

**Desenvolvimento de um sistema embarcado de baixo custo para
monitoramento de desempenho energético de trator**

/

**Development of a low-cost embedded system for tractor energy
performance monitoring**

DOI:10.34117/bjdv8n5-218

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

Thaís Souza dos Santos

Graduando de Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon,
s/n Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000 - São Cristóvão - SE

E-mail: souzathais720@gmail.com

Welington Gonzaga do Vale

Doutorado em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon,
s/n Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000 - São Cristóvão - SE

E-mail: valewg@gmail.com

Eduardo Jose dos Santos

Graduando de Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon,
s/n Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000 - São Cristóvão - SE

E-mail: eduardo22santos@hotmail.com

Mariana Dias Meneses

Mestrando em Ciências do Solo

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Endereço: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Via de Acesso Prof. Paulo
Donato Castellane, s/n. CEP: 14884-900

E-mail: dias.meneses@unesp.br

Patricia de Azevedo Castelo Branco do Vale

Doutorado em Ciência Animal

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon
s/n Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000 - São Cristóvão - SE

E-mail: patriciavale78@gmail.com

Adilson Machado Enes

Doutorado em Máquinas Agrícolas

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Endereço: Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon
s/n Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000 - São Cristóvão - SE

E-mail: adilsonenes@gmail.com

Thiago Martins Machado

Doutorado

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Endereço: Av. Alexandre Ferronato, 1200 - Res. Cidade Jardim, Sinop - MT

CEP: 78550-728

E-mail: tm.machado@hotmail.com

Luís Felipe Castelo Branco do Vale

Graduando em Ciências da Computação

Instituição: Universidade Tiradentes (UNIT)

Endereço: R. Lagarto, 236 - Centro, Aracaju - SE, CEP: 49010-390

RESUMO

Uma das alternativas para reduzir o custo da mecanização agrícola é a utilização de sistemas embarcados para o monitoramento dos tratores durante os trabalhos. Estes sistemas têm o objetivo de informar o consumo de combustível durante a operação, com isso o produtor pode selecionar a melhor combinação, rotação do motor e marcha, para reduzir os custos de produção, aumentar a produtividade e diminuíam os impactos ambientais. Sistemas embarcados tem sido uma solução para o monitoramento das atividades agrícolas, esses equipamentos são compostos em sua maioria por sensores e microcontroladores, apesar dos resultados positivos obtidos com os mesmos, alguns aspectos como alto custo e demanda de tempo para manuseio, dificultam a obtenção desses aparatos. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver, testar e validar um sistema que possa suprir as necessidades referentes a análise de desempenho de trator, que retorne dados confiáveis, de fácil manuseio e de baixo custo. O sistema foi desenvolvido com sucesso e pode ser utilizado no campo. Mostrou-se confiável, teve facilidade e rapidez na operação de aquisição de dados, é de baixo custo, acessível ao pequeno e médio produtor e não necessitou de qualquer interferência humana na aquisição, armazenamento e controle dos dados.

Palavras-chave: arduino, agricultura de precisão, sistema embarcado.

ABSTRACT

One of the alternatives to reduce the cost of agricultural mechanization is the use of embedded systems to monitor tractors during work. These systems are intended to inform fuel consumption during operation, with this the producer can select the best combination, engine speed and gear, to reduce production costs, increase productivity and reduce environmental impacts. Embedded systems have been a solution for monitoring agricultural activities, these equipments are mostly composed of sensors and microcontrollers, despite the positive results obtained with them, some aspects such as high cost and time-demanding for handling, make it difficult to obtain these apparatus. Thus, the present work aimed to develop, test and validate a system that can meet the needs related to tractor performance analysis, which returns reliable, easy-to-handle and

low-cost data. The system has been successfully developed and can be used in the field. It proved to be reliable, it was easy and fast in the data acquisition operation, it is low cost, accessible to small and medium producers and it did not require any human interference in the acquisition, storage and control of data.

Keywords: Arduino, precision agricultura, embedded system

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna, as máquinas com seus implementos possibilitam que o homem realize as tarefas planejadas dentro do calendário agrícola e de acordo com as exigências de qualidade dos serviços, para as mais diversas condições de trabalho (EMBRAPA, 2006). Com isso aumenta a produtividade do trabalho, baixando custos e aumentando a produção, além de ser prático e de grande melhoria para o produtor rural, o que lhe facilita cada vez mais no campo, diminuindo o custo com mão de obra, maior praticidade, reduzindo o tempo de trabalho dos funcionários, o trabalho árduo.

O agronegócio se tornou uma das atividades mais lucrativas do mundo e está inserido em um ambiente de grande competitividade e de constantes mudanças. A evolução tecnológica tem tornado a agricultura cada vez mais eficiente e produtiva, e isso exige cada vez mais que o produtor rural tome iniciativas como o investimento em novos produtos, tecnologias e processos.

As novas tecnologias aplicadas à atividade agrícola são capazes de garantir maior qualidade aos produtos, a cada ano são lançados novos implementos que facilitam a utilização e manuseio por parte dos produtores ou operadores no campo, e os sensores são grandes aliados no desenvolvimento da agricultura de precisão, permitindo que você tenha informações de qualidade, porém ainda um pouco longe da realidade dos pequenos e médios produtores rurais.

Segundo Campos (2009), os dados obtidos através de equipamentos eletrônicos como os sensores, devem ser processados para se transformarem em informações úteis. Nesse contexto a utilização de um microcomputador com um programa computacional específico para aquisição de dados contribui de maneira importante com pesquisadores e produtores.

De acordo com Derlome (2017), outras vantagens deste sistema são a possibilidade de obter as leituras sem que necessite de interferência humana, monitoramento de forma mais rápida e dinâmica, em tempo real, com precisão aceitável, além de ser possível executar modificações e atualizações do sistema, inclusão de

dispositivos, possibilidade de implantação de algoritmos de filtragem de dados e de cálculos complexos que se realizam através do aplicativo, possibilitando a visualização de erros e a realização de correções ainda durante a atividade no campo.

De acordo com Vale (2011) dentre os custos operacionais as despesas com salário do operador e combustível são as mais elevadas em todas as operações analisadas por ele em seu trabalho.

Com isso, é sabido que uma análise das operações realizadas com os tratores será imprescindível para garantir um uso adequado resultando assim num rendimento máximo com menor custo.

Em virtude de que foi mencionado anteriormente, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver, testar e validar um sistema que possa suprir as necessidades referentes a análise do desempenho do trator, realizando ensaios que retornem dados confiáveis, de fácil manuseio e com custo de elaboração acessível.

2 METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido no laboratório de Máquinas e Motores (LAMOT), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe, UFS/SE.

O projeto foi idealizado em três etapas: desenvolvimento do sistema, testar e validar no campo.

2.1 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Para o desenvolvimento do sistema, foram realizados o desenvolvimento de *hardware* e o de *software*.

No desenvolvimento do *hardware* foram montados o microcontrolador Arduíno, realizou-se a montagem dos dispositivos referentes ao módulo *Ethernet-MicroSD Shield* e o desenvolvimento do esquemático de ligações eletrônicas.

No desenvolvimento do *software* foram realizados o desenvolvimento de um programa para o microcontrolador, utilizando a IDE do Arduíno, monitoramento e configuração dos parâmetros de leitura, bem como a comunicação dos dados via cabo para o *notebook* e seu armazenamento.

2.2 SISTEMA EMBARCADO

O Sistema Embarcado é onde se encontra o microcontrolador (ATmega 2560) que realiza a leitura dos sinais obtidos pelo sensor fluxômetro de combustível (Sensor OVAL

M-III modelo LSF41) e gravação dos dados. Este componente também é responsável pela transmissão de dados através de cabo para o *notebook*.

2.3 MÓDULO COLETOR

Este módulo é composto do sensor fluxômetro de combustível. O sistema tem a possibilidade de adicionar vários coletores (sensores) através das portas disponíveis (analógicas e digitais) no microcontrolador.

2.4 PLACA ARDUINO

O protótipo do sistema foi desenvolvido por meio de uma placa de desenvolvimento Arduino Mega, baseada no processador modelo ATmega 2560. A placa eletrônica Arduino foi utilizada para a coleta, registro, processamento e armazenamento de dados, além de possibilitar a interface com o usuário em tempo real.

Suas especificações e características básicas são a composição do processador ATmega 2560, tensão de operação de 5V, apresenta 54 portas digitais e 16 portas analógicas. O Arduino tem seu próprio ambiente de programação baseado na linguagem C++.

2.5 FLUXÔMETRO DE COMBUSTÍVEL

O fluxômetro de combustível utilizado foi o FLOWMATE OVAL MIII. Este sensor é fabricado pela OVAL Corporation, modelo LFS45, vazão de 1mL.pulso⁻¹. É alimentado por tensão contínua (12~24 V), faixa de temperatura de trabalho entre -20 e 80°C e vazão permitida de 1 a 100 Lh⁻¹. O princípio de funcionamento consiste em contabilizar a quantidade de volume de combustível por unidade de tempo.

2.6 CONSUMO HORÁRIO DE COMBUSTÍVEL

Os pulsos gerados pelo fluxômetro foram convertidos em volume, considerando a vazão de 1mL.pulso⁻¹.

O cálculo do consumo horário foi feito de acordo com a Equação (1).

$$Ch = \frac{Np \times 3,6}{t} \quad (1)$$

onde,

- Ch = consumo horário (L h⁻¹);
- Np = número de pulsos do fluxômetro;
- t = tempo de percurso nos 50 metros (s); e
- 3,6 = unidade de conversão para L h⁻¹.

O consumo volumétrico foi obtido com a média das leituras a cada 3 segundos de funcionamento durante o percurso de 50 metros. As médias das leituras obtidas pelo fluxômetro foram mostradas na tela do *notebook* em tempo real. As leituras do fluxômetro foram obtidas e convertidas em $L h^{-1}$.

Os pulsos gerados durante os ensaios foram enviados para a placa eletrônica Arduino onde foram convertidos em dados numéricos e posteriormente armazenados no micro cartão SD.

2.7 VALIDAÇÃO NO CAMPO

Foi realizado um teste de validação do sistema de consumo numa fazenda localizada no município de Arauá, em Sergipe, no dia 18 de abril de 2020, caracterizada por ter um solo latossolo pedozólico vermelho amarelo de textura média/argilosa sem cobertura vegetal.

Para o ensaio de avaliação e monitoramento do consumo horário de combustível foi utilizado um trator, conforme especificações dimensionais do trator agrícola utilizado, apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Especificações dos tratores agrícolas utilizados nos ensaios.

Trator modelo John Deere 6110 J 4x4	
Potência do motor na rotação nominal	110 cv a 2.300 rpm
Faixa de rotação com potência constante	1.500 – 2.300 rpm
Torque máximo	429 Nm a 1.400 rpm
Pneus	14.9-R1 e 23.1-30 R1
Massa (com lastro)	6.000 kg

Fonte: <https://www.deere.com.br/pt/index.html>

As marchas utilizadas foram A1, B1, B3 e C2, e suas respectivas velocidades teóricas de deslocamento (Quadro 2), com a tração dianteira auxiliar (TDA) do trator desacionada.

Quadro 1. Marchas utilizadas como tratamentos impostas ao trator e suas respectivas velocidades teóricas.

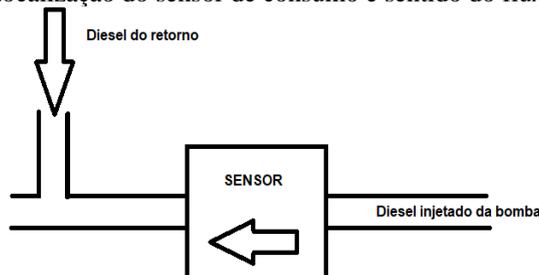
Tratamentos (Marchas)	Velocidade teórica ($km h^{-1}$)
A1	02,5
B1	05,3
B3	07,5
C2	10,1

Fonte: <https://www.deere.com.br/pt/index.html>

2.8 INSTALAÇÃO DO FLUXÔMETRO

O sensor foi instalado na linha de alimentação de combustível depois do primeiro filtro de combustível. No retorno dos bicos e bomba injetora, entre o medidor e a bomba de sucção, foi conectado um T, de forma a representar o sistema em um circuito fechado. Instalou-se antes e depois do sensor, uma mangueira de 2 m, para garantir que o fluxo do combustível pelo medidor seja laminar e não turbulento (Figura 1).

Figura 1. Localização do sensor de consumo e sentido do fluxo de diesel.



Fonte: autor

O sensor de consumo de combustível mensurou o consumo a partir do momento em que o diesel passou pelas engrenagens e as movimentou criando assim um pulso que foi transformado em vazão pelo código de programação do sistema. Visando criar um sistema fechado, um T foi acoplado após o sensor com o objetivo de impedir que a medição do combustível fosse superdimensionada. Desta forma, o excesso de combustível que volta do retorno da bomba injetora não passa novamente pelo fluxômetro, com assim, o diesel que já passou pelo sensor não é contabilizado novamente (Figura 1).

Conduziu-se o teste seguindo o delineamento inteiramente casualizado sendo os tratamentos 4 (quatro) marchas (A1, B1, B3, C1), com três repetições para cada marcha.

3 DISCUSSÃO E RESULTADOS

3.1 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O software para o microcontrolador foi desenvolvido por meio do ambiente integrado de desenvolvimento (IDE - Integrated Development Environment). Este ambiente fornece ferramentas e bibliotecas que otimizam o desenvolvimento de software.

Por meio do ambiente de programação do Arduino, foi desenvolvido um código (programa). O código tem a função de apresentar as informações obtidas pelos sensores, calcular o consumo horário e armazenar os dados no micro cartão SD.

O código funcionou muito bem realizando todos os procedimentos implementados no programa: comunicação com o sensor, registrando o consumo e armazenando no micro cartão SD.

3.2 CONSUMO

Com a mudança de marchas durante o percurso foi possível obter o consumo durante todo o percurso para cada marcha utilizada e em seguida uma média de cada uma delas (Tabela 1).

Tabela 1. Média dos valores de consumo de combustível ($L h^{-1}$) para cada marcha.

Tratamento	Média	CV (%)
Marcha A1	20,63	0,79
Marcha B1	21,88	1,32
Marcha B3	22,34	1,79
Marcha C1	22,77	1,45

Analisando os dados podemos observar que os valores de consumo horário, de cada marcha variou pouco. Isso mostra que o sistema desenvolvido conseguiu desempenhar seu trabalho de forma satisfatório. Não foi identificado valores discrepantes, isso pode ser observado nos baixos coeficientes de variação.

3.3 ORÇAMENTO

O aparato utilizado é composto por materiais encontrados no mercado local, exceto o sensor de fluxômetro, com o intuito de serem facilmente adquiridos e com um preço acessível. A Tabela 2 lista todos os produtos adquiridos para o desenvolvimento do sistema.

Tabela 2. Orçamento de materiais.

Material	Un	Qt	Preço Unitário	Preço Total
Pacote de fios jumpers	Un	2	R\$8,00	R\$16,00
MicroSD card	Un	1	R\$30,00	R\$30,00
Arduino Mega At2560 com cabo USB	Un	1	R\$65,00	R\$65,00
ProtoShield.	Un	1	R\$15,00	R\$15,00
Ethernet-MicroSD Shield W5100.	Un	1	R\$55,00	R\$55,00
Sensor OVAL M – III modelo LSF41	Un	1	R\$2.200,00	R\$2.200,00
Mangueira trançada 3/8	m	6	R\$3,12	R\$18,72
Emenda latão escama 3/8	Un	3	R\$5,12	R\$15,36
Tee latão 3/8	Un	1	R\$12,45	R\$12,45
Espigão latão macho	Un	2	R\$10,00	R\$20,00
Abraçadeira	Un	7	R\$0,77	R\$5,39
Total				R\$2452,92

O custo final do projeto foi de R\$ 2.452,92 conforme as discriminações e seus valores de componentes eletrônicos utilizados para sua elaboração e montagem.

3.4 CONCLUSÕES

O aparato foi desenvolvido com sucesso e pode ser utilizado no campo. Mostrou-se confiável, teve facilidade e rapidez na operação de aquisição de dados, é de baixo custo, acessível ao pequeno e médio produtor e não necessitou de qualquer interferência humana na aquisição, armazenamento e controle dos dados.

AGRADECIMENTOS

O presente projeto foi desenvolvido com apoio da Coordenação de Pesquisa (COPES) através da concessão de bolsa de PIBIC/Auxílio a Projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA. CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 412p. 2006.

CAMPOS, F. H. **Desenvolvimento de um programa computacional destinado à unidade móvel de ensaio na barra de tração (UMEB) para a avaliação do desempenho de tratores**. 2009.

CORRÊA JÚNIOR, D. **Desenvolvimento e validação de um sistema embarcado para monitoramento de operações agrícolas com tratores**. 2017.

VALE, W. G. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante as operações de roçagem, aração e semeadura**. 2011.