

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO
VIRTUAL NA UNIDADE MÓVEL DE ENSAIOS NA
BARRA DE TRAÇÃO - UMEB**

IVAN ROBERTO FONTES

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia (Energia
na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Setembro – 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO
VIRTUAL NA UNIDADE MÓVEL DE ENSAIOS NA
BARRA DE TRAÇÃO - UMEB**

IVAN ROBERTO FONTES

Orientador: Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças
Co-orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia (Energia
na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Setembro – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Fontes, Ivan Roberto, 1977-
F682d Desenvolvimento e aplicação da instrumentação virtual na
unidade móvel de ensaios na barra de tração - UMEB / Ivan
Roberto Fontes. - Botucatu : [s.n.], 2011
viii, 57 f. : fots. color, grafs., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Kléber Pereira Lanças
Coorientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra
Inclui bibliografia

1. Tratores agrícolas - Tração. 2. Ensaios de máquinas.
3. Aquisição de dados. 4. Máquinas agrícolas - Automação.
I. Lanças, Kléber Pereira. II. Guerra, Saulo Philipe Sebas-
tião. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesqui-
ta Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agro-
nômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL
NA UNIDADE MÓVEL DE ENSAIOS NA BARRA DE TRAÇÃO - UMEB"

ALUNO: IVAN ROBERTO FONTES

ORIENTADOR: PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA



PROF. DR. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA



PROF. DR. JOÃO ALBERTO BORGES DE ARAÚJO

Data da Realização: 01 de setembro de 2011.

Acredito muito na sorte... pois, quanto mais eu estudo e trabalho, mais sorte eu tenho !!!

DEDICO

A DEUS acima de tudo...

Aos meus queridos pais Paulo e Antonia

A minha amada esposa Graziele

A minha filha, princesa Sarah

A meu filho, príncipe Davi ...

Tudo posso naquele que me fortalece ...

(Fl 4,13)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder o dom da vida e a oportunidade de ter alcançado mais esta vitória.

Aos meus pais, Paulo e Antonia que me ensinaram a importância da honestidade e da luta diária para alcançar nossos objetivos. Casal maravilhoso, exemplo de vida, que me fez entender o verdadeiro sentido das palavras amor e família.

À minha querida esposa Grazielle e aos meus filhos Sarah e Davi, que sempre estiveram junto de mim em todos os momentos, suportando as tensões e me ensinando a cada dia como acordar com um belo sorriso e ver que temos muitos motivos para sermos felizes.

Aos Profs. Dr. Kléber Pereira Lanças e Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra pela oportunidade, pela confiança, orientação e compreensão em todas as fases do curso de mestrado, enfim por acreditarem.

À supervisão, encarregados, operadores e aos funcionários das Fazendas de Ensino, Pesquisa e Produção da UNESP, Campus de Botucatu, sempre atenciosos aos nossos pleitos e que nos deram todo apoio necessário.

Aos técnicos do Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Botucatu que nos auxiliaram na determinação das características físicas do solo, calibração, testes e aferição dos equipamentos e sensores utilizados nos ensaios.

À Coordenação do Curso de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura, Departamento de Engenharia Rural e Faculdade de Ciências Agrônômicas pela oportunidade de execução deste trabalho.

Não poderia deixar de agradecer aos amigos pós-graduandos do NEMPA: Guilherme Oguri, Gabriel Albuquerque de Lyra, Felipe de Córdova Machado, Diego Augusto Fiorese, Gustavo Kimura Montanha e Fabrício Campos Masiero, que estiveram sempre prontos para ajudar, sacrificando seus dias para colaborar nos ensaios.

Ao Técnico Emanuel Rangel Spadin que se dispôs a colaborar em todos os ensaios e no desenvolvimento da programação.

Por fim, a todas as pessoas, instituições e empresas que, de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho de pesquisa.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	01
2 SUMMARY	03
3 INTRODUÇÃO	04
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	06
4.1 Conceitos de automação	06
4.2 Automação na agricultura	08
4.3 Instrumentação virtual	10
4.4 Ensaio de desempenho na barra de tração de tratores	14
4.4.1 Avanços na instrumentação da Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração	17
4.5 Sistemas de aquisição de dados	19
4.6 Sensores	20
4.6.1 Sensores de pressão – Células de carga	21
4.6.2 Sensores de posição específica ou deslocamento – Encoders	23
4.6.2.1 Encoder incremental	24
4.6.2.2 Encoder absoluto	25
4.6.3 Sensores de vazão – Fluxômetro volumétrico	25
4.7 Comunicação de dados	27
4.8 Algoritmos	27
4.9 Linguagens de programação	28
5 MATERIAL E MÉTODOS	31
5.1 Material	31
5.1.1 Local do experimento	31
5.1.2 UMEB – Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração	32
5.1.3 Trator	33
5.1.4 Sensor de tração	34
5.1.5 Sensor de posição ou deslocamento	34
5.1.6 Sensor de consumo de combustível	36
5.1.7 Dispositivo de aquisição de dados	36
5.1.8 Microcomputador	37
5.1.9 Software LabView	38

5.2 Métodos	38
5.2.1 Aquisição de dados	38
5.2.2 Determinação da força de tração	40
5.2.3 Determinação da patinagem dos rodados	41
5.2.4 Determinação do consumo de combustível	42
5.2.5 Controle da força de tração	43
5.2.6 Ensaios	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1 Aquisição de dados e monitoramento do ensaio	45
6.2 Registro dos dados	46
6.3 Variáveis disponíveis para análise	47
6.4 Controle de frenagem e simulação de tração	48
7 CONCLUSÃO	51
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 - Instrumento virtual de avaliação de máquinas, (GARCIA, 2003)	13
2 - Sistema de aquisição de dados com micrologger, (JESUINO, 2006)	18
3 - Sistema de aquisição de dados com CLP, (GABRIEL, 2008)	19
4 - Sensor de pressão - Célula de carga	21
5 - Célula de carga montada na barra de tração do trator, (GARCIA et al., 2003)	23
6 - Sensor de deslocamento – Encoders	23
7 - Sistema de engrenagens do fluxômetro, (OVAL CORPORATION, 2008)	26
8 - Exemplo de programação gráfica em linguagem “G” – LabView	29
9 - Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração, (GABRIEL FILHO et al., 2008)	32
10 - Trator John Deere 7815	33
11 - Acoplamento da célula de carga ao cabeçalho da UMEB, (CAMPOS, 2009)	34
12 - Sensor de rotação da roda odométrica, (CAMPOS, 2009)	35
13 - Sensor de rotação dos rodados, (JESUINO, 2007)	35
14 - Detalhe do sensor de consumo de combustível, (CAMPOS, 2009)	36
15 - Módulo NATIONAL Instruments USB-6341	37
16 - Esquema de conexão do sistema de aquisição de dados e controle	39
17 - Esquema de ligação da célula de carga	40
18 - Esquema de ligação dos encoders	41
19 - Esquema de ligação dos fluxômetros	42
20 - Painel frontal do instrumento virtual	46
21 - Registro de dados resultantes dos ensaios de tração	47
22 - Comparativo da taxa de variação das forças de tração simuladas	49
23 - Comparativo das médias das forças de tração simuladas	50

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 - Variáveis disponíveis para análise	48

1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de instrumentação virtual aplicável à Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração (UMEB), pertencente ao Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais - NEMPA, do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA da UNESP, Campus de Botucatu - SP.

A UMEB foi construída a partir de um reboque (“trailer”) e adaptado para funcionar como um carro dinamométrico instrumentado, com a finalidade de realizar ensaios na barra de tração de tratores, fornecendo dados que auxiliam os fabricantes, possibilitando melhorias nos equipamentos.

O desenvolvimento deste projeto, teve como base a criação de um programa computacional capaz de controlar automaticamente o sistema de freios, regulando assim as forças de tração simuladas durante os ensaios de avaliação de desempenho de tratores agrícolas, monitorando e registrando os dados provenientes dos sensores utilizados na avaliação.

Foram realizados ensaios variando-se os valores de força de tração com a finalidade de avaliar o controle eletrônico de regulação das forças simuladas através da interface criada que permitiu ainda o monitoramento em tempo real dos valores mensurados, registrando-os para futuras análises.

Desta forma, a proposição da instrumentação virtual permite maior flexibilidade, conectividade, segurança e confiabilidade nos resultados dos ensaios realizados.

Por fim, o instrumento virtual desenvolvido atingiu seus objetivos reduzindo a probabilidade de erros nos resultados, garantindo melhor visualização em tempo real dos dados coletados e maior precisão na regulação das cargas de tração simuladas pela UMEB.

VIRTUAL INSTRUMENTATION OF A MOBILE DRAWBAR TESTER UNIT – UMEB. Botucatu, 2011. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: IVAN ROBERTO FONTES

Advisor: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

Co-advisor: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

2 SUMMARY

The objective of this research was to develop a virtual instrumentation system applicable to the Mobile Drawbar Tester Unit (UMEB) belonging to the Center of Testing Machinery and Tyres Agroforestry - NEMP, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Sciences - FCA of UNESP, Botucatu - SP.

The UMEB was built from a trailer ("trailer") and adapted to function work as an instrumented dynamometer car, with the purpose of testing the tractor drawbar, providing data to help manufacturers, enabling improvements in equipment.

The development of this project was based on creating a computer program able to automatically control the UMEB brake system, thus regulating shear forces simulated during the tests to assess performance of agricultural tractors and also record data from the sensors used in the evaluation .

Tests were conducted by varying the values of traction drawbar force to evaluate the electronic control of regulation of the simulated forces created through the interface that also allowed the real-time monitoring of measured values, recording them for future analysis.

Thus, the filing of virtual instrumentation allows greater flexibility, connectivity, security and reliability of the results of tests performed.

Finally, the developed virtual instrument brought to UMEB reducing the likelihood of errors in the results, better real-time visualization of collected data and more precise adjustment of the simulated tensile loads.

Keywords: Data Acquisition, Sensors, LabView, Automation, Virtual Instrumentation.

3 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da agricultura no mundo atual cresce cada dia mais, de forma intensa e especializada, nos mais diversos países. O Brasil, por sua vez, vem buscando através de suas instituições tecnológicas, acompanhar o desenvolvimento das novas tecnologias ligadas a instrumentação, a automação e a mecanização agrícola.

Observando esta tendência, os fabricantes de tratores agrícolas têm se deparado com a necessidade de inovar tecnologicamente seus equipamentos e produtos para torná-los mais competitivos e conquistar seus clientes, oferecendo produtividade, conforto e redução dos custos de produção.

Os sistemas eletrônicos embarcados têm se mostrado como a solução encontrada, pelos fabricantes de máquinas e implementos agrícolas, para o aumento da competitividade e satisfação de seus clientes. Estes novos sistemas cooperam nas análises de desempenho e produtividade auxiliando a tomada de decisão dos profissionais.

A eficiência de funcionamento do motor diesel de um equipamento pode ser visualizada tendo por base as curvas de desempenho, obtidas em ensaios à tomada de força, as quais relacionam a potência e o consumo específico do motor com o regime de funcionamento e com a carga a que o mesmo está sujeito. Dentro deste cenário, os laboratórios e as unidades móveis de ensaios, fornecem aos fabricantes, resultados referentes à eficiência de seus produtos, possibilitando que os mesmos, determinem ajustes, substituições ou ainda a reengenharia das máquinas e equipamentos antes mesmo do seu lançamento no mercado.

As possibilidades de um sistema de medição de parâmetros físicos do desempenho de tratores agrícolas, tais como: temperatura, pressão, rotação, vazão, dentre outros, dependem fundamentalmente do tipo de sensores que o constituem e da precisão do registro dos dados. Os sistemas mais habituais, de concepção relativamente simples, normalmente de custo reduzidos e desenvolvidos de forma a permitirem uma fácil adaptação a qualquer trator em condições de trabalho muito diversas, têm como sensores: radares, células de carga, sensores ópticos e sensores magnéticos de proximidade.

A aquisição de dados gerados por sensores é um dos principais problemas enfrentados por profissionais e pesquisadores na realização de ensaios de máquinas agrícolas. Assim, tem havido a necessidade de obter análises mais precisas que disponham de vários parâmetros, os quais devem ser monitorados e registrados, de maneira eficiente, tendo a maior veracidade e acurácia possível. Para tanto, se faz necessário a eliminação do maior número de erros possíveis nas variáveis do processo.

Dada a importância da precisão e da acurácia dos resultados do sistema de medição obtidos através da unidade móvel de ensaios na barra de tração, foi proposta a sua instrumentação virtual, aprimorando o processo de aquisição e coleta de dados utilizado na mesma.

Desta forma, o objetivo deste projeto foi desenvolver um instrumento virtual responsável pelo controle do sistema de frenagem, monitoramento, aquisição e registro automático de dados a serem utilizados na avaliação de máquinas agrícolas, buscando-se uma coleta de dados de forma eficiente e reduzindo possíveis erros.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Conceitos de automação

Com a premissa que não há riqueza sem produção, quer a nível individual quer a nível nacional, imediatamente conduz-se à conclusão de que o estudo dos sistemas produtivos e das tecnologias a si associadas, como o caso da Automação, está na frente dos assuntos que devem ser estudados de uma forma detalhada nos diversos ramos relevantes da engenharia, caso se queira ter um crescimento sustentável da sociedade, que garanta um aumento da qualidade de vida sem desperdiçar a longo prazo os recursos disponíveis.

Pires (2002), relata que desde o final da segunda grande guerra mundial houve uma notável evolução do pensamento acerca da produção industrial, devido ao aparecimento, não só, de novas áreas como a Investigação Operacional e a Cibernética, mas também, em grande medida, da evolução da Informática. Apesar desta evolução, da qual resultou uma primeira automatização dos sistemas produtivos, no início da década de 80 assistiu-se a um declínio da produtividade, essencialmente devido a uma mudança do mercado, o qual exige uma maior variedade de encomendas e diversificação dos produtos, tempos de desenvolvimento e produção menores, ciclos de vida dos produtos menores e a baixo custo, que levaram a uma inadequação dos sistemas produtivos às efetivas necessidades do mercado. Face a esta inadequação tornou-se fundamental uma maior integração de uma vasta gama de negócios associados ao processo produtivo, que vai desde a aceitação da encomenda do cliente, passando pela

produção propriamente dita, até à entrega dos produtos. A resposta encontrada foi ainda maior e mais abrangente automatização do processo produtivo, incluindo, para além do processo produtivo global em si mesmo (manufatura, montagem, inspeção, etc), também todas as fases a montante (encomenda, concepção, projeto, planeamento, etc) e a jusante (armazenagem, distribuição, manutenção, etc). Surge então, um novo conceito mais lato de Automação que, para além de incidir sobre o processo produtivo, incide também sobre os serviços a si associados. Daqui resultou uma tendência para uma maior organização e integração dos processos de negócio e produção, um aumento significativo do número de sistemas computacionais e do peso das tecnologias de informação e de decisão presentes na Automação, a qual se prevê ter a sua expressão máxima nas primeiras décadas deste novo século. Desta forma, a Automação evolui para uma disciplina multidisciplinar integrativa de várias áreas do saber que por si só têm a sua própria existência, mas que conjugadas com o objetivo de se obterem sistemas produtivos eficientes, ágeis e confiáveis, dão uma perspectiva muito mais lata ao conceito de Automação até então utilizado.

Bessa (2004) relembra que o termo “Automação” foi originalmente cunhado por um gerente de engenharia da Ford Motor Company em 1946, para descrever a variedade de dispositivos automáticos de transferência e mecanismos de alimentação, instalados nas plantas produtivas da Ford. Porém, atualmente, existem várias definições para automação, uma vez que a mesma pode ser aplicada nos mais diversos processos. Groover (2001) definiu a automação como a tecnologia pela qual um processo é completado sem a participação do ser humano. Para a sua implementação, utiliza-se um programa de instruções, combinado com um sistema de controles que executa as instruções. Esta definição estabelece limitações nas questões que envolvem a automação dos sistemas de manufatura. Esses sistemas, por serem intensos de mão-de-obra e operarem com alto grau de dependência da capacitação e habilidades dos operadores no “chão de fábrica”, necessitam simultaneamente da aplicação de níveis de automação cada vez maiores e a participação dos operadores do processo.

Nesta perspectiva, contrariando Groover, Slack et al. (2002) afirma que, nenhuma tecnologia opera totalmente sem a intervenção humana. Em alguma medida, todas necessitam de intervenção humana em alguma parte do processo. As tecnologias de processo variam em seu grau de automação. A relação entre o esforço tecnológico e o esforço humano que ela emprega é, algumas vezes, chamada de intensidade capital da

tecnologia de processo.

Gouvêa da Costa (2003) relacionou o conceito de automação ao conceito de Tecnologias Avançadas de Manufatura (AMT – Advanced Manufacturing Technology) e dentro desta abordagem define Tecnologia de Automação como: “AMT pode ser definida como o conjunto de recursos computacionais (software e hardware) desenvolvidos e utilizados para auxiliar a atividade de produção”.

As pesquisas envolvendo impactos da automação e da inovação tecnológica nas organizações mostram que os projetos de automação e de inovação tecnológica enfrentam barreiras naturais nas organizações (CARDOSO et al., 2004). Estas barreiras, se não forem devidamente identificadas e superadas, fazem com que os resultados obtidos fiquem abaixo dos resultados esperados, e em muitos casos não atinjam sequer objetivos de redução dos custos operacionais. As principais causas deste aparente fracasso para atingir os objetivos esperados pela automação residem exatamente no desequilíbrio que ocorre nas estruturas, processos e espaços organizacionais durante as fases de projeto, implantação e avaliação dos projetos de automação (MARQUES, 2004).

As considerações aqui apresentadas mostram um painel com alguns dos aspectos associam-se aos conceitos de automação industrial. Deve-se considerar ainda que, junto às novas tecnologias, também surgem novos conceitos teóricos e procedimentos e, ao se observar a evolução da história, pode-se constatar que o que é padrão de fato, permanece. O mais geral substitui o especialista, o mais barato e o mais comum. As novas tecnologias e sistemas operacionais de redes de computadores são os maiores representantes dessa realidade dentro do universo da automação nos dias de hoje.

4.2 Automação na agricultura

O emprego da tecnologia no campo vem se tornando um fator cada vez mais importante para a sobrevivência no mercado agrícola. O aumento da competitividade e das exigências do mercado gera a necessidade de processos de produção mais eficientes, capazes de gerar produtos com maior qualidade e com custos reduzidos. A pressão por um menor impacto no meio ambiente é também cada vez mais presente, principalmente no âmbito internacional (SARAIVA e CUGNASCA, 2000). Uma das vertentes deste processo de uso da tecnologia no campo é a automação dos processos

produtivos agrícolas, de forma similar à indústria.

Os avanços da microeletrônica na área industrial têm atingido diretamente os processos agrícolas, uma vez que podem ser percebidos pelo desenvolvimento de sistemas de controle de máquinas cada vez mais sofisticados, combinando componentes mecânicos, pneumáticos, eletroeletrônicos e ópticos. De acordo com Lastres e Albagli (1999), o microprocessador é o fator-chave para o novo conjunto interligado de inovações em computação eletrônica, engenharia de software, sistemas de controle, circuitos integrados e telecomunicações. A aplicação da microeletrônica para automação de processos agrícolas adquiriu enorme importância, resultado do avanço dessas novas tecnologias. Em qualquer processo, é comum a utilização de esteiras e pórticos rolantes, motores, elevadores e demais equipamentos. A automação e o controle desses dispositivos, por meio das tecnologias atualmente disponíveis, proporcionam um significativo aumento da capacidade de produção. Em circuitos de comando de máquinas e equipamentos mais complexos, observa-se a utilização em massa de Controladores Lógicos Programáveis (CLP's), Interfaces Homem-Máquina (IHM's), sensores magnéticos, sondas de temperatura, válvulas eletropneumáticas e demais. Toda a gama de novos equipamentos e sistemas de controle está marcada pela mudança do paradigma da utilização de componentes eletromecânicos para o novo paradigma dos equipamentos que utilizam eletrônica digital.

Antuniassi (2001), observa que o avanço do uso da eletrônica para o monitoramento e controle de sistemas agrícolas tem sido rápido, podendo ser considerado como uma revolução gerencial no uso dos equipamentos. Os sistemas microprocessados foram introduzidos no início dos anos 70, época em que era muito difícil disponibilizar sistemas de custo acessível. Atualmente, a eletrônica está disponível na forma de sistemas portáteis, de fácil instalação, baixo custo, possibilitando a adoção de dispositivos complexos para monitoramento e controle das operações. Os sistemas eletrônicos têm sido utilizados em diversos tipos de equipamentos agrícolas, variando desde semeadora, até sistemas complexos para automação e aplicação localizada de insumos.

Guimarães (2003), o crescimento do emprego da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas é motivado principalmente pela popularização do conceito de Agricultura de Precisão. A necessidade de se medir as variabilidades da produção e de melhor controlar as máquinas e os implementos agrícolas, gera uma

demanda por sistemas mais automatizados e integrados. As tecnologias mais apropriadas para os sistemas embarcados se baseiam em arquiteturas distribuídas devido a características necessárias como robustez, modularidade e facilidade de instalação e remoção. Existem diversos protocolos de comunicação usados em redes embarcadas, dentre eles destacam-se o RS 485 e o CAN Bus. Em aplicações agrícolas, o próprio protocolo CAN apresenta diversas implementações diferentes das quais se destacam a SAE J1939, DIN9684, ISO11783, e a ISOBUS.

Modolo (2003) ressaltou que a utilização de máquinas e equipamentos agrícolas, quando feita de maneira adequada, melhora a eficiência operacional, aumenta a capacidade efetiva de trabalho, facilita as tarefas do homem no campo, possibilita a expansão das áreas de plantio, proporciona melhores produtividades e permite atender ao cronograma de atividades em um tempo hábil.

Historicamente, os primeiros sistemas de instrumentação adotados em máquinas agrícolas de que se tem notícia surgiram na Europa e nos Estados Unidos, no começo do século passado, os quais indicavam o nível de combustível, a temperatura do líquido de arrefecimento, pressão do óleo, o sistema elétrico, número de horas e rotação do motor. Seguindo a tendência da indústria automobilística, a indústria de máquinas agrícolas passou a incorporar sistemas de monitoramento e controle com a finalidade de fornecer informações sobre o desempenho das máquinas para o operador registrar dados para análise posterior, automatizar procedimentos de controle das máquinas, otimizar o uso da máquina, evitando seu desgaste desnecessário e melhorar o uso de insumos nas operações de campo. Exemplos clássicos desses sistemas são os computadores de bordo para tratores, os quais monitoram variáveis do motor, do câmbio e do patinamento, controlando-as automaticamente, a fim de otimizar o uso da máquina (SARAIVA, 2003).

4.3 Instrumentação virtual

A instrumentação virtual foi originalmente concebida como uma ferramenta de desenvolvimento que automatiza procedimentos laboratoriais e industriais. Os métodos convencionais de instrumentação, além de onerar os orçamentos, não satisfaziam as necessidades de se ter diversos controle de dados e sinais ao mesmo tempo (TANER, 1997). As restrições da instrumentação convencional, junto às econômicas, permitiram que a instrumentação virtual estendesse seu raio de ação e fosse inserida em

computadores pessoais através de placas padronizadas para a aquisição de dados (GOLDBERG, 2000), mostrando-se assim, como uma ferramenta que oferece flexibilidade, com ampliados horizontes de aplicação.

Desta forma, o uso da instrumentação virtual tem se destacado também no contexto de controle e monitoramento de processos no âmbito industrial, na pesquisa e desenvolvimento da eletrônica embarcada (BECK, 2001).

O desenvolvimento e uso de laboratórios virtuais, onde estudantes e pesquisadores controlam instrumentos, muitas vezes específicos, de forma remota onde exista uma metodologia de coleta e análise de dados se mostra como uma das recentes atividades promissoras que une diferentes tecnologias para a elaboração de sistemas de controle sofisticados oferecendo certa segurança na troca de informações. Já existem em diversas partes do mundo, laboratórios virtuais que fazem uso da Internet para compartilhar informações entre equipes de trabalho na área industrial, entre alunos e pesquisadores na área acadêmica (AIM-LAB) – (National Institute of Standards and Technology), e entre equipes médicas (REGGIANI, 2000). Esses laboratórios são implementados em diversas áreas do conhecimento e com os mais diferentes propósitos. Podem apenas existir para consulta em banco de dados, bem como para simular ou controlar experiências e monitorar processos de controle de forma remota (BORGES, 2002).

O nome “instrumento virtual” deriva dos aspectos realistas de operação que dizem respeito aos instrumentos clássicos (CRISTALDI, 1999) como, por exemplo, voltímetros, osciloscópios entre outros, e foi originalmente concebida como uma ferramenta de desenvolvimento que automatiza procedimentos laboratoriais e industriais (MARINO, 2000).

Ribeiro (1999) define um instrumento virtual como uma camada de software, hardware ou de ambos, colocada em um computador de uso geral de modo que o usuário possa interagir com o computador como se fosse um instrumento eletrônico tradicional projetado pelo próprio usuário. Do ponto de vista do usuário, é muito difícil ver rapidamente as diferenças entre os pacotes de software. O que se vê na tela do computador não dá imediatamente um entendimento da filosofia de base. Diferente de um hardware, em que se pode abrir a caixa e olhar dentro, a arquitetura no software é abstrata e não é imediatamente visível para um olho nu. Para dar um exemplo, quando se tem um computador pessoal com um circuito de aquisição de dados embutido, que instrumento

virtual pode ser construído? Para um electricista, o instrumento poderia funcionar como voltímetro, osciloscópio, digitalizador ou mesmo um analisador de espectro. Para um instrumentista ou operador de processo, o instrumento pode funcionar como indicador, registrador, controlador ou chave de atuação. A única diferença entre o instrumento convencional e o virtual é o programa computacional e por isso tem-se a idéia que o software é o instrumento.

Kögler (2004), descreve o instrumento virtual como um sistema formado por um computador mais um instrumento de medida ou equipamento de comando (reais), colocados em comunicação. Um programa executando no computador torna o instrumento ou o controlador acessível ao operador através de uma interface gráfica de software. Essa interface é dotada de botões, chaves, mostradores, indicadores, painéis de exibição de gráficos, entre outros, apresentados como objetos interativos, animados sob ação do operador através do apontador do mouse. O instrumento conectado ao computador pode ser desde um equipamento completo, como um osciloscópio ou mesmo um simples sensor como um termopar ou um extensômetro. No paradigma de instrumentação virtual, o computador é usado tanto para operar do instrumento, quanto para conduzir o experimento, conforme for conveniente. Nessa visão, a interface conceitual associada ao computador deve prover a mesma funcionalidade que a interface conceitual que um instrumento real apresentaria ao usuário. Ou seja, através da tela do computador, de seu teclado e mouse, o usuário deve ser capaz de operar os instrumentos ou conduzir o experimento, tal qual faria usando os controles do instrumento real. Evidentemente que essa funcionalidade será limitada pelas características do software de instrumentação virtual.

Para apreciar como as várias partes de um instrumento virtual se juntam, é importante rever como a instrumentação evoluiu até o estado presente. Na evolução da instrumentação nos últimos cem anos, é importante notar que os instrumentos têm sempre alavancado a tecnologia usada. No século XIX, o movimento de joalheria do relógio foi usado para construir instrumentos analógicos. Na década de trinta, o capacitor variável, resistor variável e válvula dos rádios foram usados para construir o primeiro instrumento eletrônico. A tecnologia do display da televisão foi usada em osciloscópios e analisadores. Hoje, os computadores pessoais contribuem para a computação de alto desempenho, display, captura e armazenamento de dados. Os instrumentos também evoluíram em termos de flexibilidade e grau de integração aos sistemas.

Na Figura 1 pode-se observar o exemplo de um instrumento virtual

utilizado por GARCIA (2003) para avaliação de máquinas.

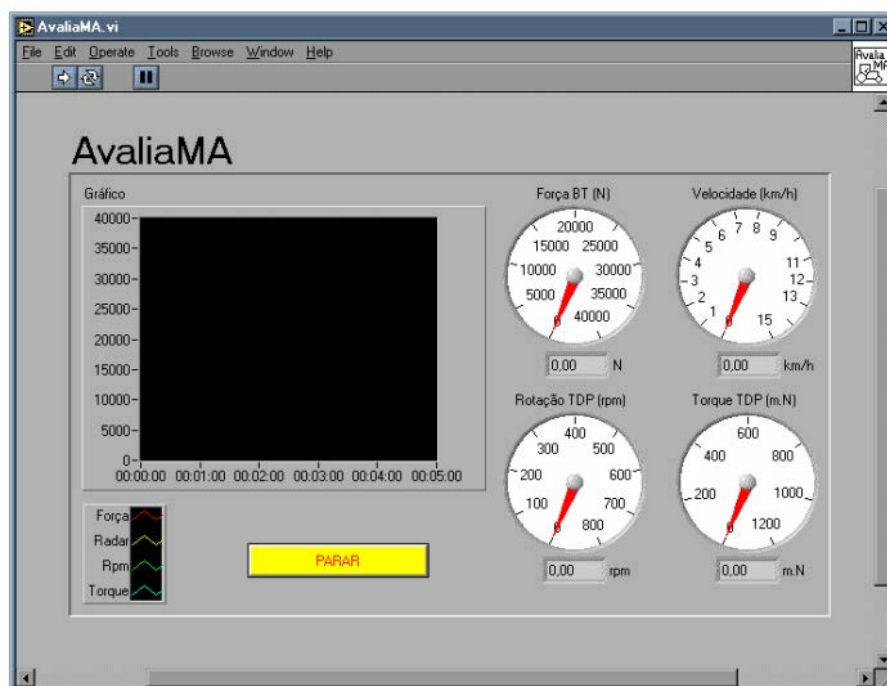


Figura 1. Instrumento virtual de avaliação de máquinas (GARCIA, 2003).

Ribeiro (1999) afirma que, com a invenção da interface de instrumentos, os sistemas puderam ser criados para serem controlados manualmente ou através de um computador. Cada instrumento era projetado para uma aplicação específica e um número de instrumentos eram empilhados em um painel (rack) para completar o sistema de medição. Hoje, os instrumentos são uma combinação de computadores de uso geral, software gráfico, instrumento programável e digitalizador. Estes instrumentos modernos otimizam o desempenho usando programas baseados em registro, memória compartilhada e potência de processamento avançada. Os instrumentos modernos também combinam condicionamento e roteamento sofisticados de sinal e gatilhamento inteligente. As principais vantagens que estes instrumentos dão ao usuário são: alta potência, facilidade de desenvolvimento e facilidade de reconfiguração para tarefas diferentes.

O sistema de instrumentação virtual pode ser descrito por quatro parâmetros: modelamento de programação, estrutura de controle, latência e dispositivos específicos. O primeiro parâmetro está relacionado ao modelo de programação, ou seja, a programação é gráfica, ou seja, não sendo necessário digitar linhas de códigos para a execução de determinada atividade. O segundo parâmetro que descreve a instrumentação virtual é a estrutura de controle, composta de diagramas de blocos que executam

sequências lógicas e são dispostos de forma a executar o controle de um processo. A latência citada como terceiro parâmetro está relacionada ao tempo de resposta entre a mensagem do software e os instrumentos, relacionando o tempo em que um instrumento leva para responder a um comando vindo de um software. E para completar, os dispositivos específicos como, por exemplo, osciloscópios e fontes de tensão que formam o conjunto descrito definido como o quarto parâmetro de um sistema de instrumentação virtual (BORGES, 2002).

Ribeiro (1999) destaca ainda, que outro aspecto da tecnologia que permite o uso de computadores pessoais na instrumentação é a padronização dos componentes usados para fazer o sistema. Praticamente, todos os componentes, do barramento de entrada e saída de sinais e os barramentos de comunicação, até as mensagens que são passadas entre os subsistemas têm sido padronizados. No passado, os projetos proprietários levaram a sistemas fechados que atormentavam o integrador da aplicação e resultavam em sistemas que não se comunicavam ou interfaceavam com nenhum outro. Usando sinais padronizados por normas, o sistema fica facilmente elaborado para as necessidades específicas do usuário. Estas normas incluem: SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments), GPIB (IEEE-488/488.2), VXI (IEEE-1155), PC BUS (IEEE-996). O SCPI é um desenvolvimento interessante na instrumentação virtual, quando ele promete finalmente, um conjunto comum de comandos para instrumentos relacionados, um conjunto comum de comandos para medições idênticas de instrumentos diferentes e um método para representar dados em um formato comum, o formato intercambiável de dados (DIF - Data Interchange Format). O DIF permite o desenvolvedor concentrar-se na aplicação, em vez de concentrar-se na comunicação com os instrumentos.

4.4 Ensaio de desempenho na barra de tração de tratores

O ensaio de trator em solo agrícola é uma das maneiras de obter informações, principalmente no que diz respeito ao seu desenvolvimento de tração. Esses ensaios visam à obtenção de informações sobre o desempenho dos rodados, relacionados com as características da interação com o solo (MIALHE, 1996).

Os tratores usam motores a combustão interna para se mover, tracionar implementos e máquinas agrícolas. As perdas de potência aparecem ao

desenvolver tração pelas rodas, no eixo da TDP (tomada direta de potência) e sistema hidráulico. O desempenho de um trator agrícola pode ser avaliado pela força e potência desenvolvida na barra de tração, potência e torque na tomada de potência, eficiência de tração, patinagem das rodas motrizes e consumo de combustível (SILVA; BENEZ, 1997).

A maneira mais comum de utilização da potência desenvolvida pelo motor é através da barra de tração devido a sua versatilidade, porém é a menos eficiente, quando comparada a TDP e ao sistema hidráulico (SORANSO, 2006).

Segundo Gabriel Filho et al. (2002), o baixo desempenho na barra de tração ocorre devido a alguns fatores, como tipo de solo, distribuição de peso sobre os rodados, características do rodado, transferência de peso durante operação, cobertura vegetal, entre outros.

Uma preocupação dos pesquisadores diz respeito à eficiência no consumo de combustível, pois representa um custo elevado no processo produtivo, além de ser de origem fóssil e não renovável. O consumo de combustível é influenciado por fatores como lastro, carga demandada na barra de tração, tipo de pneu e velocidade de deslocamento (LOPES et al. 2003). Outro problema que afeta o desempenho do trator é o patinamento das rodas motrizes, ao qual estão diretamente relacionados a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível. O valor do patinamento para se obter a máxima eficiência de tração deve ficar entre 8 a 10% para solos sem mobilização, 11 a 13% em solos revolvidos e de 14 a 16% em solos arenosos segundo a ASAE (1989).

A maior parte do tempo na produção agrícola é gasto em atividades utilizando o trator agrícola como elemento motriz, que é utilizado tanto para transporte como para arrastar implementos no campo devido à transformação da potência do motor em potência de tração, sendo que qualquer melhoria com relação ao desempenho da transformação de energia em força de tração contribuirá com a redução de custos no setor agrícola.

Srivastava et al. (1996), afirmam que a transformação da energia química contida nos combustíveis, em energia mecânica, possibilita que um trator possa fornecer energia através da tomada de potência ou por meio de seu sistema hidráulico; porém, é através da barra de tração que a utilização dessa energia gerada é mais comum, pois permite tracionar máquinas e implementos agrícolas.

A capacidade de tração e fornecimento de potência suficiente para desempenhar a maioria das operações necessárias na agricultura depende, em parte, do tipo

de dispositivo de tração. Nos casos em que esses dispositivos são pneumáticos, o tamanho, pressão de inflação, a carga aplicada sobre o eixo motriz, a transferência de peso, entre outros, interferem na capacidade de tração do trator.

Ao realizarem ensaios de campo na barra de tração de um trator agrícola, medindo o consumo de combustível em diversas condições de esforço trativo e potência na barra para a determinação das curvas de combustível, Bernardes e Balastreire (1999) observaram que, para o consumo de combustível ser reduzido de maneira considerável, é necessário que o trator tenha no mínimo 16 marchas para que se consiga trabalhar faixas de velocidades mais econômicas, uma vez que se pode ter maior possibilidade de escalonamento de velocidades.

Lopes et al. (2003) avaliaram o desempenho de um trator em função do tipo de pneu, lastragem e velocidade de trabalho, através dos resultados obtidos puderam concluir que a combinação do tipo de pneu e da marcha selecionada, evidenciou a superioridade do pneu radial na variável potência na barra de tração, e que a combinação de condição de lastragem e marcha selecionada nas variáveis potencia na barra de tração e capacidade de campo efetiva reforçam a importância da lastragem com líquido nos pneus do trator para trabalhar a 4,57 km h⁻¹ em uma operação de preparo de solo com escarificador

No ensaio na barra de tração, determinam-se a força de tração e o consumo de combustível do trator, alternando as diversas marchas na caixa de câmbio, ao mesmo tempo em que se traciona uma carga, obtendo-se, assim, dados de velocidade em diversas rotações. Quando o motor gira em determinada rotação, dividindo - se os valores obtidos de potência na barra de tração com aqueles da potência na tomada de potência, obtêm - se os diversos rendimentos da transmissão, e a média entre eles. Com estas informações, obtêm-se índices que representam a eficiência energética dos tratores (YANAI et al., 1999).

Yanai et al. (1999) estudaram o desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. O trator foi submetido a uma força de tração constante na barra de tração, imposta por outro trator. Através dos resultados concluíram que a pressão de inflação influenciou significativamente nos parâmetros patinagem, velocidade de deslocamento e potência na barra de tração sem, no entanto apresentar tendência de comportamento. O uso da tração dianteira auxiliar mostrou vantagens significativas em relação aos mesmos parâmetros anteriores. A interação dos fatores

pressão de inflação e carga sobre o rodado mostrou que determinadas combinações de pressão foram mais favoráveis para o desenvolvimento de maior velocidade e menor patinagem. As características relacionadas ao desempenho do motor (consumo horário e rotação do motor) não foram afetadas por nenhum dos fatores e/ou suas interações.

Arrivo e Di Renzo (1998), criaram um sistema de aquisição e um programa de processamento de dados para medir a força de tração, a velocidade de deslocamento, a rotação e o torque da tomada de potência (TDP), a pressão e o fluxo do sistema hidráulico e a profundidade de trabalho, em tempo real, de implementos sob condições de campo, mostrando-se versátil e capaz de ser combinado para atender às demandas de pesquisas específicas.

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).

O monitoramento do desempenho do trator tem sido do interesse de pesquisadores a mais de três décadas, tendo como objetivo principal otimizar o desempenho do trator para aumentar a eficiência durante a realização do trabalho (SILVA; BENEZ, 1997).

Em geral, para a realização de ensaios de desempenho na barra de tração de tratores são utilizados dispositivos simuladores de carga baseados em alto índice de massa e em sistemas de freios pneumáticos.

4.4.1 Avanços na instrumentação da Unidade Móvel de Ensaios na Barra de Tração

A UMEB (Unidade Móvel de Ensaios na Barra de Tração) começou suas atividades de ensaios no ano de dois mil e seis. Desta data até o momento, ocorreram várias melhorias, dentre as quais podemos citar a recuperação e pintura da

lataria, o acréscimo de lastro, à troca do sistema de eixo simples para o sistema tandem, incorporação de um gerador elétrico à diesel e um compressor de ar.

A instrumentação da unidade teve início com a instalação de sensores e com o monitoramento individual dos mesmo através de indicadores eletrônicos e os registros de dados executado por um micrologger CR 23X da CAMPBELL como pode ser observado na Figura 2 (JESUINO, 2006).



Figura 2. Sistema de aquisição de dados com micrologger (JESUINO, 2006).

Com o avanço da tecnologia, os painéis com indicadores eletrônicos e o micrologger foram substituídos por um Controlador Lógico Programável - CLP e uma Interface Homem Máquina – IHM como o destacado na Figura 3 :

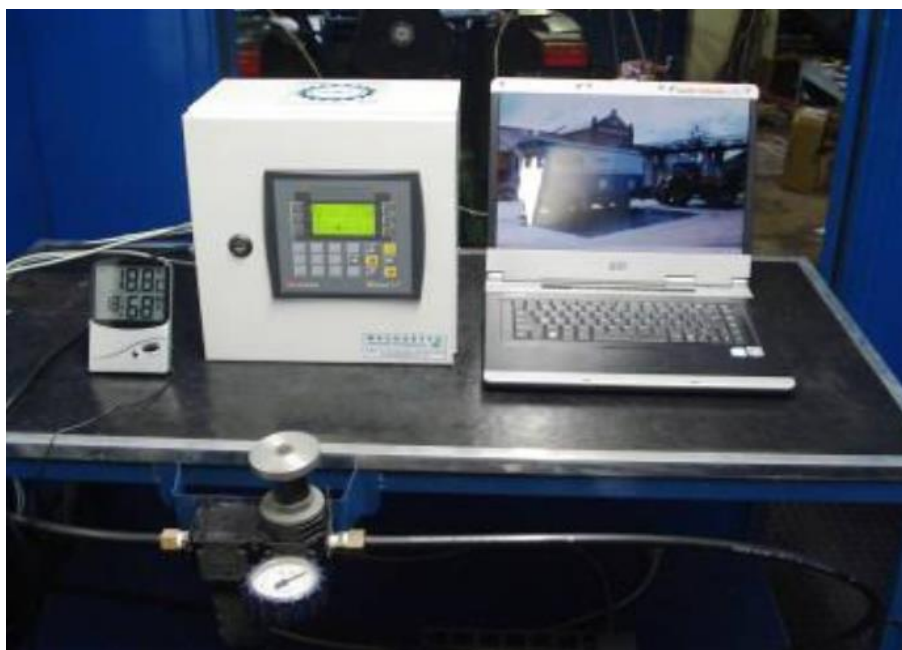


Figura 3. Sistema de aquisição de dados com CLP (GABRIEL, 2008).

4.5 Sistemas de aquisição de dados

Os sistemas de aquisição de dados baseiam-se no mesmo princípio de utilização de sensores e permitem aos investigadores a coleta, o registro e o tratamento posterior das informações (SERRANO et al., 2003). Em geral, são constituídos por condicionadores de sinais, conversores analógicos/digitais, interfaces de comunicação para a transferência das informações digitais e programas computacionais de gerenciamento e processamento de dados (TAYLOR, 1997).

Zolnier et al. (2001) utilizaram estes sistemas de aquisição de dados para realizar medições simultâneas de temperatura do ar, temperatura da superfície, umidade relativa do ar, velocidade do ar, radiação solar e radiação fotossinteticamente ativa. Estes sistemas têm sido utilizados em pesquisas relacionadas com a otimização das técnicas de resfriamento evaporativo para a propagação vegetativa de plantas e estimativa da evapotranspiração em cultivos hidropônicos sob ambiente protegido.

Oliveira (2002) relata que os processos químicos, físico-químicos ou mesmo linhas de montagem seriadas possuem diversos tipos de variáveis de processo que necessitam ser monitoradas e controladas automaticamente em tempo real. Estas variáveis de processo são capturadas através da utilização de diferentes tipos de sensores ou transdutores que interagem com o processo, proporcionando uma saída, normalmente

na forma de sinal elétrico, que é transmitida a dispositivos de controle que processarão estes sinais em uma malha de controle antes da aquisição destes dados.

Levando-se em consideração as mais diversas situações, Castelli e Mazzetto (1996) desenvolveram um sistema que realiza o registro automático dos dados, em nível de campo, procurando dispor de informações apropriadas para o planejamento e gerenciamento estratégico, de todas as atividades e recursos.

O desenvolvimento de softwares de processamento de dados georeferenciados, a disponibilidade de controladores em tempo real e o desenvolvimento de sensores eletrônicos têm permitido o monitoramento das atividades com aquisição de dados com maior confiabilidade e de forma instantânea. Porém isso não é suficiente, é preciso entender e analisar os dados, o que poderá ser feito com o auxílio de softwares (FERNANDES et al., 2006).

Devido à complexidade do sistema, a necessidade de calibração e custo do processo automático de coleta de dados, muitos pesquisadores encontram dificuldades para a utilização de técnicas avançadas de monitoramento.

4.6 Sensores

Thomazini e Albuquerque (2005), definem “sensor”, como o termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc. Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente, o sinal de saída deve ser manipulado antes da sua leitura no sistema de controle, passando geralmente por um dispositivo condicionador de sinais que funcionam como um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador.

Horowitz e Hill (1997) definem em seus trabalhos “transdutores”, como os sensores que convertem grandezas físicas, como temperatura, luminosidade, magnetismo, peso, aceleração, intensidade do som, em grandezas elétricas, gerando sinais que podem ser manipulados por circuitos eletrônicos, quantificados por um conversor analógico-digital e analisados por computadores ou "dataloggers".

A National Instruments descreve os sensores como dispositivos que

mudam sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer direta ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Quando operam diretamente, convertendo uma forma de energia neutra, são chamados transdutores. Os sensores de operação indireta alteram suas propriedades, com resistência, capacitância ou indutância, sob a ação de uma grandeza de forma proporcional.

Pode-se definir, desta forma, que os sensores são dispositivos capazes de monitorar a variação de uma grandeza física e transmitir esta informação a um sistema em que a indicação seja intelegível para nós ou para o elemento de controle do sistema. A maior parte dos sensores é de transdutores elétricos, pois eles convertem a grandeza de entrada para uma grandeza elétrica, que pode ser processada por um circuito elétrico ou eletrônico.

4.6.1 Sensores de pressão – Células de carga

Uma célula de carga (Figura 4) é um transdutor que converte força de tração, compressão, flexão ou torque em uma tensão de saída proporcional. Em sua grande maioria, utilizam-se do princípio da resistividade natural dos materiais para variar a resistência de um de seus elementos em função da carga aplicada. Na prática são fitas metálicas a serem submetidas ao esforço de tração ou compressão e que têm suas seções, transversal e longitudinal, alteradas devido a esse esforço imposto. São utilizados, na confecção destas fitas extensiométricas, metais que possuem baixo coeficiente de temperatura para que exista uma relação linear entre resistência e tensão em uma faixa mais ampla. Vários são os metais utilizados na confecção da fita extensiométrica.



Figura 4. Sensor de pressão - Célula de carga.

Segundo Thomazini e Albuquerque (2007), o princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um extensômetro (strain-gauge) quando submetido a uma deformação, ou seja, a célula de carga mede a deformação da peça a ser medida pela sua própria deformação e traduz em variação de resistência ôhmica. Essa variação decorre do estreitamento da seção transversal do extensômetro.

Os extensômetros usualmente são colocados sobre uma peça metálica de alumínio, aço ou liga de cobre-berílio, denominada corpo da célula de carga e são inteiramente solidários à sua deformação. A força atua, portanto, sobre o corpo da célula de carga e a sua deformação é transmitida aos extensômetros, que por sua vez medirão sua intensidade. Obviamente que a forma e as características do corpo da célula de carga devem ser objeto de um meticuloso cuidado, tanto no seu projeto quanto na sua execução, visando assegurar que a sua relação de proporcionalidade entre a intensidade da força atuante e a consequente deformação dos extensômetros seja preservada tanto no ciclo inicial de pesagem quanto nos ciclos subsequentes, independentemente das condições ambientais.

Uma vez que a quantidade de deslocamento por tração ou compressão é determinada, a força correspondente é calculada pelos parâmetros mecânicos do material. A razão da força pela deformação é uma constante para cada material, como definido pela lei de Hooke.

Trintin et al. (2005) utilizaram um sistema de aquisição de dados para medida da força de tração em uma semeadora-adubadora de plantio direto. Para determinar a força de tração, foi utilizada uma célula de carga nivelada horizontalmente, inserida entre o trator e a semeadora. Os dados obtidos foram armazenados em um datalogger e posteriormente transferidos para um computador.

Da mesma forma, Bortolotto et al. (2006) utilizaram uma instrumentação semelhante à anterior para determinação da demanda energética de uma semeadora-adubadora sob diferentes velocidades de deslocamento e tipos de cobertura vegetal. Para tanto, foi utilizado, um sistema de armazenamento de dados da marca Campbell Scientific, modelo CR 23X, para monitorar e exibir os dados da célula de carga e dos geradores de impulso.

Garcia (2003) também utilizou uma célula de carga como um de seus sensores, para avaliar o desempenho de uma colhedeira de feijão como pode-se

observar na Figura 5:



Figura 5. Célula de carga montada na barra de tração do trator. (GARCIA et al., 2003).

4.6.2 Sensores de posição específica ou deslocamento – Encoders

São sensores que atuam por transmissão de luz. Determinam a posição através de um disco ou trilho marcado, onde a fonte de luz é geralmente um LED – Diodo Emissor de Luz e o sensor é um fotodiodo ou fototransistor.

Os sensores de rotação, também conhecidos como gerador de pulsos ou ainda encoders (Figura 6), são equipamentos eletromecânicos, utilizados para conversão de movimentos rotativos ou deslocamentos lineares em impulsos elétricos de onda quadrada, gerando uma quantidade exata de impulsos por volta em uma distribuição perfeita ao longo dos 360 graus de giro do eixo.



Figura 6. Sensor de deslocamento – Encoders.

Funcionam por barreiras de luz infra-vermelha, utilizando um disco

ótico de “n” pontos fixo ao eixo que, quando entra em rotação, o disco ótico interrompe e libera a passagem da luz, gerando impulsos luminosos que são convertidos em sinais elétricos e depois são requadrados e amplificados, gerando uma saída digital com número de pulsos igual à quantidade de ranhuras no disco ótico .

Rosário (2005) definiu o encoder como um transdutor que converte um movimento angular ou linear em uma série de pulsos digitais elétricos. Estes pulsos gerados podem ser usados para determinar velocidade, taxa de aceleração, distância, rotação, posição ou direção. Suas principais aplicações são: em eixos de robôs; controle de velocidade e posicionamento de motores elétricos; posicionamento de antenas, telescópios e radares, além de medição de grandezas de forma direta ou indireta.

Podem ser divididos em duas categorias distintas, os encoders incrementais e os absolutos.

4.6.2.1 Encoder incremental

Os sinais de saída de um encoder óptico incremental são constituídos de um trem de pulsos, gerados a partir de LEDs (diodos emissores de luz) provenientes de dois sensores defasados de 90° colocados em um disco óptico, o que permite o aumento da resolução e a determinação da direção. Ao mesmo tempo, outro sensor detecta uma marca disposta no disco óptico, possibilitando assim a obtenção de um pulso de inexactidão, utilizado como ponto de inicialização do sistema (ROSÁRIO, 2005).

O encoder incremental fornece normalmente dois pulsos quadrados defasados em 90°, que são chamados usualmente de canal A e canal B. A leitura de somente um canal fornece apenas a velocidade, enquanto que a leitura dos dois canais fornece também o sentido do movimento. Um outro sinal chamado de Z ou zero também está disponível e ele indica a posição absoluta “zero” do encoder. Este sinal é um pulso quadrado em que a fase e a largura são as mesmas do canal A. A resolução do encoder incremental é dada por pulsos/revolução (chamado de PPR), isto é, o encoder gera uma certa quantidade de pulsos elétricos por uma revolução dele próprio (no caso de um encoder rotativo). Para determinar a resoluções, basta dividirmos o número de pulsos por 360°. A precisão do encoder incremental depende de fatores mecânicos, elétricos e ambientais, que são: erros na escala das janelas do disco, excentricidade do disco, excentricidade das janelas, erro introduzido na leitura eletrônica dos sinais, temperatura de

operação e nos próprios componentes transmissores e receptores de luz.

A partir de um tratamento lógico, normalmente realizado por meio de circuitos-integrados dedicados para a discriminação do sentido e a contagem da rotação, podem ser obtidas as posições absolutas do sistema robotizado. O processamento das informações provenientes de um encoder óptico incremental requer a implantação de um circuito eletrônico digital de tratamento e monitoramento do sinal de inexactidão disponível no mercado com algoritmos de controle, programáveis externamente.

4.6.2.2 Encoder absoluto

O princípio de funcionamento de um encoder absoluto é bastante similar ao funcionamento de um encoder incremental, isto é, ambos utilizam o princípio das janelas transparentes e opacas, com estas interrompendo um feixe de luz e transformando pulsos luminosos em pulsos elétricos.

A diferença entre o incremental e o absoluto é que a posição do encoder incremental é dada por pulsos a partir do pulso zero, enquanto a posição do encoder absoluto é determinada pela leitura de um código e este é único para cada posição do seu curso, consequentemente os encoders absolutos não perdem a real posição no caso de uma eventual interrupção da tensão de alimentação. Quando for restabelecida a alimentação ao sistema, a posição é atualizada e disponibilizada para o mesmo, graças ao código gravado no disco do encoder, e com isso, não se precisa ir até a posição zero do encoder para saber a sua localização como ocorre no caso do incremental. Em outras palavras, não existe a necessidade de uma inicialização de posição (Rosário, 2005).

Sciavicco e Siciliano (2000), em seus estudos, afirmam também que, objetivando-se evitar problemas de medidas incorretas (medidas consecutivas) utiliza-se como código de saída o código binário Gray.

4.6.3 Sensores de vazão – Fluxômetro volumétrico

Sensores de vazão são transdutores que permitem a mensuração da quantidade volumétrica de uma determinada substância que transpassa pelo seu interior, também denominados fluxômetros.

O fluxômetro é um medidor de fluxo ou vazão de líquidos e gases.

Existem vários tipos de fluxômetro, sendo que os mais comuns usam engrenagens dispostas no caminho do fluxo a ser medido. Quanto maior for o fluxo, maior é a rotação das engrenagens. No caso de um fluxômetro eletromecânico, a rotação de uma engrenagem é convertida em tensão (saída proporcional) ou em pulsos por unidade de fluxo (saída por pulsos). A Figura 7 apresenta o sistema de engrenagens de um medidor de fluxo (OVAL CORPORATION, 2008).

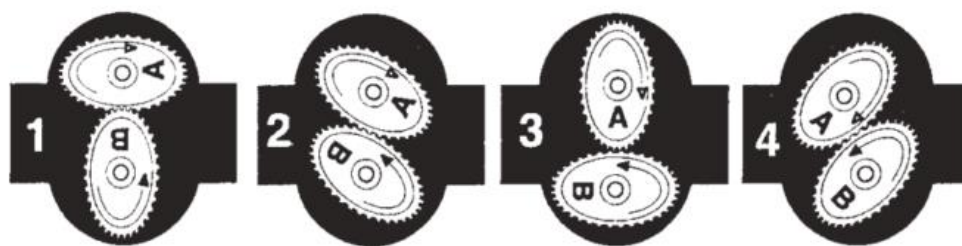


Figura 7. Sistema de engrenagens do fluxômetro (OVAL CORPORATION, 2008).

O consumo de combustível pode ser apresentado conforme Mialhe (1996) em unidades de volume por unidade de tempo ($L.h^{-1}$), onde não se considera a influência da variação da temperatura e nem relaciona com a potência desenvolvida.

De acordo com Lopes et al. (2003), outra forma de apresentar o consumo de combustível é por meio de unidade de massa por unidade de tempo ($kg.h^{-1}$). Apesar de considerar a influência da temperatura, também não contempla a potência, por isso a maneira mais completa de apresentar o consumo de combustível é por meio de unidade de massa por unidade de potência ($g.kW.h^{-1}$), porém a forma de apresentação mais usual do consumo de combustível é em $L.h^{-1}$.

No trabalho realizado por Lopes et al. (2003), estes utilizaram um medidor de fluxo montado em série com sensores de temperatura, onde a temperatura foi usada no cálculo do consumo. Para a determinação do consumo específico foi necessária a instalação de uma célula de carga para medida da força de tração demandada durante as operações. Os dados eram enviados para um sistema de aquisição de dados que permitia a leitura dos mesmos em uma planilha do Excel®. Com base em equações foi possível calcular o consumo por hora ($L.h^{-1}$) corrigido pelo efeito da temperatura e o consumo específico ($g.kW.h^{-1}$).

4.7 Comunicação de dados

A comunicação de dados estuda os meios de transmissão de mensagens digitais para dispositivos externos ao circuito originador da mensagem. Dispositivos externos são, geralmente, circuitos com fonte de alimentação independente dos circuitos relativos a um computador ou outra fonte de mensagens digitais.

Um canal de comunicação é um caminho sobre o qual a informação pode trafegar. Ela pode ser definida por uma linha física (condutor) que conecta dispositivos de comunicação, ou por um rádio, ou laser, ou outra fonte de energia radiante.

Na comunicação digital, a informação é representada por bits de dados individuais, que podem ser encapsulados em mensagens de vários bits. Um byte (conjunto de 8 bits) é um exemplo de uma unidade de mensagem que pode trafegar através de um canal digital de comunicações. Uma coleção de bytes pode ser agrupada em um “frame” ou outra unidade de mensagem de maior nível. Esses múltiplos níveis de encapsulamento facilitam o reconhecimento de mensagens e interconexões de dados complexos.

Dentre as principais interfaces de comunicação, destacam-se as seriais (RS-232, RS-422, RS-485 e USB) e a paralela (DB9 e DB25, normalmente utilizada por impressoras).

4.8 Algoritmos

O algoritmo do ponto de vista matemático, pode ser definido como um conjunto de regras formais que poderão ser utilizadas para a resolução de um grupo de problemas semelhantes. Pode-se dizer também que é um conjunto de regras formais para a obtenção de um resultado ou da solução de um problema (FORBELLONE e EBERPACHER, 2000), englobando fórmulas de expressões aritméticas.

Do ponto de vista computacional, um algoritmo pode ser descrito basicamente de duas formas: uma gráfica e outra textual (BERG e FIGUEIRÓ, 1998), sendo considerado gráfico quando se utiliza diagrama de blocos ou diagrama de quadros e textual quando baseado em um algoritmo natural ou numa linguagem de projeto de programação.

Para Evaristo e Crespo (2000), o algoritmo é uma sequência de instruções, cuja execução resulta na realização em uma determinada tarefa. De uma maneira natural, alguns tipos de algoritmos estão presentes no nosso dia a dia, não necessariamente envolvendo aspectos computacionais.

Num sentido mais amplo da definição deste termo pode ser entendido como sendo um processo sistemático para a resolução de um determinado problema (SZWARCFITER e MARKENZON, 1994). Assim sendo, o termo algoritmo pode ser entendido, do ponto de vista computacional, como a definição de passos a partir do entendimento lógico de um problema realizado por um programador com o objetivo de transformar este problema em um elemento (um programa) que seja possível de ser tratado e executado por um computador.

4.9 Linguagens de programação

Lima (2008) define linguagem de programação como um método padronizado para expressar instruções para um computador. É um conjunto de regras sintáticas e semânticas usadas para definir um programa de computador. Através da linguagem de programação, pode-se projetar a forma como os dados serão armazenados, movidos e em quais momentos eles serão utilizados, servindo justamente para permitir-nos utilizar os recursos do computador para criar métodos de automatização de tarefas.

Becker (2006) ressaltou que as linguagens de programação também tornam os programas menos dependentes de computadores ou ambientes computacionais específicos (propriedade chamada de portabilidade). Isto acontece porque programas escritos em linguagens de programação são traduzidos para o código de máquina do computador no qual será executado em vez de ser diretamente executado. Uma meta ambiciosa do Fortran, uma das primeiras linguagens de programação, era esta independência da máquina onde seria executada.

Segundo Paglis (2002), a primeira linguagem de programação que surgiu, foi a linguagem assembly. Esta linguagem era exatamente um conjunto de instruções para um processador específico, ou seja, os comandos correspondem, um a um, ao conjunto de instruções de uma CPU – Unidade central de processamento. Estas linguagens são de baixo nível e difíceis de se compreender. As instruções que tem

significado para as pessoas são montadas em linguagem de máquina através de um montador assembly. A primeira linguagem de programação de alto nível amplamente usada foi a Fortran, criada em 1954.

Com o advento dos ambientes gráficos de programação e visando simplificar a tarefa de quem desenvolve aplicações que manipulam dados de instrumentos, surgiram as chamadas linguagens de programação visual (KÖGLER, 2004). Uma dessas linguagens, é usada pelo software de programação LabVIEW. Ela é denominada “G” e tem a mesma potencialidade de uma linguagem textual, como “C” ou “Pascal”, por exemplo. Entretanto, seus comandos são apresentados de forma gráfica, como ícones interconectados através de ligações, formando o programa. O programa escrito em linguagem “G” constitui a base do instrumento virtual do LabVIEW (Figura 8).

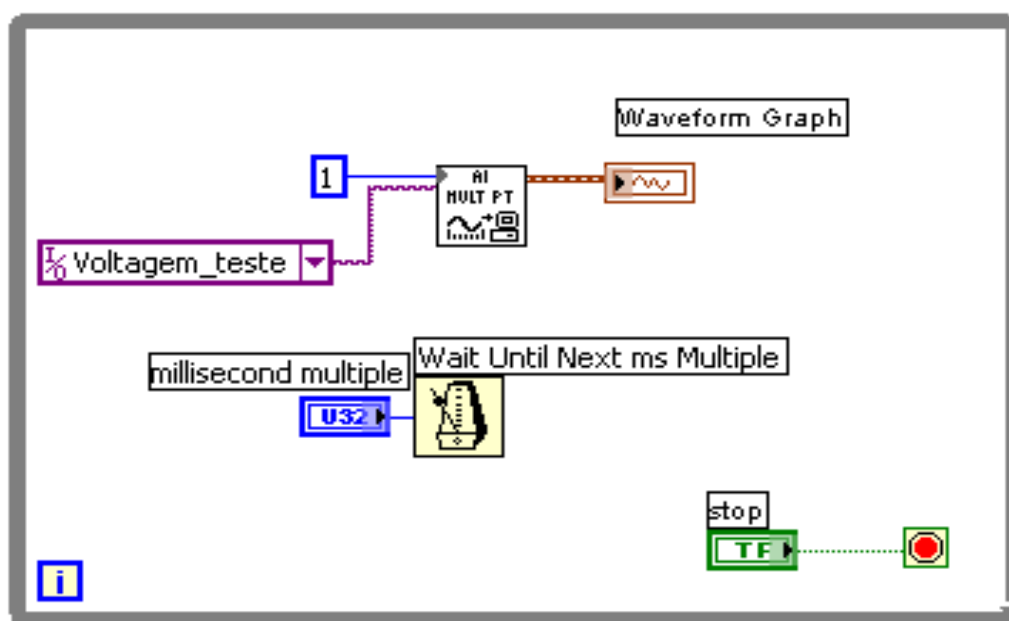


Figura 8. Exemplo de programação gráfica em linguagem “G” - LabView.

Na Figura 8, o contorno cinza não se trata de uma moldura e sim de uma representação gráfica de uma estrutura programada para repetição.

Utilizando o programa LabVIEW, Thomopoulos (2001) desenvolveu um sistema controlador automático para um dinamômetro, para controle e monitoramento de motores, capaz de fornecer operação manual e automática e monitorar, exibir e armazenar grande volume de dados, a taxas de leituras elevadas, referente ao desempenho do sistema.

Serrano (2007) utilizou uma aplicação do software Labview® para

controle do processo de aquisição, tratamento e armazenamento de dados durante os trajetos dos ensaios. Já Garcia et al. (2003) utilizaram o programa Labview 6i e desenvolveram um aplicativo denominado AvaliaMA para aquisição automática de dados, com a função de apresentar os dados, enquanto lidos, em tela, na forma gráfica e numérica, em tempo real. O aplicativo AvaliaMA foi programado para criar e abrir um arquivo para armazenagem dos dados, adquirir dados provenientes de sensores, célula de carga, torquímetro, sensor indutivo e sensor de velocidade, a uma taxa e frequência de leitura definida, bem como realizar operações aritméticas com os valores lidos e armazenar os dados em arquivo de texto.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

5.1.1 Local do experimento

O projeto foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo.

Os ensaios para a verificação e validação do instrumento virtual desenvolvido para a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração - UMEB, foram realizados nas pistas pertencentes ao NEMPA – Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais, do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA. As coordenadas geográficas da área experimental (ponto central), onde estão localizadas as pistas são: 22°51'04"S, 48°25'42"W e altitude de 770m.

Para o desenvolvimento do projeto foram utilizados os seguintes equipamentos:

UMEB – Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração;

Trator marca John Deere modelo 7815;

Célula de Carga marca LIDER modelo N400;

Encoders marca S&E Instrumentos modelo E2A1A;

Fluxômetro marca OVAL Corporation modelo LSF41;

Dispositivo de Aquisição de Dados e Controle marca NATIONAL Instruments

modelo USB6341;

Notebook marca LENOVO modelo T410;

Software de programação para Instrumentação virtual LABVIEW versão 8.5;

Válvula proporcional de pressão marca FESTO modelo VPPE-3-1/8-6-010;

Fonte de Alimentação marca GW modelo GPS-3030D;

5.1.2 UMEB – Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração

Em operação desde junho de 2006, a UMEB (Figura 9) é um equipamento desenvolvido para realizar ensaios de tratores agrícolas e florestais. Foi construída a partir de um reboque tipo casa (trailer) onde foram instalados inicialmente painéis eletrônicos com indicadores de força de tração instantânea e integrada, de rotação das quatro rodas do trator, da tomada de potência, roda odométrica e do consumo de combustível. A esses painéis foi acoplado um datalogger. Estes equipamentos permitem a leitura e o armazenamento dos sinais enviados pelos sensores instalados no trator. Utilizado em pesquisas desenvolvidas na Faculdade de Ciência Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP- Campus de Botucatu SP, o equipamento tem despertado interesse não apenas dos agricultores, mas também dos fabricantes de máquinas e equipamentos agrícolas, pneus e tratores.



Figura 9. Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração (GABRIEL FILHO et al., 2008).

Conforme MONTEIRO et al. (2007), LANÇAS et al. (2007) e GABRIEL FILHO et al. (2008), a unidade possui a massa total de 12.000 kg, sustentados por um eixo simples e dois eixos em tandem e trabalha como um carro dinamométrico instrumentado utilizado na avaliação de desempenho de tratores agrícolas submetidos a ensaios de tração.

O controle de tração simulada é feito através de um sistema de freios acionado por meio de válvula pneumática, sendo a frenagem obtida por tambores nas seis rodas. A forma de acionamento desse freio foi modificada para permitir o comando dentro da UMEB. Um compressor de ar acionado por um gerador à diesel, uma válvula controladora de pressão manual (manômetro) e um conjunto de tubulações foram instalados para que o operador possa regular a força desejada na barra de tração do trator submetido ao ensaio. (MONTEIRO et al., 2007, LANÇAS et al., 2007 e GABRIEL FILHO et al., 2008)

5.1.3 Trator

Durante a realização dos ensaios foi utilizado um trator da marca John Deere, modelo 7815 (Figura 10) com 147kW(200cv) de potência do motor na rotação nominal e 121kW (165cv) de potência na TDP para tracionar a UMEB, gerando dados de deslocamento, patinagem, consumo de combustível e carga para a avaliação do sistema.



Figura 10. Trator John Deere 7815.

5.1.4 Sensor de tração

A força exigida na barra de tração foi mensurada através de uma célula de carga marca LIDER, modelo N400, com sensibilidade de 2,16 mV/V e escala nominal de 100 kN (Figura 11) com capacidade de medir tração. A célula de carga foi instalada no cabeçalho da UMEB, onde uma de suas extremidades permanece fixa à estrutura do carro dinamométrico e a outra extremidade é conectada a extensão da barra de tração. Sendo que, quando o trator inicia o movimento para o arrasto da carga, a força de tração é exercida na célula de carga possibilitando a mensuração e o controle da força na barra de tração através do acionamento do freio pneumático e enviando estes dados para o programa computacional de instrumentação e controle.

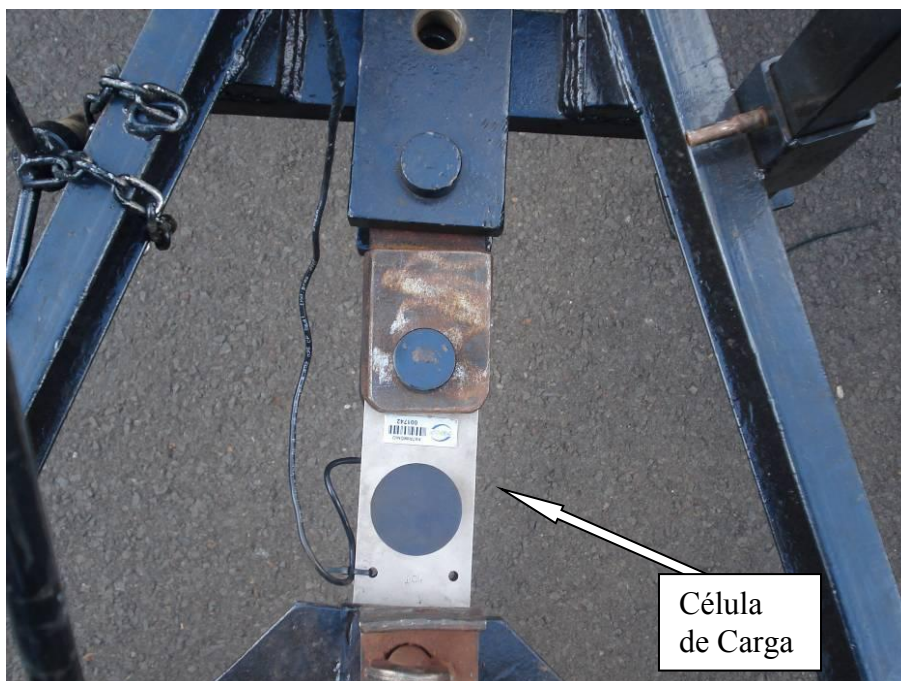


Figura 11. Acoplamento da célula de carga ao cabeçalho da UMEB (CAMPOS, 2009).

5.1.5 Sensor de posição ou deslocamento

Para a detecção dos movimentos das rodas do trator e ainda da roda odométrica, foram utilizados sensores de rotação (encoders) da marca S&E Instrumentos, modelo E2A1A, de 60 pulsos e velocidade máxima de 10.000 rpm, que por sua vez serve de base para o cálculo de deslocamento real e a patinagem dos rodados do trator durante os

ensaios.

Na Figura 12 pode-se observar a instalação do sensor de rotação na roda odométrica responsável pela leitura da distância real percorrida.

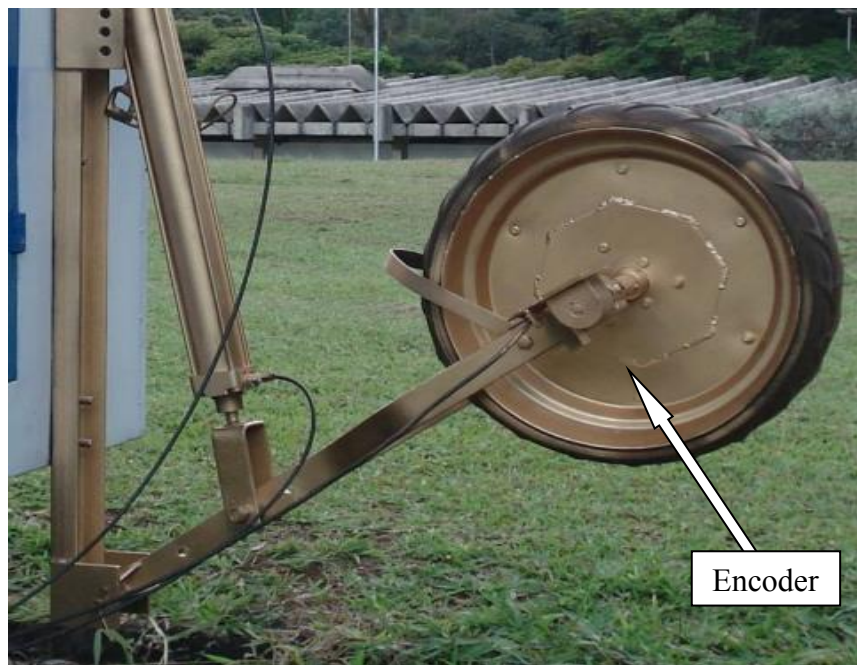


Figura 12. Sensor de rotação da roda odométrica (CAMPOS, 2009).

Os demais sensores de rotação foram instalados nos rodados dianteiros e traseiros do trator com a finalidade de realizar a leitura de deslocamento que fornecerá os índices de patinagem do trator, como pode-se observar na Figura 13:

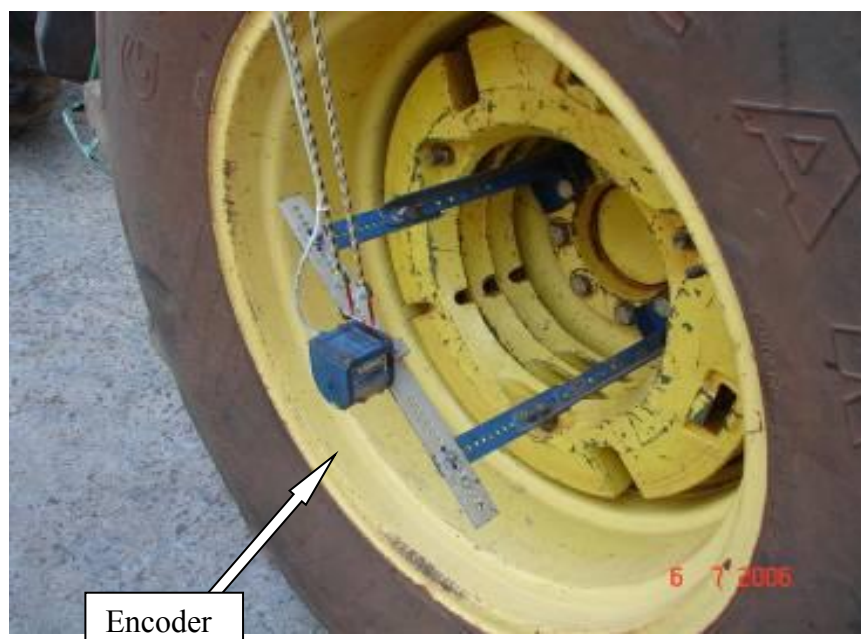


Figura 13. Sensor de rotação dos rodados (JESUINO, 2007).

5.1.6 Sensor de consumo de combustível

O consumo de combustível foi mensurado através de dois fluxômetros volumétricos da marca OVAL, modelo LSN41L8-M2 (Figura 14). A bomba injetora do trator, sempre envia mais combustível do que o trator necessita para evitar sua falta durante a operação e o combustível não utilizado pelo motor retorna novamente ao tanque de combustível do trator. Por este motivo o fluxômetro (1) foi instalado na admissão de combustível do trator e realiza a medição da entrada de combustível no motor e o fluxômetro (2) situa-se no retorno do combustível para o tanque e mensura a quantidade de combustível não utilizado. Sendo o consumo real obtido através da diferença do fluxômetro (1), pelo fluxômetro (2).

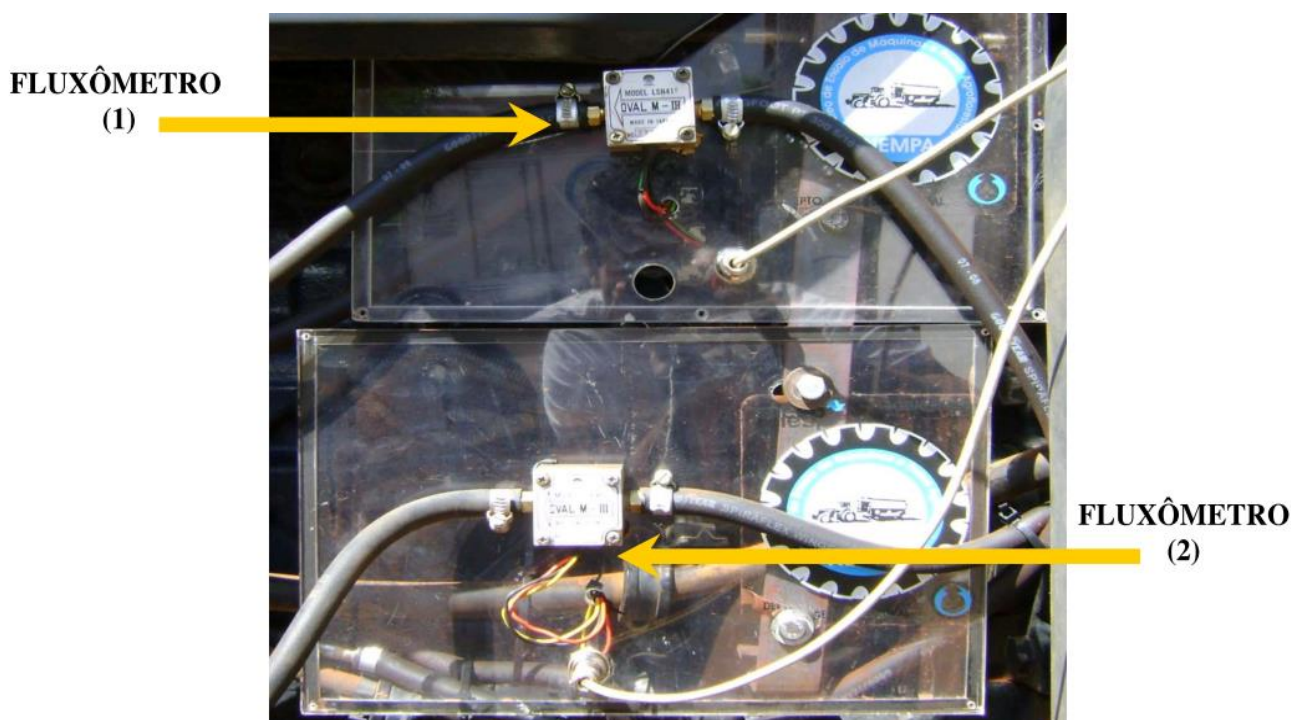


Figura 14. Detalhe do sensor de consumo de combustível (CAMPOS, 2009).

5.1.7 Dispositivo de aquisição de dados

O dispositivo de aquisição de dados utilizado no sistema de instrumentação virtual foi um módulo DAQ na National Instruments modelo USB-6341 (Figura 15), que possui 24 canais digitais, podendo ser configurados como entradas ou saídas, 4 contadores, 16 canais de entradas analógicas simples ou 8 canais de entradas analógicas diferenciais, 2 canais de saída analógica e 2 fontes de +2,5V e +5V para

excitação externa (Figura 42).



Figura 15. Módulo NATIONAL Instruments USB-6341

O DAQ foi conectado ao notebook através de uma conexão USB. Um dos maiores benefícios da conexão USB – Universal Serial Bus é a facilidade de uso obtida com a conectividade plug-and-play, que possibilita rápidas configurações. Os principais sistemas operacionais como Windows, Mac e Linux oferecem suporte nativo para USB, e a maioria dos computadores industriais, laptops e interfaces homem-máquina industriais contém portas USB. O USB possui troca a quente, por isso não é necessário desligar o computador para adicionar ou remover um dispositivo e a alimentação do barramento frequentemente elimina a necessidade de fontes externas.

5.1.8 Microcomputador

Para programação, controle, monitoramento e compilação dos dados, foi utilizado um notebook LENOVO T410, com 4Gb de memória RAM, 260Gb de *Hard Disk*, e processador Intel Core I5.

5.1.9 Software LabView

O software utilizado no desenvolvimento deste projeto foi o LabVIEW, o qual teve sua origem em abril de 1993. Esta linguagem de programação gráfica pertencente à National Instruments, com principal campo de aplicação na técnica de medição e na automatização.

A programação deste software é realizada através do modelo data flow, o qual oferece a esta linguagem vantagens para a aquisição de dados e sua manipulação. Os programas LabView são chamados de instrumentos virtuais ou simplesmente VI's. Estes programas são compostos por um painel frontal, responsável por abrigar a interface com o usuário compostos por controles e indicadores das mais variadas formas e por um diagrama de blocos que contém o código gráfico do programa. Cada elemento presente no painel frontal possui um terminal correspondente no diagrama, através do qual, informações podem ser lidas desse ou escritas para esse elemento, seja ele um controle ou indicador, respectivamente.

Essa característica presente no ambiente LabVIEW, de funcionalidades descritas através de ícones e não na forma textual usual, introduz uma importante diferença na forma como o fluxo de execução acontece em um dado trecho de código. Em códigos baseados em linguagens textuais, as instruções são executadas sequencialmente na exata ordem em que aparecem. Em um diagrama, no entanto, onde as funcionalidades foram especificadas de forma gráfica, cada bloco ou elemento é executado no momento em que todas as entradas necessárias à sua execução encontram-se definidas. Essa característica bastante diferenciada pode ser muito útil na criação de trechos de código que devem ser executados em paralelismo aparente, em linhas separadas, mas também pode apresentar alguma dificuldade quando se deseja atribuir certo sincronismo a alguns trechos do diagrama.

5.2 Métodos

5.2.1 Aquisição de dados

Para realização dos ensaios, os sensores de tração, rotação, de consumo de combustível assim como a válvula proporcional foram conectados no

dispositivo de controle e aquisição de dados conforme Figura 16:

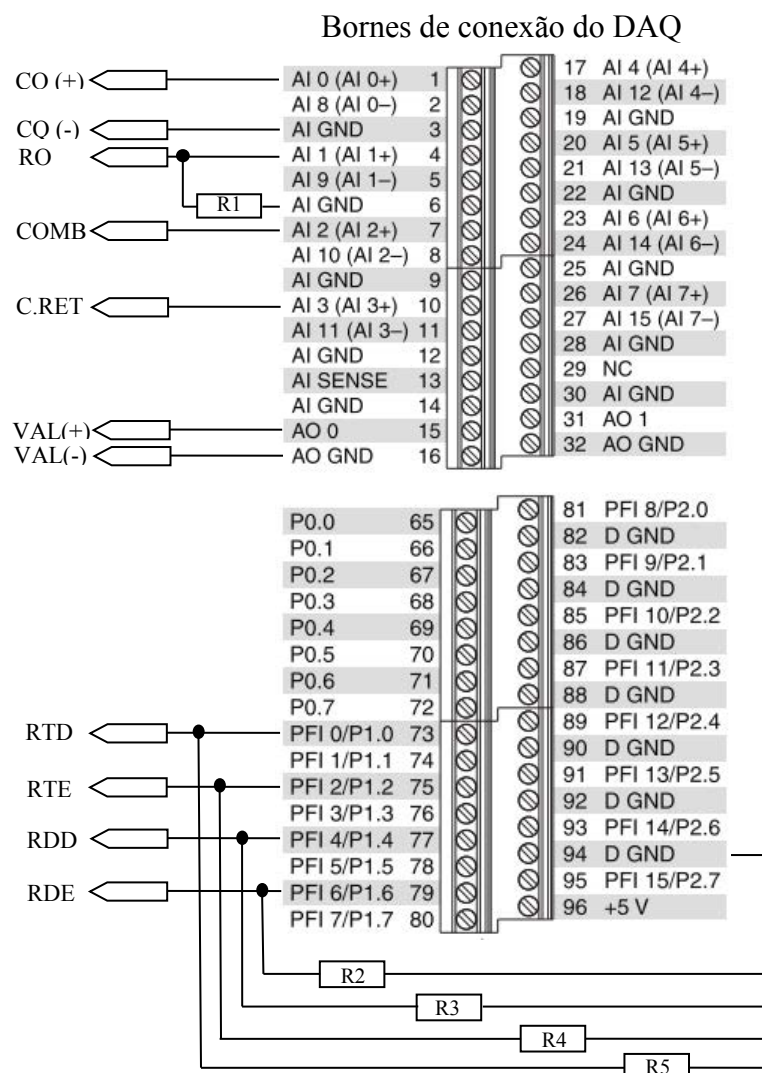


Figura 16. Esquema de conexão do sistema de aquisição de dados e controle.

Onde:

CQ(+) = Entrada de sinal positivo da célula de carga

CQ(-) = Entrada de sinal negativo da célula de carga

RO = Entrada de sinal da roda odométrica

COMB = Entrada de sinal do fluxômetro de injeção de combustível

C.RET = Entrada de sinal do fluxômetro de retorno de combustível

RTD = Entrada de sinal do encoder do rodado traseiro direito

RTE = Entrada de sinal do encoder do rodado traseiro esquerdo

RDD = Entrada de sinal do encoder do rodado dianteiro direito

RDE = Entrada de sinal do encoder do rodado dianteiro esquerdo

VAL(+) = Saída de sinal positiva para a válvula proporcional

VAL(-) = Saída de sinal negativo para a válvula proporcional

R1, R2, R3, R4 e R5 = Resistores de 1,5KΩ

5.2.2 Determinação da força de tração

A célula de carga (CQ) utilizada possui quatro fios, sendo dois para excitação e dois para saída de sinal. A excitação da célula foi fornecida por uma fonte de corrente contínua de 24V e as saídas de sinal conectadas aos terminais 1 e 3 do DAQ, como pode-se observar na Figura 17.

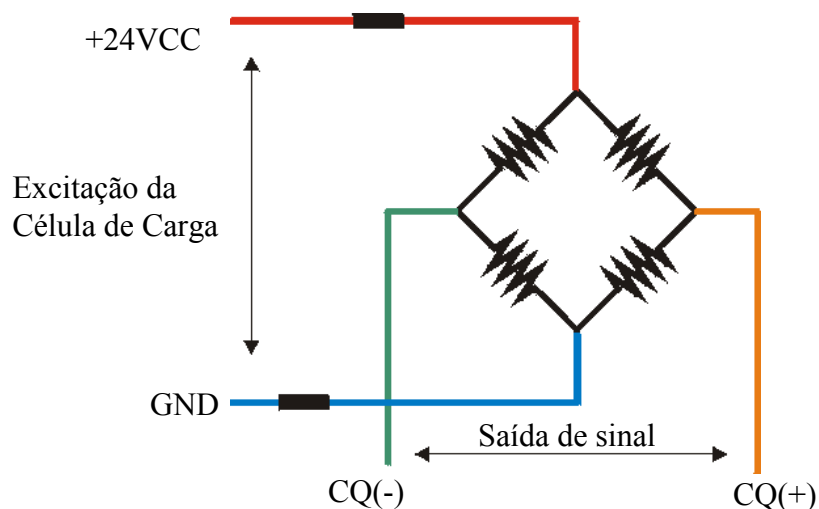


Figura 17. Esquema de ligação da célula de carga.

De acordo com as características específicas da célula de carga utilizada, quando a mesma é excitada por uma fonte de 24V, o sinal de saída pode variar de -48mV a +48mV proporcionalmente a deformação sofrida por tração ou compressão.

Os sinais gerados pela célula de carga foram armazenados pelo instrumento virtual e posteriormente analisados. Com os valores obtidos, a força de tração média foi determinada pela equação:

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{t_p}$$

onde:

F_i = força de tração instantânea (kN/s)

F_m = força de tração média (kN)

tp = tempo de percurso na parcela (s)

5.2.3 Determinação da patinação dos rodados

Os sensores de rotação utilizados possuem três fios, sendo dois deles destinados a alimentação fornecida pela fonte de corrente contínua de 24V e um terceiro fio que fornece um pulso de sinal variável entre 21V e 24V. Porém, os contadores de pulso do dispositivo de aquisição de dados (DAQ) possuem um escala de leitura de 0 a 10V. Devido a esta condição de incompatibilidade, foi necessário acrescentar resistores de $1,5K\Omega$ paralelamente à cada contador utilizado, criando assim uma queda de tensão no resistor e gerando um pulso de 0 a 5V. Através da Figura 18 pode-se observar as ligações elétricas dos encoders (RO, RTD, RTE, RDD e RDE):

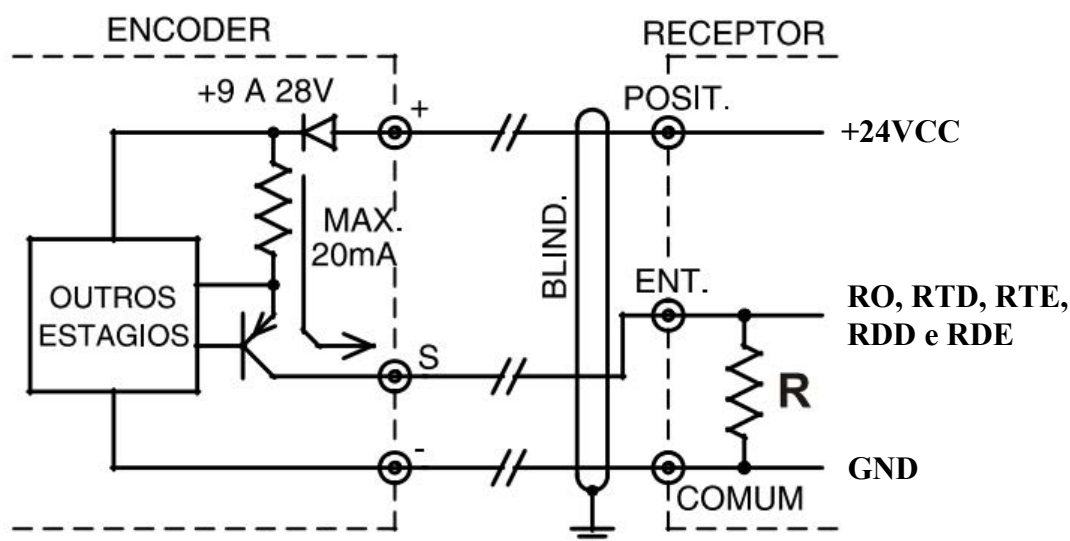


Figura 18. Esquema de ligação dos encoders.

Foi possível determinar a patinação através dos sinais recebidos dos geradores de pulsos instalados nos rodados, dianteiro e traseiro e utilizando a equação:

$$Pat = \frac{N_1 - N_0}{N_0}$$

onde:

Pat = patinagem das rodas motrizes (%)

$N0$ = Número de pulsos sem carga

$N1$ = Número de pulsos com carga

5.2.4 Determinação do consumo de combustível

Os fluxômetros utilizados possuem três fios, sendo dois responsáveis pela alimentação do sensor com +24Vcc e o terceiro fio fornece um pulso de tensão a cada “ml” de combustível que por ele passa. Através da Figura 19 pode-se observar as representações gráficas das conexões do fluxômetro.

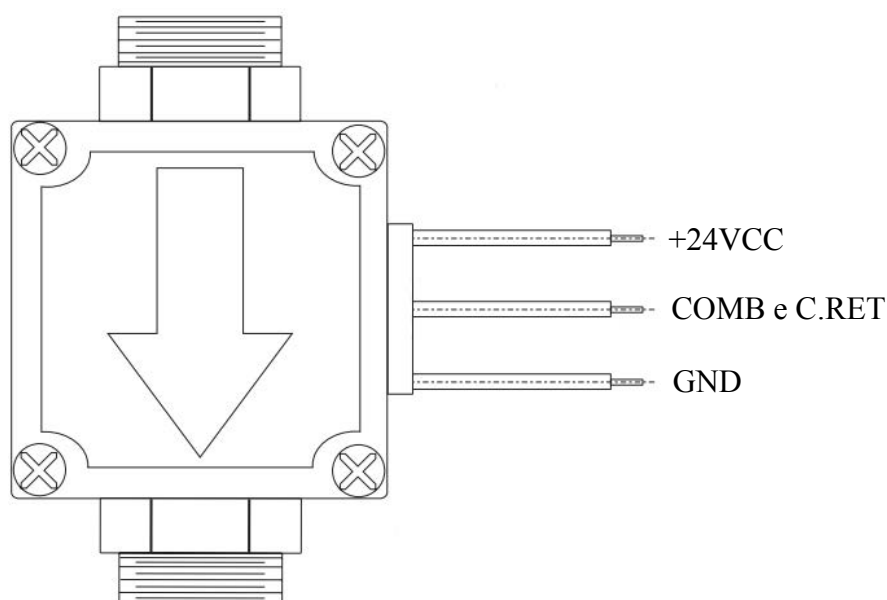


Figura 19. Esquema de ligação dos fluxômetros.

Os pulsos gerados pelo fluxômetro volumétrico foram convertidos em volume, considerando a vazão de 1 mL/pulso. O cálculo do consumo horário foi feito de acordo com a equação:

$$CH = \frac{Np \times 3,6}{t}$$

onde:

CH = consumo horário (L h⁻¹)

Np = número de pulso do medidor de combustível

t = tempo de percurso da parcela (s)

5.2.5 Controle da força de tração

O sistema de frenagem da UMEB, foi aprimorado com a finalidade de controlar os freios por meio do instrumento virtual desenvolvido. Desta forma, foi substituído o manômetro até então utilizado, por uma válvula proporcional de pressão da marca FESTO, modelo VPPE-3-1/8-6-010 controlada eletronicamente através do dispositivo de controle e aquisição de dados, sendo conectada a uma fonte de alimentação de +24Vcc e aos terminais 15 e 16 do DAQ.

5.2.6 Ensaios

A Unidade de Ensaios foi rebocada por um trator devidamente instrumentado até a pista de teste do NEMPA e os dados foram coletados durante as sequências de tratamentos aplicados.

Para a verificação do experimento, foram realizados três repetições com oito tratamentos. Cada tratamento, configurou-se pela variação das cargas simuladas, dentro de um deslocamento de trinta metros, fornecendo assim os dados coletados pelo DAQ.

O ensaio foi iniciado com o trator e a unidade em movimento, evitando-se assim a coleta de dados provenientes da vibração e da força exercida para o rompimento da inércia dos mesmos. Estando em movimento, acionou-se a válvula de controle da roda odométrica, fazendo-a tocar ao solo. A partir deste momento o instrumento virtual estava pronto para ser iniciado.

Quando o instrumento virtual foi ligado, o mesmo iniciou a regulação da carga desejada durante o ensaio. O sistema eletrônico considera que o valor da força foi atingido, quando tem-se uma leitura média até $\pm 5\%$ do valor pré-determinado. Sob esta condição o sistema começa a registrar os dados referentes ao deslocamento, ao consumo real de combustível, à patinação dos rodados, a variação da força simulada e ao tempo de ensaio.

A primeira repetição foi executada com o sistema atual de CLP – Controlador Lógico Programável com a finalidade de obter parâmetros referenciais quanto ao controle da carga simulada.

A segunda e a terceira repetições foram realizadas com o

instrumento virtual seguindo as mesmas condições de trabalho, visando obter um comparativo de dados provenientes dos sensores de deslocamento, patinagem, consumo e tempo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Aquisição de dados e monitoramento do ensaio

O painel frontal do programa computacional foi desenvolvido permitiu o monitoramento das seguintes variáveis:

Deslocamento da roda odométrica;

Deslocamento do rodado dianteiro direito;

Deslocamento do rodado dianteiro esquerdo;

Deslocamento do rodado traseiro direito;

Deslocamento do rodado traseiro esquerdo;

Patinagem;

Consumo de combustível;

Retorno de combustível;

Consumo real de combustível;

Tração simulada;

Tempo de duração do ensaio;

Assim como Garcia (2002), utilizando o Labview foi possível desenvolver um instrumento virtual para monitoramento de dados provenientes dos ensaios em campo. O painel frontal do instrumento criado garante fácil visualização e configuração como pode-se observar na Figura 20:

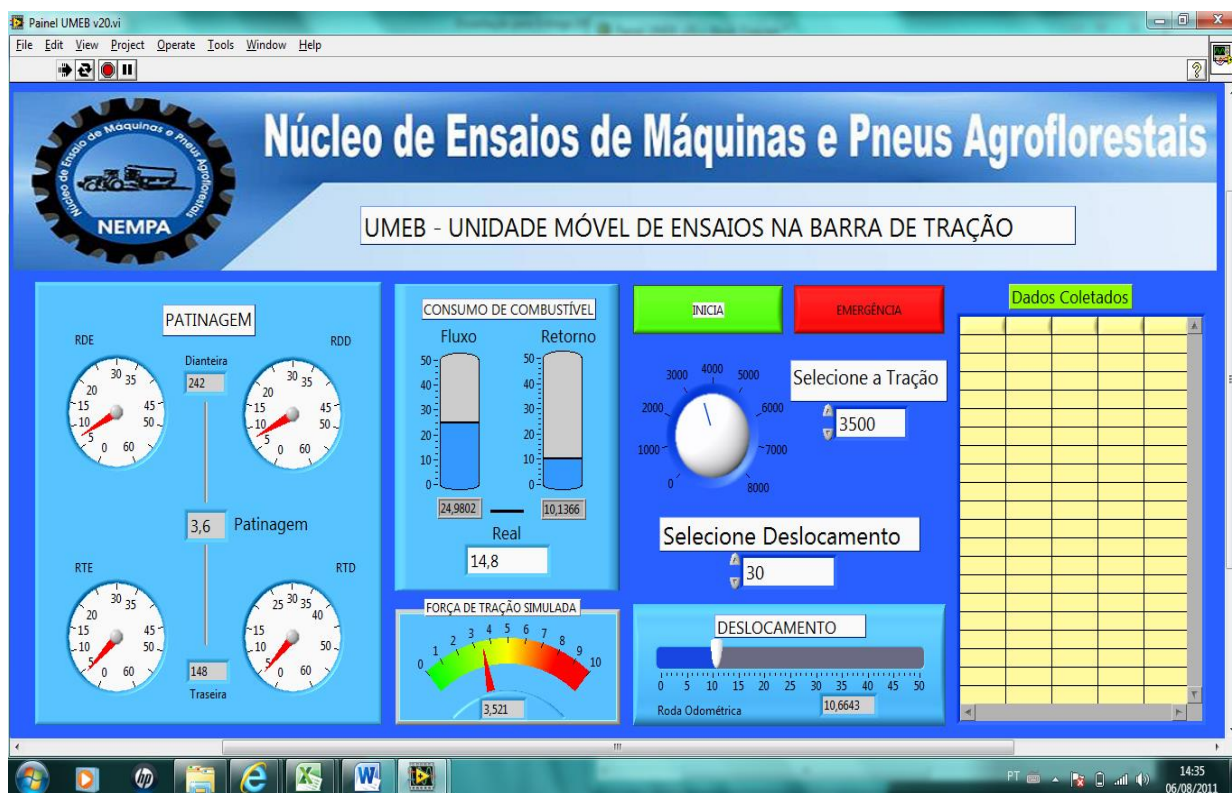


Figura 20. Painel frontal do instrumento virtual.

Através do painel frontal é possível selecionar a tração a ser simulada e o deslocamento total previsto para cada tratamento de ensaio desejado.

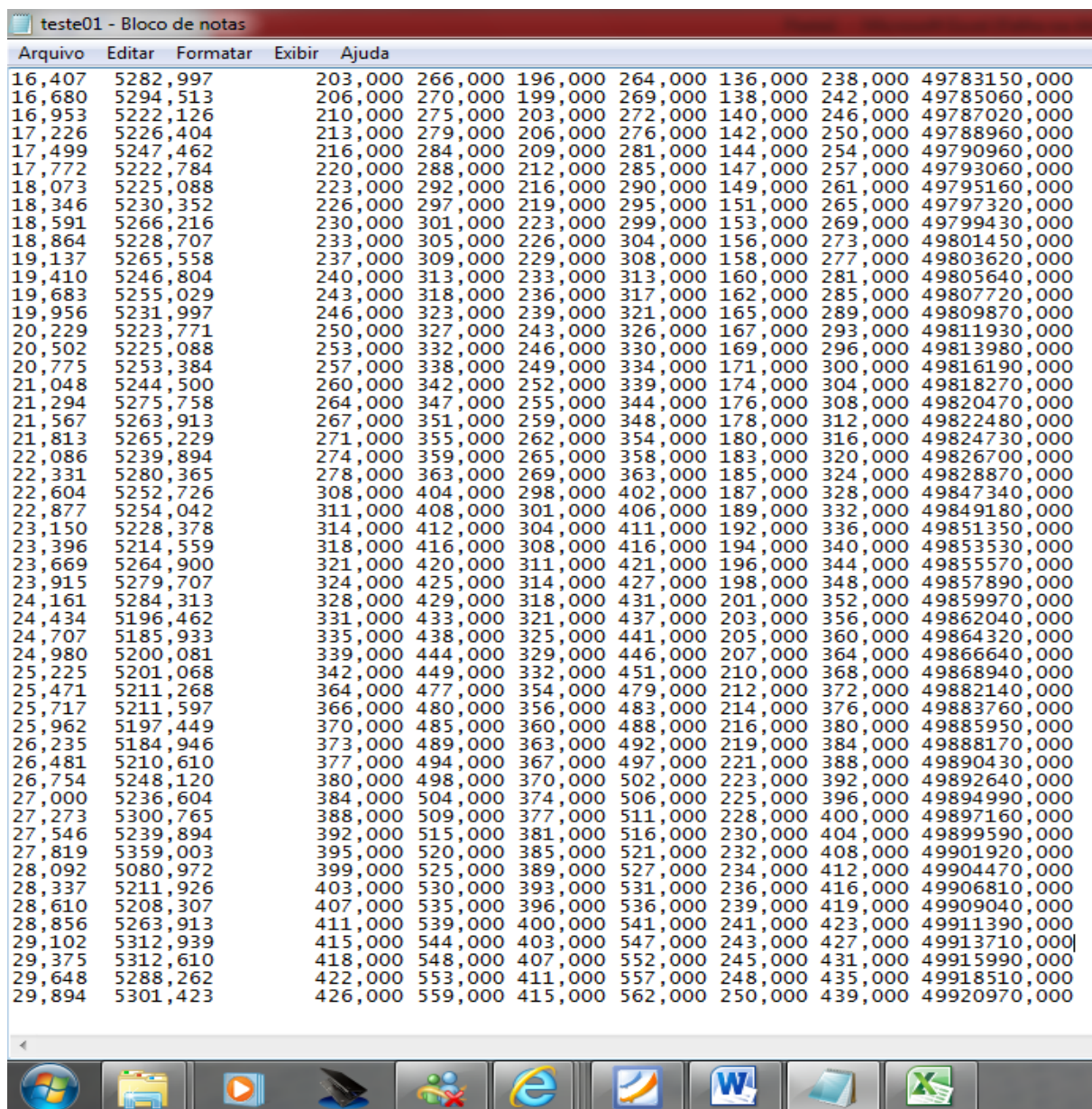
Caso haja alguma falha no sistema, ou ainda, seja necessário um recomeço do ensaio, foi inserido no painel frontal um botão de emergência que libera o freio da UMEB, anulando a tração simulada e cancela o registro dos dados exibidos durante sua atuação.

O programa computacional desenvolvido pode ser implementado de forma a conter maiores informações assim como CAMPOS (2009) contemplou em seu sistema, com relatórios finais e identificação das especificações dos equipamentos a serem ensaiados.

6.2 Registro dos dados

Os dados coletados durante os ensaios foram salvos automaticamente pelo instrumento virtual em um arquivo de texto tabulado seguindo os mesmos métodos utilizados por Garcia (2002) e Campos (2009). Na Figura 21 pode-se

observar o formato do arquivo gerado pelo instrumento virtual a partir dos ensaios de verificação:



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda						
16,407	5282,997		203,000	266,000	196,000	264,000	136,000	238,000	49783150,000	
16,680	5294,513		206,000	270,000	199,000	269,000	138,000	242,000	49785060,000	
16,953	5222,126		210,000	275,000	203,000	272,000	140,000	246,000	49787020,000	
17,226	5226,404		213,000	279,000	206,000	276,000	142,000	250,000	49788960,000	
17,499	5247,462		216,000	284,000	209,000	281,000	144,000	254,000	49790960,000	
17,772	5222,784		220,000	288,000	212,000	285,000	147,000	257,000	49793060,000	
18,073	5225,088		223,000	292,000	216,000	290,000	149,000	261,000	49795160,000	
18,346	5230,352		226,000	297,000	219,000	295,000	151,000	265,000	49797320,000	
18,591	5266,216		230,000	301,000	223,000	299,000	153,000	269,000	49799430,000	
18,864	5228,707		233,000	305,000	226,000	304,000	156,000	273,000	49801450,000	
19,137	5265,558		237,000	309,000	229,000	308,000	158,000	277,000	49803620,000	
19,410	5246,804		240,000	313,000	233,000	313,000	160,000	281,000	49805640,000	
19,683	5255,029		243,000	318,000	236,000	317,000	162,000	285,000	49807720,000	
19,956	5231,997		246,000	323,000	239,000	321,000	165,000	289,000	49809870,000	
20,229	5223,771		250,000	327,000	243,000	326,000	167,000	293,000	49811930,000	
20,502	5225,088		253,000	332,000	246,000	330,000	169,000	296,000	49813980,000	
20,775	5253,384		257,000	338,000	249,000	334,000	171,000	300,000	49816190,000	
21,048	5244,500		260,000	342,000	252,000	339,000	174,000	304,000	49818270,000	
21,294	5275,758		264,000	347,000	255,000	344,000	176,000	308,000	49820470,000	
21,567	5263,913		267,000	351,000	259,000	348,000	178,000	312,000	49822480,000	
21,813	5265,229		271,000	355,000	262,000	354,000	180,000	316,000	49824730,000	
22,086	5239,894		274,000	359,000	265,000	358,000	183,000	320,000	49826700,000	
22,331	5280,365		278,000	363,000	269,000	363,000	185,000	324,000	49828870,000	
22,604	5252,726		308,000	404,000	298,000	402,000	187,000	328,000	49847340,000	
22,877	5254,042		311,000	408,000	301,000	406,000	189,000	332,000	49849180,000	
23,150	5228,378		314,000	412,000	304,000	411,000	192,000	336,000	49851350,000	
23,396	5214,559		318,000	416,000	308,000	416,000	194,000	340,000	49853530,000	
23,669	5264,900		321,000	420,000	311,000	421,000	196,000	344,000	49855570,000	
23,915	5279,707		324,000	425,000	314,000	427,000	198,000	348,000	49857890,000	
24,161	5284,313		328,000	429,000	318,000	431,000	201,000	352,000	49859970,000	
24,434	5196,462		331,000	433,000	321,000	437,000	203,000	356,000	49862040,000	
24,707	5185,933		335,000	438,000	325,000	441,000	205,000	360,000	49864320,000	
24,980	5200,081		339,000	444,000	329,000	446,000	207,000	364,000	49866640,000	
25,225	5201,068		342,000	449,000	332,000	451,000	210,000	368,000	49868940,000	
25,471	5211,268		364,000	477,000	354,000	479,000	212,000	372,000	49882140,000	
25,717	5211,597		366,000	480,000	356,000	483,000	214,000	376,000	49883760,000	
25,962	5197,449		370,000	485,000	360,000	488,000	216,000	380,000	49885950,000	
26,235	5184,946		373,000	489,000	363,000	492,000	219,000	384,000	49888170,000	
26,481	5210,610		377,000	494,000	367,000	497,000	221,000	388,000	49890430,000	
26,754	5248,120		380,000	498,000	370,000	502,000	223,000	392,000	49892640,000	
27,000	5236,604		384,000	504,000	374,000	506,000	225,000	396,000	49894990,000	
27,273	5300,765		388,000	509,000	377,000	511,000	228,000	400,000	49897160,000	
27,546	5239,894		392,000	515,000	381,000	516,000	230,000	404,000	49899590,000	
27,819	5359,003		395,000	520,000	385,000	521,000	232,000	408,000	49901920,000	
28,092	5080,972		399,000	525,000	389,000	527,000	234,000	412,000	49904470,000	
28,337	5211,926		403,000	530,000	393,000	531,000	236,000	416,000	49906810,000	
28,610	5208,307		407,000	535,000	396,000	536,000	239,000	419,000	49909040,000	
28,856	5263,913		411,000	539,000	400,000	541,000	241,000	423,000	49911390,000	
29,102	5312,939		415,000	544,000	403,000	547,000	243,000	427,000	49913710,000	
29,375	5312,610		418,000	548,000	407,000	552,000	245,000	431,000	49915990,000	
29,648	5288,262		422,000	553,000	411,000	557,000	248,000	435,000	49918510,000	
29,894	5301,423		426,000	559,000	415,000	562,000	250,000	439,000	49920970,000	

Figura 21. Registro de dados resultantes dos ensaios de tração.

6.3 Variáveis disponíveis para análise

A partir dos dados registrados no arquivo texto é possível realizar diversos tipos de análises como a avaliação do desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo realizado por Monteiro (2008) ou avaliar o desempenho de um

trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo realizado por Jesuíno (2007).

A Tabela 1 exibe algumas das variáveis disponíveis para análise a partir dos ensaios realizados com o instrumento virtual.

Tabela 1. Variáveis disponíveis para análise.

Tratamentos	Variáveis				
	Tração	Consumo	Vel.	Patinagem	Rend. Barra
	(kgf)	(L/h)	(km/h)	(%)	(%)
1	1150	18,4	5,8	1,7	13,3
2	2028	18,6	5,7	2,3	23,2
3	3118	22,4	5,7	2,8	35,4
4	3572	24,9	5,6	3,6	40,0
5	4097	25,4	5,5	4,7	45,4
6	4618	28,2	5,3	9,1	48,7
7	5011	29,4	5,3	7,8	53,3
8	5548	32,0	4,3	28,2	47,3

Com tabelas de dados semelhantes aos obtidos neste trabalho, YANAI et al. (1999), SERRANO (2007), CAMPOS (2009) e GABRIEL FILHO (2008) puderam avaliar equipamentos, elaborar conceitos e fazer análises que os permitiram registrar suas publicações nos anais da pesquisa agrícola brasileira.

Não foram realizadas análises destas variáveis, pois o objetivo deste trabalho contemplou apenas o monitoramento, a aquisição e o registro dos dados, para que estes possam ser confiáveis e consistentes, servindo de base para futuras pesquisas.

6.4 Controle de frenagem e simulação de tração

A verificação do controle de frenagem foi realizada através de um comparativo entre a porcentagem de variação das forças de tração controladas de maneira manual pelo operador do manômetro e o controle eletrônico do instrumento virtual. Esta porcentagem foi calculada através dos valores mínimos e máximos registrados durante cada ensaio.

Durante a realização dos ensaios foi possível constatar que alguns

fatores como a inclinação da pista de testes e o tipo de piso (concreto, asfalto ou solo mobilizado) influenciam diretamente na taxa de variação das forças simuladas, pois o comportamento do sistema tende a reduzi-la conforme o piso for mais plano e sem deformações. Contudo, o sistema de controle eletrônico apresentou um menor tempo de correção da força de tração quando submetida a fatores como os citados acima.

Os ensaios foram realizados em uma pista com piso de concreto. Nesta condição, observando a Figura 22 foi possível verificar que a variação das forças de tração controladas pelo instrumento foi menor que a variação gerada pela regulagem manual, propiciando uma maior precisão nos resultados e ainda eliminando a necessidade de um operador para a regulagem do manômetro.

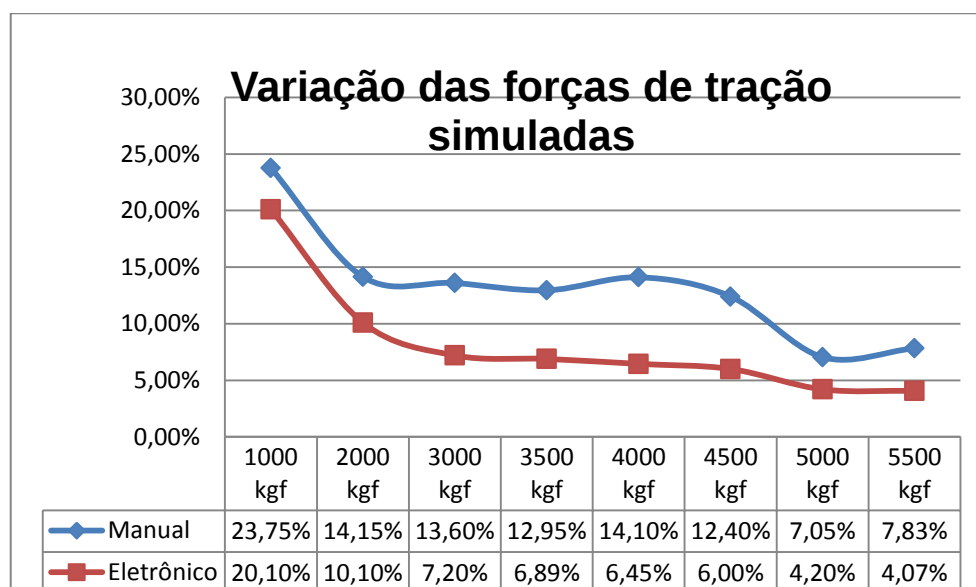


Figura 22. Comparativo da taxa de variação das forças de tração simuladas.

Outra variável que apresentou maior acurácia foi a média das forças de tração que a exemplo da taxa de variação das forças de tração também apresentou resultados numericamente mais precisos quando comparados às referências de força. Os tratamentos realizados durante os ensaios foram diferenciados pela referência da força de tração aplicada (1000kgf, 2000kgf, 3000kgf, 3500kgf, 4000kgf, 4500kgf, 5000kgf e 5500kgf).

De acordo com os dados da Figura 23, pode-se afirmar que as médias das forças de tração controladas eletronicamente foram mais próximas as referenciadas em cada tratamento.

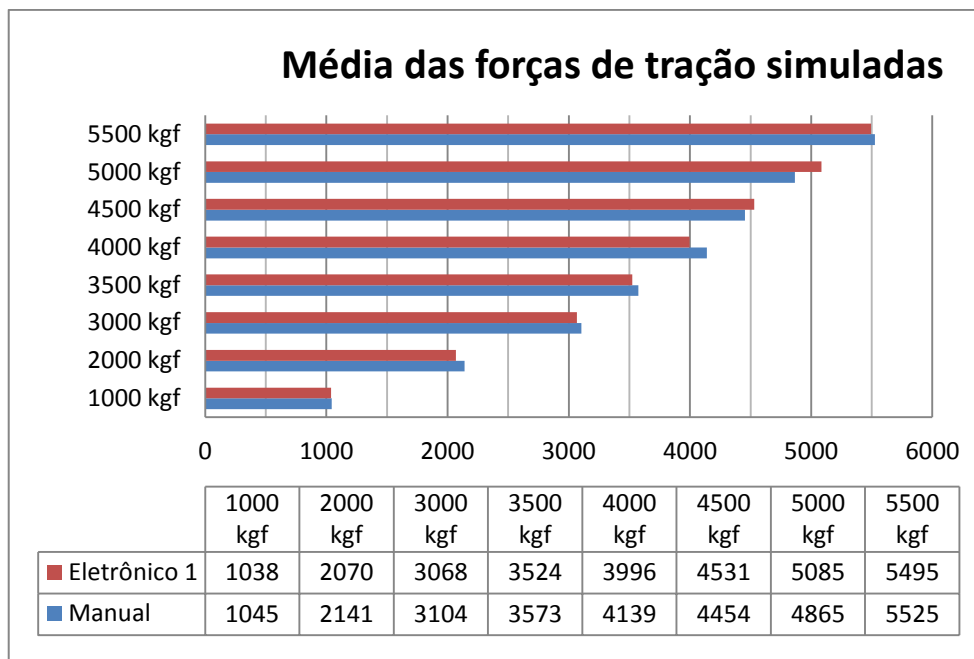


Figura 23. Comparativo das médias das forças de tração simuladas.

O sistema de correção da força de tração por meio do controle eletrônico foi programado de forma escalar, reduzindo a interação na válvula de acordo com valores pré-estabelecidos para cada faixa de medição. Porém, acredita-se que é possível tornar o sistema de correção ainda mais preciso por meio da implementação de uma programação de controle “PID” – Proporcional Derivativo Integral em malha fechada.

7 CONCLUSÃO

A instrumentação virtual da UMEB atingiu o objetivo proposto automatizando o sistema de ensaios de maneira a monitorar em tempo real a aquisição e registro dos dados reduzindo assim o tempo de realização dos ensaios e a probabilidade de ocorrência de erros.

Os dados registrados foram armazenados em um arquivo eletrônico que pode ser transferido e depurado por planilhas inteligentes, gerando os relatórios para análise.

O sistema de freios, responsável pela simulação de tração foi alterado e passou a ser controlado eletronicamente pelo instrumento virtual, propiciando maior precisão, estabilidade e eliminando a necessidade de se manter um operador para o controle do mesmo.

O novo sistema eliminou por completo a necessidade de leituras visuais e transcrições manuais dos dados, reduzindo tempo e eliminando os erros por paralaxe.

O programa computacional foi criado com código aberto, propiciando que outros pesquisadores possam futuramente aprimorá-lo.

Por fim, o comparativo de resultados obtidos comprovou a linearidade dos mesmos, assegurando sua acurácia e eficiência.

8 REFERÊNCIAS

AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT DATA. **ASAE S209.5**: agricultural tractor test. St. Joseph: ASAE, 1989. p. 44-48.

ANTUNIASSI, U. R. O desenvolvimento de produtos, equipamentos e componentes na aplicação de agrotóxicos, tendências e realidade: controladores para aplicação. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2., 2001, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí: Instituto Agrônomo de Campinas. 2001.

ARRIVO, A.; DI RENZO, G. C. Trailed unit for testing implements under field conditions. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 71, n. 1, p. 19-24, 1998.

BECK, T. **Current trends in the design of automotive electronic system**. Acropolis: EDAA, 2001.

BECKER, V. **Anotações de Aula**. PSI 5764 – Fundamentos à ciência cognitiva. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

BERG, A. C.; FIGUEIRÓ, J. P. **Lógica de programação**. Canoas, Ed. ULBRA, 1998. 168 p.

BERNARDES, R. C.; BALASTREIRE, L. A. Determinação das curvas de iso-consumo de combustível com trator operando sobre solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, UFPEL, 1999.

BESSA, M. S. C. M. R. **Metodologia para a avaliação do nível de automação em**

sistemas de produção enxuta. 2004. 45 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2004.

BORGES, A. P. **Instrumentação virtual aplicada a um laboratório com acesso pela internet**. 2002. 17 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

BORTOLOTO, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTO, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 122-130, 2006.

CAMPOS, F. H. **Development of a software dedicated to the mobile drawbar test unit (umeb) for tractors performance evaluation**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CAMPOS, F. H. et al. Desenvolvimento de uma planilha eletrônica para análise dos dados da unidade móvel de ensaio na barra de tração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 6., 2007, São Pedro **Anais...** São Pedro : SBI-Agro, 2007. p. 196-200.

CARDOSO, R. R.; GOUVÊA DA COSTA, S. E.; PINHEIRO DE LIMA, E. Um estudo das “barreiras” organizacionais à introdução de novas tecnologias. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP , Florianópolis, 2004. **Anais...** Florianópolis, UFSC, 2004.

CASTELLI, G.; MAZZETTO, R. Automatic system for monitoring and recording farm field activities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 1996, Cancun, Mexico. **Anais...** Michigan: ASAE, American Society of Agricultural Engineering. p. 548-556.

CRISTALDI, L.; FERRERO, A.; PIURI, V. Programmable instruments, virtual instruments, and distributed measurement systems: what is really useful, innovative and technically sound ? **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, Milano, v.2, n.3, p. 20, Sept. 1999.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Histórico da EMBRAPA-2003. Disponível em: <http://www.cnpdia.embrapa.br/_historico.html>. Acesso em: 09 set. 2008.

EVARISTO, J.; CRESPO, S. **Aprendendo a programar**: programando numa linguagem algorítmica executável (ILA). Rio de Janeiro: Book Express, 2000. 96 p.

FERNANDES, H. C. et al. Utilização de sensores em máquinas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 2006, Vitória. **Anais...** Vitória: SIF, 2006.

FORBELLONE, A. L. V.; EBERSPACHER, H. F. **Lógica de programação – a construção de algoritmos e estrutura de dados**. São Paulo: Makron Books, 2000. 232 p.

GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho operacional de trator em solo com três tipos de cobertura vegetal. In: CONGRESSO BRASILEIRO ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. p. 1-4.

GABRIEL FILHO, A. et al. UMEB – Unidade Móvel para Ensaio da Barra de tração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 782-789, 2008.

GARCIA, R. F. et al. **Programa computacional para aquisição de dados para avaliação de máquinas agrícolas**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 375-381, 2003.

GOLDBERG, H. What is virtual instrumentation? **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, Peabody, MA, USA, p. 10-13, Dec., 2000.

GOUVÊA DA COSTA, S. E. **Desenvolvimento de uma abordagem estratégica para a seleção de tecnologias avançadas de manufatura – AMT**. 2003. 261 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GROOVER, M. P. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing**. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2001. 832 p.

GUIMARÃES, A. A. **Análise da Norma ISO11783 e sua utilização na implementação do barramento do implemento de um monitor de semeadora**. 2003. 3 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação e Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

HOROWITZ, P.; HILL, W. **The art of electronics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 450 p. In: Proceedings of International Conference on Manufacturing Automation. Hong Kong, p. 21-29, april, 1997.

KÖGLER, J. E. Instrumentação virtual. PSI – 2222 – Práticas de eletricidade e eletrônica, 2004. Disponível em:
<http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/Inst.Virtual_apost1.pdf>.
Acesso em: 15 set. 2008.

JESUINO, P. R. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo**. 2007. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

LASTRES, H. M. M.; ALBAGLI, S. **Informação e globalização na era do conhecimento**. Rio de Janeiro: Campus, 1999. V. 318 p.

LIMA, R. R. **Linguagens de programação Parte I**. Disponível em: <<http://www.sisunig.site.br.com/artigos.htm>>. Acesso em: 17 set. 2008.

LOPES, A. et al. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 382-386, jul. 2003.

MARINO, P.; NOGUEIRA, J.; HERNANDEZ, H. Laboratory of virtual instrumentation for industrial electronics. **Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology**, Spain, v. 2, p. 249, 2000.

MARQUES, T. M. COMPETECH: uma abordagem para integração de tecnologias de automação através do desenvolvimento das competências operacionais das empresas. 2004. 48f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção de Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2004.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificações**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722 p.

MODOLO, A. J. **Demanda energética de uma semeadora adubadora com diferentes unidades de semeadura**. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2003.

MONTEIRO, L. A. et al. **Construção e avaliação da unidade móvel de ensaio na barra de tração**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. Jaboticabal: SBEA, 2007.

OLIVEIRA, A. V. **Projeto e desenvolvimento de um condicionador de sinais com saída 4-20mA com isolamento óptico**. 2002. 3 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

OVAL CORPORATION. **Manual do produto e instalação**. São Paulo: K&K do Brasil. 2008.

PAGLIS, C. M. Apostila de informática na agricultura. 2002. Disponível em: <http://www.dag.ufla.br/MODAGP/_private/Autom_Agric.pdf>. Acesso em: 09 set. 2008.

PINHEIRO, J. M. S. Falando de automação industrial. ISA - Instrumentation, System and Automation Society, 2008. Disponível em: <<http://www.isavale.org.br/artigos/automacao.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2008.

PIRES, J. N. **Automação industrial**. Lisboa: Grupo LIDEL, 2002. 480p.

REGGIANI, L. A vida pelos bytes. **Revista InfoExame**, São Paulo, v. 15, n. 175, p. 48-58, out. 2000.

RIBEIRO, M. A. **Automação industrial**. 4. ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria, 1999. 498 p.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de mecatrônica**. São Paulo: Prentice Hall, 2005. 368 p.

SARAIVA, A. M. TI no agronegócio e biodiversidade. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/TI_Apostila.pdf>. Acesso em: 16 maio 2007.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E. Automação agrícola no Brasil: uma visão geral. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGROPOLES AND AGRO-INDUSTRIAL TECHNOLOGICAL PARKS, 2000, Barretos. **Proceedings...** Barretos: AnproTec / Instituto Barretos de Tecnologia – IBT, p.285-289 . 2000.

SCIAVICCO, L.; SICILIANO, B. **Modelling and control of robots manipulators**. 2. ed. Godalming, Surrey, UK: Springer, 2000. 377 p.

SERRANO, J. M. P. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 7, p. 1021-1027, jul. 2007.

SERRANO, J. M. et al. The effect of gang angle of offset disc harrows on soil tilth, work rate and fuel consumption. **Biosystems Engineering**, Évora, v. 84, p. 171-176, 2003.

SILVA, S. L.; BENEZ, S. H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 10-18, 1997.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 754 p.

SORANSO, A. M. **Desempenho de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado etílico e metílico**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual do Paraná, Cascavel, 2006.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. Tractor hitching, traction and testing. In: SRIVASTAVA, A. K. **Engineering principles of agricultural machines**. 3 ed. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p. 117-145. 1996.

SZWARCFITER, J. L.; MARKENZON, L. **Estrutura de dados e seus algoritmos**. Rio de Janeiro: LTC, 1994. 318 p.

TANER, A. H.; BRIGNELL, J. E. Virtual instrumentation and intelligent sensors. **Sensors and Actuators A**, Southampton, UK, v. 61, p. 427-430, 1997.

TAYLOR, H. R. **Data acquisition for sensor systems**. London: Chapman & Hall, 1997. 327 p.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 224 p.

THOMOPOULOS, P. **Real-time dynamometer control with LabVIEW**. National Instruments Corporation, Austin, Texas, 1996. Disponível em: <http://digital.ni.com/csma.nsf/IntAllCSDocs/3D4448906DB5270E8625692D0078967?OpenDocument&node=124200_US>. Acesso em: 30 jun. 2007.

TRINTIN, C. G. et al. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 127-131, jan/ mar. 2005.

YANAI, K. et al. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 8, p. 1427-1434, 1999.

ZOLNIER, S. et al. Non-water-stressed baseline as a tool for dynamic control of a misting system for propagation of poinsettias. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 44, n. 1, p. 137-147, 2001.