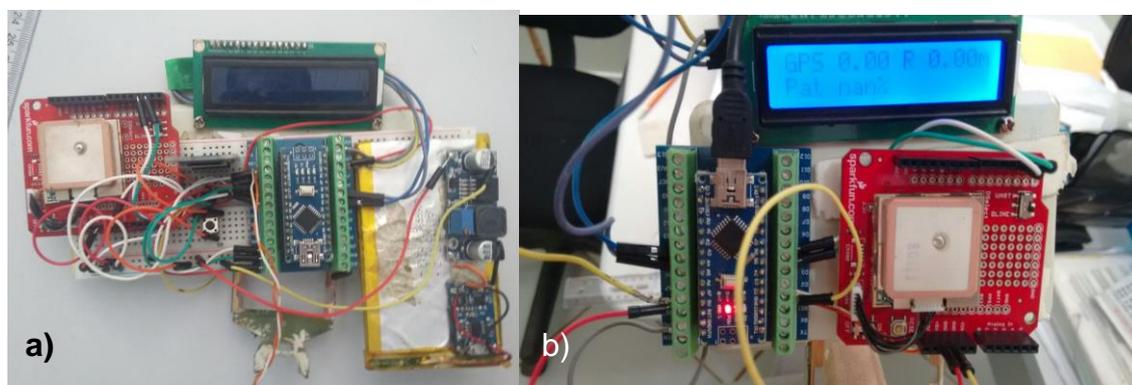


Figura 4. Protótipo do sistema de aquisição de dados: a - componentes físicos do sistema; b - tela de apresentação dos dados.

O aplicativo desenvolvido inicia sua execução com a importação de bibliotecas pré-desenvolvidas com as funções específicas de processamento do GPS; comunicação via *software* serial; comunicação SPI; leitura e gravação em cartões SD; e comunicação e exibição de informações no 16x2 com I2C.

Em seguida realiza a estrutura de declaração de variáveis, definindo os pinos digitais da placa Arduino conectados ao sensor e às demais placas *shields*, e também os valores iniciais das variáveis que serão utilizadas no sistema.

São declaradas as variáveis de contagem de pulso, primeira e última leitura, e das variáveis que recebem os valores de latitude e longitude. Além disto, informa ao Arduino a taxa de processamento de dados do GPS.

Para operacionalização do sistema foi criado o objeto "GPS" na biblioteca TinyGPS++.h, e também a criação de uma porta de comunicação serial virtual "GPS Serial".

Em seguida, realiza a estrutura de SETUP com a definição para o ajuste da posição inicial do display; definição do pino do sensor de pulso como entrada e ativando os resistores de "*pullup*"; definição do pino chave contador (Interrupção 0) para trabalhar como interrupção quando o pino for aterrado.

Para a configuração do pino de reinicialização, definiu-se o pino da chave de reinicialização como entrada e ativando os resistores de "*pullup*". Configurou-se o pino reinício (Interrupção 1) para trabalhar como interrupção quando o pino for aterrado, em função pressionamento do botão ligado ao Pino D3.

Em seguida definiu-se o início da transmissão serial com taxa de transmissão de dados de 9600 *bauds*.

Na sequência, o aplicativo inicia a estrutura de LOOP considerando que sempre que houver dados do GPS o aplicativo faz a leitura e envia para atualização do *display*.

Foram criadas funções que trabalham em interrupções, sempre que ocorre um evento, como exemplo, quando ocorre a modificação do estado de um pino, o processamento é interrompido e passado para a função definida pelo comando "*attachinterrupt*", e ao final é devolvida para o ponto anterior da interrupção. Em função disto, para evitar atrasos na contabilização do tempo, o comando "*mills*" foi usado para definição do tempo de espera entre as funções.

Foram definidas rotinas para interrupção e reinício. Quando é pressionado o botão de reinício, a função LOOP é interrompida e é zerada a variável que conta os pulsos e são carregados valores iniciais de latitude e longitude.

Foram definidas rotinas para interrupção do incremento de pulsos evitar que ruídos sejam interpretados como pulso. Caso o tempo entre o pulso anterior e

o atual seja maior que 125 milissegundos (ms), é incrementado um pulso à variável que acumula o valor do pulso na última leitura.

Foi definida a função “Display Info”, para verificar se existe leitura realizada e se é a primeira leitura, atualizando os valores iniciais.

Na sequência, o aplicativo calcula a distância percorrida e informa através do *display* e do monitor os dados de distância percorrida pela roda, pelo GPS e a patinagem calculada, e salva os dados no arquivo do cartão micro SD e aguarda 1.000 ms para retornar à função loop.

O aplicativo gera um arquivo em formato de tabela em que os dados são organizados em colunas. A Tabela 2 apresenta um exemplo de dados obtidos pelo sistema de aquisição de dados referentes ao comportamento do trator Valtra BF75 em solo firme.

Tabela 2. Registro da aquisição de dados referente ao comportamento do trator Valtra BF5 em solo firme.

GPS	RODA	PAT%
0	0	0
1,31	0	-100,00
4,13	4,17	0,85
4,13	8,93	116,10
11,21	13,69	22,08
11,21	17,26	53,93
18,57	22,02	18,55
24,88	26,78	7,62
24,88	30,94	24,36
34,26	35,70	4,20
34,26	39,27	14,62
38,86	39,27	1,06

Os registros dos dados pelo sistema indicaram um atraso da atualização da distância processada pela placa, enviados pelo GPS, em relação à atualização dos incrementos de distância enviados pelo sensor.

A Figura 5 apresenta a patinagem calculada pelo sistema considerando a distância de 0,595 m, para cada pulso elétrico. Cada seis pulsos indicam uma volta completa da roda traseira, perfazendo uma distância efetiva de

deslocamento de 3,57 m por revolução completa, ou seja, para a distância fixa de 39,27 m ocorrem 11 revoluções.

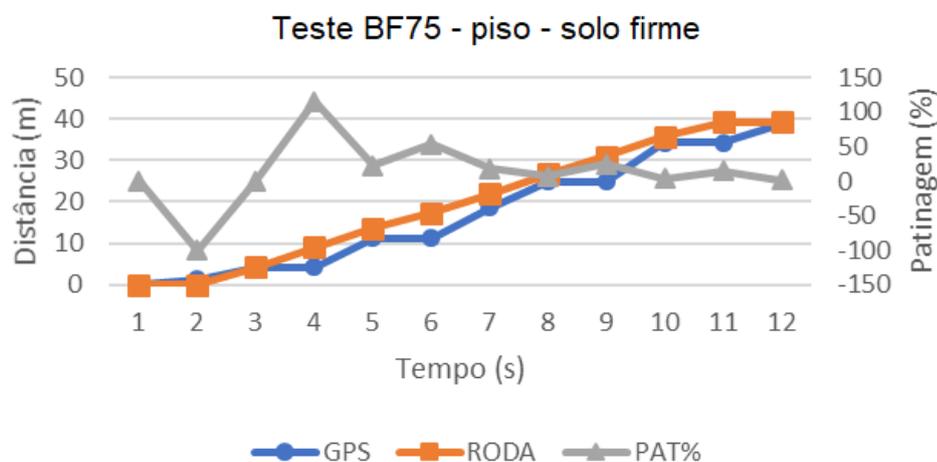


Figura 5. Registro da aquisição de dados referente ao comportamento do trator Valtra BF5 em solo firme.

A Tabela 3 apresenta os dados de três repetições para testes do deslocamento do trator Valtra BF75 em solo firme.

Tabela 3. Registro da aquisição de dados pelo sistema Arduino em três repetições em solo firme.

	GPS (m)	Roda (m)	Dr (m) 11 voltas	Pat (%)	Pat(real)(%)
Rep1	38,86	39,27	39,27	1,06	0,00
Rep2	39,20	38,68	39,27	-1,34	-1,54
Rep3	39,54	38,68	39,27	-2,19	-1,54

Conforme a Tabela 3, os dados indicam pequenas diferenças entre os deslocamentos da roda em relação ao deslocamento real nas repetições 2 e 3. Em ambos os casos, a diferença foi de 0,595 m, ou seja, a distância referente a um pulso elétrico.

Essa diferença pode ser explicada pelo erro embutido no conjunto em função da distância entre os ímãs, assim o trator percorreu a distância efetiva, mas o sistema não computou o último pulso, embutindo ao resultado o erro. O

Sensor *reed switch* tem seu contato fechado mecanicamente pela influência do campo magnético do ímã preso à roda, porém exige uma proximidade mínima de 1cm entre o sensor e o ímã, o que pode ter influenciado no resultado.

A maior patinação obtida pelo sistema ocorreu na repetição 3 em função de uma maior diferença de deslocamento obtida pelo GPS.

As Tabelas 4 e 5 apresentam o resumo de dados referentes à patinação do sistema de aquisição de dados e patinação real da roda traseira, e análise de variância das médias dos resultados das três repetições em solo firme.

Tabela 4. Resumo de dados do trator Valtra BF5 em solo firme referentes à patinação do sistema Arduino e patinação real da roda traseira.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Pat (%)	3	-2,472	-0,824	2,828
Pat (%) (Real)	3	-3,077	-1,026	0,789

Tabela 5. Análise de variância das médias dos resultados das três repetições em trator Valtra BF5 com solo firme.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,061	1	0,061	0,034	0,863	7,709
Dentro dos grupos	7,234	4	1,808			
Total	7,295	5				

De acordo com as Tabelas 4 e 5, observa-se que o teste F aplicado às médias indica um F calculado menor que o F crítico, não rejeitando a hipótese de não haver diferença estatisticamente significativa entre as médias obtidas pelo sistema e o real, para um $\alpha = 0,05$. Portanto, segundo a análise de variância para as médias de patinação obtidas pelo sistema de aquisição e pela metodologia ASAE, os resultados foram iguais, o que demonstra um resultado satisfatório.

Na Tabela 6 são apresentados dados de três repetições para testes do deslocamento do trator John Deere em solo firme.

Tabela 6. Registro da aquisição de dados pelo sistema Arduino em três repetições referente ao comportamento do John Deere em solo firme.

Repetição - pulsos/repetição	GPS (m)	Roda (m)	Dreal (m)	Pat (%)	Pat(real) (%)
Rep1 - 133	50,55	50,54	50,00	-0,03	1,06
Rep2 - 133	47,32	50,54	50,00	6,79	1,06
Rep3 - 133	51,05	50,54	50,00	-1,01	1,06

De acordo com a Tabela 6, observam-se diferenças entre os deslocamentos da roda em relação ao deslocamento real em todas as repetições. Para esse teste, fixou-se a distância de 50 m para deslocamento do conjunto, onde se esperava entre 130 e 133 pulsos por percurso, admitindo-se um erro de 0,38 m para mais ou para menos, em função da posição inicial do sensor em relação aos ímãs fixos à roda. O sistema apresentou dados coerentes com as expectativas. A maior patinação obtida pelo sistema ocorreu na repetição 2 em função de uma maior diferença de deslocamento obtida pelo GPS.

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentadas as análises de variância para as médias de patinação obtidas pelo sistema e para a patinação real da roda traseira, nas condições de solo firme com uma relação de 0,38 m/pulso.

Tabela 7. Resumo de dados referente à patinação do protótipo e patinação real da roda traseira referente ao comportamento do John Deere em solo firme.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Pat(%)	3	5,75	1,917	18,052
Pat(Real) (%)	3	3,18	1,06	0

Tabela 8. Análise de variância das médias dos resultados apresentados na Tabela 6.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,101	1	1,101	0,122	0,745	7,709
Dentro dos grupos	36,104	4	9,026			
Total	37,205	5				

Observa-se o F calculado menor que o F crítico, não rejeitando a hipótese de não haver diferença estatisticamente significativa entre as médias obtidas pelo sistema e o real, para um $\alpha = 0,05$.

Os resultados acima demonstram a aplicabilidade do sistema desenvolvido, visto que não houve diferença estatística entre as patinagens obtidas por este e pelo sistema padrão convencionalmente utilizado. Estes resultados demonstram a versatilidade do protótipo, sendo eficaz em ambos os tratores testados.

Para maior confiabilidade dos resultados e teste de aplicabilidade do protótipo, após análise do sistema em dois tratores diferentes, novos testes em condições de trabalho diversas foram realizados. Para estes, apenas o trator John Deere foi utilizado.

4.1 Avaliação da patinagem utilizando o sistema padrão e o sistema desenvolvido em condições de solo cultivado com carga

A Tabela 9 apresenta os dados de quatro repetições para testes com trator agrícola John Deere operando em condição de solo cultivado e 9% de aclave, em condição com carga, tracionando arado na marcha 2B a 1.600 rpm, e velocidade média de deslocamento de 2,86 m/s. Os resultados encontrados nos testes sem carga utilizados para cálculo conforme metodologia ASAE (2003) estão dispostos no Apêndice A.

Tabela 9. Dados registrados pelo sistema em quatro repetições para operação de revolvimento do solo utilizando arado de disco com trator agrícola John Deere operando em condição de solo solto e 9% de aclave.

Repetição	GPS (m)	RODA (m)	Dr (m) 8 voltas	Pat (%)	Pat(ASAE 2003) (%)
Rep1	35,38	43,72	34,40	23,58	21,32
Rep2	34,29	40,85	34,40	19,12	15,78
Rep3	35,00	42,28	34,40	20,81	18,65
Rep4	34,50	42,28	34,40	22,56	18,65

De acordo com a Tabela 9, a maior patinagem obtida pelo sistema ocorreu na repetição 1 (23,58%), em função de uma maior diferença de deslocamento obtida pelo GPS (35,38 m) em relação à contagem de pulsos da roda (43,72 m). Observa-se também na repetição 4 que houve uma maior diferença entre a patinagem obtida pelo protótipo (22,56%) e a advinda da metodologia ASAE (2003). (18,65 %).

Comparando a patinagem obtida pelos dois métodos analisados, o teste F aplicado às médias, indicou um f calculado (0,09) menor que o F crítico (5,99), para um $\alpha = 0,05$. Ou seja, segundo a análise de variância as médias de patinagem obtidas pelo sistema de aquisição (21,52%) e pela metodologia ASAE (18,60%) foram estatisticamente iguais.

Na Tabela 10 estão presentes os dados de 3 repetições para testes com trator agrícola John Deere Modelo 5705 operando em solo cultivado, em condição com carga, sem aclone, tracionando arado de discos na marcha 2B a 1600rpm, e velocidade média de deslocamento de 3,05 m/s.

Tabela 10. Dados registrados pelo sistema para operação de revolvimento do solo utilizando arado de disco com trator agrícola John Deere operando em condição de solo cultivado sem aclone.

Repetição	GPS (m)	RODA (m)	Dr (m) 11 voltas	Pat (%)	Pat(ASAE, 2003) (%)
Rep1	48,27	54,99	48,40	13,92	11,98
Rep2	48,71	55,36	48,40	13,65	12,57
Rep3	48,37	54,26	48,40	12,18	10,80

A maior patinagem obtida pelo sistema ocorreu na repetição 1 (23,58%), em função de uma maior diferença de deslocamento obtida pelo GPS (48,27 m) em relação à contagem de pulsos da roda (54,99 m). Observa-se também na repetição 1 uma maior diferença entre a patinagem obtida pelo protótipo (13,92%) e a advinda da metodologia ASAE (2003). (11,98%). Porém, o teste F aplicado às médias, indica um f calculado menor que o F crítico, para um $\alpha = 0,05$. Segundo a análise de variância, as médias de patinagem obtidas pelo sistema de aquisição (13,24%) e pela metodologia ASAE (11,78%) foram estatisticamente iguais.

4.2 Avaliação da patinagem utilizando o sistema padrão e o sistema desenvolvido com variação de velocidade de deslocamento em função da marcha de operação

Na Tabela 11 estão agrupados os resultados adquiridos nos testes, separados por tratamentos onde variou a velocidade de deslocamento em função da marcha de operação.

Tabela 11. Avaliação da patinagem obtida pelo sistema Arduino e pelo método padrão (ASAE) em condições diferentes de velocidade de operação e distância de percurso.

Tratamento (marcha)	V média (m.s ⁻¹)	DR (m)	Pat (média) (%)	Pat (ASAE 2003) (%)
3b	2,64	26,35	13,29aA	13,60aA
3b	2,87	35,12	13,38aA	12,24abA
3a	2,03	35,12	11,64aA	11,39abA
2b	2,97	48,40	13,25aA	11,78abA
2b	3,36	61,60	10,11aA	10,26abA
1b	3,21	66,00	10,08aA	8,60bA

*Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si estatisticamente.

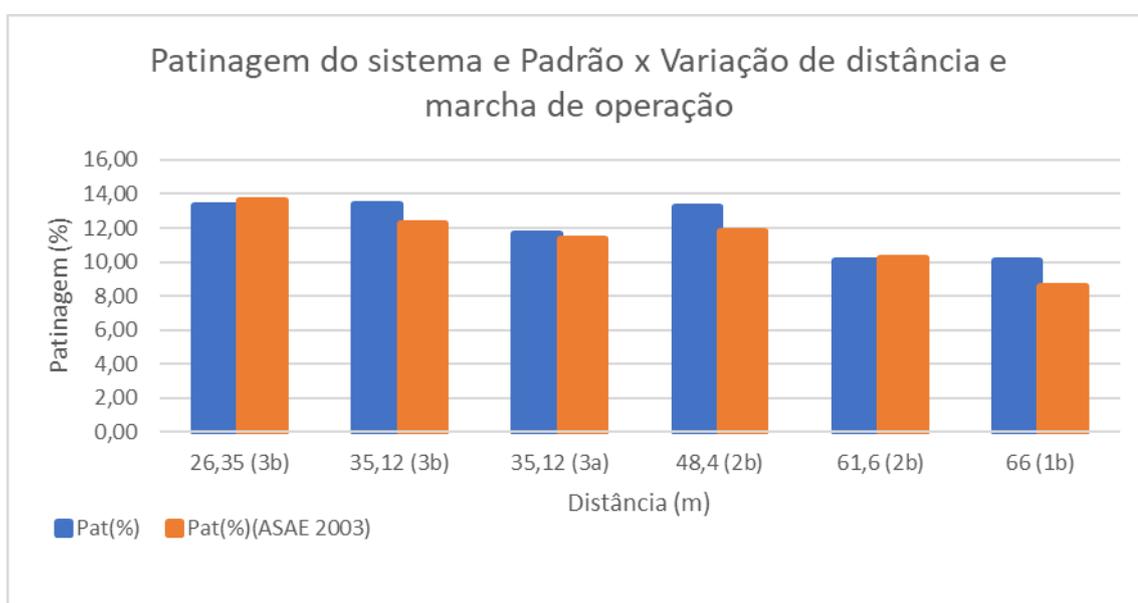
Com relação ao sistema desenvolvido, este se mostrou novamente confiável, visto que a patinagem obtida pelo sistema não diferiu estatisticamente da patinagem obtida pelo método padrão, mesmo em condições diferentes de velocidade, distância e marcha de operação.

Os dados apresentados na Tabela 11 indicam uma variação da velocidade média em função da marcha de operação e da distância percorrida. Analisando o comportamento do trator no trajeto, percebe-se que maiores distâncias permitiram o trator atingir e manter velocidades máximas de operação por um período maior, conseqüentemente influenciando o resultado da velocidade média final.

Foi realizado o teste Tukey para comparação das médias dos tratamentos, não apresentando diferença estatística significativa entre as médias das patinagens registradas pelo sistema. Para as médias registradas na metodologia ASAE (2003), apenas foi verificada diferença estatisticamente significativa entre a menor (26,3 5m) e a maior distância (66 m).

Os dados da tabela 11 foram agrupados dando origem a Figura 6.

Figura 6. Gráfico da patinagem em função da variação da marcha de operação e distância.



A maior diferença observada entre as médias das patinagens obtidas pelo sistema e a padrão ocorreu no tratamento onde se combinou a marcha 1b(3,21m.s⁻¹) e a maior distância (66m), porém a análise estatística de comparação das médias indicou serem iguais.

4.3 Estimativa dos custos dos componentes do sistema

O quadro 5 reúne os componentes utilizados para confecção do protótipo indicando os respectivos custos.

Quadro 5. Custo dos componentes do protótipo.

Item	Preço*	Fonte
Placa Arduino NANO 3.0	R\$ 31,90	https://www.shoptime.com.br
Placa <i>Shield</i> GPS Sparkfun	R\$ 300,00	http://produto.mercadolivre.com.br/
Placa <i>Shield</i> Micro SD	R\$ 6,50	http://produto.mercadolivre.com.br
<i>Display</i> LCD I2C	R\$ 49,00	https://www.robocore.net http://produto.mercadolivre.com.br
Sensor <i>Reed Switch</i> (nível de boia)	R\$ 12,00	http://produto.mercadolivre.com.br
Fios <i>Jumper</i> (65 unidades) macho/macho	R\$ 8,90	http://produto.mercadolivre.com.br
Bateria de lítio 3.7v 3000mAh para 7 ~ 10" <i>tablet</i> PC -prata	R\$ 23,37	http://www.dx.com
Módulo Carregador De Bateria Lítio 3.7v Tp4056 C/ Proteção	R\$ 3,39	http://produto.mercadolivre.com.br
Módulo Regulador de Tensão LM2596	R\$ 10,97	http://www.baudaeletronica.com.b
Protoboard 830 pontos	R\$ 15,90	http://www.vidadesilicio.com.br/
Total	R\$ 461,93	-

* valores encontrados em 01/08/2017 desconsiderando frete.

Para confecção do protótipo estima-se um gasto para aquisição dos componentes no valor total de R\$ 461,93.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi conduzido, os resultados obtidos permitem concluir que:

- O protótipo desenvolvido pode ser transferido de um trator para outro, permitindo que sejam realizados comparativos entre tratores, inclusive de diferentes marcas, devido a estrutura ser de fácil transferência e ajustamento;
- Durante os testes, foi possível acompanhar o comportamento das variáveis, diretamente no campo, através do display, com o trator em operação, seguido do armazenamento dos dados coletados em cartão micro SD;
- O protótipo desenvolvido registrou dados condizentes com os propostos pela metodologia ASAE (2003), atribuindo confiabilidade ao sistema. Ressaltando o custo de investimento de R\$461,93 para aquisição dos componentes do sistema, e sua alta versatilidade, no que diz respeito ao uso múltiplo da placa Arduino.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). (1994) Agricultural machinery management data - ASAE S390.1. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). (1997) Agricultural tractor test code SAE J708. In: _____. ASAE standards 1997: standards engineering practices data. 44th ed. Saint Joseph, 1997b. p. 407-411.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). (2003) Agricultural machinery management – ASAE Standards EP496.2 FEB03. St. Joseph: 367-372. ASAE

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). (2017) Series Temporais - Maquinas Agrícolas e Rodoviárias. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html>> Acesso em: 1 de agosto 2017.

ARAUJO, K. L. B. (2013) *Desempenho operacional e energético de um microtrator em função da lastragem, velocidade de deslocamento e pressão de inflação dos pneus*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 66f.

ARDUINO. (2017) *Arduino Home Page*. Disponível em: <<http://www.arduino.cc>>. Acesso em: 30 de maio 2017.

BALESTREIRE, L. A. Máquinas Agrícolas apud CORTEZ, L. A. B., MAGALHÃES, P. S. G. (1992) *Introdução à engenharia agrícola*. Campinas: Editora da UNICAMP.

BARBOSA, J. A., DIAS JUNIOR, M. S., VIEIRA, L. B., DIAS, G. P. (2004) Resistência ao cisalhamento de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido ao tráfego de um trator agrícola. *Rev. bras. eng. agríc. Ambient.*, Campina Grande, 8(23):321-325.

BAU DA ELETRÔNICA. (2017) *Bau Da Eletrônica Home Page*. Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/modulo-regulador-de-tensao-lm2596.html>> Acesso em: 1 de agosto 2017.

CAMPOS, F. H., GUERRA, S. P. S., LANÇAS, K. P., MONTEIRO, L. A., MONTANHA, G. K. (2008) *The effect of cinematic advance on the tractor performance with front Wheel traction on. Anais do International Conference of Agricultural Engineering and XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*. Foz-do-Iguaçu: SBEA, 2008.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. (2011) Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(4):4503.

CORRÊA, I. M. (2003) Lastro ideal. *Cultivar Máquinas*, 26:16-17.

CUNHA, J. P. A. R., DUARTE, M. A. V., RODRIGUES, J. C. (2009) Avaliação dos níveis de Vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 39(4):348-355.

DEAL EXTREME (2017) *Deal Extreme Home Page*. Disponível em: <<http://www.dx.com/pt/p/replacement-3-7v-3000mah-polymer-lithium-battery-for-7-10-tablet-pc-279695>> Acesso em: 1 de agosto 2017.

DINIS, F. J. V. (2010) *Sistema de instrumentação de baixo custo compatível com o LabVIEW*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Redes) - Universidade da Madeira, Funchal, 2010, 133f.

FEITOSA, J. R., FERNANDES, H. C., TEIXEIRA M. M., CECON P. R. (2015) Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, 35(1):117-127.

FERREIRA, D. F. (2008) SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, Lavras, 6(1): 36-41.

FRANCISCO, W. C. (2016) *A modernização da agricultura*. Brasil Escola. Disponível em:<http://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/a-modernizacao-agricultura.htm>. Acesso em: 14 de maio de 2016.

FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P. (2006) *Tratores Agrícolas*. Apostila Didática. Jaboticabal: UNESP. 18p.

FURLANI, C. E. A., CORTES, J. W., DE TOLEDO, A., DA SILVA, R. P., GROTTA, D. C. C, DOS REIS, G. N. (2010) Tractor performance as a function of speed and seeders tire inflation pressure. *Cienc. Rural*, Santa Maria, 40(18):1726-1731.

GABRIEL FILHO, A., LANÇAS, K. P., LEITE, F., ACOSTA, J. J. B., JESUINO, P. R. (2010) Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, 14(3):333–339.

GARCIA, R.F., QUEIROZ, D.M., GARCIA, R. (1998) Otimização do projeto de um rotor de corte de uma colhedora de forragem. *Engenharia Agrícola*. Jaboticabal, 17:92-104.

GARCIA, R. F. (2002) *Simulação do comportamento dinâmico de uma colhedora de feijão*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002, 86f.

GARCIA, R. F., QUEIROZ, D. M. DE, MIYAGAKI, O. H., PINTO, F. DE A. DE C. (2003) Programa computacional para aquisição de dados para avaliação de máquinas agrícolas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(2):375-381.

GALANTE, A. C., GARCIA, R. F. (2014) *Sistema de aquisição de dados de sensores de baixo custo baseado no Arduino*. Anais do CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 6, São Pedro-SP.

GARCIA, R. F. (2015) *Mecanização Agrícola: patinagem de pneus*. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Disponível em: http://garcia.xpg.uol.com.br/aula06_patinagem.pdf. Acesso em: 01 maio de 2016.

GARCIA, R. F., LIMA, R. C., MANHAES, C. M. C. (2015) Avaliação de um sensor de fluxo utilizando placa microcontroladora Arduino. *Engenharia na Agricultura (Impresso)*, 23:162-168.

GOERING, C. E., STONE M. L., SMITH, D. W., TURNQUIST, P. K. (2003) Traction and transport devices. In: _____. *Off-Road vehicle engineering principles*. Saint Joseph: ASAE, 2003. p. 351-382.

HERMANN, P. R. O engenheiro agrícola na indústria de máquinas agrícolas *apud* CORTEZ, L. A. B., MAGALHÃES, P. S. G. (1992) *Introdução à engenharia agrícola*. Campinas: Editora da UNICAMP.

HERZOG, R. L. S. et al. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador e doses de resíduos sobre o solo na semeadura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Salvador. Anais... Salvador: UFB, 2002. 1 CD-ROM.

JOHNSON, G. W. (1997) *Lab VIEW graphical programming: practical applications in instrumentation and control*. New York: McGraw-Hill, 665 p.

KAMOGAWA, M. Y., MIRANDA, J. C. (2013) Uso de hardware de código fonte aberto “Arduino” para acionamento de dispositivo solenoide em sistemas de análises em fluxo. *Química Nova*, 36(8):1232-1235.

KLAVER, P. P. C., GARCIA R. F., VASCONCELOS JUNIOR, J. F. S., CORRÊA JUNIOR, D. (2013) Programa computacional para determinar a manutenção preventiva de tratores agrícolas. *Inter Science Place*, 1(25).

KLAVER, P. P. C., GARCIA R. F., VALE, W. G., VASCONCELOS JUNIOR, J. F. S., CORRÊA JUNIOR, D. (2011) Programa computacional para seleção de engrenagens de uma semeadora adubadora de precisão. *Sci. Technol.*, 4(1):115 – 123.

LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. (1997) Pneus radiais para tratores. Guia para a seleção correta da pressão de inflação. *Energia na Agricultura*, FCA/UNESP, Boletim Técnico nº 1, Botucatu. 33p.

LOPES, A. FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P. (2003a) Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. *Revista Brasileira de Agroinformática*, 5(1):24-31.

LOPES, A., LANÇAS, K. P., FURLANI, C. E. A., NAGOAKA A. K., CASTRO NETO, P, GROTTA, D. C. C. (2003b) Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, 7(2):382-386.

LOPES, A., LANÇAS, K.P. (2000) Avaliação da patinagem de um trator agrícola em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de um solo argiloso. *Energia na Agricultura*, 15:63-74.

MANTOVANI, E. C. (1987) Compactação do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 13(147):52-55.

MARQUES, I. (2008) Metodologia para cálculo rápido das dimensões de pneus de tratores agrícolas. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, 28(3):590-603.

MAZIERO, J. V. G., MIALHE, L.G., CORREA, I. M., YANAI, K., MENEZES J. F.(1997) Efeito da patinagem da roda motriz de um trator agrícola na compactação do solo. *Bragantia*, Campinas, 56(1):191-197.

MELO H. M., NAGOAKA A. K., VIEIRA, F. C . (2012) Influência do crédito agrícola e das novas tendências tecnológicas na comercialização de tratores de rodas no Brasil. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, 11(1):70-76.

MERCADO LIVRE. (2017A) *Mercado Livre Home Page*. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-708923667-modulo-leitor-carto-micro-sd-card-leituraescrita-arduino-_JM> Acesso em: 1 de agosto 2017.

MERCADO LIVRE. (2017b) *Mercado Livre Home Page*. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-683928397-arduino-shield-gps-sparkfun-_JM?source=gps> Acesso em: 1 de agosto 2017.

MERCADO LIVRE. (2017c) *Mercado Livre Home Page*. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-869422606-boia-sensor-nivel-lateral-magnetico-agua-arduino-esp8266-_JM> Acesso em: 1 de agosto 2017.

MERCADO LIVRE. (2017d) *Mercado Livre Home Page*. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-704630682-kit-65-fios-jumper-sortidos-tamanho-variado-p-protoboard-_JM> Acesso em: 1 de agosto 2017.

MERCADO LIVRE. (2017e) *Mercado Livre Home Page*. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-897587058-modulo-carregador-de-bateria-litio-37v-tp4056-c-protoco-_JM> Acesso em: 1 de agosto 2017.

MIALHE, L.G. (1996) *Máquinas agrícolas: ensaios & certificação*. Piracicaba: FEALQ, p.463-514.

MONTEIRO, L. A., LANÇAS, K. P., GABRIEL FILHO, A. (2009) Desempenho de um trator agrícola em função do tipo construtivo do pneu e da lastragem líquida em três velocidades de deslocamento na pista com superfície firme. *Energia na Agricultura*, Botucatu, 24(1):68-84.

MONTEIRO, L. A., ALBIERO, D., LANÇAS, K. P., BUENO A. V., MASIERO, F. C. (2013) Energetic efficiency of an agricultural tractor in function of tire inflation pressure. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, 33(4):758-763.

PEZZONI FILHO, J. C., FENNER, P. T., LANÇAS, K. P., PEZZONI, D., MORAES, W. B., CHAGAS, H. A., TROSDORF J. C. R. (2014) Compactação de um cambissolo háplico causada pela extração florestal com trator Skidder. *CERNE*, Lavras, 20(2):199-208.

RICHART, A., TAVARES FILHO, J., BRITO, O. R., LLANILLO, R. F., FERREIRA, R. (2005) Compactação do solo: causas e efeitos. *Semina*, Passo Fundo, 26(3):321-344.

RINALDI, P. C. N. (2011) *Parâmetros de desempenho de tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 106f.

ROBOCORE. (2017) *Robocore Home Page*. Disponível em: <<https://www.robocore.net/loja/produtos/lcd-16x2-5v-com-interface-i2c.html>> Acesso em: 1 de agosto 2017.

SABO, P. H., MARTINI, J. A., GONCALVES, P. C., LEONARDO, E. J., CRUZ, E. H. M. (2011) *Sistema embarcado para aquisição de dados agrometeorológicos*. Anais do WORKSHOP DE SISTEMAS EMBARCADOS WSE-SBESC, 2, Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, p. 122-132.

SCHLOSSER, J. F., DEBIASI, H., WILLES, J. A., MACHADO, O. D. C. (2005) Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. *Cienc. Rural*, Santa Maria, 35(1):92-97.

SERRANO, J. M., PEÇA, J. O., SILVA, J. R., MARQUEZ, L. (2009) The effect of liquid ballast and tyre inflation pressure on tractor performance. *Biosystems Engineering*, 102(1):51–62.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). (2010) *Operação de tratores agrícolas*. Administração Regional Do Estado De São Paulo.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). (2014) *Operação de tratores agrícolas*. Administração Regional do Estado de Mato Grosso.

SHOPTIME. (2017) *Shoptime Home Page*. Disponível em: <<https://www.shoptime.com.br/produto/18088584/arduino-nano-v3.0-sem-cabo-usb>> Acesso em: 1 de agosto 2017.

SOARES, L. H. J., PEREIRA, G. A., SPALDING, L. E. S. (2012) *O Arduino aplicado como um sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade relativa do ar*. Anais da MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22, Passo Fundo: UPF. 4 f.

SOUZA, J. S. I., PEIXOTO, A. M. TOLEDO, F. F. (1995) *Enciclopédia agrícola brasileira*. Ed. Ilustrada. EdUSP.

SOUZA, A. R. DE, PAIXÃO, A. C., UZÊDA, D. D., DIAS, M. A., DUARTE, S., AMORIM, H. S. (2011) A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1):1702.

SOUZA, F. H., MONTEIRO, L. A., MELLO, L. M. M., FREITAS, L. A. (2014) *Determinação da patinação dos rodados do trator em função pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração em pista de concreto*. Anais do XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, Campo Grande – MS.

SPAGNOLO, R. T., VOLPATO, C. E. S., BARBOSA, J. A., PALMA, M. A. Z., BARROS, M. M. (2012) Fuel consumption of a tractor in function of wear, of ballasting and tire inflation pressure. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, 32(1):131-139.

VARELLA, C. A. A. (2016) *Introdução ao estudo dos tratores agrícolas*. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. 2016. Disponível em: http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/motores_e_tratores.htm. Acesso em 14 de maio de 2016.

VIDA DE CILICIO. (2017) *Vida de cilicio Home Page*. Disponível em: <<http://www.vidadesilicio.com.br/protoboard-mb-102-830.html>> Acesso em: 1 de agosto 2017.

VIAN, C. E. F., ANDRADE JUNIOR, A. M., BARICELO, L. G., SILVA, R. P. (2013) Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, Brasília, 51:719-744.

YANAI, K., SILVEIRA, G. M., LANÇAS, K. P., CORRÊA, I. L., MAZIERO, J. V. G..(1999) Desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 34:1427-1434.

APÊNDICE A

Tabela 12. Registro da aquisição de dados pelo protótipo para o teste de referência e calibração.

Teste de calibração 48,4 m		
GPS(m)	Roda(m)	Pat%
0,00	0,00	0,00
0,19	2,57	1252,63
3,55	3,67	3,38
3,55	7,33	106,48
10,88	11,36	4,41
10,88	14,66	34,74
18,00	19,43	7,94
18,00	23,10	28,33
26,44	27,50	4,01
26,44	31,16	17,85
34,89	35,56	1,92
34,89	39,59	13,47
41,77	43,26	3,57
41,77	46,56	11,47
48,25	48,76	1,06
48,25	48,76	1,06

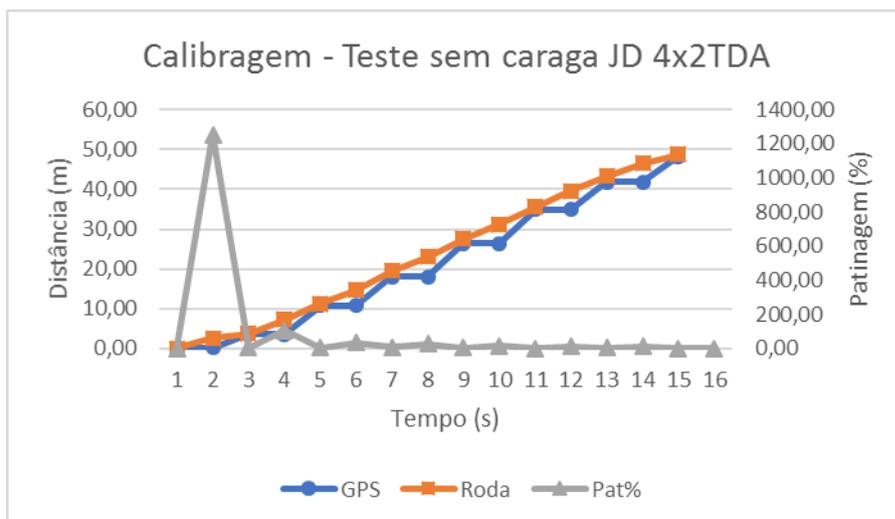


Figura 7. Gráfico do registro da aquisição de dados pelo protótipo no teste de referência.

Tabela 13. Registro da aquisição de dados pelo protótipo para o teste de referência e calibração.

Referência sem carga 61,60 m

0,3666 m/pulso

GPS(m)	Roda(m)	Pat (%)
0	0	0
0,38	0	INF
1,39	1,1	-20,86
1,39	4,03	189,93
9,14	8,43	-7,77
9,14	13,56	48,36
17,7	17,96	1,47
17,7	23,1	30,51
27,62	27,13	-1,77
27,62	32,26	16,80
35,95	35,93	-0,05
35,95	41,43	15,24
44,72	45,83	2,48
44,72	50,96	13,95
53,5	54,99	2,78
53,5	59,02	10,31
61,07	61,94	1,43
62,1	61,94	-0,25

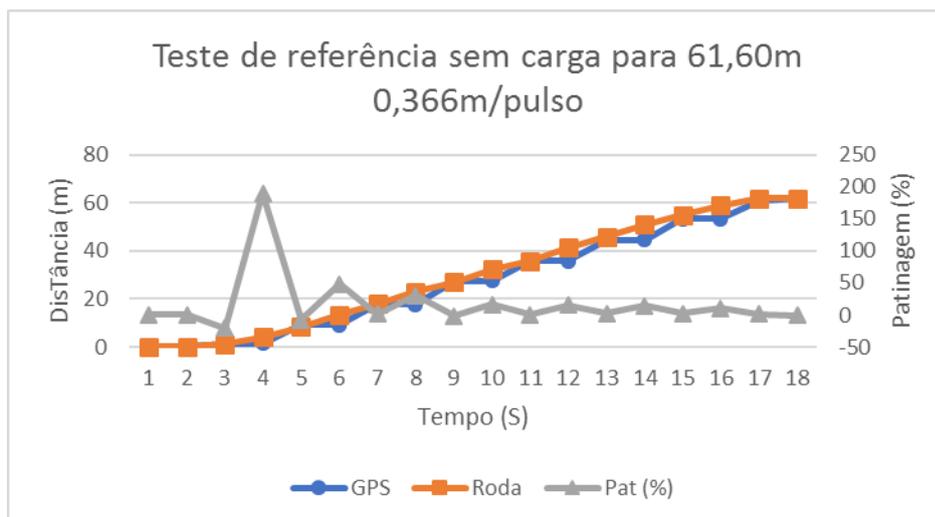


Figura 8. Gráfico do registro da aquisição de dados pelo protótipo no teste de referência.

Tabela 14. Registro da aquisição de dados pelo protótipo para o teste de referência e calibração.

Calibração – Referência 66 m
0,366 m/pulso

GPS(m)	Roda(m)	Pat%
0	0	0
0	1,83	INF
1,95	3,67	88,21
6,5	6,23	-4,15
6,5	9,53	46,61
13,17	13,2	0,23
13,17	16,13	22,47
21,12	19,8	-6,25
21,12	23,46	11,08
29,22	27,13	-7,15
29,22	30,06	2,87
37,63	34,46	-8,42
37,63	38,13	1,33
45,52	41,79	-8,19
45,52	45,83	0,68
54,14	50,59	-6,56
54,14	54,26	0,22
61,47	59,02	-3,99
61,47	62,69	1,98
66,31	66,72	0,62
66,31	66,72	0,62

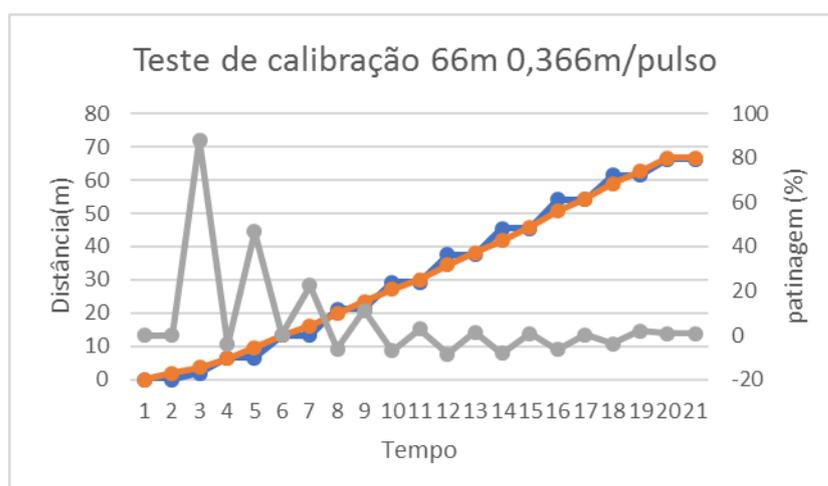


Figura 9. Gráfico do registro da aquisição de dados pelo protótipo no teste de referência.

Tabela 15. Registro da aquisição de dados pelo protótipo para o teste de referência e calibração.

Calibração 1 – 1.600 rpm 3B		
GPS(m)	RODA(m)	PAT%
0	0,00	0
0,79	0,00	100,00
0,79	0,73	-7,34
2,44	2,57	5,19
2,44	5,49	125,19
9	9,15	1,72
9	12,81	42,39
16,44	17,57	6,86
16,44	21,60	31,38
24,58	25,62	4,23
24,58	26,72	8,70
26,21	26,72	1,94

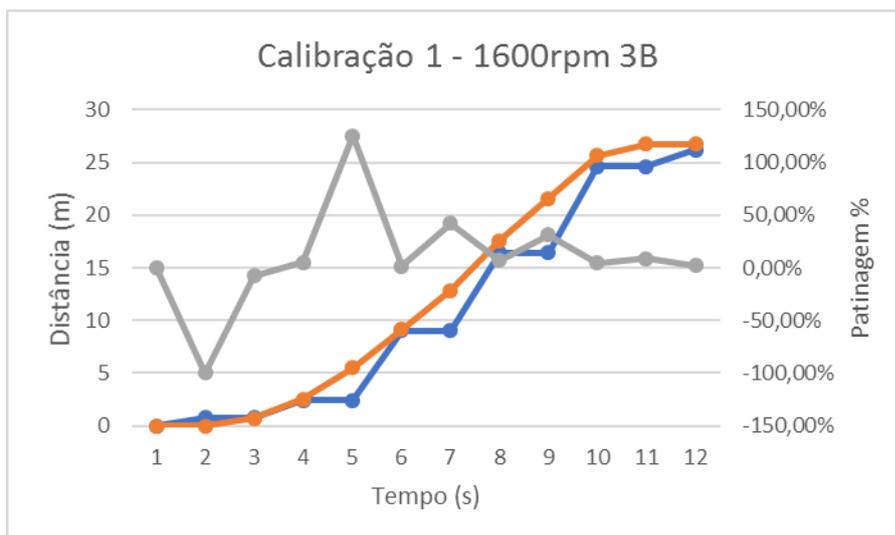


Figura 10. Gráfico do registro da aquisição de dados pelo protótipo no teste de referência.

Tabela 16. Registro da aquisição de dados pelo protótipo para o teste de referência e calibração.

Calibração 1.600 rpm 3b 35,12 m		
GPS(m)	RODA(m)	PAT%
0	0,00	0
0	0,00	0
0,39	0,73	87,70
0,39	2,57	558,12
5,44	5,49	1,01
5,44	9,15	68,29
13,22	12,81	-3,06
13,22	17,57	32,89
20,15	21,60	7,19
20,15	25,62	27,15
24,49	26,72	9,10
24,49	30,38	24,04
31,78	34,04	7,11
31,78	35,50	11,71
34,95	35,50	1,58

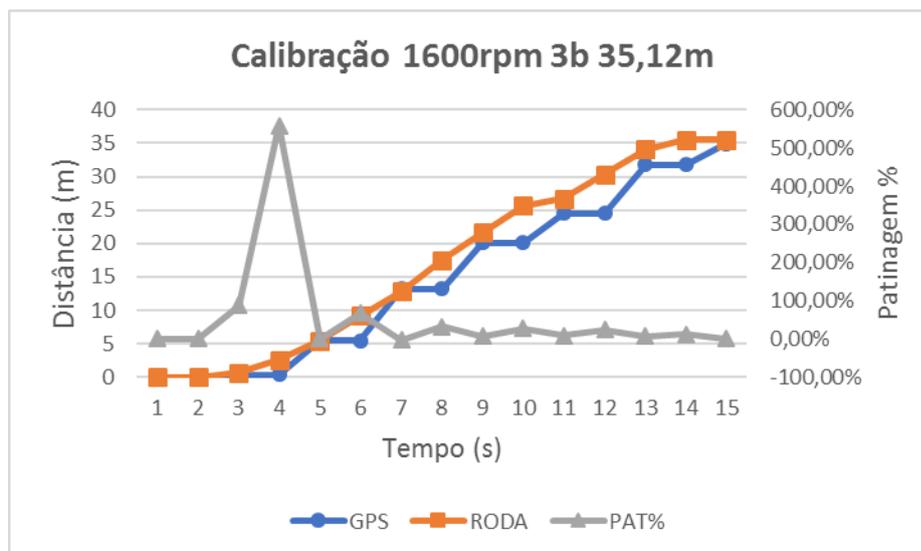


Figura 11. Gráfico do registro da aquisição de dados pelo protótipo no teste de referência.

Tabela 17. Registro da aquisição de dados pelo protótipo para o teste de referência e calibração.

Teste 1.600 rpm 2b 35,12 m		
GPS(m)	RODA(m)	PAT%
0	0,00	0
0	0,00	0
0,79	0,73	-7,34%
0,79	2,93	270,63%
4,89	5,49	12,27%
4,89	8,05	64,66%
9,55	10,98	14,97%
9,55	13,91	45,63%
16,51	16,47	-0,24%
16,51	19,40	17,49%
20,79	21,96	5,63%
20,79	24,89	19,71%
27	27,45	1,67%
27	30,38	12,51%
31,9	32,94	3,26%
31,9	35,14	10,14%
35,45	35,14	-0,89%

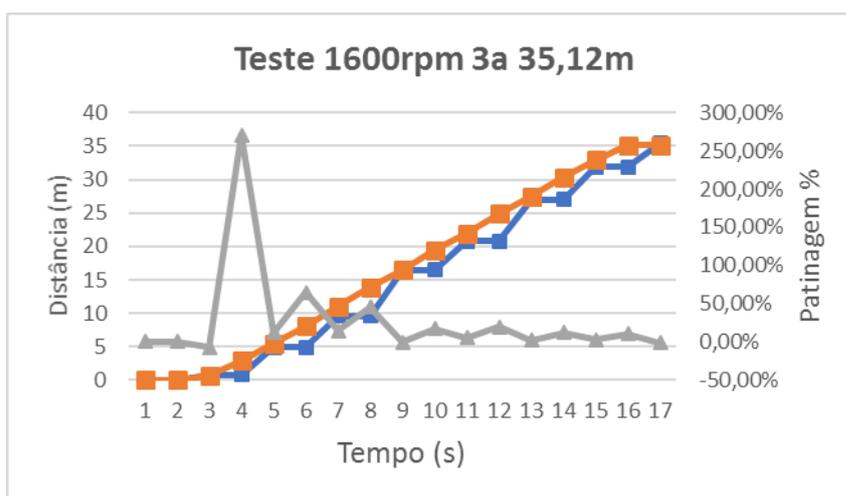


Figura 12. Gráfico do registro da aquisição de dados pelo protótipo no teste de referência.

APÊNDICE B

Algoritmo com o código para execução do aplicativo para avaliação de patinagem

```
//Algoritmo para avaliação de patinagem em trator agrícola com pulsos equivalentes a
366mm
// Autor: Filipe Ambrósio Loures - Engenheiro Agrícola - UFLA - Mestrando em
Produção Vegetal UENF - Professor EBTT IFF - Bom Jesus do Itabapoana
#include <TinyGPS++.h> // inclui biblioteca GPS
#include <SoftwareSerial.h> // inclui Biblioteca Softwareserial serial
#include <SPI.h> // inclui Biblioteca Comunicação SPI
#include <SD.h> // inclui Biblioteca cartão SD
const int chipSelect = 10; // seleção do pino usado pelo Cartão SD
#include <Wire.h> //inclui biblioteca auxiliar para display
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //inclui biblioteca display16x2 com I2C

// Inicializa o display no endereço 0x27
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);
int chave_contador = 2 ; // pino do contador de pulso
int pino_reinico = 3 ; // pino para reinicialização
int contaPulso = 0 ; // iniciação do contador de pulso
double ultimaLeitura = 0 ; // iniciação da variável última leitura
int primeiro = 0 ; // iniciação da variável que indica a primeira leitura

// escolha dos dois pinos usados pela software serial
// O GPS Shield usa D2 e D3 como padrão quando está no DLINE mode
int RXPin = 4;
int TXPin = 5;

// definição de variáveis que irão receber os valores de latitude e longitude
double posicaoLat1 ;
double posicaoLong1 ;

// definição da velocidade de comunicação do gps
int GPSBaud = 4800;
```

```

// criado um objeto TinyGPS++ chamado "gps"
TinyGPSPlus gps;

// criado uma porta de comunicação serial virtual chamada "gpsSerial"
SoftwareSerial gpsSerial(RXPin, TXPin);

void setup()
{
  lcd.begin (16,2); // ajustando a posição inicial do display
  pinMode(chave_contador, INPUT_PULLUP); // define o pino do sensor de pulso como
  entrada e ativando os resistores de "pullup"
  attachInterrupt(0, incpulso, RISING); //Configura o pino chave_contador(Interrupção
  0) para trabalhar como interrupção quando o pino for aterrado

  //configura pino de reinicialização
  pinMode(pino_reinicio, INPUT_PULLUP); // define o pino da chave de reinicialização
  como entrada e ativando os resistores de "pullup"

  attachInterrupt(1, reiniciar, RISING); //Configura o pino pino_reinicio(Interrupção
  1) para trabalhar como interrupção quando o pino for aterrado

  // inicia a porta serial do arduino a 9600 baud
  Serial.begin(9600);

  Serial.print("Inicializando cartão SD...");

  // confere se o cartão SD está inserido e se pode ser inicializado
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("falha no cartão, ou não presente");
    // não opera sem o cartão inserido
    return;
  }
  Serial.println("cartão inicializado.");

  // Inicia a porta serial do software na taxa de transferência de dados padrão do GPS
  gpsSerial.begin(GPSBaud);
  Serial.println(F("DeviceExample.ino"));
  Serial.println(F("uma simples demonstração da TinyGPS++ com um modulo GPS
  acoplado"));
  Serial.print(F("Testando a biblioteca TinyGPS++. "));
  Serial.println(TinyGPSPlus::libraryVersion());
  Serial.println(F("Por Mikal Hart adaptado por Filipe A. Loures"));
  Serial.println();
  delay(5000);
}

// início da função de incremento de pulsos

void reiniciar ()
{
  contaPulso=0; // zerar contador se chave foi apertada

  posicaoLat1 = gps.location.lat(); // carrega com valor de latitude
  posicaoLong1 = gps.location.lng(); // carrega com valor de longitude
}

```

```

void incpulso ()
{
    if ( ultimaLeitura+125 < millis() ) { //se passar 125ms após a última leitura vai
incrementar o pulso se não vai considerar um pulso da mesma posição ( sensibilidade
do Reed Switch)

        contaPulso++; //Incrementa a variável de contagem dos pulsos
        ultimaLeitura =millis(); // carrega com o tempo da última leitura
    }
}

// início da função de display de dados no terminal e no LCD
void displayInfo()
{
    if (gps.location.isValid() && primeiro == 0)// caso exista uma leitura válida no gps e
seja a primeira leitura inicializa as variáveis de posição inicial
    {
        Serial.println(primeiro);
        posicaolat1 = gps.location.lat();
        posicaolong1 = gps.location.lng();
        primeiro = 1;
        Serial.println("dados iniciais carregados");
        Serial.println(posicaolat1);
        Serial.println(posicaolong1);
        Serial.println(primeiro);
    }

    long tempoloop= millis();
    while (millis()-tempoloop < 1000 ) { // rotina para aguardar um segundo
    }

    Serial.print(F("Localidade: "));
    if (gps.location.isValid())// rotina para enviar dados ao monitor serial caso a leitura
do gps seja valido válida
    {

        Serial.print(gps.location.lat(), 6);
        Serial.print(F(","));
        Serial.print(gps.location.lng(), 6);
        Serial.print(" . . ");
        double distancia = (double)TinyGPSPlus::distanceBetween( gps.location.lat(),
gps.location.lng(), posicaolat1, posicaolong1);//obtem a distância entre a coordenada
atual e a primeira registrada
        Serial.print(distancia);
        Serial.print(" mts - Roda ");
        Serial.print(contaPulso * 0.3666);
        Serial.print(" mts");

        lcd.setBacklight(HIGH); // rotina para enviar dados ao display caso a leitura do gps
seja validoválida
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("GPS ");
        lcd.print(distancia);
        lcd.print(" R ");
        lcd.print(contaPulso * 0.3666);
    }
}

```

```

    lcd.print("m");

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print("Pat ");
    lcd.print((((contaPulso * 0.3666)/distancia)-1)*100);
    lcd.print("%");

// rotina para enviar dados ao monitor serial caso a leitura do gps seja válida

    String dataString = "";
    dataString += String(distancia);
    dataString += ",";
    dataString += String(contaPulso * 0.3666);
    dataString += ",";
    dataString += String((((contaPulso * 0.3666)/distancia)-1)*100);

// abre o arquivo. Apenas um arquivo pode ser aberto por vez
// Ou seja, deve-se fechar o arquivo antes de abrir outro.
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

// Se o arquivo estiver disponível, registra os dados no cartão SD :
if (dataFile) {
    dataFile.println(dataString);
    dataFile.close();
}
// se o arquivo não abrir escreve uma mensagem de erro:
else {
    Serial.println("erro ao abrir datalog.txt");
}

delay(1000);
}
else // se os dados do gps não forem válidos escreve
{
    Serial.print(F("dados do gps invalidos"));
}
}
void loop()
{
    // Este código exibe informações sempre que uma nova sentença estiver
    corretamente codificada.
    while (gpsSerial.available() > 0) // enquanto tiver dados a serem lidos do gps ele
    executa o loop
        if (gps.encode(gpsSerial.read()))
            displayInfo();

// Se passar 5 segundos e não surgirem os caracteres
// Informa o erro " NO GPS detected" via porta serial do software
if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10)
{
    Serial.println(F("GPS não detectado"));
    while(true);
}
}
}

```

APÊNDICE C

Quadro 1C: Ligação dos componentes do protótipo à placa Arduino Nano 3.0

Arduino	GPS	LCD I2C	MicroSD	Protoboard
Tx				
Rx				
RST				
GND				Polo (-)/Reed Switch
D2				39/Reed Switch
D3				Botão
D4	D2			
D5	D3			
D6				
D7				
D8				
D9				
D10			CS	
D12			MOSI	
D13			MISO	
3V3			SCX	
A1				
A2				
A3				
A4		SDA		
A5		SIC		
5V	5V	Vcc	Vcc	
RST				
GND	GND	GND	GND	