

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTE DE
INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA PARA
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATORES
AGRÍCOLAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alexandre Russini

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTE DE INSTRUMENTAÇÃO
ELETRÔNICA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE
TRATORES AGRÍCOLAS**

por

Alexandre Russini

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, Linha de Pesquisa de Projeto e Utilização de Máquinas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. José Fernando Schlosser, Dr. Eng.

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTE DE INSTRUMENTAÇÃO
ELETRÔNICA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE
TRATORES AGRÍCOLAS**

elaborada por
Alexandre Russini

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA

José Fernando Schlosser, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Leonardo Nabaes Romano, Dr. (UFSM)

Walter Boller, Dr. (UPF)

Santa Maria, janeiro de 2009.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho...

...ao meu pai, Antonio Russini, a minha mãe, Maria Antonieta Russini, e meu irmão Augusto Russini que sempre me apoiaram nestes dois anos.

...à minha amiga, companheira e noiva, Josiane e também a minha maior alegria, o nosso filho João Guilherme. Agradeço pelo carinho, pela atenção e pela compreensão durante esse período.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela vida, saúde, determinação, superação e fé.

Aos meus pais, **Antonio Russini, Maria Antonieta Russini** e meu irmão **Augusto Russini**, pelo carinho, compreensão, apoio e por estarem sempre ao meu lado, incentivando-me e torcendo por mim.

À **Universidade Federal de Santa Maria**, instituição pela qual sou engenheiro agrônomo, agradeço a oportunidade de cursar o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Programa de **Pós Graduação em Engenharia Agrícola**, pelo apoio no meu aperfeiçoamento profissional.

Ao **Professor Dr. José Fernando Schlosser**, pela oportunidade, por sua orientação, amizade, confiança e incentivo.

Aos colegas, **Eder Dornelles Pinheiro e Marçal Elizandro Dornelles**, pela amizade, pelo auxílio, pelo convívio em plena harmonia durante todo o tempo em que estivemos juntos. Aos demais colegas de departamento **Leonardo Basso Brondani, Gismael Francisco Perin, André Luiz Casali, Ricardo Fülber, Pietro Furian Araldi, Gustavo Heller Nietiedt, Ulisses Giacomini Frantz, Ronaldo Carbonari, Dirceu Segabinazzi Nöller, Rodrigo Ribas e Paula Machado dos Santos**, pela contribuição e espírito de grupo demonstrado durante o tempo em que convivemos, neste e outros trabalhos.

Aos funcionários técnico-administrativos, **Manoel Zeri, Sérgio e Alberi**, pela ajuda e companheirismo. Aos demais estagiários e funcionários do Setor de Mecanização Rural, do Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA) e do Laboratório de Agrotecnologia.

Aos professores **Reges Durigon, Leonardo Nabaes Romano e Airton dos Santos Alonço**, pela atenção e contribuição durante a fase de elaboração da dissertação.

Ao professor, **Luis Ávila** pelo empréstimo do *datalogger*, viabilizando a construção da instrumentação eletrônica.

A todos meus amigos, que me apoiaram, e as pessoas que, de uma ou outra forma, contribuíram com este trabalho.

O Autor

“Tudo tem seu tempo, tempo de crescer, tempo de viver...”

(Eclesiastes 3:1)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTE DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS

AUTOR: ALEXANDRE RUSSINI
ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER
SANTA MARIA, 9 DE JANEIRO DE 2009.

Este trabalho teve por objetivo projetar, construir e testar uma instrumentação eletrônica para aquisição e armazenamento de dados, referentes ao desempenho de tratores agrícolas durante operações a campo. Foi realizado o projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado da instrumentação a ser construída visando à instalação de sensores para medida da velocidade das rodas motrizes e velocidade do trator, fluxômetro para determinação do consumo de combustível e uma célula de carga para medida da força de tração. Toda a instrumentação foi montada em um trator Massey Ferguson modelo *Advanced 290 Shuttle* com tração dianteira auxiliar, e os valores obtidos pelos equipamentos eletrônicos que constituem o sistema de sensores, são conduzidos a um sistema de armazenamento de dados baseado em um *datalogger*. Posteriormente esses dados são coletados através do software PC200W[®], que se caracteriza por ser um software de base que possui uma programação desenvolvida exclusivamente para este fim. Este trator foi submetido a testes de campo, onde foi possível verificar o funcionamento e a qualidade dos dados obtidos. Os dados considerados brutos, por se apresentarem na forma de texto, são transferidos a uma planilha eletrônica do Microsoft Excel[®] para serem posteriormente organizados e interpretados de forma clara e objetiva. Ao final deste trabalho, conclui-se que é possível determinar o desempenho dos tratores agrícolas através de uma instrumentação eletrônica, obtendo dados que representam as condições do teste em que o trator foi submetido.

Palavras-chave: instrumentação, aquisição de dados, software.

ABSTRACT

Master Thesis
Post-graduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

DESIGN, CONSTRUCTION AND TEST OF ELETRONIC INSTRUMENTATION FOR EVALUATION OF THE PERFORMANCE AGRICULTURAL TRACTORS

AUTHOR: ALEXANDRE RUSSINI
ADVISOR: PROF. DR. JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER
SANTA MARIA, JANUARY 9, 2009.

The objective of this work was to design, construct and test an electronic instrumentation acquisition and storage of data, regarding the performance of the agricultural tractors during operations to field. Was realized the design informational, conceptual, preliminary and detailed of the instrumentation to be built, looking to the installation of sensor for measure of the speed of the drive wheels and speed of the tractor, flow meter for determination of the consumption of fuel and a load cell for measure of the traction force. All the instrumentation was installed was set up in a tractor Massey Ferguson model Advanced 290 Shuttle with front wheel drive, and the values obtained by the electronic equipments that constitute the system of sensor are driven a system of storage of data based on a datalogger. Later those data were collected through the software PC200W®, who it's characterized by being base software that there is a programming developed exclusively for this work. This tractor was submitted to field tests, where it was possible to verify the operation and the quality of the obtained data. The data considered rude, because they are present in the text, we need to transfer they to an electronic spreadsheet of Microsoft Excel® for us to be later organized, interpreted in a clear and objective way. At the end of this work, it is ended that is possible to determine the performance of the agricultural tractors through an electronic instrumentation, obtaining data that represent the conditions of the test in that the tractor was submitted.

Keywords: instrumentation, acquisition of data, software.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Processo de desenvolvimento de produtos	23
FIGURA 2 - Processo de projeto de máquinas agrícolas do NeDIP/ UFSC.....	25
FIGURA 3 - Sistema de aquisição de dados.....	29
FIGURA 4 - Arquivo de saída de dados do aplicativo AvaliaMA	32
FIGURA 5 - Sensor de proximidade do tipo indutivo.....	33
FIGURA 6 - Representação do funcionamento do sensor de toque	34
FIGURA 7 - Sensor de roda	36
FIGURA 8 - Flange com imãs preso ao cubo da roda dianteira do trator.....	37
FIGURA 9 - Sistema de engrenagens do fluxômetro	39
FIGURA 10 - Protótipo usado por para medição de combustível.....	40
FIGURA 11 - Estrutura com a célula de carga montada a barra de tração.....	41
FIGURA 12 - Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.....	43
FIGURA 13 - Fluxograma seqüencial do projeto informacional.....	44
FIGURA 14 - Fluxograma seqüencial do projeto conceitual.....	45
FIGURA 15 - Fluxograma seqüencial do projeto preliminar.....	46
FIGURA 16 - Fluxograma seqüencial do projeto detalhado.....	47
FIGURA 17 - Trator utilizado na montagem da instrumentação.....	48
FIGURA 18 - Determinação do peso total.....	50
FIGURA 19 - Pesagem do eixo dianteiro.....	50
FIGURA 20 - Pesagem do eixo traseiro.....	51
FIGURA 21 - Determinação do índice de cone.....	52
FIGURA 22 - Determinação do teor de umidade no solo.....	53
FIGURA 23 - Diagrama de Mudge especificando o grau de importância de cada requisito dos clientes.....	58
FIGURA 24 - QFD Designer com a relação entre os requisitos dos clientes e os requisitos de projeto	59
FIGURA 25 - Estrutura funcional da instrumentação.....	62
FIGURA 26 - Esquema geral de ligação dos instrumentos eletrônicos.....	67
FIGURA 27 - Disposição dos equipamentos eletrônicos no trator	68
FIGURA 28 - Disposição dos equipamentos eletrônicos no trator após alteração....	70
FIGURA 29 - Tela do software MCAD.....	73
FIGURA 30 - Desenho da barra de tração.....	74

FIGURA 31 - Vista isométrica dos suportes dos sensores.....	75
FIGURA 32 - Tela de opções de software para instalação.	78
FIGURA 33 - Tela de abertura do software PC200W.....	79
FIGURA 34 - Lista de <i>dataloggers</i> disponíveis.....	79
FIGURA 35 - Enviando um programa para o Datalogger.....	80
FIGURA 36 - Lista de sensores disponíveis e tabela de sensores adicionados.....	81
FIGURA 37 - Finalizando o processo de criação do programa para o Datalogger....	82
FIGURA 38 - Diagrama de ligações dos sensores.....	82
FIGURA 39 - Seleção do Datalogger no Device Configuration Utility.	83
FIGURA 40 - Esquema de instalação do fluxômetro.....	87
FIGURA 41 - Terminais utilizados nas conexões dos cabos ao <i>datalogger</i>	88
FIGURA 42 - Terminais utilizados na bateria e no sistema de alimentação.....	88
FIGURA 43 - Cabos de alimentação de energia e transferência de sinais.	89
FIGURA 44 - Cabo com conversor USB-Serial para transferência de dados.	89
FIGURA 45 - Diagrama de ligações do CR1000 aos sensores.....	90
FIGURA 46 - Monitorando as variáveis que foram declaradas públicas.	91
FIGURA 47 - Coleta de dados do <i>datalogger</i> para o microcomputador portátil.	92
FIGURA 48 - Visualização dados coletados com o View.	93
FIGURA 49 - Planilha do Microsoft Excel® para cálculo dos dados.	93
FIGURA 50 - Dados inseridos na planilha de cálculos.....	94
FIGURA 51 - Parâmetros para configurar o sensor.	95
FIGURA 52 - Tela de configuração dos sensores.....	96
FIGURA 53 - Construção da barra de tração.	97
FIGURA 54 - Peça sendo ajustada.	98
FIGURA 55 - Barra de tração com a célula de carga montada no trator.....	98
FIGURA 56 - Usinagem das flanges.	99
FIGURA 57 - Sensor e roda dentada.	99
FIGURA 58 - Suporte dos sensores para determinação da rotação das rodas.	100
FIGURA 59 - Vista externa da caixa de acondicionamento do <i>datalogger</i>	100
FIGURA 60 - Vista externa da caixa de acondicionamento do fluxômetro.....	101
FIGURA 61 - Fluxômetro para medida do consumo de combustível.	101
FIGURA 62 - Ligações dos sensores no datalogger.	102
FIGURA 63 - Trator instrumentado preparado para os testes.....	103

FIGURA 64 - Teste da instrumentação com trator freio.	104
FIGURA 65 - Comportamento da força de tração e do consumo em relação à velocidade de deslocamento.	106
FIGURA 66 - Comportamento da força de tração e do patinamento em relação à velocidade.	108
FIGURA 67 - Realização dos testes a campo.	109
FIGURA 68 - Coleta de dados após a operação.	109
FIGURA 69 - Comparação entre custo estimado e custo final.	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Matriz multicritério para seleção da concepção do sistema de armazenamento de dados.....	64
TABELA 2 - Matriz multicritério para seleção da concepção do sistema de determinação da velocidade das rodas motrizes.....	65
TABELA 3 - Matriz multicritério para seleção da concepção do sistema de determinação da velocidade do trator.....	65
TABELA 4 - Matriz multicritério para seleção da concepção do sistema de determinação do consumo de combustível.....	66
TABELA 5 - Média geral do consumo de combustível e força de tração nas marchas avaliadas a 1900 rpm.....	105
TABELA 6 – Média geral da velocidade das rodas motrizes, GPS e patinamento nas quatro marchas avaliadas a 1900 rpm.....	104

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- Funções elementares e princípios de solução.....	63
QUADRO 2 - Critérios para determinação dos pesos da matriz multicritério.....	64
QUADRO 3 - Componentes e marca comercial.....	72
QUADRO 4 - Custo estimado dos componentes.....	76
QUADRO 5 - Custo final da instrumentação.....	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASAE - American Society of Agricultural Engineers
CCMQ - Centro de Capacitação em Metrologia e Qualidade.
DGPS - Differential Global Positioning System
Ft - Força de tração
GPS - Global Positioning System
LCD - Display de Cristal Líquido
MCAD - Mechanical Computer Aided Drawing
NEMA - Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas
NeDIP - Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
QFD - Quality Function Deployment
RS - Rio Grande do Sul
SAD - Sistema de aquisição de dados
TDP - Tomada direta de potência
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM - Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE ANEXOS E APÊNDICES

APÊNDICE A – Programação utilizada no software PC200W.....	118
APÊNDICE B – Planilha de dados no Microsoft Excel®.....	121
APÊNDICE C – Desenhos do sistema mecânico.....	124

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Processo para o desenvolvimento de produtos	22
2.2 Conceito de trator	25
2.3 Desempenho de um trator	26
2.4 Instrumentação eletrônica em máquinas agrícolas	27
2.5 Instrumentação agrícola para medida do desempenho de tratores	28
2.5.1 Sistema de armazenamento de dados	29
2.5.2 Processamento dos dados	31
2.5.3 Sensores utilizados em máquinas agrícolas	33
2.5.4 Medida da rotação das rodas motrizes.....	35
2.5.5 Medida da velocidade.....	37
2.5.6 Medida do consumo de combustível	39
2.5.7 Medida da força de tração.....	40
2.6 Considerações sobre o levantamento bibliográfico	42
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 Desenvolvimento do Projeto	43
3.1.1 Projeto Informacional.....	44
3.1.2 Projeto Conceitual.....	45
3.1.3 Projeto Preliminar	46
3.1.4 Projeto Detalhado	47
3.2 Construção da instrumentação eletrônica	47
3.2.1 Trator utilizado na instrumentação	47
3.2.2 Construção do sistema mecânico	48
3.2.3 Montagem do sistema eletrônico.....	49
3.3 Testes realizados com o trator instrumentado	49
3.3.1 Determinação do peso do trator	49
3.3.2 Determinação do raio estático e dinâmico das rodas.....	51
3.3.3 Determinação das condições de campo.....	51
3.3.4 Local dos testes	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 Projeto Informacional	54

4.1.1 Fatores de influência no projeto	54
4.1.2 Requisitos dos clientes.....	57
4.1.3 Requisitos de projeto.....	58
4.1.3 Especificações de projeto.....	60
4.2 Projeto Conceitual.....	62
4.2.1 Função global.....	62
4.2.2 Estrutura funcional	62
4.2.3 Desenvolvimento de concepções alternativas.....	63
4.2.4 Seleção da concepção	64
4.2.5 Apresentação da concepção	67
4.2.6 Características da concepção	68
4.2.7 Atividades simultâneas.....	69
4.3 Projeto Preliminar	71
4.3.1 Definição dos componentes utilizados	71
4.3.2 Definição da marca comercial dos componentes eletrônicos.....	72
4.3.3 Desenvolvimento do sistema mecânico	72
4.3.4 Definição da mão-de-obra especializada	76
4.3.5 Processo de construção.....	76
4.3.6 Viabilidade técnica do projeto.....	76
4.3.7 Estimativa inicial dos custos.....	76
4.4 Projeto Detalhado.....	77
4.4.1 Armazenamento dos dados coletados	77
4.4.2 Aquisição de dados	84
4.4.3 Calibração dos equipamentos eletrônicos utilizados.....	94
4.4.4 Montagem do protótipo.....	97
4.4.5 Apresentação do protótipo	102
4.4.6 Teste da instrumentação em laboratório	103
4.4.7 Teste da instrumentação a campo	104
4.4.8 Custo final da instrumentação	110
4.4.9 Lições aprendidas	111
5 RECOMENDAÇÕES	112
6 CONCLUSÃO.....	113
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

8 APÊNDICES	118
8.1 Apêndice A – Programação utilizada no software PC 200W.	118
8.2 Apêndice B – Planilha de dados no Microsoft Excel®	121
8.3 Apêndice C – Desenhos do sistema mecânico.	124

1 INTRODUÇÃO

No modelo atual de produção, as máquinas agrícolas desempenham um papel fundamental para podermos chegar aos patamares atuais de produção sendo assim de suma importância um bom desempenho destas em nível de campo. Tem-se verificado, nas últimas décadas, um grande avanço da informática e automação na área agrícola, contribuindo para uma melhoria das condições de trabalho e do meio ambiente, promovendo qualidade, produtividade e competitividade. Junto a estes avanços, um número cada vez maior de dispositivos eletrônicos tem sido utilizado em máquinas agrícolas.

Inúmeros foram os avanços tecnológicos nas máquinas como se pode citar o sistema *Global Positioning System* (GPS), que tem sido freqüentemente utilizado em máquinas agrícolas, pois permite orientar o operador ou até mesmo manter a máquina na linha de operação sem a intervenção do operador. Como exemplo, os pulverizadores autopropelidos que, com o uso do DGPS (*Differential Global Positioning System*) associado a uma barra de luzes, auxilia o operador a manter a linha de operação ou manter o equipamento automaticamente sem nenhuma intervenção, principalmente para realização de trabalhos à noite.

Deve-se ter o cuidado de não confundir instrumentação eletrônica com eletrônica embarcada, pois embora sejam parecidas, são coisas completamente diferentes. A instrumentação eletrônica consiste em equipar um trator com equipamentos para a obtenção de dados de desempenho da máquina, com objetivo de estudo, ensaios e pesquisas. Já a eletrônica embarcada em tratores agrícolas é um sistema que executa funções que variam conforme o fabricante e geralmente são sistemas de monitoramento das atividades, através de *displays* digitais ou analógicos que informam o operador durante a operação e, em alguns casos mais específicos, realizam o armazenamento destes dados.

Exemplos do uso da eletrônica são comuns na agricultura e recentemente tornou-se freqüente em colhedoras de grãos, nas quais é utilizado o sistema GPS para indicar a posição dentro da lavoura, associado a uma série de sensores eletrônicos que avaliam a produtividade e a relaciona com a posição exata dentro do talhão, além de outras informações como umidade dos grãos e as perdas.

Um dos maiores problemas quanto à utilização de tratores agrícolas diz respeito à má adequação do trator aos seus equipamentos e também às condições

de trabalho a campo, sendo isto verificado diariamente em pequenas, médias e grandes propriedades rurais. Existe a necessidade de verificar o desempenho do conjunto trator implemento, com a utilização de uma instrumentação eletrônica para futuramente adequá-los às verdadeiras condições de trabalho, a fim de se obter a máxima capacidade operacional. Com a utilização de sensores eletrônicos em tratores, pretende-se combinar a eletrônica e a mecânica para nos fornecer condições técnicas de avaliar o desempenho de máquinas agrícolas desde que seja conhecida a real necessidade de trabalho a qual será submetido o conjunto. É indispensável que o registro e a leitura de dados adquiridos sejam de compatibilidade com os sistemas computacionais, o que permite a leitura e aquisição de dados no local de trabalho ou em uma etapa posterior.

Este projeto tem por objetivo o desenvolvimento de uma instrumentação para tratores agrícolas, composta por sensores eletrônicos, cuja finalidade é obter dados de desempenho durante operações a campo.

Neste cenário, buscou-se especificamente:

- Projetar conceitualmente e detalhadamente, escolhendo as opções mais adequadas para a criação de uma instrumentação eletrônica;
- Desenvolvimento de uma instrumentação eletrônica através da instalação de sensores para determinar o desempenho do trator, conectados a um sistema de aquisição;
- Desenvolver uma programação para comunicação dos dados e um software para interpretação e transferência dos dados para uma planilha eletrônica;
- Realizar testes de campo para validação da instrumentação desenvolvida.

A exequibilidade deste estudo se deu pela oportunidade e condições do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, aliada à estrutura física e de recursos humanos do Laboratório de Agrotecnologia, localizado no Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas (NEMA) da Universidade Federal de Santa Maria. O trator utilizado para os testes pertence ao NEMA, cedido na forma de comodato pela AGCO do Brasil, para ser utilizado em pesquisas dentro dos moldes característicos do setor.

Atualmente justifica-se a execução deste trabalho, o fato de que a metodologia utilizada hoje para realizar o dimensionamento de máquinas e

implementos é baseada na ASAE 497 (*American Society of Agricultural Engineers*), a qual possui equações cujos parâmetros foram obtidos em condições de campo nos Estados Unidos. Por isso, a necessidade de um órgão como o NEMA realizar trabalhos nesta área, obtendo parâmetros e posteriormente adaptá-los as condições de solo aqui existentes, pois são totalmente diferentes das condições norte-americanas. Um sistema de aquisição de dados nos fornecerá informações referentes à realidade regional a fim de estimar, por meio de equações, o dimensionamento de máquinas e equipamentos agrícolas. Além disso, poderá auxiliar as Empresas fabricantes de tratores agrícolas quanto ao desempenho de seus produtos, em condições de trabalho, permitindo ao setor de engenharia dessas empresas verificarem os pontos deficientes, através dos dados obtidos com este tipo de instrumentação.

A seguir, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os assuntos pertinentes ao trabalho, seguida pela metodologia adotada e resultados obtidos, finalizando o estudo com as conclusões e recomendações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Mialhe (1996), à complexidade tecnológica combina com altos custos de investimento, gerando profundas alterações na importância relativa das máquinas agrícolas, quando comparada com outras despesas, na estrutura do processo produtivo. Existe uma demanda cada vez mais crescente de informações confiáveis e detalhadas referentes ao desempenho dos tratores agrícolas. Conforme Donaldson (1970), a necessidade de informações concentra-se na forma de medidas precisas, através de dados obtidos por mensurações e não por simples extrapolação. 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).

Nesse contexto, o objetivo desta revisão bibliográfica é apresentar com base nas descrições encontradas na literatura da área, a estruturação do processo de desenvolvimento do projeto, bem como, os trabalhos semelhantes já realizados, que servem de apoio para a seleção dos principais componentes do sistema, possíveis de serem utilizados na instrumentação eletrônica para medida dos desempenho de tratores agrícolas.

2.1 Processo para o desenvolvimento de produtos

Conforme Romano (2003), o processo de desenvolvimento de produto envolve uma modelagem que resulta na formalização, através da descrição de fases, atividades, responsáveis, recursos disponíveis ou necessários, servindo de referencial comum para a comunicação dos envolvidos no processo. Isso permite melhorar o trabalho em equipe, estabelecer bases para aquisição de conhecimento, registro, bem como a tomada de decisão na melhoria do processo, facilitando a implantação e integração de métodos, técnicas e sistemas de apoio ao desenvolvimento do projeto.

Este autor caracteriza o projeto como sendo algo novo, que não tenha sido feito antes, sendo portanto único. Segundo PMI (2000), o projeto é um esforço temporário realizado para criar um novo produto ou serviço, ou seja, tem início e um

fim definido. Portanto, projetos de desenvolvimento de produtos são empreendimentos cujo objetivo é executar o processo de geração de uma idéia de um bem material, ao longo de várias fases, até o lançamento do produto no mercado (ROMANO, 2003).

Conforme este mesmo autor, a complexidade inerente ao processo de projeto e de sua diversidade de atividades, a sua subdivisão em fases o torna mais facilmente compreendido, caracterizado e controlado. Neste sentido, Back & Ogliari (2000) caracterizam esta divisão como sendo uma definição de um modelo de consenso para o projeto sistemático de produtos, representando de maneira abrangente as diversas proposições de metodologias de projeto.

O processo de desenvolvimento de um produto, conforme Romano (2003) compreende três macrofases sendo estas: planejamento, projeção e implementação. As macrofases do processo de desenvolvimento do produto são divididas em fases como podem ser observadas na figura a seguir.

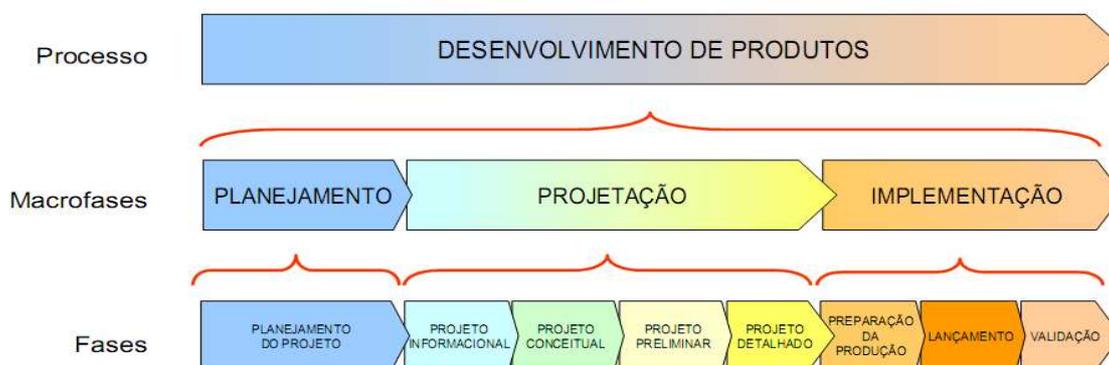


Figura 1- Processo de desenvolvimento de produtos (ROMANO, 2003).

A macrofase de projeção caracteriza-se por ser a fase em que o projeto do produto é elaborado. Compreende as fases de projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Obtêm-se, dessa forma, respectivamente as especificações do projeto, concepções do produto, leiaute (viabilidade técnica e econômica) e o detalhamento do processo de manufatura do produto. Desta forma, Oliveira (2001) define a palavra projeto como sendo o resultado (ou resultados), originários da macrofase de projeção.

Romano (2003) descreve essas fases da seguinte maneira:

- Projeto informacional: estabelece as especificações de projeto do produto. Esta fase inicia com a pesquisa de informações sobre o tema de projeto, estabelecendo o ciclo de vida do produto. São identificadas as necessidades dos clientes e o estabelecimento dos seus requisitos. Desta maneira, são estabelecidos os requisitos de projeto, os quais são hierarquizados, permitindo a identificação dos requisitos do projeto que melhor atendem os requisitos dos clientes. O encerramento da fase ocorre com o estabelecimento das especificações de projeto do produto, que formalizam as características do produto a ser desenvolvido.
- Projeto conceitual: o propósito do projeto conceitual é desenvolver a concepção de projeto do produto. Inicia com a análise das especificações de projeto e a identificação das restrições. Na seqüência, ocorre o estabelecimento da estrutura funcional e a pesquisa por princípios de solução. Após, é feita a seleção das combinações de princípios de solução que determinam as combinações alternativas, selecionando a mais promissora.
- Projeto preliminar: nesta fase ocorre o detalhamento inicial das concepções do produto. As principais atividades desenvolvidas incluem a elaboração de leiautes preliminares e detalhados, e o desenho de formas. Esta fase tem como resultado o leiaute definitivo da concepção do produto.
- Projeto detalhado: tem como objetivo fixar a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias de todos os componentes. A especificação dos materiais, viabilidade técnica e econômica são reavaliadas. Tem como resultado a documentação necessária à produção do produto projetado. A partir do detalhamento do projeto é feita a construção e a montagem do protótipo. O processo é encerrado com a avaliação do protótipo. A Figura 2 mostra o processo de projeto de máquinas agrícolas desenvolvido pelo NeDIP/UFSC.

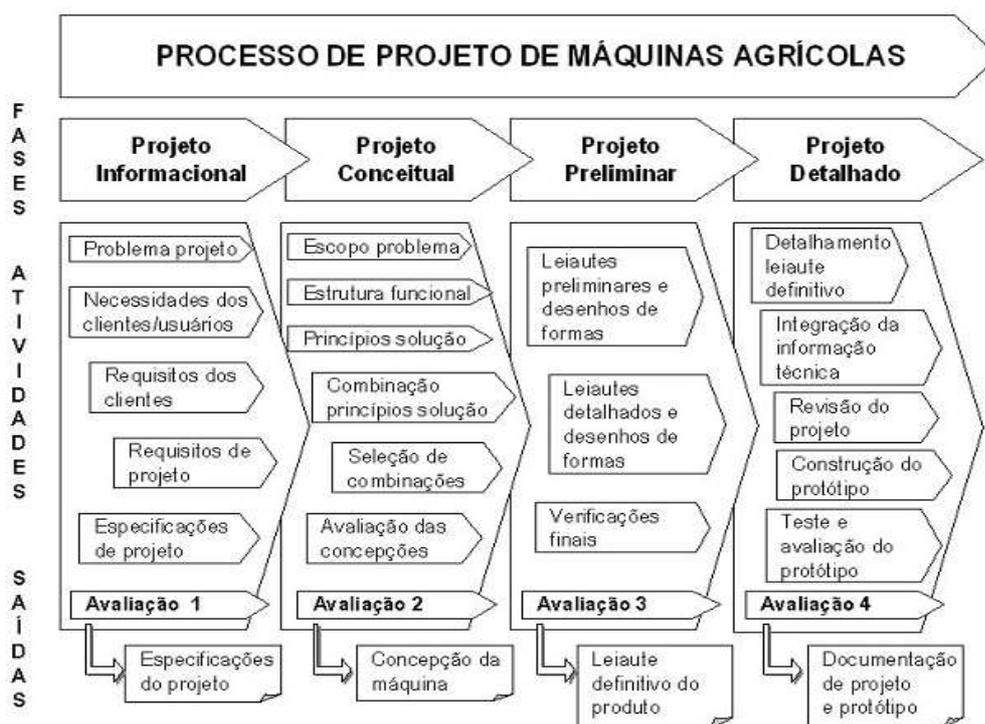


Figura 2- Processo de projeto de máquinas agrícolas do NeDIP/ UFSC.

Fonte: Romano (2003).

2.2 Conceito de trator

O trator agrícola consiste na principal fonte de potência na agricultura, sendo a base da mecanização, pois está envolvido em praticamente quase todas as operações realizadas. ASAE (1994) conceitua o trator como sendo uma máquina de tração projetada e inicialmente recomendada a fornecer potência aos equipamentos agrícolas. Assim, o mesmo proporciona uma força na direção de avanço permitindo tracionar os equipamentos de preparo do solo e/ou outros implementos agrícolas.

O motor do trator transforma parte da energia produzida pela queima do combustível em trabalho mecânico e, através da transmissão, este trabalho mecânico é utilizado para realizar as atividades agrícolas. Dessa forma Mialhe (1996) conceitua o trator agrícola como sendo uma máquina autopropelida provida de meios que, além de darem apoio estável sobre a superfície capacitam-na a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar máquinas e implentos agrícolas.

2.3 Desempenho de um trator

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. Estes mesmos autores, avaliando o desempenho de um trator, concluem que em função da cobertura de matéria seca sobre o solo há um aumento nos índices de patinamento, o que faz diminuir a eficiência de tração. Assim, os autores reafirmam que a tração é o resultado da interação entre o rodado e a superfície. 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).

2.4 Instrumentação eletrônica em máquinas agrícolas

Atualmente, tanto os computadores como a eletrônica já possuem uma base bem estabelecida na agricultura e, de uma maneira geral, deixaram de serem considerados caros, complexos e de benefícios duvidosos.

A utilização de equipamentos eletrônicos em tratores tomou impulso com o surgimento do GPS. Segundo Fernandes et al. (2006), o GPS (*Global Positioning System*) é um sistema desenvolvido e controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Este sistema permite calcular rapidamente e com exatidão posições na Terra, com base em informações enviadas por 24 satélites. Surgiu então a agricultura de precisão baseada no sistema NAVSTAR GPS, na qual a instalação de unidades de GPS nas máquinas de colheita proporcionou a elaboração de mapas de produtividade alavancando a utilização dos equipamentos eletrônicos nas máquinas agrícolas.

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).

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). Dos tratores para outras máquinas e implementos, os sistemas embarcados foram se disseminando, e

atualmente colhedoras, semeadoras, pulverizadores, dispõem de sistemas de monitoramento ou controle, que compensam automaticamente a influência da variação de velocidade de deslocamento das máquinas na taxa de aplicação de produtos e colheita (SARAIVA, 2003).

Portanto, os primeiros passos referentes a instrumentos em tratores iniciaram no século passado, foram avançando, e hoje se tornaram comuns em máquinas agrícolas fazendo parte do cotidiano dos agricultores. Inúmeros são os tipos de máquinas que saem de fábrica equipadas com instrumentos eletrônicos com o objetivo de auxiliar nas atividades desempenhadas na lavoura principalmente semeadura, pulverização e colheita, sendo estas operações consideradas agronomicamente fundamentais para o sucesso da lavoura.

2.5 Instrumentação agrícola para medida do desempenho de tratores

Para a pesquisa é fundamental obter informações de comportamento de um trator durante a realização das atividades a campo. Segundo Silva; Benez (1997), a instrumentação agrícola tem por finalidade obter informações que possibilitem dimensionar e racionalizar os conjuntos mecanizados. Conforme Soranso (2006), através dos dados coletados pode-se determinar o desempenho operacional do conjunto mecanizado, assim como uma avaliação de forma bastante rápida a fim de recomendação tanto para o usuário como para o fabricante. Para Mantovani et al. (1999), a instrumentação eletrônica permite uma grande capacidade de trabalho em função da facilidade de programação e operação para realização das medições.

A aquisição de dados é efetuada mediante um conjunto de sensores e um coletor de dados para leitura e armazenamento de dados (MANTOVANI et al., 1999).

O objetivo de um sistema de aquisição de dados é apresentar os valores das variáveis, ou os parâmetros que estão sendo medidos. Na agricultura tem se trabalhado em várias áreas, utilizando algum tipo de sistema de aquisição de dados para monitorar eventos em pesquisas (GARCIA et al., 2003). Muitos exemplos de utilização de um sistema de aquisição de dados foram realizados, como pode-se citar o trabalho de Arrivo; Di Renzo (1998), cujo objetivo foi medir a força de tração, a velocidade de deslocamento, torque da tomada de potência e rotação, fluxo do

sistema hidráulico e profundidade de trabalho diretamente no campo e em tempo real.

Em outro trabalho, realizado por Schlosser et al. (2001), foi utilizada uma instrumentação eletrônica de aquisição de dados formada por um conjunto de sensores para medida da velocidade das rodas, velocidade do veículo por meio de um radar, célula de carga, conexões, cabos e um condicionador de sinais, junto com um programa de aquisição de dados e um sistema de armazenamento no computador, cujo objetivo foi o estudar o fenômeno de vibrações decorrentes da interferência entre eixos em um trator com tração dianteira auxiliar (TDA). A Figura 3 o mostra diversos sensores instalados ao trator conectados a um sistema de aquisição de dados.

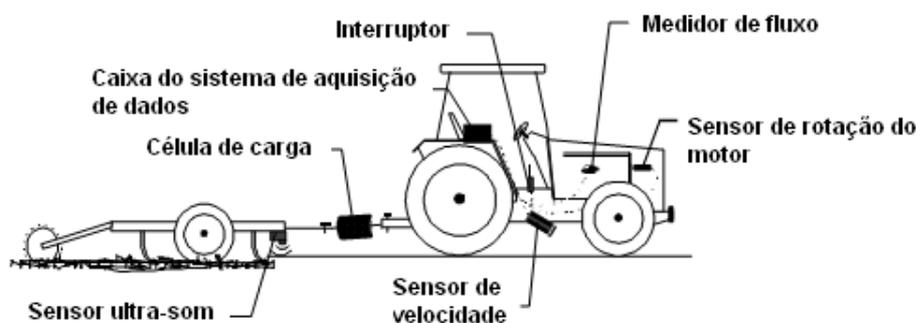


Figura 3- Sistema de aquisição de dados (Adaptado de MANTOVANI et al., 1999).

2.5.1 Sistema de armazenamento de dados

Os sensores enviam os sinais a uma central que os armazena. Soranso (2006) utilizou um sistema de armazenamento baseado em um *datalogger micrologger* CR 23X da marca *Campbell Cientific*, equipado com uma placa SDM-INT8 SN:2094 para aumentar a quantidade de canais de entrada de sensores. Esse sistema de armazenamento de dados foi utilizado em um trator Valtra BM 100 4x2 TDA para determinar o desempenho dinâmico do trator, utilizando biodiesel destilado etílico e metílico.

Para medir a demanda energética de uma semeadora adubadora, Trintin et al. (2005) utilizaram também um *datalogger* CR 23X da *Campbell Cientific* para armazenar, a uma frequência de 20 Hz, os sinais analógicos (célula de carga) e de pulso (patinamento, radar, consumo de combustível e rotação). Para a determinação

do desempenho de um conjunto trator implemento, Mantovani et al. (1999) utilizaram um sistema de armazenamento de dados emitidos pelos sensores a qual baseava-se em um *datalogger* CR 10 da *Campbell Científic*, que possui capacidade de programação, mesmo no campo, por meio de um teclado com visor alfa numérico, que, além de auxiliar na programação, também possibilita o monitoramento dos dados em tempo real. O programa desenvolvido por este autor foi escrito, inicialmente, em um computador portátil e transferido ao CR10 via interface serial. No campo, utilizou-se o teclado próprio para pequenos programas de teste ou para monitorar os dados coletados. Utilizaram-se, no programa desenvolvido, funções de multiplicações de coeficientes em tempo real durante a leitura, convertendo os dados lidos do sensor em unidades de medida.

Serrano (2007) para determinar o desempenho de tratores em tração, aproveitou o sistema comercial *Datatron* (equipa os tratores Massey Ferguson da série 3000 e 3100), o qual se constitui de um conjunto de sensores ligados a uma unidade central de tratamento de sinal e cálculo que permite informar ao operador os parâmetros de desempenho do trator. Esse sistema comercial apresenta o problema de não armazenar os dados coletados durante a operação. Por isso, para superar o fato da informação não ficar registrada, foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados (SAD). Foi feita uma derivação dos sinais dos sensores para um circuito eletrônico constituído de uma caixa de terminais (oito canais) de condicionamento de sinais, para converter os sinais analógicos registrados pelos sensores em sinais digitais e uma placa de aquisição de dados como interface para um computador portátil IBM Compaq Armada 1520. A placa de aquisição de dados era do tipo PCMCIA, modelo DAQCard-1200 da *National Instruments*.

Um *datalogger* (registrador de dados) é um gravador de dados eletrônicos, que armazena os dados de sensores em um intervalo de tempo pré-definido ou conforme uma lógica de programação interna ou ainda conforme um comando externo. Um *datalogger* diferencia-se de um sistema de aquisição de dados por ser um equipamento único, possuir uma baixa taxa de amostragem e alta capacidade de armazenamento de dados. De maneira geral, o *datalogger* utiliza um circuito eletrônico baseado em um microprocessador para controle e memórias de armazenamento não voláteis para armazenamento de dados. Geralmente são pequenos e alimentados por baterias. Através de portas de comunicação é possível

fazer a aquisição dos dados armazenados para um computador, por exemplo, onde os dados podem ser analisados e tratados convenientemente. Alguns *dataloggers* possuem ainda uma interface com LCD (*Display* de Cristal Líquido) e um teclado para facilitar a programação, alteração de parâmetros e visualização dos dados armazenados.

Conforme CCMQ (2003), as principais características de um *datalogger* são:

- Entradas e Saídas – Determinam a quantidade e o tipo de entradas elétricas para sinais de sensores e chaves de controle e a quantidade e tipo de saídas elétricas para controle de atuadores, sinalizadores e outros equipamentos. Podem ser entradas ou saídas digitais, analógicas ou específicas para determinadas aplicações. Os níveis de tensão e corrente dessas entradas e saídas devem ser bem observados para evitar danos ao *datalogger*.

- Memória de Armazenamento – Capacidade e tipo de memória utilizada para armazenamento do programa principal (quando o *datalogger* for programável) e dos dados dos sensores.

- Taxa de Amostragem – Intervalo de tempo em que os dados são digitalizados. Esse tempo determina o intervalo de tempo mínimo em que podem ser coletados os dados.

- Precisão – Todas as precisões dos dados das entradas e saídas, especificadas individualmente.

- Interfaces de Comunicação – Canais de comunicação com outros equipamentos elétricos.

- Alimentação – Tensão e corrente nominal de alimentação dos circuitos eletrônicos, com ou sem alimentação dos sensores e atuadores ligados ao *datalogger*.

- Grau de Proteção – Ambientes agressivos requerem *dataloggers* herméticos, com grau de proteção elevado.

2.5.2 Processamento dos dados

Normalmente o processamento de dados se dá em uma etapa posterior ao armazenamento, em um computador, através de softwares específicos ou programações desenvolvidas para esse fim, utilizando como base um software que

acompanha os *dataloggers*, por exemplo. Mantovani et al. (1999) após realizarem a coleta dos dados no campo e a transferência para um computador, para serem processados, utilizaram o próprio programa de transferência do *datalogger*, que permite escolher a porta de comunicação, a velocidade de transmissão e, também, o gerenciamento da comunicação. Os dados foram armazenados no formato de arquivo texto. Geralmente os dados de texto são abertos em planilhas do Microsoft Excel[®] para serem interpretados.

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. O aplicativo desenvolvido inicia e continua a leitura, enquanto não ocorre erro interno do sistema de aquisição automática de dados, nem na interrupção induzida pelo usuário. O aplicativo AvaliaMA gera um arquivo de saída em formato xls em que os dados de saída são organizados em colunas, como pode ser visualizado na Figura 4.

Data (dd/mm/aaaa)	Hora (hh:mm:ss)	Força (kN)	Velocidade (km h ⁻¹)	Rotação (rpm)	Torque (mN)
06/09/2001	11:01:11	10,08	5,58	526,38	160,17
06/09/2001	11:01:12	10,07	5,67	520,07	160,77
06/09/2001	11:01:13	11,12	5,66	542,81	204,58
06/09/2001	11:01:14	11,41	5,77	534,74	216,36
06/09/2001	11:01:15	13,13	5,85	533,17	287,63
06/09/2001	11:01:16	16,11	5,66	538,83	411,08
06/09/2001	11:01:17	19,74	5,71	521,90	561,35
06/09/2001	11:01:18	20,35	5,75	525,37	585,69
06/09/2001	11:01:19	19,84	5,79	520,12	564,34

Figura 4- Arquivo de saída de dados do aplicativo AvaliaMA (GARCIA et al., 2003).

2.5.3 Sensores utilizados em máquinas agrícolas

Segundo Fernandes et al. (2006), os sensores permitem que uma máquina possa interagir com o ambiente de forma flexível, com um nível maior de percepção do meio. Conforme o autor os sensores são os seguintes:

- Sensores de distância: medem a distância entre um ponto de referência, geralmente outro sensor, e objetos no campo de atuação do sensor. São muito utilizados na locomoção de máquinas para o desvio de obstáculos, onde sua utilização consiste no estimar da distância. Seu uso é muito comum em máquinas florestais.

- Sensores de proximidade: são sensores que indicam a presença de um objeto a uma distância pré-definida. Os sensores indutivos baseiam-se na variação da indutância devido à presença de materiais metálicos e estão entre os sensores mais utilizados pela indústria. São os sensores geralmente utilizados em máquinas agrícolas. Os sensores capacitativos são potencialmente capazes de detectar todos os materiais sólidos e líquidos e, como o próprio nome diz, estes sensores são baseados na mudança de capacitância induzida das superfícies que se aproximam do sensor.

No caso dos sensores de proximidade ópticos, estes apresentam um modo de funcionamento que se baseia na propagação de uma onda desde o transmissor até o receptor que detecta a proximidade dos objetos. A Figura 5 mostra um exemplo de sensor do tipo indutivo.

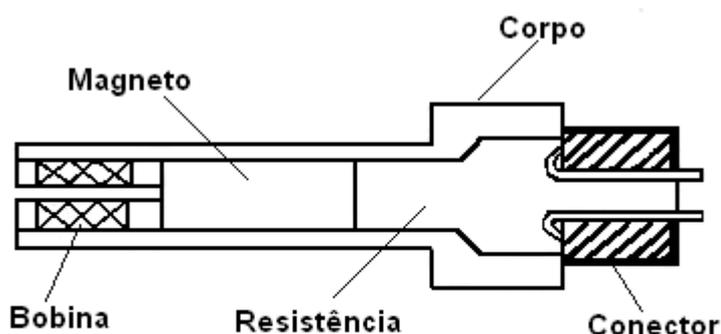


Figura 5 - Sensor de proximidade do tipo indutivo (FERNANDES et al., (2006).

Um sensor de proximidade indutivo tem sua saída ativada quando um metal entra em sua área sensora. Baseia-se no princípio da variação da frequência de um

oscilador eletrônico em função da variação do fluxo magnético no interior de um indutor com a aproximação de um metal. Como os metais apresentam alta permeabilidade magnética, a aproximação de um metal faz com que o fluxo magnético ao redor do indutor seja concentrado no metal, mudando assim o valor da indutância e conseqüentemente a freqüência do circuito oscilador. Um circuito eletrônico conversor freqüência-tensão e um detector de nível de tensão de disparo são empregados para ligar e desligar a saída nos valores de tensão convenientes.

- Sensores de toque: são utilizados para obter informações relativas ao reconhecimento de objetos, bem como controlar a força exercida sobre determinado objeto. Os sensores analógicos, pelo seu lado, são aparelhos cuja informação de saída é proporcional à força local aplicada. A informação é mais completa permitindo uma melhor adequação da máquina ao mundo em que opera. Muito utilizado em braços ou garra de máquinas florestais. A Figura 6 apresenta um exemplo de sensor de toque.

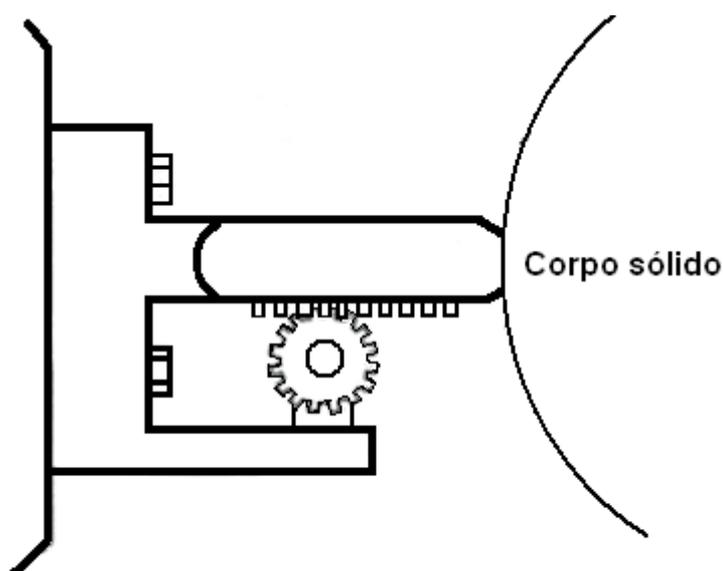


Figura 6 - Representação do funcionamento do sensor de toque (FERNANDES et al.; (2006).

- Sensores de força e de momento: são usados principalmente para medir forças de reação geradas durante a interação da máquina com outros objetos. Para obter essas forças, utilizam-se sensores de pulso e sensores das junções nos braços. Os sensores de pulso consistem em quantificar a deflexão na estrutura mecânica devido a forças exteriores.

Segundo Mantovani et al. (1999), os sensores utilizados em tratores são divididos em dois grupos: analógico e digital. Os sensores analógicos emitem um sinal contínuo de amplitude proporcional à variável medida e, pelo fato de não ser instantânea no momento da observação, os sensores não usam a informação contida entre duas observações. Os sensores digitais trabalham digitalmente, ou seja, cada impulso corresponde a uma quantidade precisa do valor medido. Neste caso, a informação não é instantânea e vai contabilizar todos os impulsos desde a última observação.

Conforme Garcia et al. (2003), nos equipamentos que se deseja monitorar ou controlar são instalados os 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 às placas 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. Depois de condicionados e trabalhados na forma desejada, os sinais podem ser lidos e armazenados em computadores das mais diferentes formas.

2.5.4 Medida da rotação das rodas motrizes

Schlosser (1996) utilizou, para determinação do patinamento das rodas motrizes, sensores nas rodas traseiras e dianteiras. Estes sensores captavam os pulsos gerados quando por esses passavam ímãs que dispostos em um flange de fixação das rodas giravam quando o trator entrava em movimento, obtendo a rotação das rodas e conseguindo assim determinar a velocidade teórica e conseqüentemente o patinamento. Este sistema pode ser visto na Figura 7.

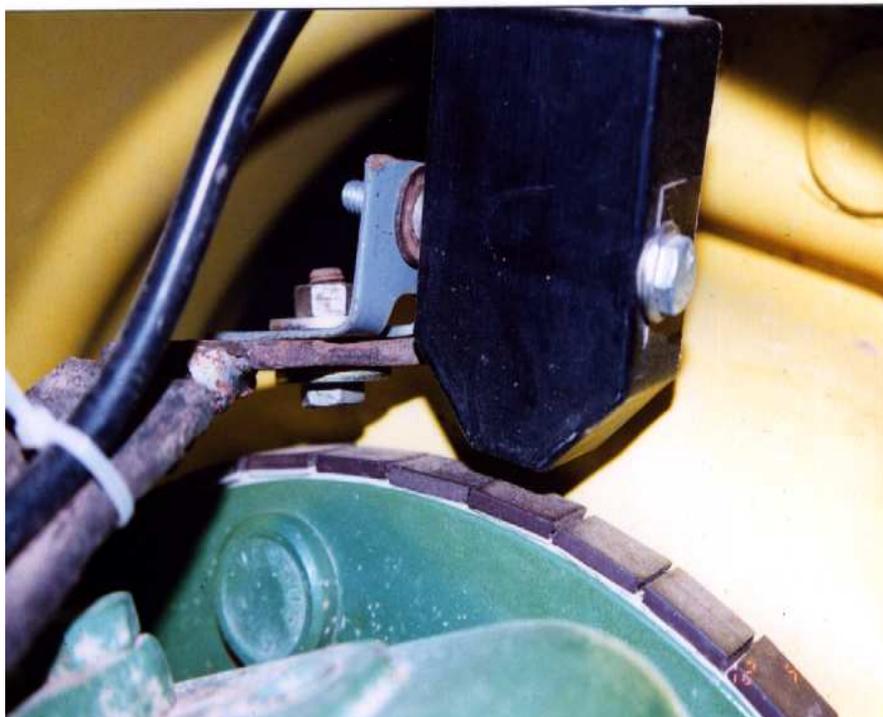


Figura 7 - Sensor de roda (SCHLOSSER, 1996).

Antuniassi et al. (2001), utilizaram um sistema semelhante para medir a rotação das rodas do trator, através de um sensor magnético fixado a uma estrutura metálica. Este arranjo permitiu que o sensor mantivesse sua posição relativa em relação à roda independente do ângulo realizado pela roda dianteira. Para o acionamento do sensor magnético foram utilizados 12 ímãs espaçados 30°, presos a um flange fixado no cubo de roda. Um circuito elétrico alimentado pela bateria do trator foi construído para levar a tensão da bateria ao sensor e posteriormente ao sistema de aquisição de dados. A Figura 8 mostra o sistema desenvolvido.



Figura 8 - Flange com imãs preso ao cubo da roda dianteira do trator (ANTUNIASSI et al., 2001).

2.5.5 Medida da velocidade

Na maioria dos trabalhos realizados, em que foi necessário medir a velocidade, utilizou-se radares, mas o uso de sensores também foi mencionado. Tompkins et al. (1988) avaliaram técnicas para a medição de velocidade com radar e sensores de roda em diferentes superfícies. O radar mostrou uma indicação mais acurada da velocidade em todas as condições testadas, exceto em vegetação alta. O coeficiente de variação da indicação da velocidade como uma função do tempo tendeu a ser maior para sensores em contato com as rodas do que para o radar, exceto nas superfícies de vegetação alta.

No trabalho realizado, em que foram avaliados sensores magnéticos e radar, Antuniassi et al. (2001) observaram que o sensor magnético de roda apresentou velocidade média indicada maior do que a do radar, apesar de ambos terem sido calibrados nas mesmas condições. Porém, quando ambos deslocam-se em linha reta não foram observadas diferenças. Em média, as indicações de velocidade em superfície sem vegetação foram maiores do que em locais com vegetação, mas na interação entre condições de superfície e tipo de sensor, tais diferenças não foram

significativas nas leituras com radar. A direção de deslocamento apresentou influência significativa sobre a velocidade indicada pelos sensores.

O GPS é um receptor de um sistema de posicionamento por satélites. São utilizados para determinação da posição, velocidade e direção do receptor na superfície da Terra. O receptor capta os sinais de quatro ou mais satélites e calcula a distância para cada um dos satélites pela razão entre a velocidade de propagação dos sinais e o intervalo de tempo entre a hora local e a hora em que os sinais foram enviados. Além disso, o receptor tem uma base de dados interna que facilita a confirmação dos dados calculados e a determinação das coordenadas do receptor. Estações terrestres de controle, localizadas na Zona Equatorial mantêm os dados dos satélites constantemente atualizados e sincronizados. Desta maneira, os satélites possuem relógios atômicos de bordo altamente precisos, razão pela qual se registra a data e hora diretamente do GPS.

Quando se utiliza o receptor de GPS, a velocidade é obtida, segundo Hofmann-Wellenhof et al. (1992), pelo efeito *Doppler*. O movimento relativo dos satélites da constelação de GPS em relação a um veículo em movimento, portando um receptor, fornece uma frequência de transmissão de um sinal gerado pelos satélites, sendo alterada quando recebida no veículo. O GPS calcula a velocidade por meio do desvio na frequência (efeito *Doppler*) do sinal vindo de cada satélite. O desvio de frequência é proporcional à velocidade relativa entre a antena e o satélite. Sabendo a posição do satélite e a velocidade relativa entre o receptor e os satélites, é possível calcular a velocidade do receptor e o vetor direção. O princípio é obtido proporcionalmente à velocidade radial relativa. Uma vez que a velocidade radial dos satélites é conhecida, a velocidade radial do veículo em movimento pode ser então deduzida.

Molin et al. (2005) observaram que o GPS apresenta retardo na obtenção de velocidades na situação de aceleração e desaceleração, sendo essa diferença relacionada ao processamento de dados que gera o sinal de velocidade por conta de seu algoritmo interno. Sobre o solo com cobertura vegetal, os sensores do tipo radar demonstraram ser influenciados pela irregularidade da superfície. No caso do GPS, esse problema deve de alguma forma, ser corrigido ou compensado para não comprometer significativamente a qualidade de operações dependentes da

velocidade, especialmente em bordas de talhões, onde as máquinas apresentam mudanças acentuadas na velocidade em função das manobras.

2.5.6 Medida do consumo de combustível

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 9 apresenta o sistema de engrenagens de um medidor de fluxo (OVAL CORPORATION, 2008).

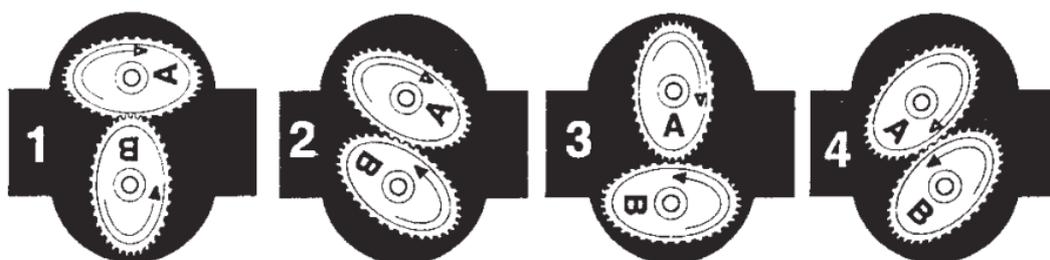


Figura 9 – Sistema de engrenagens do fluxômetro (OVAL CORPORATION, 2008).

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 ($g.kW.h^{-1}$). A Figura 10 mostra um esquema de montagem desenvolvido por Lopes et al. (2003) para medida do consumo de combustível.

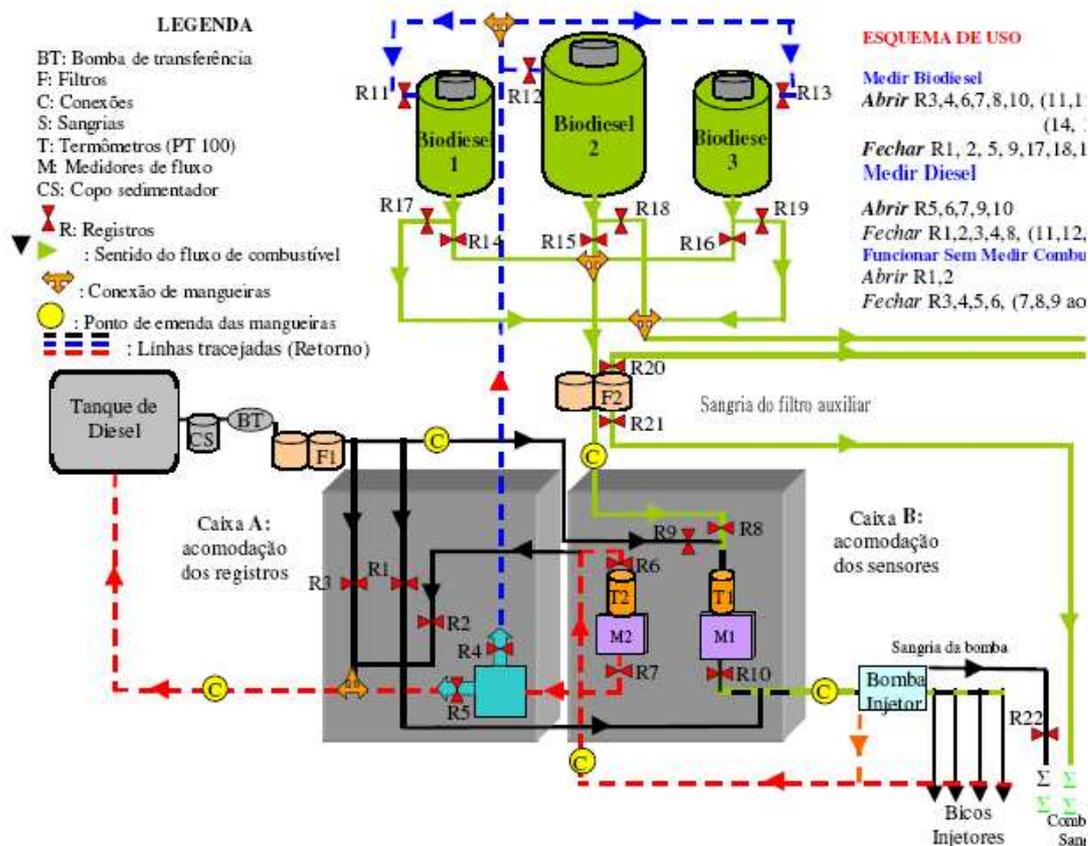


Figura 10 - Protótipo usado por para medição de combustível (LOPES et al. (2003))

2.5.7 Medida da força de tração

Uma célula de carga 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.

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. (2005) 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. 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.

O sistema desenvolvido de adaptação da célula de carga à barra de tração do trator é apresentado na Figura 11:



Figura 11 - Estrutura com a célula de carga montada a barra de tração do trator. (GARCIA et al., 2003).

2.6 Considerações sobre o levantamento bibliográfico

Com base na busca de literatura por trabalhos realizados na área envolvendo projetos e instrumentação eletrônica de tratores agrícolas, foi possível observar a estruturação a ser seguida para o desenvolvimento do projeto, bem como os principais sistemas, equipamentos e formas de instalação possíveis de serem utilizadas para realização deste trabalho.

A conclusão que se chega, ao final deste levantamento bibliográfico é que existem muitos trabalhos semelhantes até o momento, porém possuem objetivos específicos e não envolvem o processo como um todo, ou seja, desde o desenvolvimento do projeto, abrangendo a construção e finalização com a realização dos testes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A realização de ensaios em condições de campo utilizando tratores equipados com sensores pode resultar em um trabalho produtivo e econômico, com reduzidas perdas na precisão de dados coletados, de acordo com Linares et al. (1992). Por isso, a instrumentação desenvolvida tem a finalidade de obter dados de ensaios com máquinas e implementos nas condições reais de campo.

Esse trabalho está dividido em três partes, sendo constituído pela elaboração do projeto, construção e teste da instrumentação a campo.

3.1 Desenvolvimento do Projeto

Para o desenvolvimento do projeto da instrumentação foi seguido o Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas desenvolvido por ROMANO (2003), que consiste em um processo subdividido em fases e avaliações. Essas fases são importantes na determinação das atividades a serem realizadas, permitindo seu gerenciamento, diminuindo os riscos que por ventura venham comprometer o andamento do projeto. Cabe ressaltar que nem todas as etapas que fazem parte das fases da projeção foram utilizadas, dando-se prioridade as mais importantes ao projeto a ser desenvolvido. A seqüência do processo de desenvolvimento do projeto da instrumentação eletrônica pode ser visualizada na Figura 12.



Figura 12 – Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas (ROMANO, 2003).

Para a realização deste trabalho, buscou-se exclusivamente executar a macrofase de projeção, pois se caracteriza por ser uma etapa em que o projeto do produto e o processo de construção são elaborados.

Dentro da macrofase de projeção, foi desenvolvido o projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e o projeto detalhado.

3.1.1 Projeto Informacional

Para a construção da instrumentação eletrônica foi necessário primeiramente a realização do projeto informacional, que focaliza os requisitos dos clientes de um produto, que são as características que os usuários do produto necessitam para desenvolver suas atividades e os associa aos requisitos de projeto que são parâmetros que o produto deve apresentar para atender as necessidades dos clientes. Mialhe (1996) cita fatores que tomam a forma de medidas no projeto e que devem ser observados: especificações físicas (contempla as dimensões gerais do produto), distribuição de massas, capacidade do reservatório e torque; características dinâmicas ou tempo dependentes como potência, capacidade operacional, vida útil e durabilidade; características econômicas como, por exemplo, medidas de custo de manutenção e reparos.

As principais ferramentas de auxílio ao processo incluem o Diagrama de Mudge e o QFD (*Quality Function Deployment*). O Diagrama de Mudge possibilita fazer a valoração dos requisitos dos clientes com o propósito de identificar os requisitos mais importantes. No projeto informacional da instrumentação de um trator agrícola foram avaliados os requisitos dos clientes e os requisitos de projeto através da metodologia adotada. A Figura 13 mostra os itens abordados no projeto informacional da instrumentação eletrônica.

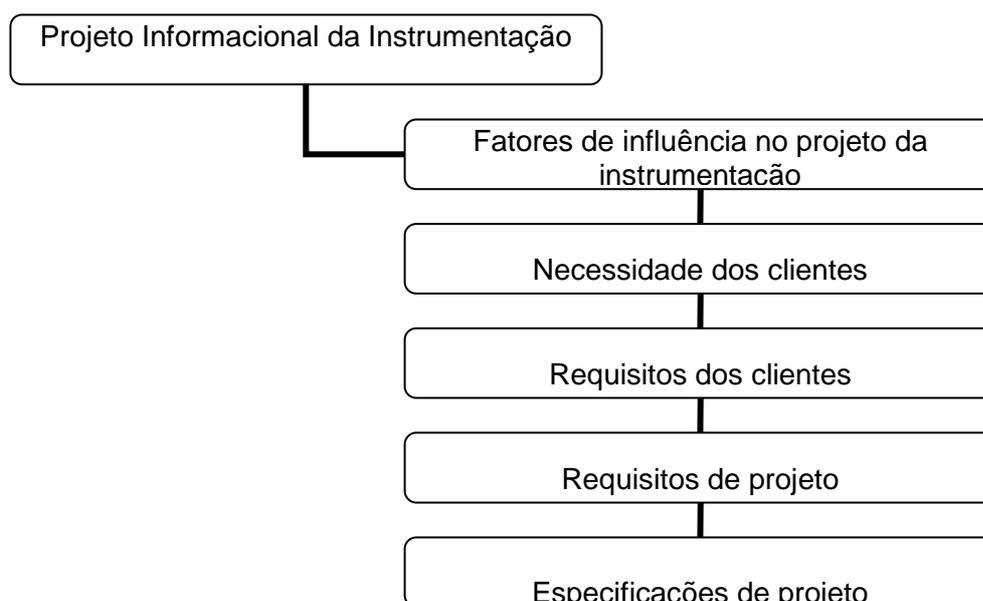


Figura 13 – Fluxograma seqüencial do projeto informacional.

As etapas pertencentes ao fluxograma seqüencial do projeto informacional foram decompostas em sub-etapas, que compreendem uma série de outros itens abordados e descritos no projeto.

3.1.2 Projeto Conceitual

Após a realização do projeto informacional, a fase seguinte pertencente à macrofase de projeção, é o projeto conceitual. Caracteriza-se por ser uma fase em que ocorre a elaboração da concepção da instrumentação a ser desenvolvida. O fluxograma seqüencial do projeto desenvolvido pode ser visualizado na Figura 14.

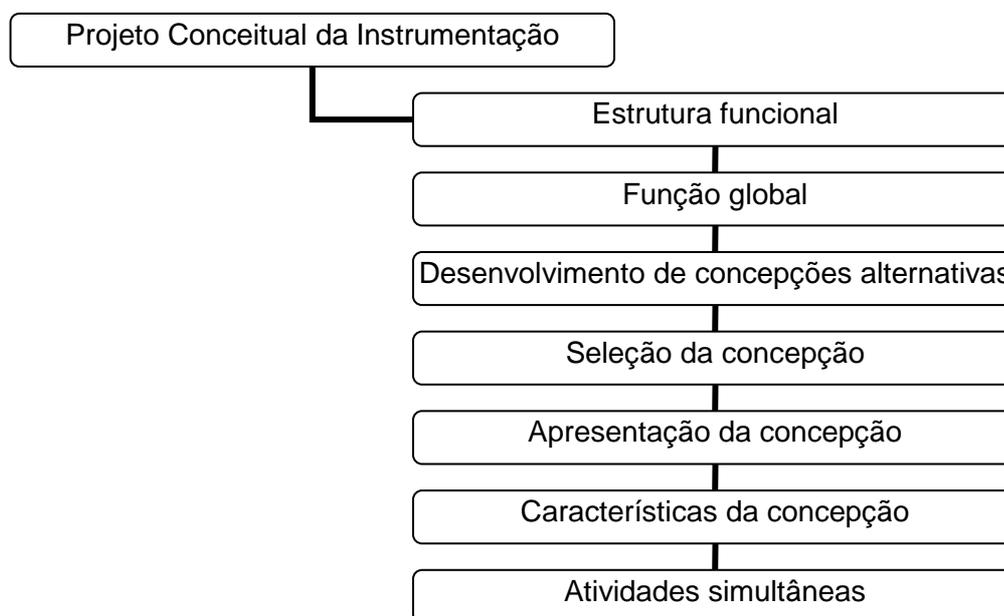


Figura 14 – Fluxograma seqüencial do projeto conceitual.

Nesta fase de projeção, buscou-se, primeiramente, através do projeto conceitual, definir a estrutura funcional, formando a função global da instrumentação. Com base na estrutura funcional, parte-se para o desenvolvimento de concepções alternativas, ou seja, soluções ou alternativas que possam ser usadas em substituição a outras, não comprometendo a qualidade, segurança e a funcionalidade de toda a instrumentação. A partir dessas concepções alternativas, optou-se por uma, levando-se em consideração critérios como, por exemplo, custo de aquisição, facilidade de fornecimento, entre outros. No final desta seqüência,

ocorre a apresentação da concepção escolhida, dando-se início aos estudos de identificação dos processos possíveis de serem utilizados concomitantemente a outras atividades inerentes ao projeto.

3.1.3 Projeto Preliminar

A terceira fase da projeção, denominada de projeto preliminar, tem por finalidade identificar as principais especificações de projeto, definindo os componentes a serem utilizados na instrumentação e os principais fornecedores, como mostra a Figura 15.

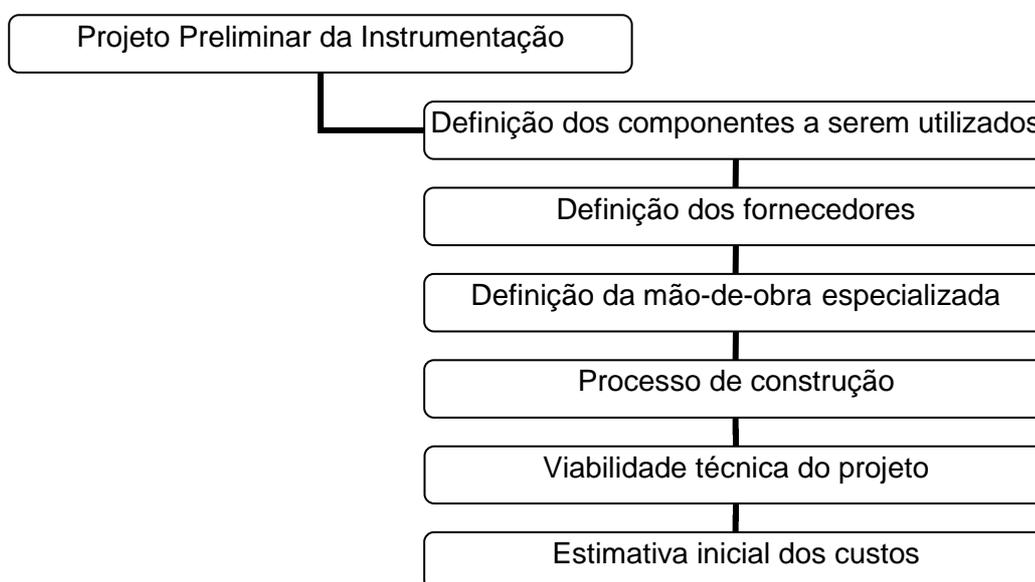


Figura 15 – Fluxograma seqüencial do projeto preliminar.

No projeto preliminar, foi dada maior atenção às etapas que determinam a viabilidade técnica do projeto e a estimativa inicial dos custos, fatores esses de suma importância, pois podem colocar a perder todo o projeto quando não planejados corretamente.

3.1.4 Projeto Detalhado

Caracteriza-se por ser a última etapa da projeção. O projeto detalhado da instrumentação eletrônica compreende a finalização nas especificações dos componentes a serem utilizados, além de uma descrição completa de todo o processo de construção da instrumentação. São ressaltados os pontos críticos do projeto para que não haja falhas no processo de desenvolvimento do produto. A Figura 16 mostra a seqüência desenvolvida no projeto detalhado.

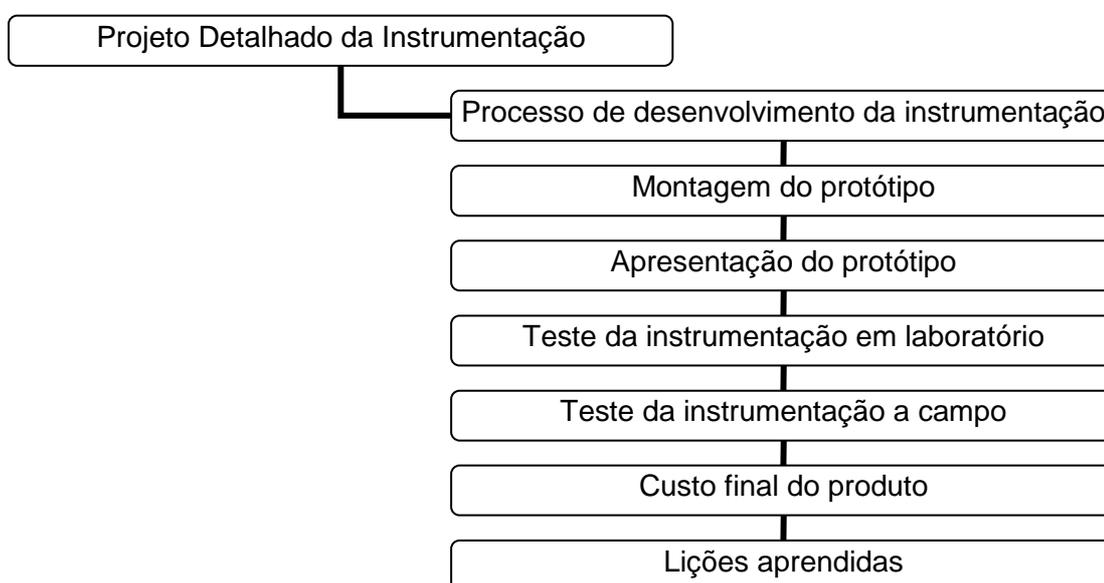


Figura 16 – Fluxograma seqüencial do projeto detalhado.

3.2 Construção da instrumentação eletrônica

3.2.1 Trator utilizado na instrumentação

Toda a instrumentação eletrônica foi instalada em um trator Massey Ferguson, modelo *Advanced 290 Shuttle*, ano 2007. Motor Perkins 4 cilindros aspirado e volume 4100 cm³, com potência na rotação nominal de 63kW (85 CV), torque máximo a 1400 rpm 319 Nm (32,52 kgf) e tração dianteira auxiliar (TDA). A transmissão de potência deste trator apresenta um sistema de reversão com oito marchas à frente e oito marchas à ré.

Os pneus que equipavam o trator eram da marca Goodyear, 23.1-26R2 nas rodas traseiras, e 14.9-24R2 nas rodas dianteiras. A massa total com lastro era 4.524 quilogramas. Também foram utilizados os pneus 14.9 – 24 R1 Pirelli TM 95 nas rodas dianteiras e 18.4 – 34 R1 Firestone Super All Traction 23 nas rodas traseiras. A massa do trator somente com lastro metálico, 4.360 quilogramas. A Figura 17 mostra o trator utilizado na montagem da instrumentação.



Figura 17 - Trator utilizado na montagem da instrumentação.

3.2.2 Construção do sistema mecânico

O processo de usinagem das peças metálicas foi realizado por oficinas de terceiros. O restante da construção das peças, como soldagem, acabamento, pintura e montagem ao trator, foi realizado na oficina do NEMA, com a ajuda de estagiários e bolsistas pertencentes ao setor de mecanização.

3.2.3 Montagem do sistema eletrônico

A elaboração do software e a ligação dos sensores ao *datalogger* foram realizadas por um técnico em eletrônica, especializado na área de automação industrial. Cabe ressaltar que esta é uma fase muito importante, por isso a necessidade de mão-de-obra especializada, pois qualquer erro na ligação dos sensores pode comprometer seriamente o sistema de armazenamento de dados, sendo este o sistema vital de toda a instrumentação.

3.3 Testes realizados com o trator instrumentado

Antes do início dos testes, foi necessária a determinação de alguns parâmetros, que não podem deixar de ser observados quando deseja-se fazer testes com tratores agrícolas a campo.

3.3.1 Determinação do peso do trator

Para se determinar o peso do trator foi usada uma balança para pesagem de caminhões com uma precisão de ± 15 kg. Cada condição na qual foi mudado o tipo de pneu ou lastro, o trator era submetido a uma nova pesagem para determinar o seu peso total e o peso sobre os eixo dianteiro e traseiro.

A pesagem se fez necessária, para manter uma adequada distribuição de peso, para se obter uma boa eficiência de tração. Para tratores 4 x 2 com TDA na faixa de 75 a 150 kW, recomenda-se uma distribuição estática de peso de 40% para o eixo dianteiro e 60% para o eixo traseiro, ficando na distribuição dinâmica 30 e 70% respectivamente. As Figuras, 18, 19 e 20, demonstram as posições de pesagem do trator.



Figura 18 – Determinação do peso total.



Figura 19 – Pesagem do eixo dianteiro.



Figura 20 – Pesagem do eixo traseiro.

3.3.2 Determinação do raio estático e dinâmico das rodas

Os raios estáticos dos pneus variam conforme as pressões de insuflagem dos pneus e da quantidade de água do lastro. A medida do raio estático foi determinada com uma trena metálica do centro da roda até o piso de concreto.

O raio dinâmico foi determinado no campo, contando-se o número de voltas das rodas no momento em que o trator se deslocava. Existe uma diferença significativa entre o raio dinâmico e o estático em função das deflexões dos pneus no campo, devido ao tipo e umidade do solo e da cobertura vegetal.

3.3.3 Determinação das condições de campo

- Umidade do solo: a determinação do conteúdo de umidade do solo foi realizada de duas maneiras. A primeira foi por meio de três amostras de solo coletadas na profundidade de 0 a 10 cm e colocadas em recipientes de alumínio para serem pesadas. Após foram colocadas em estufa para secar, obtendo-se assim o conteúdo de água existente na amostra.

A segunda maneira foi utilizando uma sonda de umidade da marca *Trime – Datapilot* que nos indica diretamente o teor de umidade do solo.

- Índice de cone: foi utilizado para determinação do índice de cone um penetrômetro da marca Falker modelo PLG 1020, que atinge uma profundidade de 50 cm. Miller (1987) afirma que um solo é considerado compactado quando oferece impedimento ao crescimento das raízes ao atingir valores de resistência à penetração na ordem de 3,0 Mpa. Já para Assis (2000), valores de índice de cone entre 2,6 a 5,0 Mpa promovem limitações ao crescimento das raízes, sendo que valores de 5,1 a 10 Mpa tornam-se críticos ao desenvolvimento das plantas.

Torna-se importante a determinação do índice de cone do solo em função de comprovar valores de força de tração obtidos nos testes de campo, pois elevados valores de índice de cone vão demandar maior exigência de força tração. As Figuras 21 e 22 mostram respectivamente a determinação do índice de cone e umidade no solo.

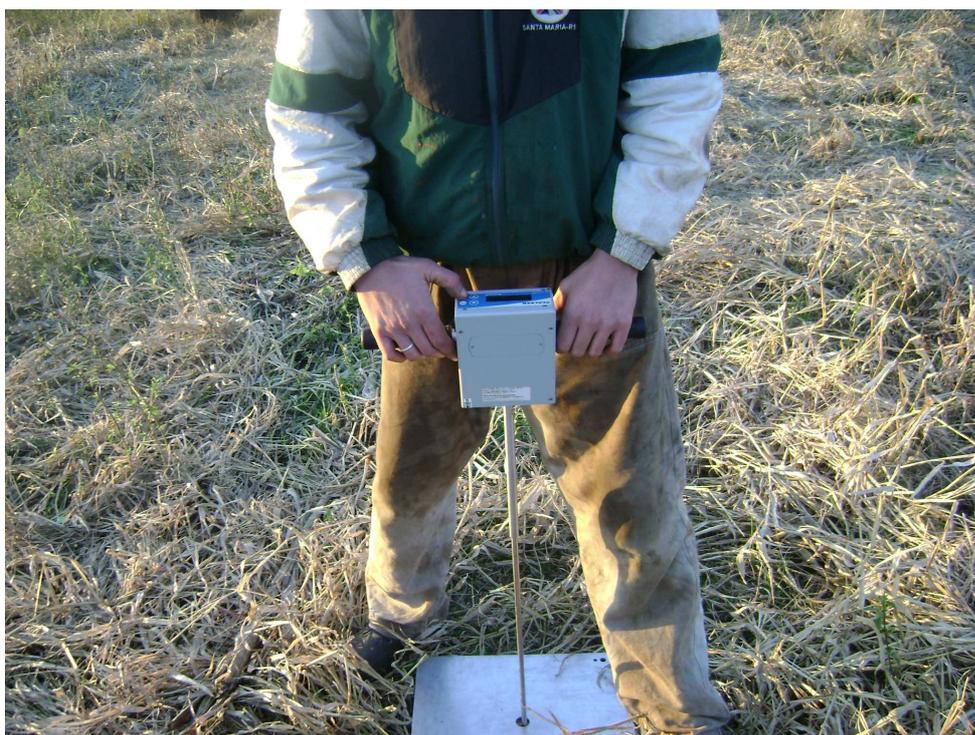


Figura 21 – Determinação do índice de cone.



Figura 22 – Determinação do teor de umidade no solo.

3.3.4 Local dos testes

Os testes foram realizados no Campus da Universidade Federal de Santa Maria localizada a 29°30' 27". O clima da região é enquadrado como CFA 2 na classificação de Köppen com temperaturas anuais compreendidas entre 19,2 e 27,9 °C. A precipitação média anual está compreendida entre 1404 e 1769 mm. As áreas experimentais foram lavouras de culturas anuais de soja, milho, pastagem e também, uma área de várzea destinada ao cultivo de arroz irrigado. O solo é enquadrado na unidade de Mapeamento São Pedro, que são solos com profundidade superior a 20 cm, com textura areno-argiloso. Nas partes mais altas do relevo são bem drenados, porém com uma maior retenção de água nas partes mais baixas. O tipo de solo predominante nas lavouras de sequeiro é o Argissolo Vermelho distrófico com relevo plano suavemente ondulado. Na área de várzea, o solo predominante foi Podzólico Vermelho Amarelo, de textura média, relevo suavemente ondulado e substrato arenito. Para o teste da instrumentação foi usada uma semeadora da marca Semeato, modelo Personale Drill, com sete linhas de semeadura e massa aproximada de 1.700 kg.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Projeto Informacional

4.1.1 Fatores de influência no projeto

Os fatores de influência no projeto são os seguintes:

- Demanda do produto:

Existe um crescente interesse por parte das instituições de ensino, pesquisa e empresas fabricantes de máquinas e implementos agrícolas por dados que possam ajudar a realizar um melhor dimensionamento e determinação do desempenho dos conjuntos mecanizados. A dificuldade para a realização dos cálculos de dimensionamento ocorre devido à falta de dados sobre a demanda de potência dos implementos, pois os modelos matemáticos hoje utilizados não são compatíveis com as características dos solos aqui existentes. Da mesma forma, as empresas fabricantes de máquinas necessitam de dados que demonstrem o desempenho dos seus tratores, com a finalidade de melhorar a qualidade destes.

- Desejos dos clientes:

Os interessados neste projeto são pessoas ligadas ao meio acadêmico com alto conhecimento em máquinas agrícolas, como professores e alunos direcionados à área de solos e mecanização agrícola, com a finalidade de desenvolver modelos matemáticos de dimensionamento dos conjuntos mecanizados. Também empresas da área, cuja finalidade é obter dados de desempenho do trator a fim de melhorar a qualidade dos seus produtos.

- Fatores chave para o sucesso:

Hoje todos os cálculos realizados para o dimensionamento de máquinas agrícolas são baseados em modelos matemáticos americanos com parâmetros de solo totalmente diferente das nossas condições. Isso acarreta em dimensionamentos que muitas vezes fogem das reais condições de campo. Deste modo, é muito importante e se faz necessário o desenvolvimento de um sistema eletrônico adaptado a um trator agrícola que colete e armazene dados durante a realização dos trabalhos de campo e que se aproxime o máximo possível das condições reais

de lavoura. Da mesma forma, a possibilidade de determinar o desempenho do trator durante o trabalho também se caracteriza por ser um fator de suma importância.

- Potencialidades:

Um dos maiores problemas encontrados hoje nas propriedades rurais, é o excesso de potência, ou seja, existe um super dimensionamento dos tratores em relação aos implementos com que estes realizam o trabalho, ocasionando um custo mais elevado ao produtor, principalmente o de combustível. Esse quadro pode ser revertido através da utilização de uma base de dados feita através desta instrumentação e que posteriormente possam indicar a verdadeira demanda de potência para cada implemento a ser utilizado nas operações agrícolas. Para as empresas fabricantes de máquinas agrícolas, os dados de desempenho coletados permitem ao setor de engenharia conhecer os pontos deficientes do seu produto.

- Restrições:

A principal restrição dessa instrumentação diz respeito ao custo de aquisição dos equipamentos eletrônicos, que quase na sua totalidade são importados o que eleva consideravelmente o preço total da instrumentação. Existem outros equipamentos similares no mercado, porém a adaptação destes, ao que se necessita, aumentaria também o custo, e em certos casos até mais do que os instrumentos corretos, pois estes necessitam equipamentos complementares, elevando assim o custo final.

- Fatores ligados a segurança:

Devem ser previstos no projeto cuidados com o acabamento das peças metálicas durante o processo de confecção e usinagem para que não fiquem cantos, saliências pontiagudas, que possam provocar algum ferimento. O mesmo cuidado deve-se ter para que as partes em movimento não fiquem expostas, pois podem provocar algum acidente. Os equipamentos eletrônicos não devem ficar expostos, sendo estes acondicionados em caixas metálicas e devidamente isolados a fim de evitar contato direto com o meio.

- Itens exigidos:

Como itens mínimos, para realizar a instrumentação eletrônica de um trator agrícola podem-se citar: célula de carga para medida força de tração, GPS para determinação da velocidade, fluxômetro para medida do consumo de combustível, sensores e *datalogger* para armazenamento de dados.

- Normas para ensaios:

Não existem normas específicas para ensaios com tratores equipados com instrumentação eletrônica, porém os testes devem ser realizados dentro de padrões, nos quais os dados sejam confiáveis e que representem as condições reais dos parâmetros avaliados.

- Características requeridas:

A instrumentação montada no trator deve coletar dados referentes à força de tração, consumo de combustível, velocidade e patinamento, sendo este último através de sensores instalados nas rodas motrizes. Os dados coletados devem ser armazenados em um equipamento denominado *datalogger*, o qual possui comunicação com um software desenvolvido para esta finalidade, que interpreta os dados obtidos.

- Operações a serem executadas:

O levantamento de dados para a realização dos testes ocorrerá a campo, utilizando uma semeadora. Devem ser observados os seguintes parâmetros:

- Parâmetros Agronômicos: A instrumentação eletrônica a ser desenvolvida deve ser adaptada de tal maneira que possa ser utilizada praticamente em quase todas as operações agrícolas, sendo também resistente a essas atividades. A coleta de dados será realizada em condições reais de campo, de maneira que os dados coletados se aproximem o máximo possível do que realmente se encontra dentro das propriedades rurais durante a realização de suas atividades agrícolas.

- Parâmetros mecânicos e eletrônicos:

- Todos os equipamentos eletrônicos devem ser acondicionados em caixas metálicas dimensionadas de acordo com as características dos equipamentos com objetivo de protegê-los contra poeira, calor, impactos e vibrações.

- Permitir que partes móveis sejam lubrificadas de forma fácil e que sejam de simples manutenção.

- Os componentes eletrônicos devem ser selecionados de maneira que consigam realizar a coleta de dados planejada e que resistam a condições adversas do trabalho, já citadas anteriormente.

- A instrumentação deve ser padronizada para ser de fácil transferência e ajuste a qualquer tipo de trator agrícola de rodas, do qual se deseja avaliar o desempenho.

- Especificações físicas:

- Tamanho do sistema de aquisição de dados

Todos os componentes do sistema não devem possuir tamanho demasiado, pois o trator agrícola não oferece muitas opções de localização e fixação de tais componentes.

- Sistema de alimentação de energia:

Deve-se evitar a utilização de energia proveniente do sistema elétrico do trator devido a oscilações de voltagem. Como solução, deve-se utilizar uma bateria auxiliar, como fonte de energia.

- Vida útil:

A vida útil da instrumentação deverá ser a maior possível, consideradas as exigências mínimas de conservação, armazenamento e utilização.

- Características dinâmicas:

- Capacidade:

O sistema de armazenamento de dados deve ser capaz de armazenar os dados coletados dos testes a serem realizados de maneira que não necessitem ser coletados a todo o momento.

- Manutenção:

- Não está prevista manutenção dos componentes eletrônicos, pois são equipamentos complexos, necessitando de mão-de-obra especializada da empresa que comercializa estes equipamentos.

- Para a parte mecânica está prevista apenas a lubrificação dos elementos móveis e substituição de partes desgastadas em decorrência dos trabalhos realizados.

4.1.2 Requisitos dos clientes

As necessidades e características requeridas são convertidas em requisitos dos clientes. Esta conversão tem por objetivo o refinamento de um ponto de vista mais técnico, das necessidades que os usuários desta instrumentação possuem.

Diagrama Mudge

A- Determinar força de tração

B- Medir consumo de combustível

C- Medir velocidade

D- Determinar patinamento

E- Armazenar dados

Para determinação do grau de importância dos requisitos dos clientes através do Diagrama de Mudge, é necessário a atribuição de valores do nível de importância em uma escala de 1 a 5, possibilitando desta forma, através do somatório da pontuação de cada requisito, obter a hierarquização conforme o grau de importância.

Muito mais importante = 5

Medianamente importante = 3

Pouco importante = 1

	A	B	C	D	E	Total	Importância
A	A	A5	A5	A3	E5	13	2°
B	-	B	B5	B3	E5	8	3°
C	-	-	C	C3	E5	3	4°
D	-	-	-	D	E5	0	5°
E	-	-	-	-	E	20	1°

Figura 23 - Diagrama de Mudge especificando o grau de importância de cada requisito dos clientes.

Através do Diagrama de Mudge, os requisitos dos clientes foram hierarquizados conforme o seu grau de importância, obtendo-se a seguinte seqüência:

1° Armazenar dados

2° Determinar força de tração

3° Medir consumo de combustível

4° Medir velocidade

5° Determinar patinamento

4.1.3 Requisitos de projeto

Com base na ordem dos requisitos dos clientes, foram determinados os requisitos de projeto, ou seja, as características que o produto deve ter para atender as necessidades dos clientes, sendo estes: central de armazenamento de dados,

medidor de força de tração (célula de carga), medidor do fluxo de combustível, medidor de velocidade, sensores de patinamento e software de programação.

As relações entre os requisitos dos clientes e os requisitos de projeto foram hierarquizadas através do método QFD, com o propósito de determinar a importância relativa de cada requisito de projeto, como pode ser visualizado na Figura 24.

DIRECTION OF IMPROVEMENT		IMPORTANCE	Requisitos de projeto					
			Medidor de carga	Medidor de fluxo	Medidor de velocidade	Sensores de rodas	Central de armazenamento	Software e programação
WHAT		HOW	↑	↑	○	○	↑	↑
			↑	↑	○	○	↑	↑
Requisitos dos clientes	Determinar força de tração	13	⊕				⊕	⊕
	Medir consumo de combustível	8		⊕			⊕	⊕
	Medir velocidade	3			⊕	○	⊕	⊕
	Determinar patinamento	0			⊕	⊕	⊕	⊕
	Armazenar dados	20	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
ORGANIZATIONAL DIFFICULTY			4	5	8	5	9	9
ABSOLUTE IMPORTANCE			297	252	207	189	396	396
RELATIVE IMPORTANCE			17%	14%	11%	10%	22%	22%

ROOF	MATRIX	WEIGHTS	ARROWS
Strong Pos ⊕	Strong ⊕	9	Maximum ↑
Positive ○	Medium ○	3	Minimum ↓
Negative ×	Weak △	1	Nominal ○
Strong Neg ⊗			

Figura 24 - QFD Designer com a relação entre os requisitos dos clientes e os requisitos de projeto.

Como pode ser visualizado no QFD, os requisitos de projeto que merecem maior atenção (22%) são a central de armazenamento de dados e o software/programação utilizado para leitura e interpretação dos dados obtidos durante os testes, por serem requisitos fundamentais para a instrumentação. Em segundo lugar, destaca-se o medidor de carga (célula de carga) com (17%) e após o medidor de fluxo (14%), devido ao fato destes proporcionarem as leituras de maior interesse para a pesquisa. Os requisitos de projeto, sensores de roda e medidor de velocidade se enquadram, conforme o QFD, em requisitos de menor importância, porém são considerados vitais à instrumentação, pois vão justificar certos comportamentos dos dados obtidos pelos demais sensores.

Para este projeto, o maior grau de dificuldade encontrado em uma escala de 0 a 10 diz respeito à comunicação da central de armazenamento de dados, com os sensores instalados, desenvolvimento da programação e escolha do software, que faz a comunicação desse sistema, proporcionando a leitura e interpretação dos dados.

Em comparação a trabalhos já realizados, a instrumentação a ser desenvolvida destaca-se por apresentar um sistema de armazenamento de dados maior. Quanto ao consumo de combustível, as referências utilizam dois medidores de fluxo, obtendo maior precisão. Porém, devido a uma redução nos custos, optou-se por utilizar apenas um, mas de maneira que não interfira na qualidade das observações.

4.1.3 Especificações de projeto

Os componentes que formam a instrumentação eletrônica devem obedecer a certas especificações, pois influenciam diretamente no desenvolvimento do projeto.

- Central de armazenamento: deve possuir no mínimo 2 Mb de capacidade de armazenamento, possuir representantes comerciais no Brasil, bem como assistência técnica que possa reparar eventuais problemas. Deve apresentar saída USB ou serial e ser compatível com sistema operacional Windows[®]. Também deve ser resistente a adversidades, como temperatura, vibrações e poeira. Embora protegido, sempre haverá influência de alguns desses fatores.

- Medidor de fluxo: este equipamento não deve apresentar variação no volume medido, em função da temperatura do combustível, seja capaz de medir o volume de combustível consumido pelo motor, ou seja, o que for demandado, o medidor de fluxo deverá ser capaz de medir. Deve apresentar um volume exato para cada pulso emitido, variando de 0,5 a 5,0 ml por pulso. Assim como a central de armazenamento de dados, deve possuir representante comercial no Brasil, bem como assistência técnica.
- Medidor de velocidade: deve apresentar como característica principal, a possibilidade de comunicação com o sistema de armazenamento de dados para haver a interligação de todo o sistema. Deve ser capaz de medir a velocidade do trator, indiferente do tipo de operação a ser realizada.
- Medidor de carga (célula de carga): deve suportar uma força de tração de até 50 kN , pois compreende a faixa de potência dos tratores de médio porte, além de que, células de carga superiores a este valor diminuem a precisão quando medem valores menores que 50 kN. Deve permitir também que os pulsos gerados por este sensor possam ser convertidos e armazenados no valor da variável em questão, podendo ser expressa em kN ou kgf.
- Sensores de rodas: devem ser instalados quatro sensores, um para cada roda motriz, devendo estes captar a frequência, a fim de se determinar a velocidade das rodas motrizes.
- Software de comunicação: o software a ser utilizado deve permitir o desenvolvimento de uma programação, que irá fazer a comunicação entre a central de armazenamento de dados e o sistema de aquisição, constituída pelos sensores. Através deste software, os dados poderão ser enviados a um computador portátil.

Outros requisitos de projeto devem ser levados em consideração na escolha dos componentes a serem utilizados, porém neste momento ainda não se possui uma definição completa de suas especificações:

- Custo de aquisição;
- Precisão do sistema;
- Fácil instalação;
- Praticidade de transferência do sistema;
- Facilidade de projeto;
- Tempo de montagem.

4.2 Projeto Conceitual

4.2.1 Função global

Toda a instrumentação a ser montada, tem por objetivo medir o desempenho dos tratores agrícolas durante a realização do trabalho a campo e armazenar as informações obtidas.

4.2.2 Estrutura funcional

A estrutura funcional tem por objetivo identificar as sub-funções a serem desenvolvidas pela instrumentação eletrônica e também servir de auxílio ao desenvolvimento das concepções alternativas. A estrutura funcional da instrumentação eletrônica pode ser visualizada na Figura 25.

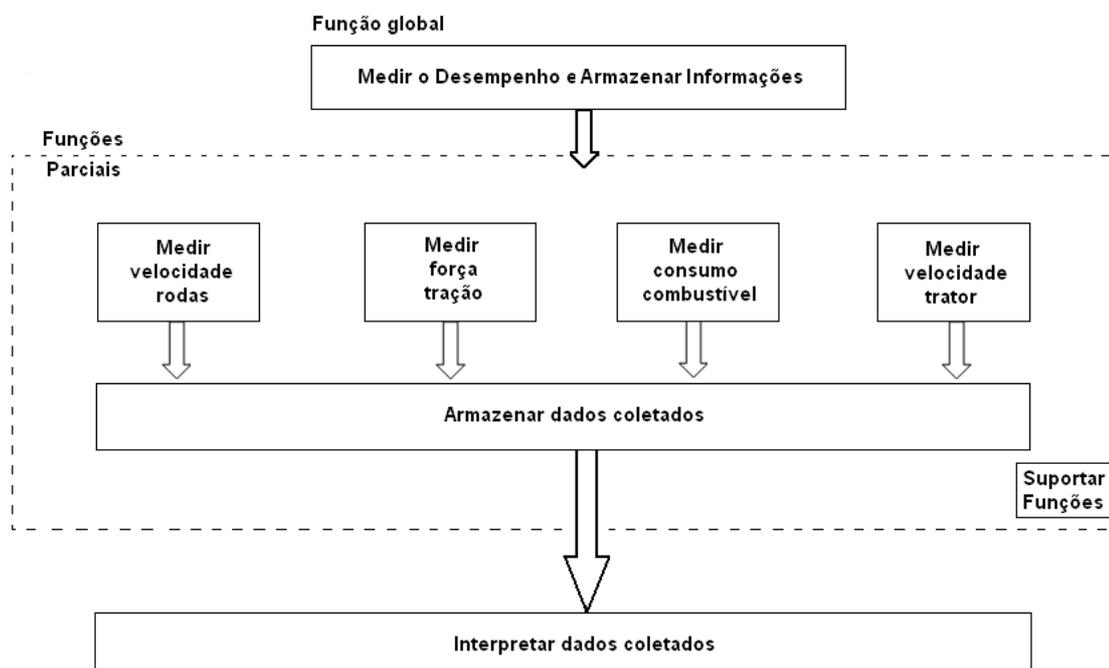


Figura 25- Estrutura funcional da instrumentação.

O sistema se caracteriza por apresentar uma central de armazenamento de dados, em que os sinais captados pelos sensores instalados no trator são conduzidos e armazenados. A interpretação ocorre em uma etapa posterior à

transferência dos dados em um computador portátil, com ajuda de uma planilha de cálculos do Microsoft Excel®.

4.2.3 Desenvolvimento de concepções alternativas

Para a criação de concepções alternativas foi utilizado o princípio de solução através da analogia direta, que consiste na pesquisa de conhecimentos e experiências relacionadas com o problema em questão. Com o auxílio de uma apresentação sistemática conhecida como matriz morfológica, as funções elementares foram confrontadas com os princípios de solução. Neste projeto foram definidas as seguintes funções elementares:

- A - Armazenar dados;
- B - Determinar a velocidade das rodas;
- C - Determinar a força de tração;
- D - Determinar o consumo de combustível;
- E - Determinar a velocidade do trator.

As funções elementares e os princípios de solução são apresentados no Quadro 1.

Funções elementares	Princípios de solução			
	1	2	3	4
A	<i>Datalogger</i> CR 23X	Unidade CLP	<i>Datalogger</i> CR 1000	Placa de aquisição
B	Sensores de pulsos	Sensores indutivos	Sensores de contato	-----
C	Célula de carga	-----	-----	-----
D	Sistema com proveta	Medidor de fluxo	-----	-----
E	Receptor GPS	Roda auxiliar	Radar de efeito Doppler	-----

Quadro 1- Funções elementares e princípios de solução.

4.2.4 Seleção da concepção

A seleção da concepção a ser utilizada foi realizada através da matriz multicritério para avaliação das concepções, conforme as tabelas 1, 2, 3 e 4.

Os pesos adotados obedecem ao seguinte critério conforme o Quadro 2:

Crítérios para seleção da concepção	Crítério	Peso	Peso máximo
Custo de aquisição	↑	↑	10
Precisão do sistema	↑	↑	10
Fácil instalação	↑	↑	9
Praticidade de transferência do sistema	↑	↑	8
Facilidade de projeto	↑	↑	7
Tempo de montagem	↓	↑	6

Quadro 2: Critérios para determinação dos pesos da matriz multicritério.

As notas finais são obtidas, através do somatório decorrente da multiplicação das notas dadas na avaliação pelo peso estabelecido.

Tabela 1: Matriz multicritério para seleção da concepção do sistema de armazenamento de dados

Crítérios para seleção da concepção	Peso	<i>Dat.</i>	<i>Unidade</i>	<i>Dat.</i>	<i>Placa de</i>
		CR23X	CLP	CR1000	aquisição
		Nota	Nota	Nota	Nota
Custo de aquisição	10	5	7	5	5
Precisão do sistema	10	10	9	10	10
Fácil instalação	9	10	8	10	5
Praticidade de transferência do sistema	8	8	3	9	3
Facilidade de projeto	7	9,5	4	9,5	4
Tempo de montagem	6	9	5	9	3
Total		424,5	314	432,5	265
Classificação		2º	3º	1º	4º

Tabela 2: Matriz multicritério para seleção da concepção do sistema de determinação da velocidade das rodas motrizes

Critérios para seleção da concepção	Peso	<i>Sensores pulso</i>	<i>Sensores indutivos</i>	<i>Sensores contato</i>
		Nota	Nota	Nota
Custo de aquisição	10	8	8	9
Precisão do sistema	10	9,5	9,5	9,5
Fácil instalação	9	10	10	10
Praticidade de transferência do sistema	8	10	10	10
Facilidade de projeto	7	5	10	5
Tempo de montagem	6	10	10	10
Total		440	475	450
Classificação		3º	1º	2º

Tabela 3: Matriz multicritério para seleção da concepção do sistema de determinação da velocidade do trator

Critérios para seleção da concepção	Peso	<i>Receptor GPS</i>	<i>Roda auxiliar</i>	<i>Radar efeito Doppler</i>
		Nota	Nota	Nota
Custo de aquisição	10	7	8	5
Precisão do sistema	10	8	9	7
Fácil instalação	9	9	9	8
Praticidade de transferência do sistema	8	9,5	7	8
Facilidade de projeto	7	9	9	7
Tempo de montagem	6	8,5	4,5	8
Total		421	397	353
Classificação		1º	2º	3º

Tabela 4: Matriz multicritério para seleção da concepção do sistema de determinação do consumo de combustível

Critérios para seleção da concepção	Peso	<i>Sistema de medida com proveta</i>	<i>Medidor de fluxo</i>
		Nota	Nota
Custo de aquisição	10	10	6
Precisão do sistema	10	2,5	10
Fácil instalação	9	8	7
Praticidade de transferência do sistema	8	7	9
Facilidade de projeto	7	10	8
Tempo de montagem	6	8	6
Total		371	387
Classificação		2º	1º

Concepção adotada: *datalogger* CR 1000 + sensores indutivos + receptor de GPS + medidor de fluxo + célula de carga.

Para o sistema de armazenamento de dados, optou-se pelo *datalogger* modelo CR 1000 da *Campbell Scientific*, pois o outro modelo, não estava mais sendo fabricado, além do custo ser extremamente alto. A placa de aquisição de dados, assim como a unidade CLP também não foram selecionadas, pelo fato de possuírem um elevado valor e por necessitar de um computador portátil acompanhando o deslocamento do trator, pois esse sistema não possui armazenamento de dados, tornando muito inconveniente a sua utilização. A opção por sensores do tipo indutivo deu-se pelo fato do *datalogger* possuir somente duas entradas de pulso, o que causaria problemas no momento da instalação da célula de carga e do medidor de fluxo, que emitem seus sinais na forma de pulsos.

Para medida do consumo de combustível, a melhor solução encontrada foi pela utilização de um medidor de fluxo, que emite pulsos conforme o fluxo de combustível consumido. Para determinação da velocidade de deslocamento do trator existem três possibilidades. O radar de efeito Doppler apresenta problemas quando o trator desloca-se em terrenos com diferentes vegetações, o que provoca uma variação na velocidade de deslocamento. Já a roda auxiliar funcionaria da

mesma forma que sensores usados para medida da velocidade das rodas motrizes, porém devido ao fato de ocupar bastante espaço do trator, por ser de proporções consideradas elevadas, a opção encontrada neste caso foi pela utilização de um receptor de GPS, embora apresente variações na medida da velocidade em condições de aceleração e desaceleração.

Quanto à célula de carga, não houve problemas de seleção, por esta ser o principal sensor de medida da força de tração em tratores agrícolas e por se dispor deste equipamento em perfeitas condições de uso.

4.2.5 Apresentação da concepção

A instrumentação eletrônica, a que se refere este projeto, consiste em um conjunto de sensores para aquisição de dados e conexões montados ao trator, que transmitem os dados coletados a uma central de armazenamento. Os parâmetros de desempenho avaliados foram consumo de combustível, velocidade de deslocamento, patinamento das rodas motrizes e força de tração exercida na barra de tração do trator. O sistema é constituído basicamente de um trator equipado com: sensores de proximidade nas quatro rodas, um sensor de fluxo de combustível, uma célula de carga, um GPS portátil, um *datalogger*, elementos mecânicos e acessórios.

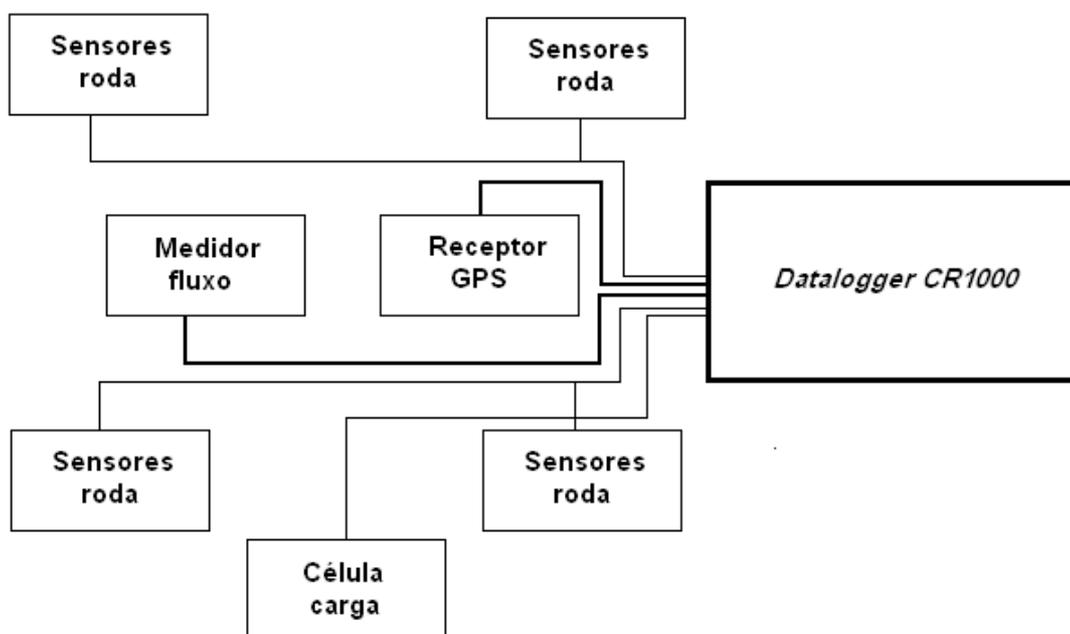


Figura 26 - Esquema geral de ligação dos instrumentos eletrônicos.

Os equipamentos foram instalados de modo a permitir a operação normal sem interferir no trabalho a ser executado no campo e manter a integridade destes, para evitar que não sofram ação de adversidades como poeira, umidade e vibração. A Figura 27 mostra a disposição dos equipamentos no trator.

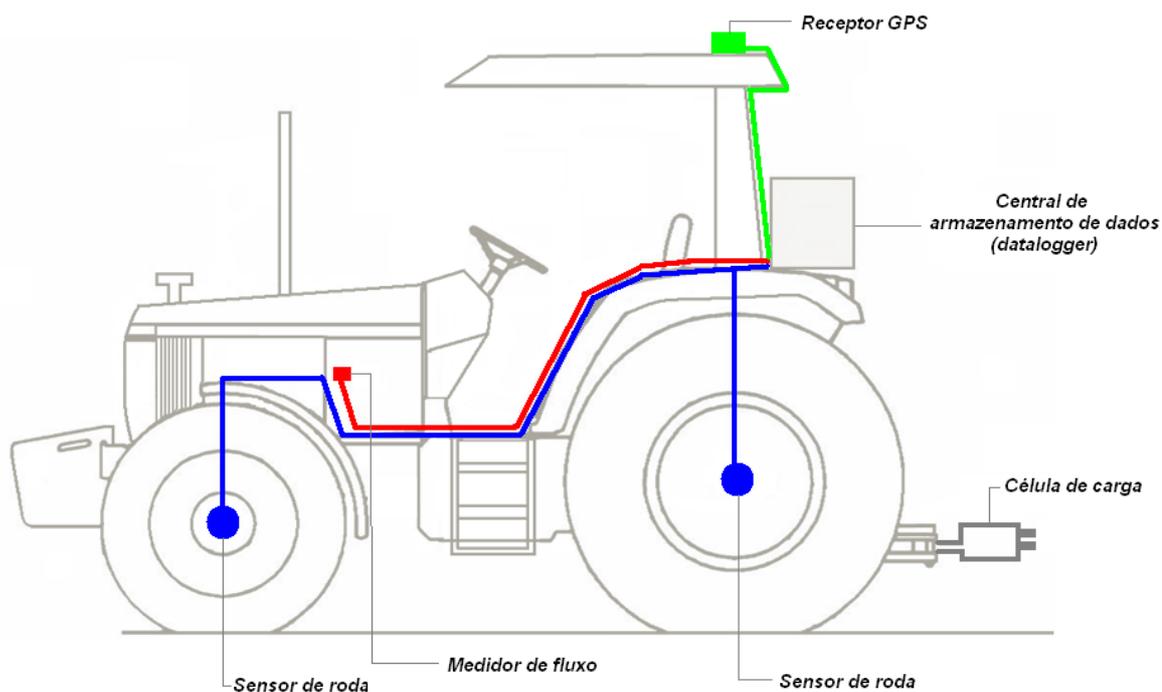


Figura 27 - Disposição dos equipamentos eletrônicos no trator

4.2.6 Características da concepção

A concepção selecionada apresenta as seguintes características:

- Trator instrumentado;
- O *Datalogger* armazena todos os dados captados pelos equipamentos eletrônicos instalados ao trator;
- O receptor de GPS fornece a velocidade e as coordenadas (latitude e longitude), além da data e hora;
- O medidor de fluxo indica a exata quantidade de combustível, consumido durante o funcionamento da máquina;
- A célula de carga fornece o valor da força de tração demandada pelo implemento;

- Todos os sensores funcionam simultaneamente, permitindo em uma etapa posterior, fazer correlações dos valores encontrados.

4.2.7 Atividades simultâneas

Outras atividades foram desenvolvidas juntamente com projeto da instrumentação. Estas atividades são descritas a seguir:

- Processo de fabricação: toda a montagem das peças mecânicas, assim como dos equipamentos eletrônicos, foi realizada nas dependências do NEMA, que possui um amplo espaço físico e suporte para a realização desse processo.
- Fornecedores: os equipamentos eletrônicos que foram adquiridos são quase na sua totalidade importados, mas possuem representantes comerciais no Brasil, o que facilitou consideravelmente a aquisição dos mesmos.
- Para a instalação da célula de carga, foi desenvolvida uma barra de tração retrátil que, além de servir como proteção à célula, proporciona que a força de tração recebida seja em um único sentido, evitando que valores diferentes ao de tração sejam obtidos. Isso ocorre quando o implemento empurra o trator em condições de desaceleração.
- Para a instalação dos sensores de medida da velocidade das rodas motrizes, foram desenvolvidos suportes, que são fixados no centro dos aros, presos pelos próprios parafusos das rodas. Na extremidade destes suportes, são fixados os sensores, que fornecem as leituras, através da indução provocada pelos dentes de uma roda dentada montada na extremidade dos suportes, que gira conforme o pneu do trator.
- Segurança: as regras de segurança devem ser observadas, pois se trata de um trabalho realizado com máquinas, e as pessoas envolvidas estão constantemente expostas a situações de risco, caso não sejam respeitados os requisitos mínimos de segurança. Os componentes eletrônicos não devem ser instalados próximos a locais que ofereçam riscos a integridade física, principalmente partes que possuem movimento, como por exemplo, tomada de potência e correia do alternador. Outro fator relacionado à segurança refere-se ao sistema de medição de combustível, que não deve apresentar nenhum vazamento. As mangueiras de borracha do sistema de

alimentação não devem ficar próximas às partes quentes, pois pode ocorrer o derretimento e vazamento de combustível, ocasionando incêndio.

- Avaliação da concepção: em função da observação dos critérios de segurança e ergonômicos, a concepção da instrumentação anteriormente apresentada sofreu alterações. A central de armazenamento de dados, que antes se situava na parte traseira do trator, atrás do assento do operador, foi mudada de posição, passando para a lateral direita do trator, sendo fixada na plataforma de operação. O receptor de GPS também foi transferido, sendo fixado em cima da central de armazenamento de dados. O sistema de medida do consumo de combustível permaneceu na lateral esquerda do trator. A Figura 28 demonstra a modificação na posição da central de armazenamento de dados.

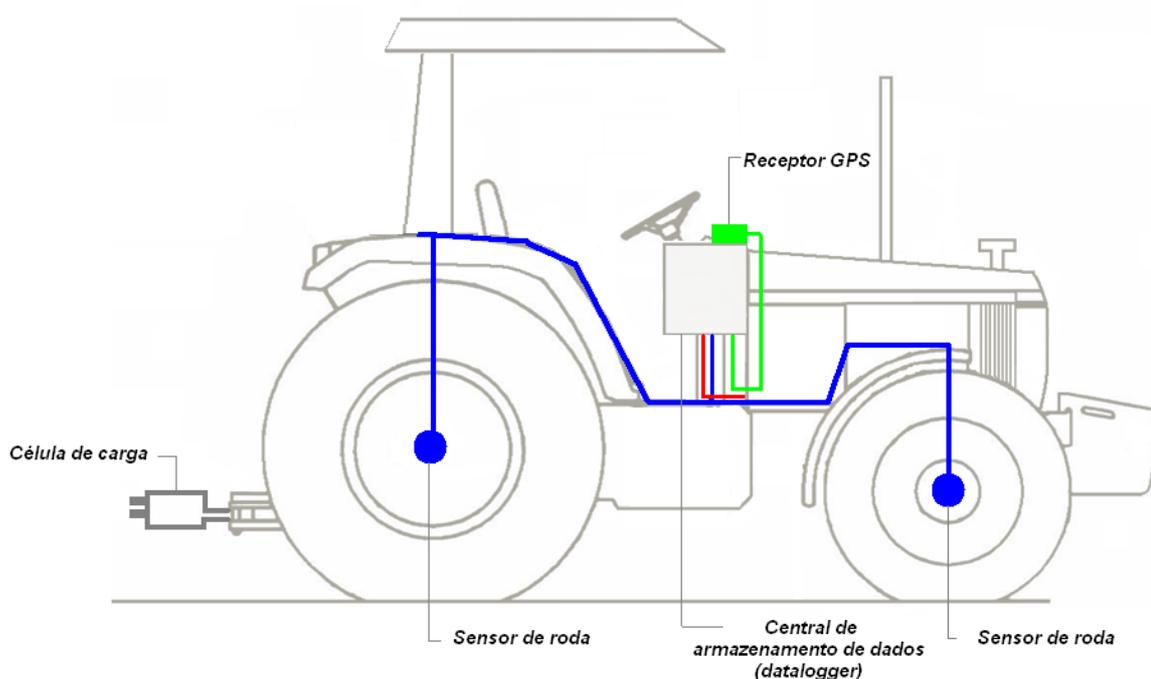


Figura 28 - Disposição dos equipamentos eletrônicos no trator após alteração.

4.3 Projeto Preliminar

4.3.1 Definição dos componentes utilizados

Os componentes a utilizados na instrumentação são descritos a seguir:

- Armazenamento dos dados: como anteriormente foi mencionado no projeto conceitual, esta função elementar, vital para o desenvolvimento da instrumentação, foi feita por um *datalogger*, comercialmente disponível no Brasil. Consiste em um equipamento eletrônico de alto valor comercial, porém como se trata de um projeto realizado dentro de uma instituição federal de ensino superior, há uma isenção de impostos, reduzindo consideravelmente o valor final do produto.
- Medida do consumo de combustível: foi realizada por um fluxômetro, que emite pulsos que são interpretados e armazenados no *datalogger*, na medida em que um determinado fluxo de combustível passa por esse sensor, o que corresponde ao consumo do trator.
- Velocidade das rodas motrizes: foi medida com sensores do tipo indutivo, montados a uma estrutura construída exclusivamente para este fim. Os sensores determinam a frequência de giro da roda e através de equações convertida em velocidade, expressa em km.h^{-1} .
- Velocidade de deslocamento: foi determinada através do uso de um receptor de GPS, que obtém instantaneamente o valor da velocidade do trator.
- Força de tração: medida com auxílio de uma célula de carga, com capacidade compatível com a potência do trator. Esta célula de carga foi acondicionada dentro de uma barra de tração retrátil que não permite a ocorrência de forças que possam interferir no valor a ser determinado, além de servir como proteção a própria célula de carga.
- Sistema mecânico: as peças mecânicas de menor complexidade foram construídas na oficina do NEMA e as peças de maior complexidade, que exijam máquinas especiais para sua fabricação, foram feitas em oficinas terceirizadas.

4.3.2 Definição da marca comercial dos componentes eletrônicos

O Quadro 3 apresenta a marca comercial dos componentes necessários.

Componentes	Marca comercial
<i>Datalogger</i>	CR1000 <i>Campbell Scientific</i>
Fluxômetro	<i>Oval Corporation</i> , modelo Oval M-III LSF 41
Sensores indutivos	LM 12-3004PC
Receptor de GPS	Garmim, , modelo GPSmap 60CS
Célula de carga	Alfa Equipamentos, modelo 5T

Quadro 3 - Componentes e marca comercial.

4.3.3 Desenvolvimento do sistema mecânico

As peças metálicas foram projetadas de modo que possam ser montados em outros tratores para realização de testes. As dimensões das peças e suportes foram medidas no trator e nos instrumentos a instalar, para realização do projeto e desenho destas. Para a realização dos desenhos, foi utilizado software MCAD (Mechanical Computer Aided Drawing), no qual as peças a serem criadas podem ser visualizadas nos três eixos de coordenadas cartesianas (três dimensões), inclusive com simulação dos movimentos. A Figura 29 mostra a tela do software utilizado.

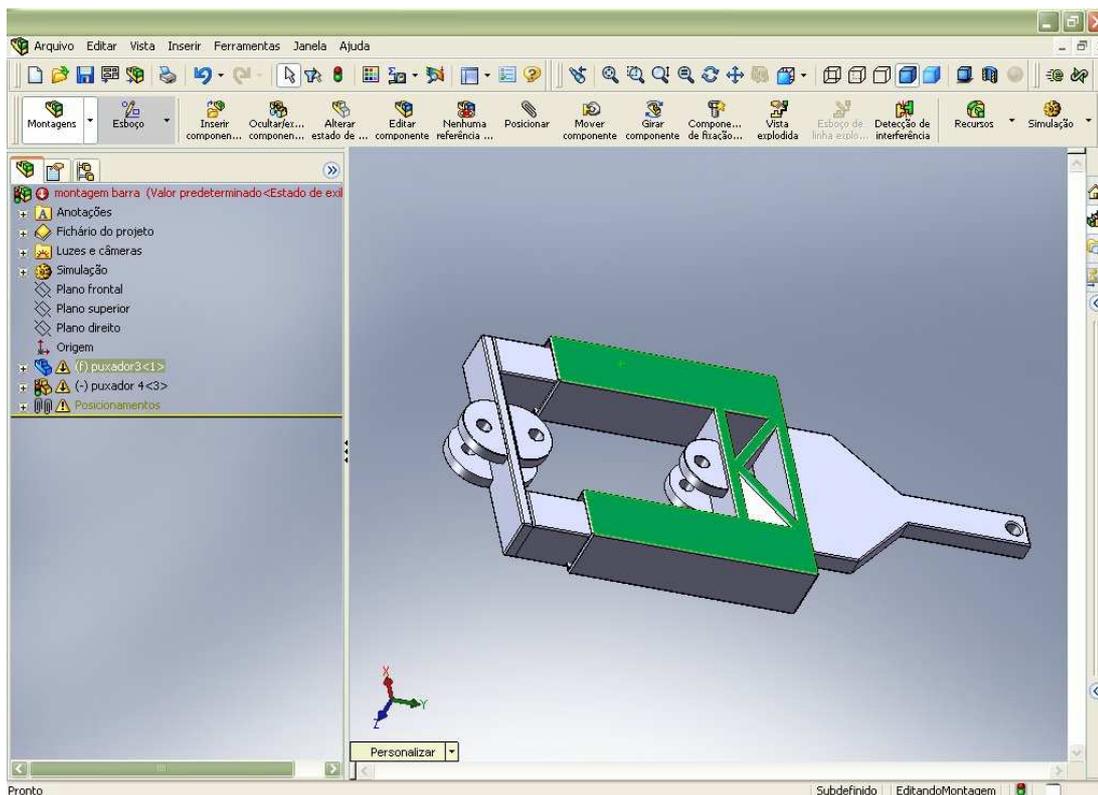


Figura 29 – Tela do software MCAD.

- Barra de tração: para acomodar a célula de carga entre o trator e o cabeçalho dos implementos foi desenvolvida uma barra, na qual em seu interior localiza-se a célula de carga, que recebe diretamente toda a força de tração demandada pelos implementos. Essa barra de tração possui um diferencial em relação às barras comuns por não ser rígida, possuindo um sistema flexível que cede quando traciona-se o implemento. Também foi projetada para evitar impactos quando o implemento empurra o trator em situações de desaceleração, evitando que este impacto incida diretamente na célula de carga, obtendo-se um valor falso de força de tração, além de proteger contra a transferência de peso do implemento e nas manobras. O material utilizado e as dimensões podem ser visualizadas no Apêndice C.

Esse sistema é apresentado na Figura 30.

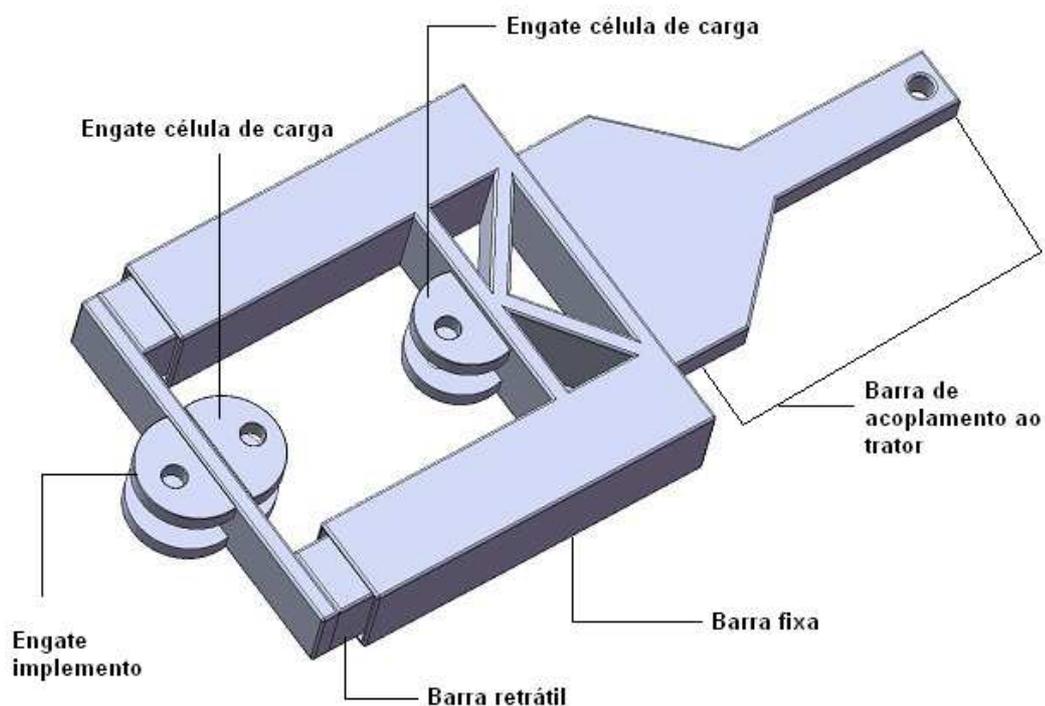


Figura 30 – Desenho da barra de tração.

- Suporte dos sensores: para ser feita a sustentação dos sensores para determinação da velocidade das rodas motrizes, foram projetados suportes com extensões que proporcionam um afastamento do centro do aro da rodas para fora, tendo estes, nas suas extremidades, uma engrenagem cujos dentes passam exatamente pelos sensores montados. O desenho com as dimensões e o material pode ser visualizado no Apêndice C. A Figura 31 demonstra a estrutura dos suportes dos sensores.

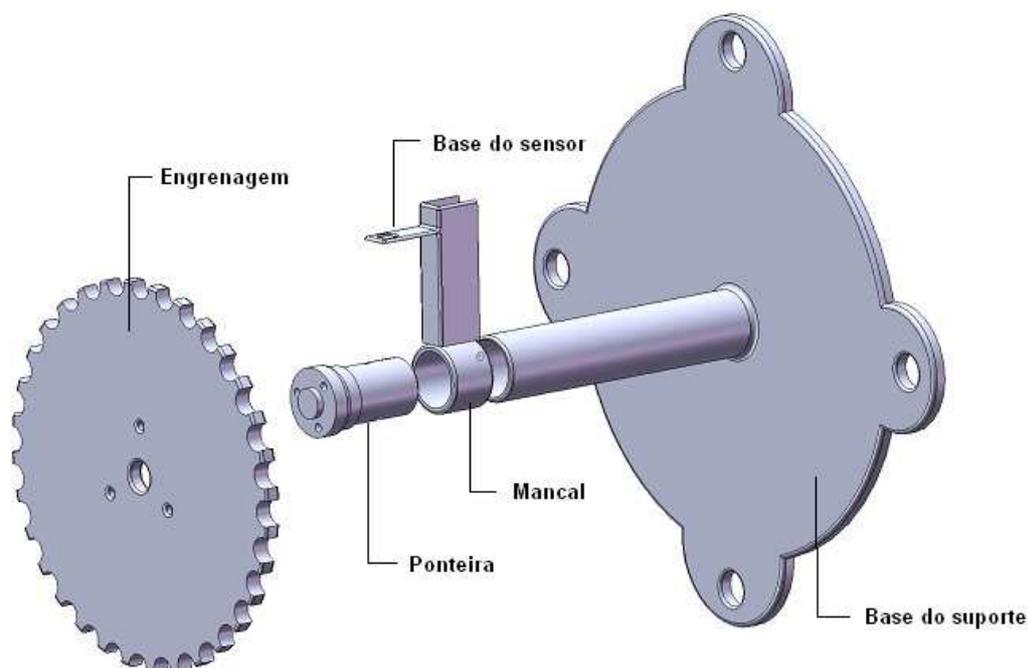


Figura 31 – Vista isométrica dos suportes dos sensores.

- Caixas de acondicionamento: para acondicionar o *datalogger* e o fluxômetro foram projetadas caixas metálicas que evitam o contato direto com o ambiente, protegendo contra poeira, calor, vibrações e umidade decorrentes do trabalho. Estas caixas metálicas possuem suportes de fixação que permitem a transferência para outros tratores. No seu interior existe um fundo de madeira que evita o contato direto dos mecanismos eletrônicos com a chapa metálica, além de facilitar a fixação. O desenho com as dimensões e o material encontra-se no Apêndice C.
- Suportes para condução dos cabos: estes suportes conduzem os cabos que realizam a alimentação e a comunicação dos sensores instalados nas rodas motrizes com o *datalogger*. Também impedem que os suportes dos sensores girem junto com a roda, deixando-os completamente fixos. Foram confeccionados com tubos metálicos de 20mm x 10mm. Os cabos passam por dentro desses tubos impedindo a sua exposição direta com a vegetação ou restos culturais que por ventura possam provocar a ruptura destes.

4.3.4 Definição da mão-de-obra especializada

Para a montagem dos equipamentos eletrônicos e para a realização da programação, se faz necessário a contratação de um técnico com conhecimento nas áreas de eletrônica e programação.

4.3.5 Processo de construção

O primeiro passo é a aquisição dos componentes, já selecionados anteriormente, para que se possa dar seqüência ao segundo passo, que consiste no projeto de construção da parte mecânica que acompanha todo o sistema, finalizando com a construção e instalação componentes eletrônicos.

4.3.6 Viabilidade técnica do projeto

O projeto se torna viável tecnicamente pelo fato de se possuir certos equipamentos como, por exemplo, a célula de carga e o receptor de GPS. Os demais equipamentos eletrônicos a serem adquiridos são facilmente encontrados no mercado e disponíveis a pronta entrega. Outro fator importante é a disponibilidade da mão-de-obra especializada.

4.3.7 Estimativa inicial dos custos

O Quadro 4 indica o custo estimado para construção da instrumentação.

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Custo (R\$)
<i>Datalogger</i>	1	4.500,00	4.500,00
Fluxômetro	1	1.700,00	1.700,00
Sensores de rodas	4	100	400,00
Receptor GPS	1	1.900,00	1.900,00
Cabos e conexões	-----	300,00	300,00
Sistema mecânico	-----	1.800,00	1.800,00
Mão-de-obra especializada	1	1.000,00	1.000,00
Serviço terceirizado	1	1.500,00	1.500,00
Total			13.100,00

Quadro 4 - Custo estimado dos componentes.

4.4 Projeto Detalhado

4.4.1 Armazenamento dos dados coletados

Os dados captados pelos sensores instalados no trator são transmitidos a uma central de armazenamento. O equipamento utilizado consiste em um *datalogger* da marca *Campbell Scientific*, modelo CR 1000, adequado para este tipo de trabalho.

Esse equipamento possui uma capacidade de armazenamento de 4 Mb, com 16 canais analógicos e 2 canais de pulso. O sistema de alimentação de energia varia de 9,6 a 16 volts, embora o indicado seja 12 volts, sem oscilação.

- Microcomputador:

Pode ser utilizado qualquer computador, desde que possua o sistema operacional Windows[®], de modo que se possa realizar a programação e a transferência de dados para uma planilha do Microsoft Excel[®] para análise posterior.

- Requisitos Mínimos de Hardware:

Os softwares a serem utilizados, especialmente aqueles relacionados à programação do *datalogger*, determinam os requisitos mínimos para o hardware do microcomputador utilizado como: processador Intel Pentium II 233 MHz ou superior, memória RAM 64 MB ou mais, disco Rígido com no mínimo 100MB de espaço disponível, sistema operacional Windows 98SE, ME, XP, 2000 ou Vista e porta Serial RS232.

- Software:

Os softwares utilizados para a programação do *datalogger* são os seguintes:

- PC200W Versão 3.2.0.5.;
- *Device Configuration Utility* Versão 1.5.1.22 Versão 2.5.2.0.;
- *View32* Versão 3.7.2.2.;
- Editor de texto Bloco de notas que acompanha o Microsoft Windows[®].

- **Instalação:**

Para a instalação do conjunto de software deve ser utilizado o CDROM que acompanha o *datalogger*. Ao inserir o CDROM no computador, inicia automaticamente o programa de instalação dos softwares necessários. A tela inicial apresenta duas escolhas de instalação, a instalação dos manuais do CR1000 ou a instalação dos softwares. A Figura 32 apresenta a tela com nove opções de instalação de software, mas a instalação apenas do PC200W faz com que todos os softwares necessários sejam instalados, não sendo necessária a instalação de nenhum outro software.

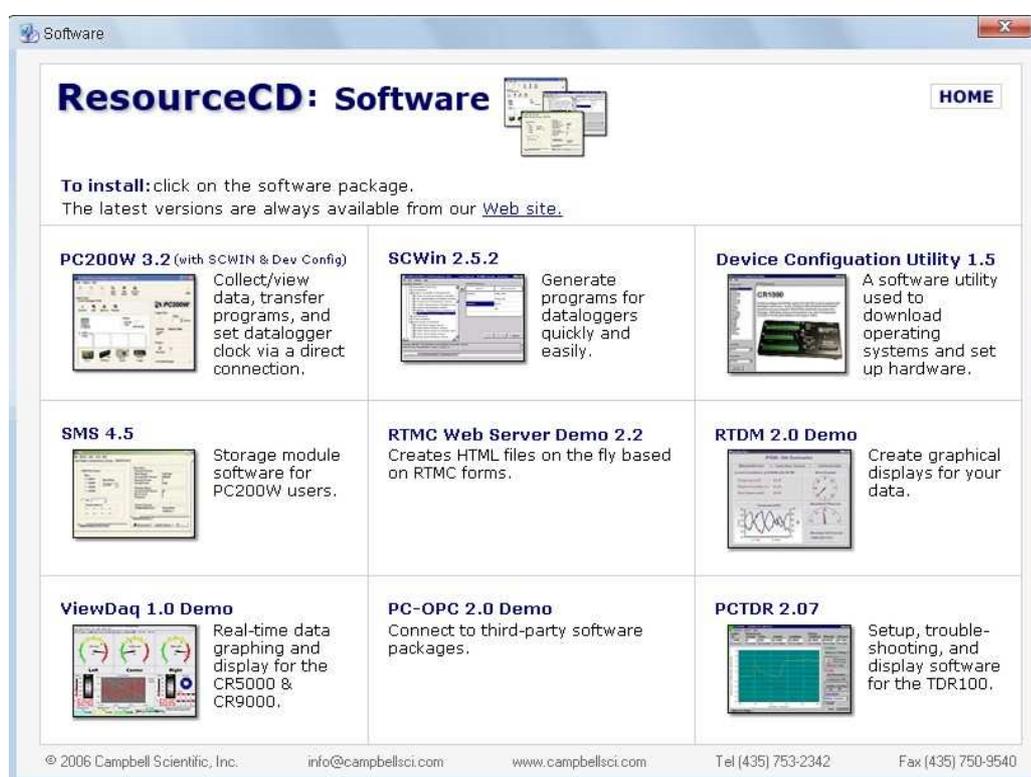


Figura 32 – Tela de opções de software para instalação.

- **Programação:**

A programação do *datalogger* deve ser realizada através do software PC200W e do aplicativo Bloco de Notas do Microsoft Windows®. A programação é construída no bloco de notas e posteriormente transferida para o software de base que realiza a comunicação com o *datalogger*. A Figura 33 mostra a tela inicial do software.

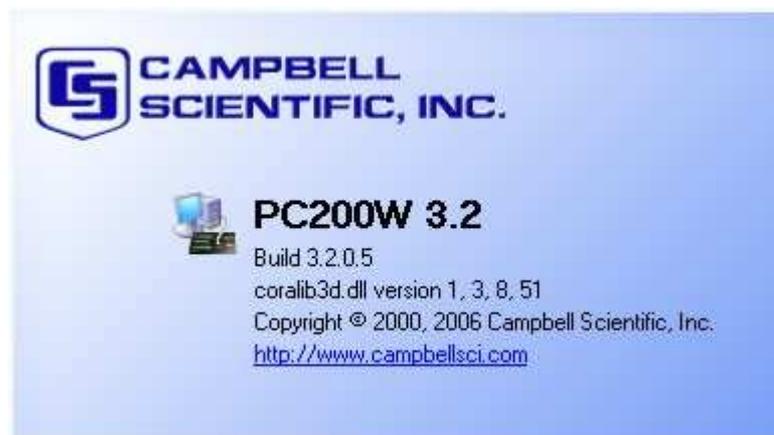


Figura 33 – Tela de abertura do software PC200W.

Logo após é apresentada uma lista de imagens de *dataloggers* para seleção e, o campo para digitar o nome do *datalogger* em uso.

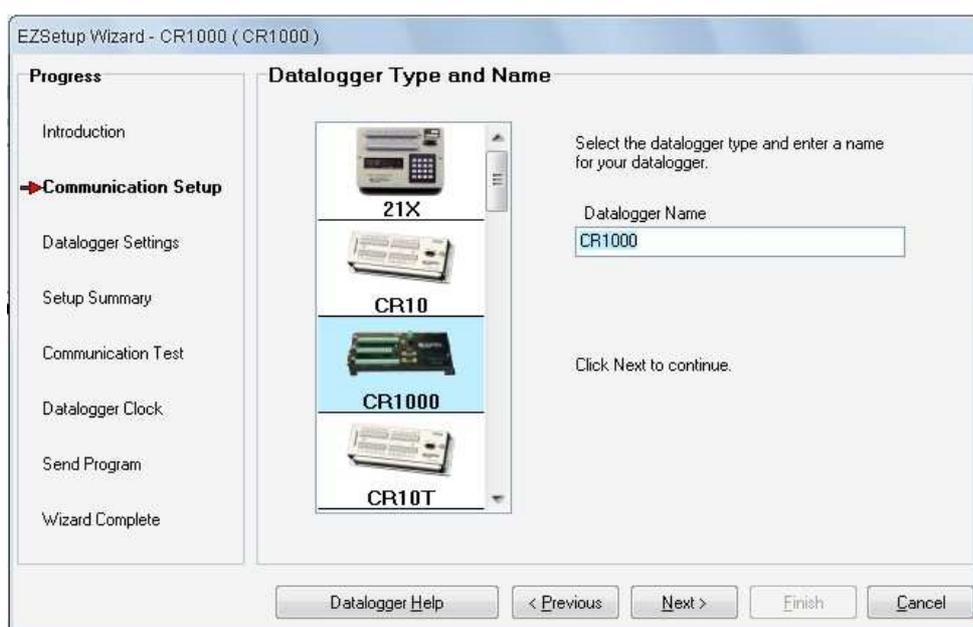


Figura 34 – Lista de *dataloggers* disponíveis

Caso a comunicação com o *datalogger* tenha sido efetuada com sucesso, existe outra tela que permite ajustar a data e hora do *datalogger* conforme a hora atual do microcomputador em uso. Este ajuste permite que haja sincronismo entre o horário do microcomputador e do *datalogger*, útil nos casos em que a data/hora do microcomputador, é empregada em cálculos e gráficos.

Para enviar um programa escrito para o *datalogger*, utiliza-se o aplicativo “*Select and Send Program...*” para navegar na árvore de diretórios do

microcomputador, selecionar o arquivo do programa e enviar para o *datalogger*, como pode ser visto na Figura 35.

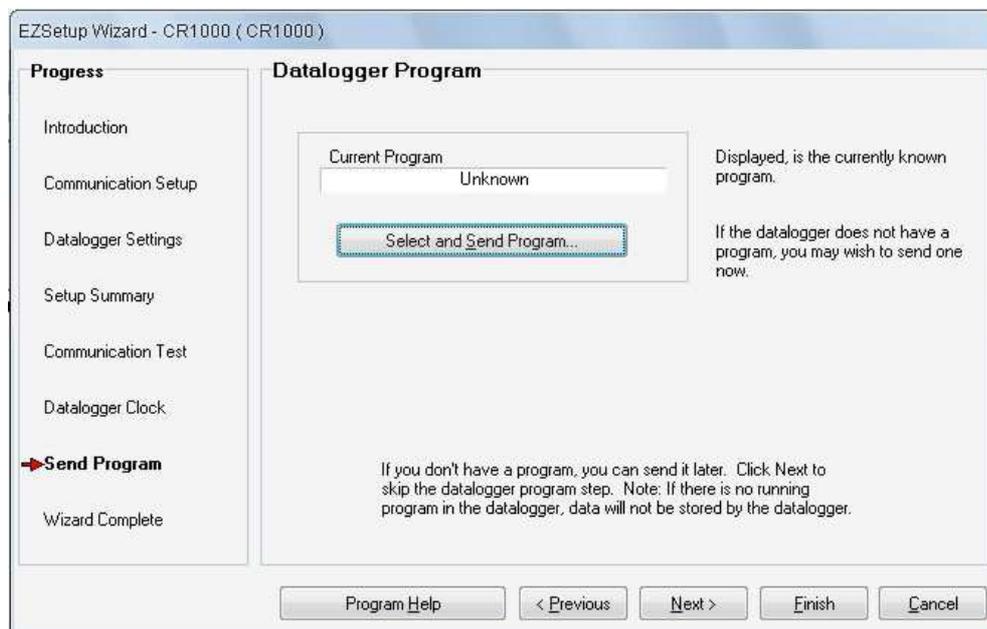


Figura 35 – Enviando um programa para o Datalogger.

Após a seleção do *datalogger*, deve-se informar o tempo de ciclo de *Scan* do programa principal do *datalogger*. O ciclo de *Scan* corresponde ao tempo total necessário para que o *datalogger* efetue todas as leituras dos sensores e acionamentos das saídas.

Se atribuir um tempo de *Scan* menor que o necessário, o programa não passará na compilação, e será necessário ajustar manualmente um tempo de *Scan* maior para poder compilar o programa. Tempos de *Scan* muito pequenos, menores que um segundo, não podem ser utilizados. Neste caso deve-se utilizar uma placa de aquisição de dados. Além disso, tempos de *Scan* muito pequenos provocam um consumo de energia maior por parte do *datalogger*, reduzindo o tempo de duração da bateria.

A seleção do tempo de *Scan* é apresentada na Figura 36, na qual pode-se selecionar uma lista dos sensores mais comuns para utilização. Um sensor que sempre é adicionado por padrão é o de indicação da tensão da bateria de alimentação do *datalogger* “*Batt_Volt*”.

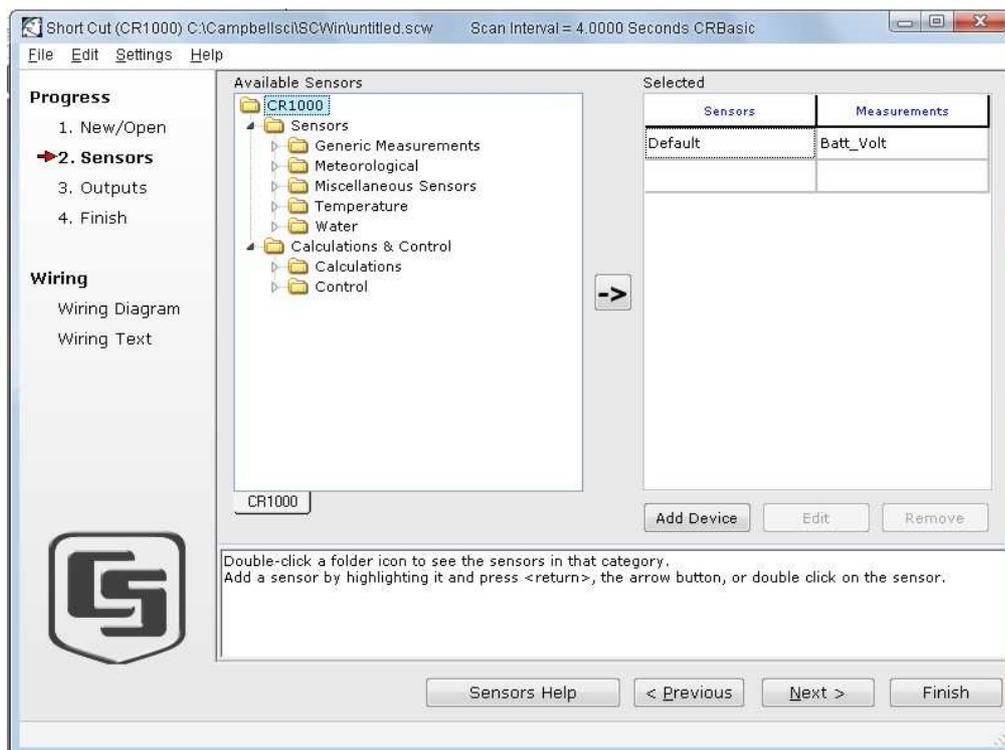


Figura 36 – Lista de sensores disponíveis e tabela de sensores adicionados.

Para finalização do programa existe o botão “*Finish*”, que apresenta a tela *Save As*. A partir deste momento, o programa foi criado e salvo em uma pasta selecionada. A Figura 37 apresenta a tela com um resumo do processo de criação do arquivo de programa para enviar ao *datalogger*. O programa propriamente dito, tem a extensão *.CR1*. Outro arquivo, com a extensão *.SCW* é um arquivo de definições utilizado somente pelo *ShortCut*.

O *Wizard* permite ainda ver um diagrama das ligações dos sensores no *datalogger*. Para isso, basta clicar nos dois últimos itens da lista de etapas do *Wizard*, localizada à esquerda da tela. Clicando em *Wiring Diagram* pode-se visualizar um diagrama gráfico das ligações, ao passo que clicando em *Wiring Text* vê-se um diagrama em modo texto.

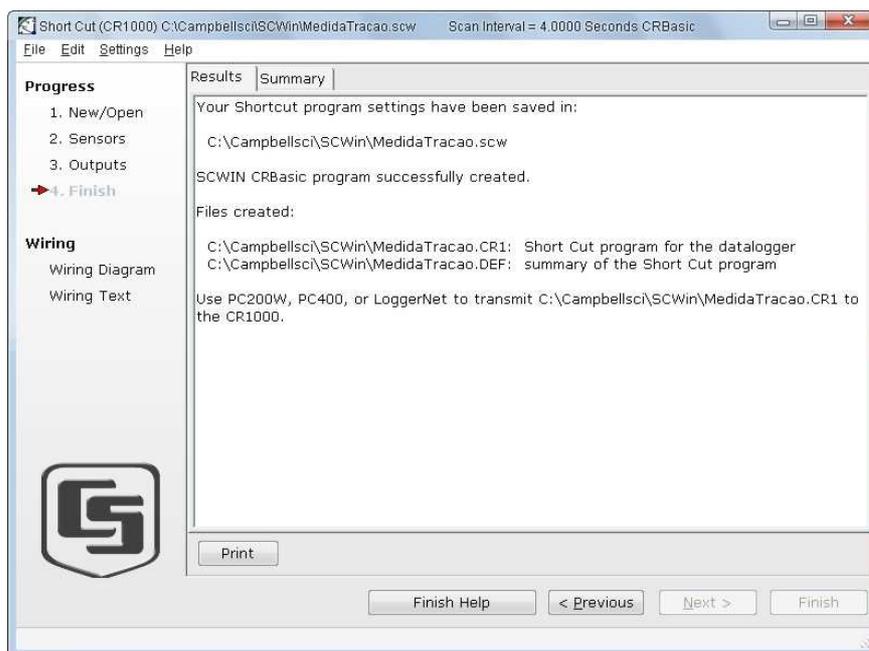


Figura 37 – Finalizando o processo de criação do programa para o Datalogger.

A Figura 38 apresenta o diagrama de ligações dos sensores, devendo ser fielmente observada para que o programa funcione adequadamente com os sensores adicionados. Uma ligação errada pode danificar seriamente o *datalogger* ou mesmo inutilizar os sensores. Não é possível determinar manualmente onde os sensores serão ligados. Este trabalho é feito internamente pelo *datalogger* em seu programa conforme um algoritmo interno.

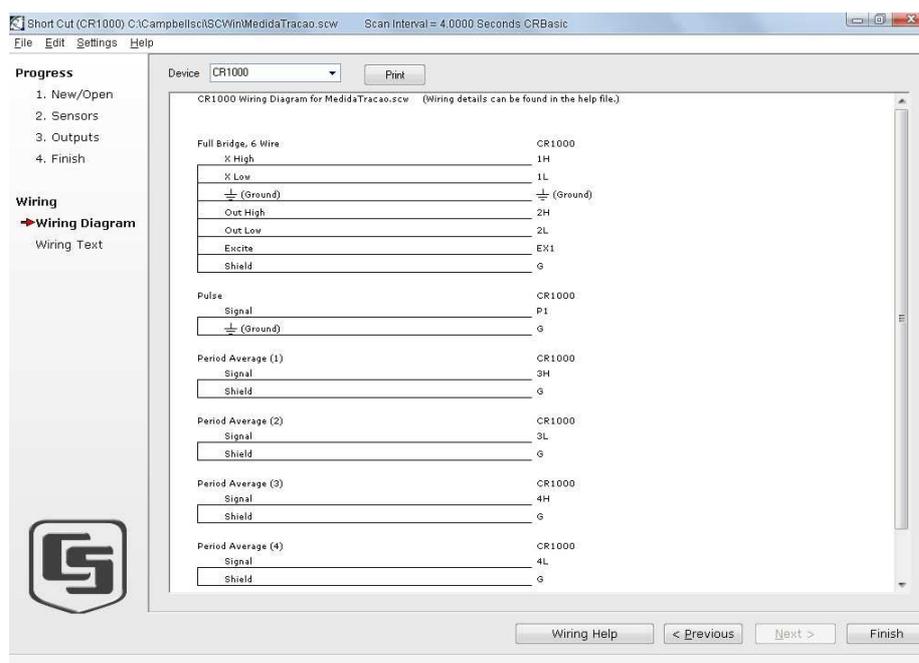


Figura 38 – Diagrama de ligações dos sensores.

- Configuração do *datalogger*: conforme a versão do software PC200W e do *datalogger*, pode ser necessário para a configuração e atualização do *datalogger*, o software *Device Configuration Utility*. Através do *Device Configuration Utility*, podemos fazer a atualização do *firmware* do *datalogger* para uma nova versão. A primeira tela do software apresenta uma lista de *dataloggers* disponíveis para serem selecionados.

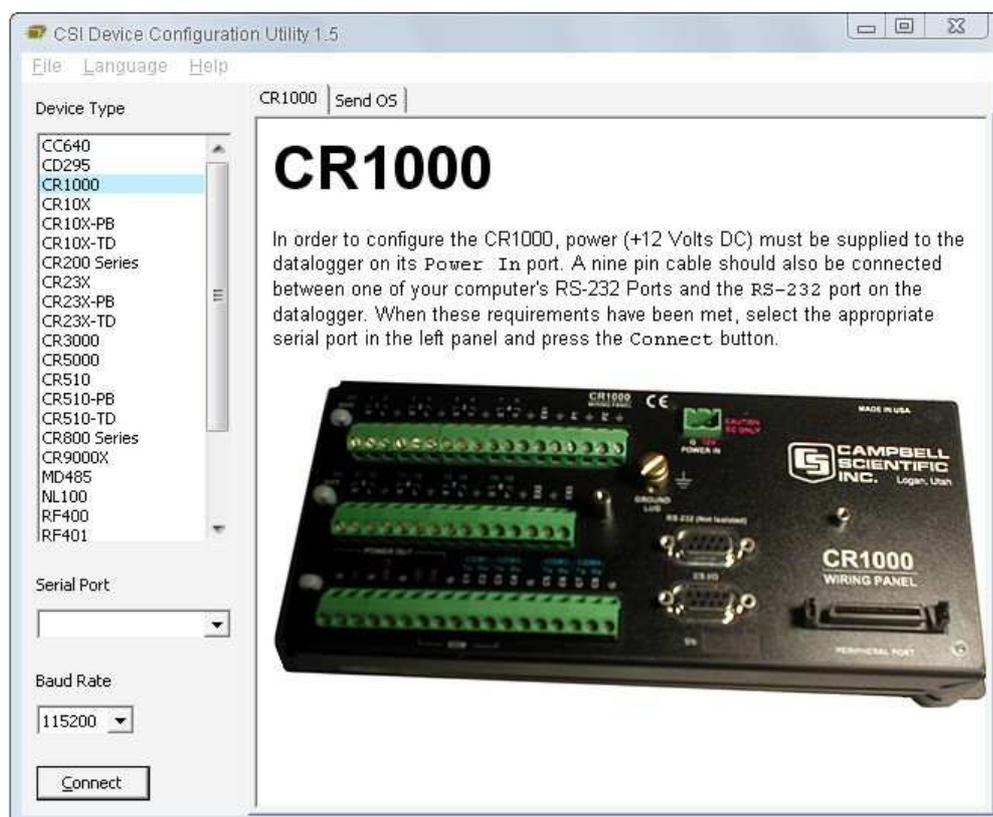


Figura 39 – Seleção do Datalogger no Device Configuration Utility.

Uma dessas abas serve para selecionar e enviar o arquivo de *firmware* do *datalogger*.

Após o envio do *firmware*, uma janela de confirmação é apresentada, indicando o fim do processo de atualização e o seu sucesso ou erros eventuais.

Finalmente, pode-se conectar o *datalogger* com o software PC200W e enviar o programa para dar início ao funcionamento do sistema de aquisição de dados.

4.4.2 Aquisição de dados

- Sensores para medida da rotação da rodas motrizes:

Foram projetadas quatro rodas dentadas com 32 dentes cada, fixadas pelo lado de fora do aro dos pneus, através de suportes. Cada engrenagem possui um sensor de proximidade indutivo, que indica uma frequência de acordo com a passagem dos dentes pelo sensor, conforme a rotação. A medição da rotação das rodas motrizes se faz necessária para determinar a velocidade real da roda durante as operações de campo, dado esse fundamental na determinação do patinamento. Porém, não é possível obter diretamente a rotação, pois o sinal é emitido em pulsos, e o *datalogger* possui somente duas entradas de pulso, já comprometidas com o fluxômetro e a célula de carga. A solução é utilizar a frequência captada pelos sensores e convertê-la em velocidade através da Equação 1.

Obtêm-se a velocidade real da roda através da seguinte equação:

$$V_{roda} = (Freq \times Per \times 3,6) / n \quad (1)$$

Onde:

V_{roda} = velocidade da roda em $km.h^{-1}$

Freq = frequência captada pelo sensor em Hz

Per = perímetro da roda em metros

n = número de dentes da engrenagem

- Medida da velocidade do trator:

A velocidade de deslocamento do trator deve ser determinada através da instalação de um receptor de sinais de satélites tipo GPS, da Marca Garmim, modelo GPSmap 60CS no trator. Este receptor é compatível com a maioria dos sistemas computacionais existentes no mercado e pode ser utilizado em tratores com qualquer tipo de equipamento no qual se deseja fazer a medida da velocidade. Embora o receptor de GPS apresente variações em condições de aceleração e desaceleração, isto teoricamente não irá produzir problemas, pois o trator trabalhará em condições de campo com a velocidade estabilizada, ou seja, sem muita variação.

- Medida do patinamento das rodas motrizes:

Para determinação do patinamento foi utilizada a metodologia desenvolvida por GABRIEL FILHO et al.(2004).

A patinagem média (S) é obtida da seguinte maneira:

$$S = [1 - (V_r / V_t)] \times 100 \quad (2)$$

Onde:

V_r = velocidade média obtida pelo receptor de GPS em km.h^{-1}

V_t = velocidade média da roda medida em km.h^{-1}

Através de um melhor arranjo da equação (2), obtêm-se a seguinte equação:

$$S = [(V_{roda} - V_{gps}) / V_{roda}] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

V_{gps} = velocidade média obtida pelo receptor de GPS em km.h^{-1}

V_{roda} = velocidade média da roda medida em km.h^{-1}

A equação (3) deve ser a equação utilizada nas planilhas de cálculos do Microsoft Excel[®] para determinação do patinamento das rodas motrizes do trator.

Outra forma de medir o patinamento é pelo método manual, através da medição da distância percorrida por dez voltas da roda, com e sem carga. Porém, essa medição é muito trabalhosa e deve ser utilizada somente para aferição da instrumentação no campo.

Este cálculo é realizado da seguinte maneira:

$$S = [(L_0 - L_1) / L_0] \times 100 \quad (4)$$

Onde:

L_0 = distância percorrida sem carga

L_1 = distância percorrida com carga

- Determinação da força de tração:

Uma célula de carga devidamente calibrada de 50 kN (5000 kgf), da marca Alfa modelo 5T, foi colocada entre a barra de tração do trator e o cabeçalho do implemento. Para isto ser possível, foi desenvolvida a barra de tração retrátil, de

forma que faça a ligação do implemento ao trator, tendo no seu centro a célula de carga. O implemento demanda uma força para seu funcionamento e essa força é medida pela célula de carga em igual amplitude através de sinais elétricos de acordo com a intensidade. Os sinais elétricos gerados em mV são convertidos e armazenados no *datalogger*.

- Determinação do consumo de combustível:

Para medida do consumo de combustível foi utilizado um fluxômetro da marca Oval M-III model LSF 41, composto por duas engrenagens. Uma delas possui um ímã que sensibiliza um sensor indutivo a cada volta (1ml de volume deslocado), gerando um pulso que é convertido e armazenado no *datalogger*. No caso de se querer obter um total de pulsos a cada 2 segundos, multiplica-se por 30 (transforma em minutos) e após novamente por 60 para transformar para horas. Isso é o mesmo que multiplicar por 1800 e após dividir por 1000 para transformar ml.h^{-1} em L.h^{-1} , ou seja, basta multiplicar o número de pulsos por 1,8.

Simplificando da seguinte forma:

$$Cs(\text{L.h}^{-1}) = \text{Pul} \times 1,8 \quad (5)$$

Onde:

Cs = consumo em L.h^{-1}

Pul = pulsos gerados pelo fluxômetro

Neste tipo de medição são usados dois sensores: um mede a quantidade de combustível que entra na bomba, o outro mede o retorno depois de passar pelos bicos injetores. A diferença indica o consumo de combustível. Porém em função da falta de recursos foi adquirido apenas um fluxômetro, demandando desta forma, uma modificação no sistema de alimentação de combustível. A Figura 40 mostra um esquema da modificação realizada.

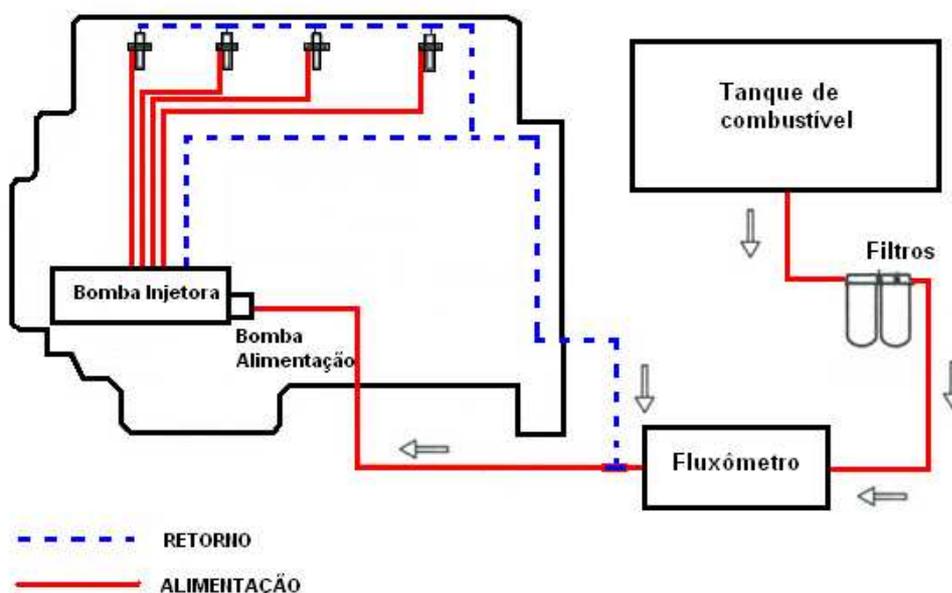


Figura 40 – Esquema de instalação do fluxômetro.

O retorno do combustível oriundo da bomba injetora e dos bicos não retorna ao tanque, sendo conduzido para ser novamente bombeado através de uma ligação realizada após o fluxômetro. Desta maneira, esse combustível é forçado a ser consumido, não passando mais pelo fluxômetro. Com essa modificação, a pressão interna aumenta e faz com que o combustível acabe fazendo um caminho oposto em direção ao fluxômetro. O problema é solucionado colocando-se uma válvula após o fluxômetro para impedir esse retorno.

- Alimentação de energia:

Foi utilizada uma bateria para alimentação de energia do *datalogger*, devido ao fato de ter muita oscilação na corrente proveniente do alternador do trator, chegando a valores superiores a 14 Volts. Valores acima dos 12 Volts podem provocar a queima de algum componente interno do *datalogger*, inutilizando-o. A bateria deve ser do tipo chumbo-ácido selada (não requer água), isenta de manutenção. Este tipo de bateria é comumente empregado em sistemas de alarme residenciais, com capacidade de corrente máxima de 7A/h e tensão de saída da ordem de 12 Volts.

A duração da bateria, levando em consideração o consumo de todos os componentes do sistema de medida, é da ordem de 70 horas ininterruptas. Após estas 70 horas é necessário substituir a bateria por outra de mesmas características,

ou recarregar a bateria com carregador de baterias. No caso de recarregar a bateria, necessita-se antes de ligar o carregador retirar a bateria do circuito, a fim de evitar danos ao *datalogger* ou sensores.

- Conexões e cabos:

As conexões dos cabos provenientes dos sensores até o *datalogger* são feitas através de terminais como mostra a Figura 41:

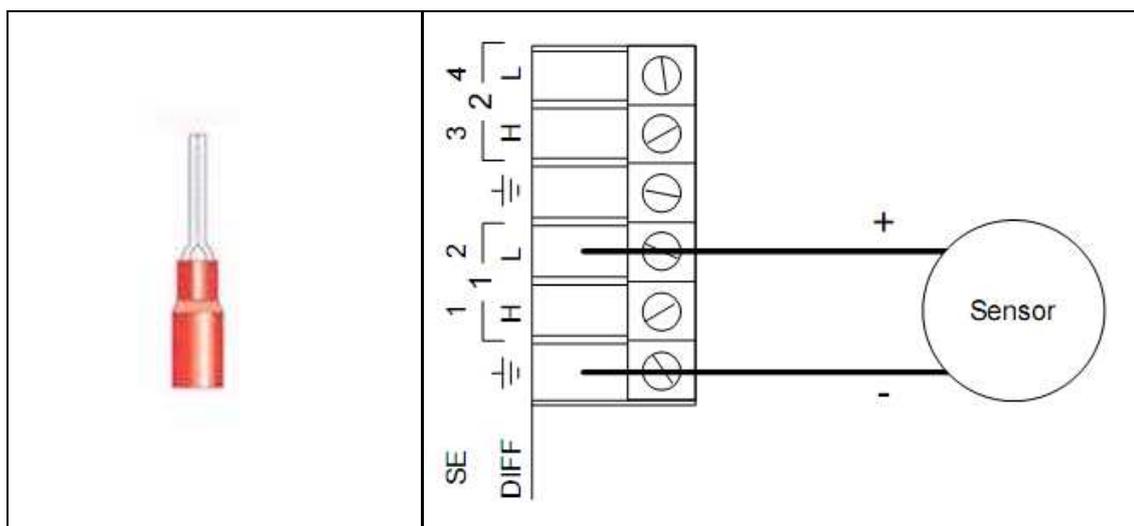


Figura 41 – Terminais utilizados nas conexões dos cabos ao *datalogger* (CAMPBELL, 2008)



Figura 42 – Terminais utilizados na bateria e no sistema de alimentação de energia.

Os cabos a serem utilizados nos sensores instalados nas rodas motrizes devem ser de quatro vias, sendo duas para alimentação (positivo e negativo), uma para transferência dos sinais captados pelos sensores e outra de aterramento. Para o fluxômetro, deve-se utilizar um cabo de três vias, sendo duas para alimentação de energia e uma para transmissão dos sinais.

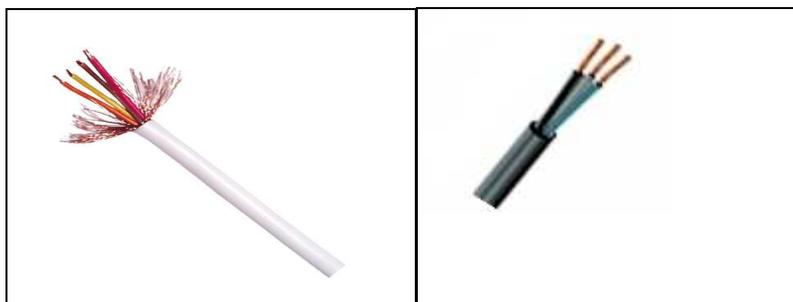


Figura 43 – Cabos de alimentação de energia e transferência de sinais.

Para a realização da comunicação entre o *datalogger* e o microcomputador é necessário utilizar um cabo com conversor USB-Serial, pois o *datalogger* possui somente saída serial. Este cabo conversor deve ser de alta durabilidade e compatível com o padrão Windows[®].



Figura 44 – Cabo com conversor USB-Serial para transferência de dados.

- **Montagem e ligações:**

Para a montagem foi seguido o diagrama de ligações gerado pelo software PC200W. A Figura 45 mostra o esquema de ligação dos sensores.

Full Bridge, 6 Wire	CR1000
X High	1H
X Low	1L
⏏ (Ground)	⏏ (Ground)
Out High	2H
Out Low	2L
Excite	EX1
Shield	G
Pulse	CR1000
Signal	P1
⏏ (Ground)	G
Period Average (1)	CR1000
Signal	3H
Shield	G
Period Average (2)	CR1000
Signal	3L
Shield	G
Period Average (3)	CR1000
Signal	4H
Shield	G
Period Average (4)	CR1000
Signal	4L
Shield	G

Figura 45 – Diagrama de ligações do CR1000 aos sensores.

- **Aquisição e visualização dos dados:**

Nem todos os dados coletados pelos sensores indicam diretamente os valores das variáveis em questão. Somente os valores da velocidade obtida pelo GPS, força de tração e consumo de combustível, se apresentam na forma da unidade de medida desejada. Os sensores das rodas nos emitem a frequência, necessitando assim de um cálculo através da planilha eletrônica do Excel[®] para se conseguir o valor da velocidade das rodas motrizes, assim como a medida do patinamento destas.

As variáveis declaradas públicas no programa podem ser visualizadas em tempo de execução através da aba “*Monitor Data*” do PC200W. Ao clicar nesta aba, inicialmente, ela possui apenas três variáveis adicionadas: *RecNum*, *TimeStamp* e *Batt_Volt*. Para adicionar mais variáveis é necessário clicar no botão “*Add*” na parte superior da aba. Aparece então uma lista de variáveis do CR1000 e entre elas

encontramos as que declaramos públicas no programa enviado ao *datalogger*. Isto pode ser visualizado na Figura 46.

The screenshot shows the 'Monitor Data' tab of the PC200W 3.3 Datalogger Support Software. The interface includes a menu bar (File, Datalogger, Network, Tools, Help), a toolbar with icons for Disconnect, Add, Delete, Port/Flag, Decimal Places (set to 2), and Update Interval (set to 00 m 01 s). A table displays the following data:

RecNum	405	Latitude	S2943355				
TimeStamp	08 13:50:01	Longitude	W05343135				
Tensao_Bat	12,69	Erro	G006				
FBr6W	-0,01	Altitude	+00098				
Pulsos_Flux	0,00	VelocidadeX	0,00				
PerAvg(1)	NAN	VelocidadeY	0,00				
PerAvg(2)	NAN	VelocidadeZ	12,00				
PerAvg(3)	NAN	Forca	-2,54				
PerAvg(4)	NAN	Consumo	0,00				
Ano	08	velocidade	0,00				
Mes	04	in_bytes_str(1)	U0012				
Dia	16	in_bytes_str(2)	0000U0012				
Hora	16	in_bytes_str(3)	0000U0012				
Minuto	49						
Segundo	57						

A green status bar at the bottom right indicates 'Connection Time 0:08:14'.

Figura 46 – Monitorando as variáveis que foram declaradas públicas.

No campo pode-se acompanhar o desempenho do trator através da tela ilustrada acima. Neste caso, basta o computador estar conectado ao *datalogger*.

Pode-se ajustar o tempo de atualização das variáveis através do campo *Update Interval*. As variáveis que por algum motivo qualquer não estiverem sendo lidas pelo *datalogger* têm o valor “NAN” retornado.

Este modo de visualização facilita a procura de erros no programa escrito, bem como a localização de falhas em sensores.

Em uma terceira aba, o PC200W possibilita a realização da coleta de dados do *datalogger* para um arquivo no microcomputador portátil. Para isso, é necessário selecionar os dados de quais tabelas se deseja fazer a coleta. Pode-se coletar apenas os dados novos e acrescentá-los ao arquivo já existente ou coletar novamente todos os dados, descartando os dados anteriores. Além disso, faz-se necessário selecionar qual tabela se quer coletar e indicar em qual diretório deseja-se salvar os dados.

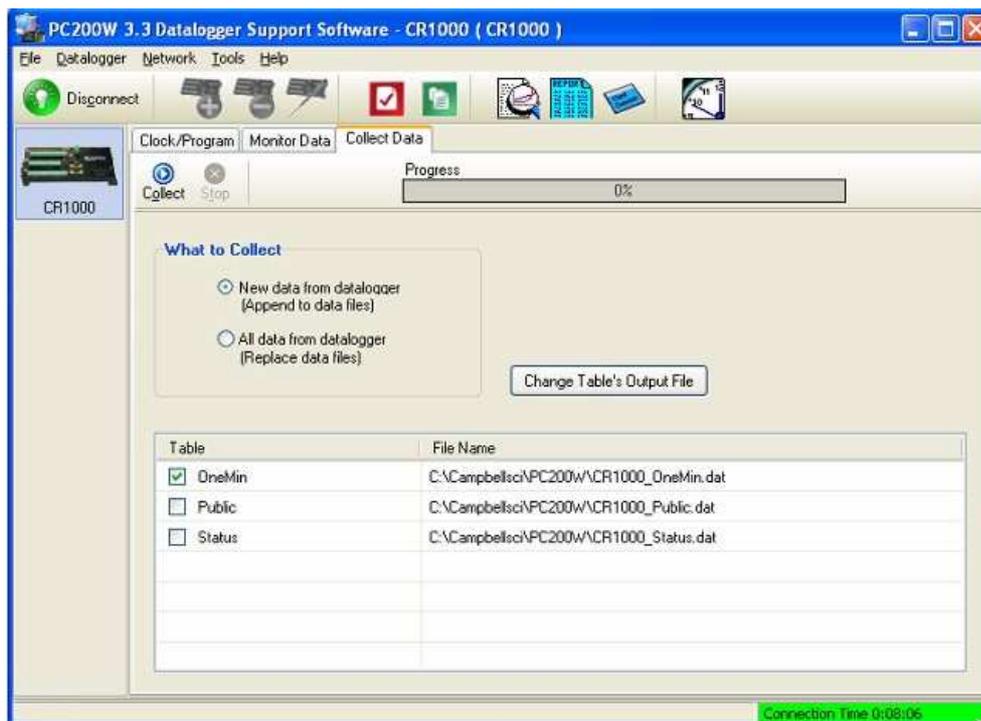


Figura 47 – Coleta de dados do *datalogger* para o microcomputador portátil.

Após a coleta dos dados, uma janela de confirmação é exibida. Pode-se então ver os dados clicando no botão “View” no canto superior direito da janela do PC200W.

O “View” é um aplicativo que automaticamente detecta os tipos de dados que estão no arquivo e formata uma tabela para que cada coluna apresente os dados de forma correta. Selecionando uma coluna, ou mesmo um dado qualquer, toda a coluna é destacada em azul, facilitando a leitura na tabela. Na Figura 48, pode-se ver destacada a coluna que indica o registro efetuado na tabela. Ainda, permite visualizar gráficos apenas selecionando os dados de interesse.

TIMEESTAMP	RECORD	Bateria	Cel. Carg	Pulsos	Rodal	Roda2
"2008-03-30 10:18:02"	39	12.12	735	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:04"	40	12.12	994	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:06"	41	12.12	865	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:08"	42	12.12	935	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:10"	43	12.12	851	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:12"	44	12.12	831	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:14"	45	12.12	1057	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:16"	46	12.12	1037	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:18"	47	12.12	1010	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:20"	48	12.12	935	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:22"	49	12.12	1108	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:24"	50	12.12	949	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:26"	51	12.12	1084	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:28"	52	12.12	954	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:30"	53	12.12	947	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:32"	54	12.12	898	0	"NAN"	"NAN"
"2008-03-30 10:18:34"	55	12.12	939	0	"NAN"	"NAN"

Figura 48 – Visualização dados coletados com o View.

Como o “View” não permite a edição dos dados, optou-se em desenvolver uma planilha do Microsoft Excel®, na qual os dados são importados, formatados e calculados. A partir da planilha com os dados principais, são inseridas as fórmulas para calcular a velocidade das rodas motrizes utilizando a freqüência, e posteriormente o patinamento.

DADOS LIDOS																					
Nº	Bat.	Cel. Carga	Fluxo Comb.	Sensores Rodas				GPS													
	Tensão V	Força Kgf	Pulsos ml/pulso	F.d.d.	F.d.e	F.t.d	F.t.e.	Ano	Mês	Dia	Hora	Min.	Seg.	Latitude	Longitude	Altitude	Erro	Veloc.X	Veloc.Y	Veloc.Z	
				Hz				UTC					WGS84								
																	m	(m / s) * 10	(m / s) * 10	(m / s) * 10	
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					

Figura 49 – Planilha do Microsoft Excel® para cálculo dos dados.

A Figura 50 mostra os dados já importados para a planilha Microsoft Excel®.

DADOS LIDOS													
Nº	Bat.	Cel. Carga	Fluxo Comb.	Sensores Rodas				Ano	Mês	Dia	Hora	Min.	
	Tensão	Força	Pulsos	F.d.d.	F.d.e	F.t.d	F.t.e.						UTC
	V	Kgf	mL/pulso	Hz									
13	CR1000	CR1000	6791	CR1000.Std.15	CPU:MedidaTracao.CR1	53710	Table1						
14	RECORD	Bateria	Cel.Carga	Pulsos	Roda1	Roda2	Roda3	Roda4	Ano	Mês	Dia	Hora	Minuto
15	RN	Volts	mV	Counts	fs/kHz	fs/kHz	fs/kHz	fs/kHz					
16		Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Smp	Smp
17	0	12.06	-7846	0	NAN	NAN	NAN	NAN	8	3	29	6	7
18	1	12.06	NAN	0	NAN	NAN	NAN	NAN	8	3	29	6	7
19	2	12.06	-7999	0	NAN	NAN	NAN	NAN	8	3	29	6	7
20	3	12.06	4227	0	NAN	NAN	NAN	NAN	8	3	29	6	7
21	4	12.06	2249	0	NAN	NAN	NAN	NAN	8	3	29	6	7
22	5	12.06	2530	0	NAN	NAN	NAN	NAN	8	3	29	6	7
23	6	12.06	2150	0	NAN	NAN	NAN	NAN	8	3	29	6	7

Figura 50 – Dados inseridos na planilha de cálculos.

4.4.3 Calibração dos equipamentos eletrônicos utilizados

A calibração da célula de carga foi realizada utilizando-se um peso padrão suspenso por um guincho. A cada variação no peso, uma variação nos pulsos em milivolts (mV) foi observada.

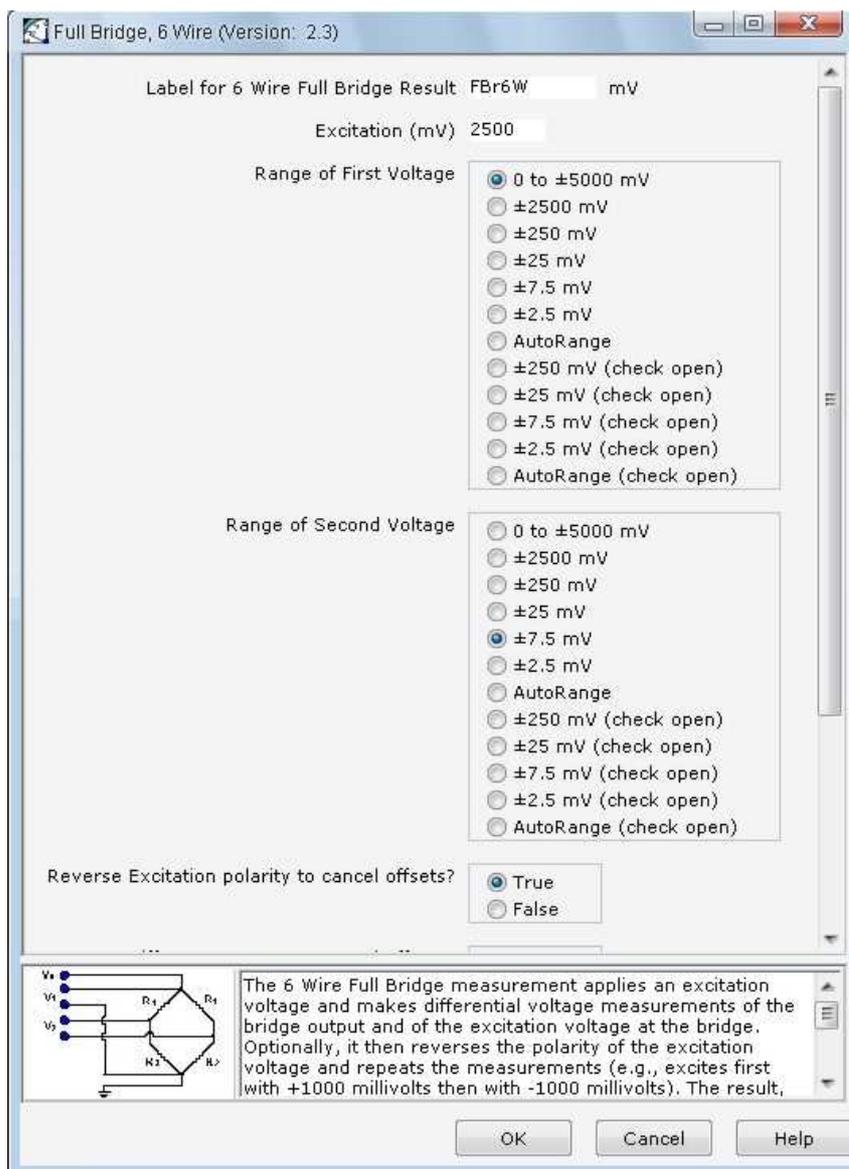


Figura 51 – Parâmetros para configurar o sensor.

Seleciona-se a primeira tensão de excitação da célula de carga na faixa de $\pm 5000\text{mV}$ e a segunda tensão de excitação da célula de carga na faixa de $\pm 7,5\text{mV}$. Estas duas tensões são aplicadas à célula de carga a fim de determinar com a maior exatidão possível o valor da célula de carga. Além disso, deve ser selecionada a opção de reverter às tensões de excitação a cada leitura, a fim de cancelar eventuais erros existentes em função das características do cabo de ligação da célula de carga e de ruídos externos que possam provocar interferências no valor medido.

O parâmetro *Settling Time* serve para provocar um pequeno atraso na leitura do sensor, permitindo assim uma leitura mais correta do valor. Ajusta-se para 50ms

esse parâmetro. Para fazer a calibragem da célula de carga, utilizam-se os parâmetros *Multiplier* e *Offset*. Com a adição de um peso padrão à célula de carga, observa-se o valor de saída. Com o ajuste do valor de multiplicação obtêm-se o valor correto indicado pelo *datalogger*.

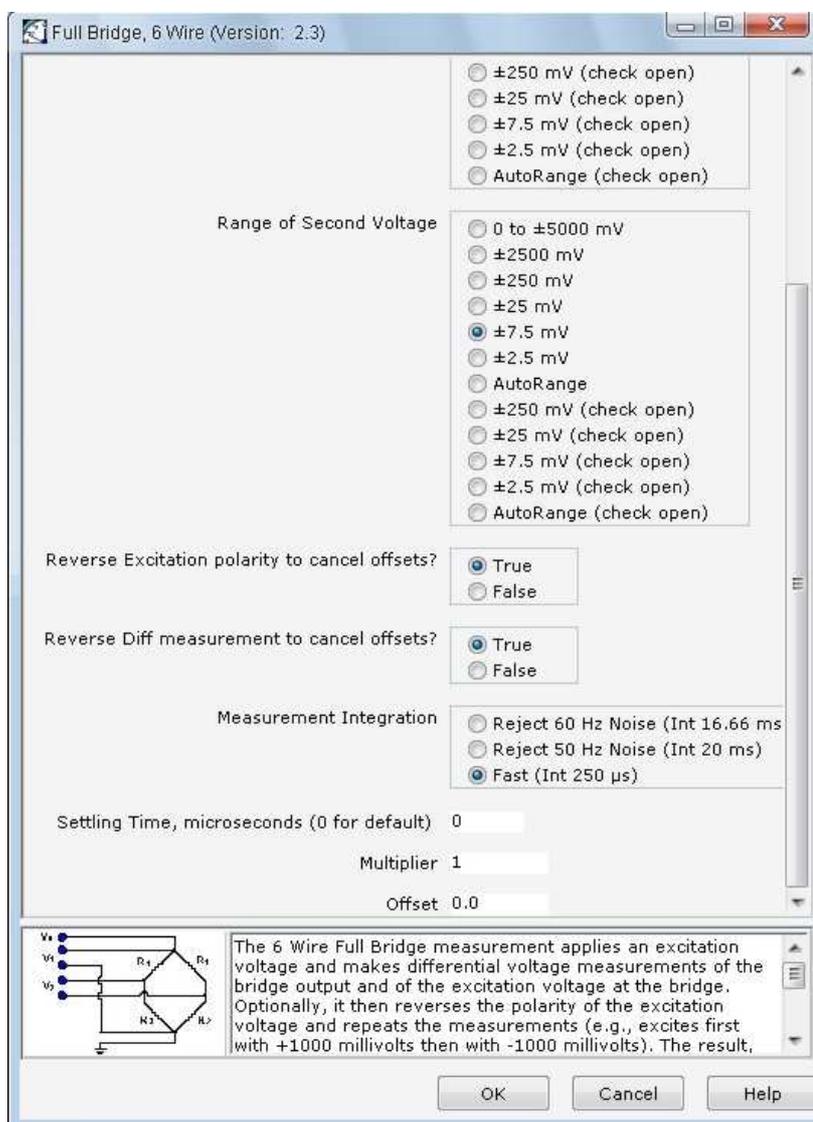


Figura 52 – Tela de configuração dos sensores.

Para sensores do tipo pulso, como a célula de carga, o *datalogger* pode contar o número de pulsos em um intervalo de tempo ou determinar a frequência dos pulsos no intervalo. Determina-se a frequência dos pulsos, com o valor de força de tração, respectiva de cada pulso.

Para o fluxômetro não é necessário a calibração, pois este já vem de fábrica com a especificação de que a cada pulso emitido pelo sensor corresponde a 1 ml de combustível consumido.

Nos sensores de rodas, deve ser realizado um ajuste na altura dos sensores em relação aos dentes da roda dentada, sempre mantendo um espaçamento padrão de 5 milímetros.

4.4.4 Montagem do protótipo

A partir da finalização dos desenhos, partiu-se para a construção da barra de tração da célula de carga, dos suportes metálicos dos sensores das rodas motrizes e das caixas de acondicionamento do *datalogger* e do fluxômetro.



Figura 53 – Construção da barra de tração.



Figura 54 – Peça sendo ajustada.

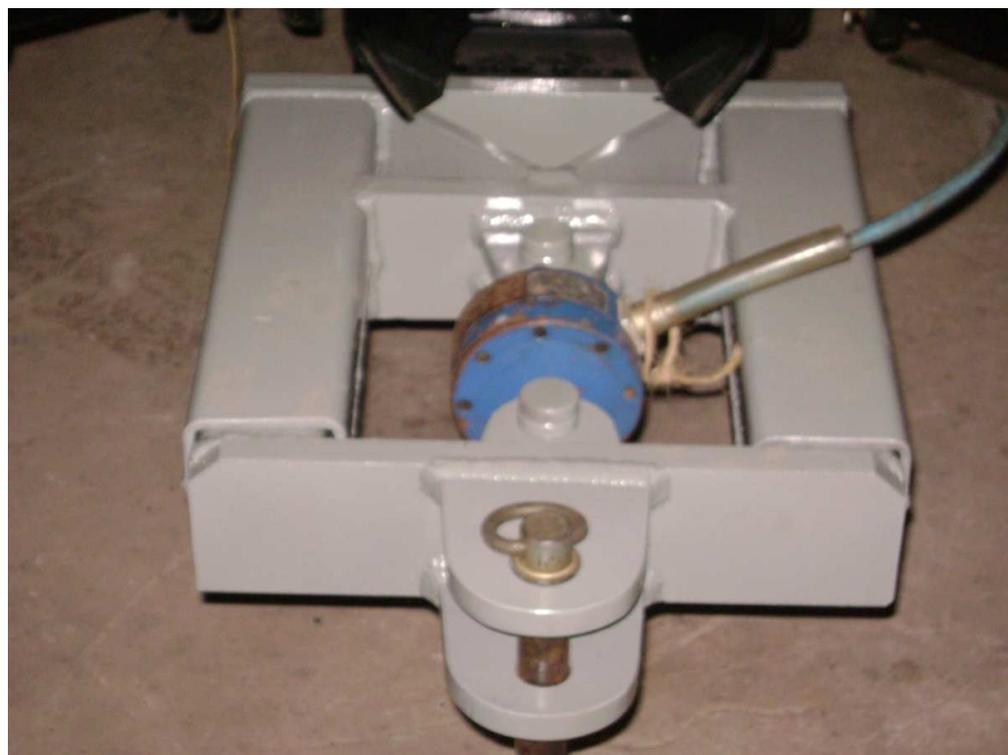


Figura 55 – Barra de tração com a célula de carga montada no trator



Figura 56 – Usinagem das flanges.

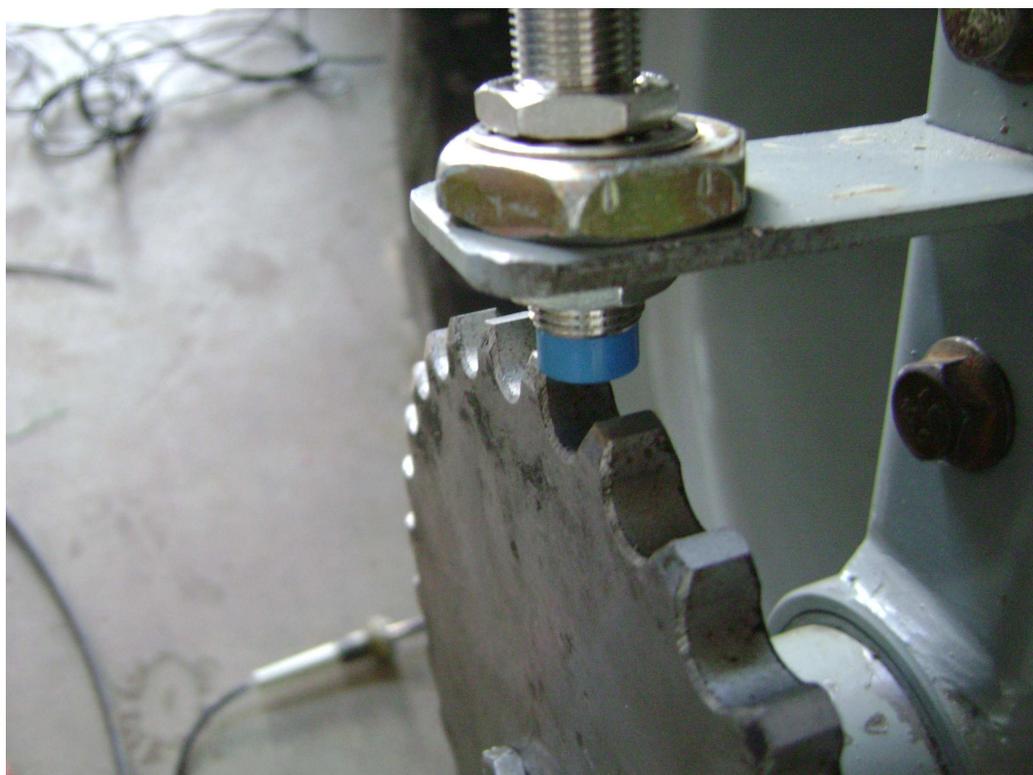


Figura 57– Sensor e roda dentada.



Figura 58 – Suporte dos sensores para determinação da rotação das rodas motrizes.



Figura 59 – Vista externa da caixa de acondicionamento do *datalogger*.



Figura 60 – Vista externa da caixa de acondicionamento do fluxômetro.

Na Figura 61 pode ser visualizada a seqüência da disposição dos elementos constituintes do sistema de medição de combustível. O filtro deve vir antes do fluxômetro a fim de evitar que resíduos danifiquem o equipamento, a válvula de retenção deve vir após para impedir que o combustível oriundo do retorno faça o caminho inverso devido ao aumento de pressão.

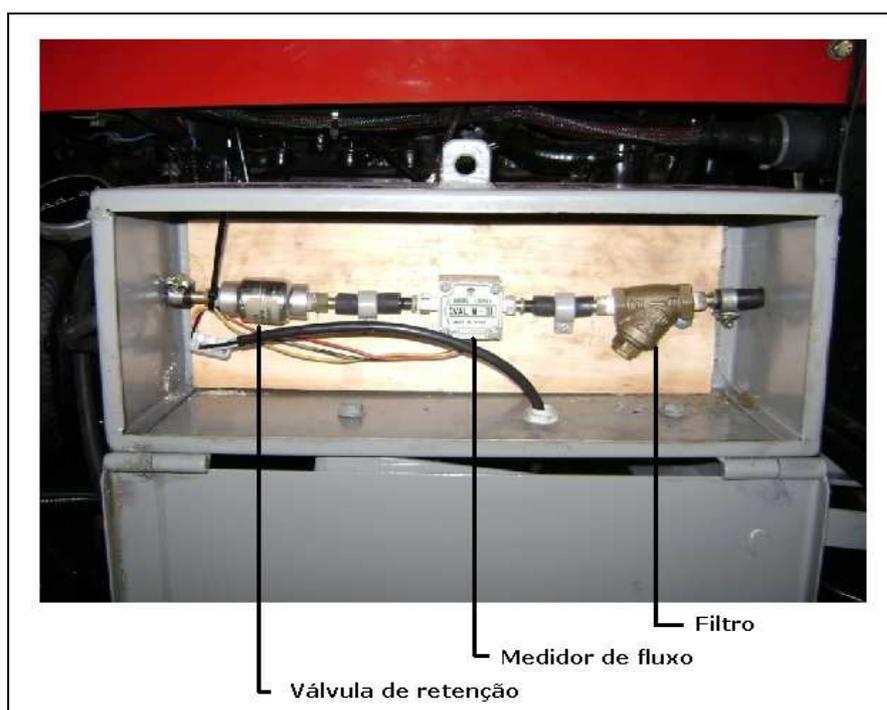


Figura 61 – Fluxômetro para medida do consumo de combustível.

Para a ligação dos sensores foi seguido o diagrama de ligações criado pelo CR1000.

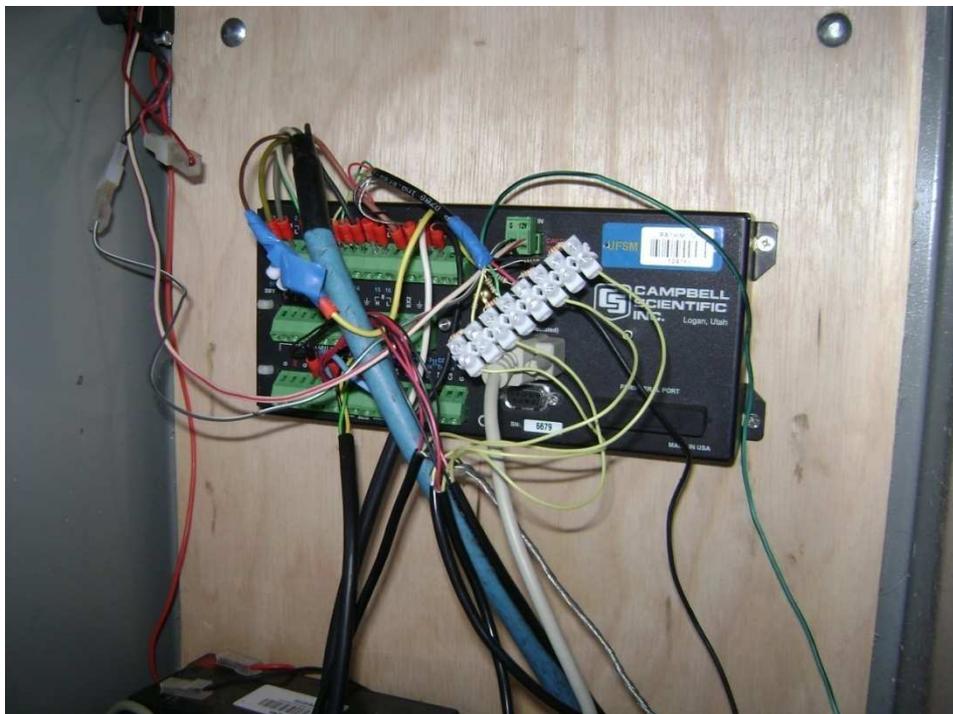


Figura 62 – Ligações dos sensores no datalogger.

4.4.5 Apresentação do protótipo

Todos os registros gerados pela instrumentação eletrônica são armazenados no datalogger e após transferidos a um computador portátil através do software PC 200W da *campbell* na forma de texto do bloco de notas. Esses dados são importados na forma de texto para a planilha de cálculos do Microsoft Excel[®], onde os dados brutos são reorganizados e transformados em valores de interesse, através de equações e convertidos em arquivo XLS.

Para cada teste realizado no campo era criado um novo arquivo para a próxima coleta de dados. O datalogger não permite zerar, ou seja, apagar os dados anteriores para iniciar uma nova coleta de dados. A medida adotada a cada teste é a formatação do datalogger e a transferência da programação de base desenvolvida. Após este procedimento, inicia-se o teste com o trator tracionando os implementos no campo.

O tempo de aquisição estabelecido foi de dois segundos, o que permite ter a cada teste uma variação muito grande de dados, normalmente tendo de 500 a 600 mil dados coletados por teste realizado. Esse intervalo pequeno de tempo é interessante quando se realiza experimentos com parcelas definidas, pois permite ter mais dados em áreas menores e num curto espaço de tempo.



Figura 63 – Trator instrumentado preparado para os testes.

4.4.6 Teste da instrumentação em laboratório

Para se ter certeza de que os dados coletados pelos sensores e armazenados pelo *datologger* eram compatíveis com as reais condições de campo, foram realizadas determinações das variáveis estudadas, de forma manual para comparação com os valores obtidos pela instrumentação.

Portanto, as atividades realizadas pelo trator tiveram uma versão de dados coletados eletronicamente com uma aferição manual para dar confiabilidade aos dados coletados. Nos primeiros testes, antes dos testes a campo, utilizou-se um trator Massey Ferguson modelo 275 (56 kW ou 75 CV) como freio para aferição e

ajustes dos sensores. Por várias vezes foi necessária uma nova calibração até obter o ajuste final.



Figura 64 – Teste da instrumentação com trator freio.

4.4.7 Teste da instrumentação a campo

- Descrição do trator e da semeadora:

A semeadora utilizada nesse teste foi da marca Semeato, modelo Personale Drill 17 com sete linhas de semeadura. O espaçamento entre linhas utilizado era 45 cm, com hastes sulcadora para o adubo e com discos defasados para as sementes.

A profundidade de incorporação do adubo pelo sulcador foi de 12 cm e 5 cm de profundidade dos discos para semeadura.

A massa dessa semeadora vazia é de 1700 kgf, porém foi adicionado 1000 kgf de massa extra substituindo o adubo e a semente, perfazendo um total de 2700 kgf, o que simula o peso desta máquina em condições de operação a campo. Nesse teste, os pneus que equipavam o trator eram classificados em R2, pneus estes recomendados para solos úmidos com características de baixa tração.

Realizou-se a coleta de dados simulando uma semeadura diretamente sobre uma palhada de soja colhida dois dias antes. O teor de umidade determinado no

momento do teste foi 16%. O índice de cone médio determinado foi 1342 kpa ou 1,34 Mpa na camada de 0 - 20 cm de profundidade. O solo da área era um Argissolo Vermelho distrófico e o relevo relativamente plano. As velocidades de operação foram escolhidas com base na Norma ASAE D230-4, 1988. Para a semeadura, a Norma determina que seja a uma velocidade entre 4 a 10 km/h, porém foram utilizadas as velocidades de 4, 5, 6 e 7 km.h⁻¹, que correspondem às marchas 3° reduzida, 4° reduzida, 1° direta e 2° direta respectivamente, já que não foi possível atingir velocidades superiores a estas, devido ao trator não conseguir tracionar a semeadora por falta de potência no motor. Foram realizadas três repetições para cada velocidade com rotação do motor a 1900 rpm.

- Resultados obtidos:

A seguir são apresentados os valores médios de consumo de combustível e força de tração, obtidos durante os testes, nas velocidades de 4, 5, 6 e 7 km.h⁻¹.

Tabela 5: Média geral do consumo de combustível e força de tração nas marchas avaliadas a 1900 rpm.

Marchas	Consumo médio (L.h ⁻¹)	Velocidade média (km.h ⁻¹)	Força de tração média (kN)
3° reduzida	7,47	4,16	9,27
4° reduzida	10,11	5,16	13,09
1° direta	13,04	5,94	13,62
2° direta	14,06	7,25	11,52
Média geral	11,17	5,62	11,87
Desv. Padrão	3,06	1,30	1,95
CV (%)	27,39	23,21	16,44

As variações nos valores médios de força de tração sofrem interferência direta das condições de solo, que mudam dentro da mesma área oferecendo uma menor ou maior resistência aos órgãos ativos da semeadora. Bortolotto et al. (2005), em um experimento realizado com uma semeadora de precisão com 8 linhas, encontrou uma força de tração média 13,86 kN em um solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico em sistema plantio direto consolidado há mais de oito anos, com vegetação espontânea.

Já o consumo de combustível tem relação direta com o aumento da força de tração, ou seja, à medida que aumenta a demanda energética, o consumo de combustível aumenta significativamente. Isto pode ser visualizado na Figura 65.

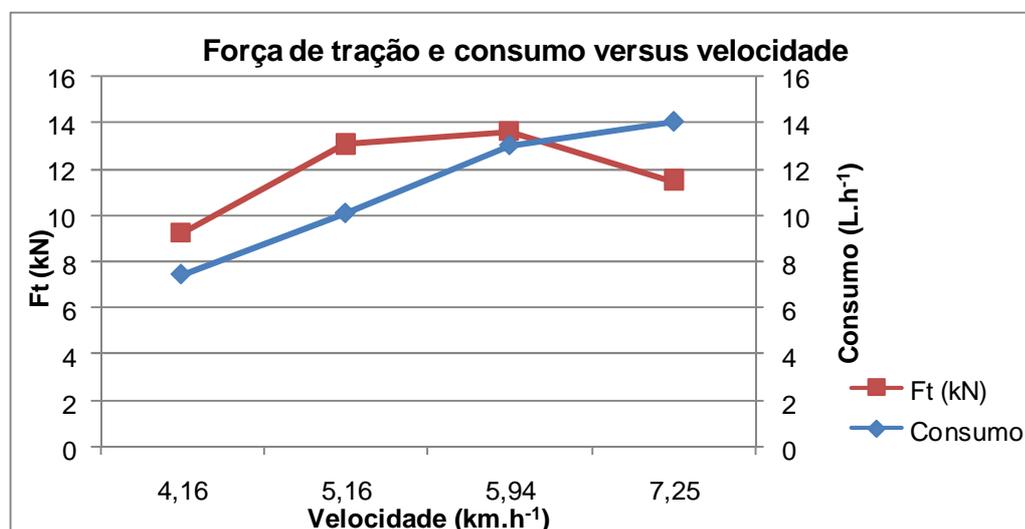


Figura 65 – Comportamento da força de tração e do consumo em relação à velocidade de deslocamento.

Na medida que se aumenta a velocidade de deslocamento, ocorre um aumento da força de tração, porém até um determinado momento em que o implemento tende a flutuar sobre o solo diminuindo a força de tração. Este comportamento crescente da força de tração em relação ao aumento da velocidade também foi observado por Bortolotto et al.(2005), que encontraram valores de força de tração que variaram de 18,04 kN a 20,04 kN para as velocidades de 5,56 a 10,21 km/h⁻¹, respectivamente. Siqueira et al. (2001), avaliando quatro semeadoras-adubadora na operação de semeadura direta de soja, detectaram aumento significativo no requerimento de força de tração e potência média e máxima na barra de tração quando a velocidade de deslocamento variou de 4,7 para 8,3 km h⁻¹. Em ambos os casos, ocorre um decréscimo na força de tração a partir de um determinado valor de velocidade.

Com o aumento da força de tração demandada pelo implemento durante as operações, ocorre também um aumento no consumo de combustível. Isto acontece devido à bomba injetora possuir um mecanismo denominado “governador” que aumenta a injeção do combustível para suprir as demandas principalmente quando ocorrem sobrecargas momentâneas. A variação no consumo horário de combustível também foi observado por Trintin et al. (2005), quando a velocidade de trabalho

variou de 4,2 para 6,5 km h⁻¹. Houve um incremento de 35,9% no consumo de combustível e 52% na demanda de potência média na barra. Oliveira (1997), também detectou um incremento na demanda de potência com o aumento da velocidade de 5,0 para 7,0 km.h⁻¹ e um aumento significativo no consumo de combustível.

Os valores de velocidade das rodas motrizes foram obtidos a partir da frequência captada pelos sensores e com o auxílio da equação (1), transformada em velocidade e expressa em km.h⁻¹. Foram determinadas velocidades padrões para o teste correspondendo as marchas anteriormente mencionadas, porém durante o deslocamento do trator esta velocidade não se manteve constante. Devido ao aumento da força de tração nos momentos de sobrecarga, ocorre um decréscimo na rotação do motor entrando na faixa de reserva de torque, conseqüentemente variando a velocidade. Esta variação da velocidade é captada pelo GPS que também entra na equação (3) para determinação do patinamento.

Tabela 6: Média geral da velocidade das rodas motrizes, GPS e patinamento nas quatro marchas avaliadas a 1900 rpm.

Velocidade	Rodas dianteiras				Ft média (kN)	Vel GPS (km.h ⁻¹)
	Vel (km.h ⁻¹)	Pat(%)	Vel(km.h ⁻¹)	Pat(%)		
Valores médios						
3°reduzida	4,76	10,96	4,77	11,15	9,27	4,16
4°reduzida	5,80	11,08	5,82	10,52	13,09	5,16
1°direta	6,53	8,93	6,92	13,78	13,62	5,94
2°direta	7,62	4,85	7,92	8,35	11,87	7,25
Média geral	6,17	8,95	6,35	10,95	11,87	5,62
Desv.padrão	1,20	2,90	1,36	2,23	1,95	1,30
CV (%)	19,5	32,50	21,4	20,41	16,44	23,21

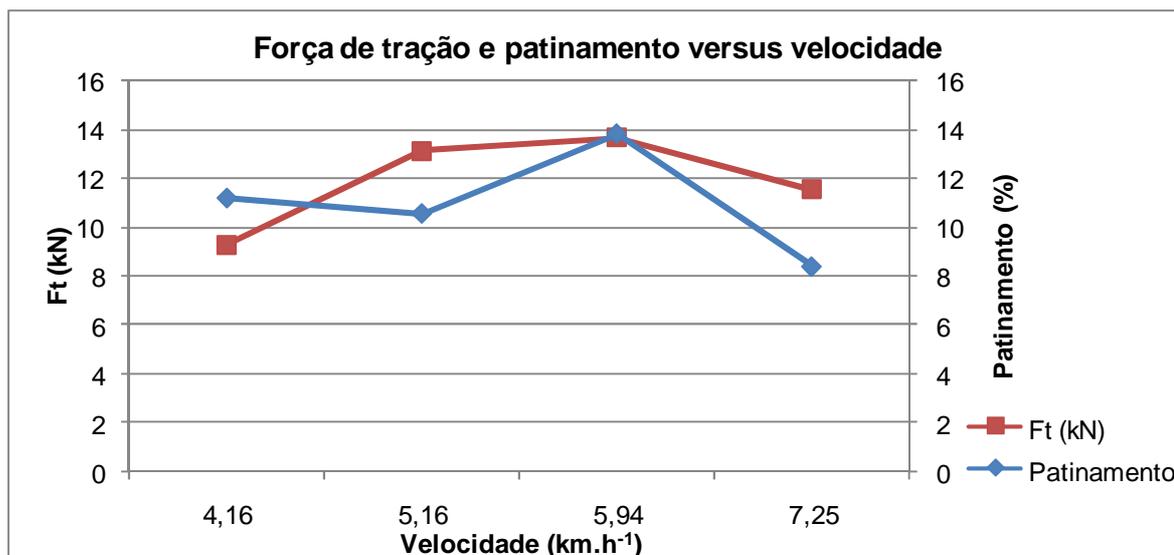


Figura 66 – Comportamento da força de tração e do patinamento em relação à velocidade.

Um fator que promove a variação da velocidade do trator é o patinamento, fazendo com que as rodas girem com uma velocidade muito superior à velocidade registrada pelo receptor de GPS. No momento que ocorrer uma sobrecarga de tração e o solo por suas características não suportar a tração exercida pelo pneu, este irá patinar, chegando ao momento, que a velocidade real obtida pelo GPS seja igual a zero. O trator neste momento cessa seu movimento, embora as rodas ainda estejam girando. Essa situação também é muito comum quando a potência disponível no trator está muito além do que necessita a semeadora (TRINTIN, et al. 2005).

O consumo nas quatro velocidades de operação ficou ao redor de 11,17 litros por hora para uma força de tração média de 11,87kN, sendo assim 1,6 litros por linha/hora para uma força de tração de 1,7 kN por linha de semeadura. Este resultado foi semelhante ao encontrado por Bortolotto et al. (2005), no qual foi obtido um valor de 1,73 kN de força de tração por linha de semeadura.



Figura 67 – Realização dos testes a campo.



Figura 68 – Coleta de dados após a operação.

4.4.8 Custo final da instrumentação

Após o desenvolvimento da instrumentação foi realizado um levantamento de todos os custos dos componentes e serviços necessários à construção da instrumentação eletrônica.

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Custo (R\$)
Datalogger	1	4.000,00	4.000,00
Fluxômetro	1	1.540,00	1.540,00
Sensores de rodas	4	80,00	320,00
Receptor GPS	1	1.200,00	1.200,00
Cabos e conexões	-----	227,00	227,00
Sistema mecânico	-----	1.275,00	1.275,00
Mão-de-obra especializada	1	1.000,00	1.000,00
Serviço terceirizado	1	1.520,00	1.520,00
Total			11.082,00

Quadro 5 – Custo final da instrumentação.

O custo final da instrumentação eletrônica ficou bem abaixo do custo estimado anteriormente, como pode ser visto na figura a seguir.

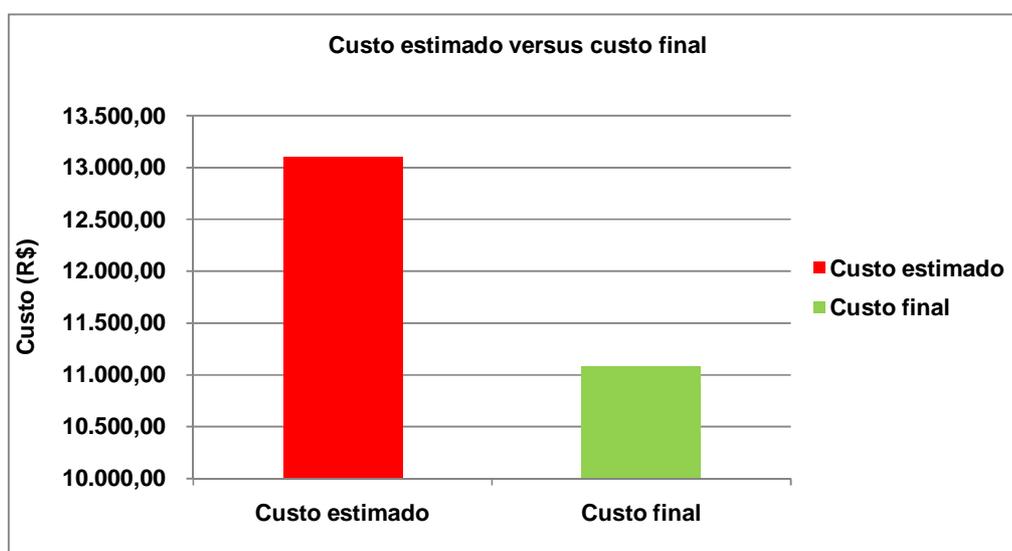


Figura 69 – Comparação entre custo estimado e custo final.

Esta diferença ocorreu devido a negociações com os fornecedores dos componentes a serem utilizados em função de tratar-se de um projeto de pesquisa de uma instituição pública, onde os impostos decorrentes da comercialização e importação puderam ser isentos.

4.4.9 Lições aprendidas

- Velocidade de deslocamento:

O maior problema encontrado foi na medição da velocidade de deslocamento, em que houve um retardo nas condições de aceleração e desaceleração do trator. A instrumentação estava programada para armazenar os dados a cada dois segundos e o GPS leva de 8 a 10 segundos para corrigir a velocidade. Esse problema ocorreu principalmente quando o conjunto mecanizado era submetido a sobrecargas muito rápidas em que a velocidade cai bruscamente, próxima a zero, em poucos segundos.

A solução encontrada foi a de não submeter o conjunto a essas quedas bruscas de velocidade, aumentando o tempo de decréscimo e aumento de velocidade, permitindo que o GPS acompanhe essa variação, tendo-se assim valores mais precisos.

- Força de tração:

Os maiores valores de força de tração não correspondem aos maiores patinamentos, pois quando atingimos os picos de força de tração o patinamento se acentuará e conseqüentemente a força de tração diminuirá devido ao fato do solo não oferecer mais resistência à tração exercida pelo trator. O patinamento acompanha o aumento da força de tração até um determinado momento, em que, a partir deste, a força de tração começa a decrescer. Isso pode ser fundamentado por Reis et al. (1995). Ele afirma que a força de tração resultante da passagem de uma ferramenta pelo solo não é constante. A existência de planos de ruptura de solo à frente da ferramenta fazem com que esta seja submetida a esforços cíclicos. O fenômeno surge quando as componentes horizontais e verticais da resistência do solo aumentam rapidamente, em decorrência do deslocamento da ferramenta, até que o solo se rompa e a resistência baixe a valores mínimos. O processo recomeça tão logo a haste atinja uma nova porção de solo não movimentado.

5 RECOMENDAÇÕES

Em função do retardo na obtenção dos valores de velocidade pelo receptor de GPS nas condições de aceleração e desaceleração do trator, seria interessante evitar quedas e aumentos muito rápidos na velocidade durante o deslocamento do conjunto mecanizado.

Uma solução eficiente e barata, seria a construção de uma roda auxiliar, que quando acionada entra em contato com o solo girando a uma velocidade conforme a velocidade do trator. Essa velocidade pode ser obtida da mesma forma que a velocidade das rodas motrizes, ou seja, através de sensores que captam a frequência do movimento realizado por essa roda.

6 CONCLUSÃO

O modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas adotado contribuiu decisivamente na estruturação e organização dos conhecimentos envolvidos, fornecendo apoio necessário ao desenvolvimento da instrumentação, tornando-se, desta forma, uma ferramenta indispensável para a realização deste projeto.

O desenvolvimento de uma instrumentação eletrônica através da instalação de sensores para determinar o desempenho do trator, conectados a um sistema de aquisição, nos fornece dados referentes ao desempenho do trator a cada dois segundos durante as operações, tendo-se assim dados suficientes para caracterizar o desempenho desta máquina. Todos os dados obtidos pelos sensores instalados foram armazenados em um *datalogger* com grande capacidade de armazenamento para posteriormente serem baixados através de um software de base, cuja programação foi desenvolvida exclusivamente em função das variáveis a serem medidas. Os dados após coletados se apresentam na forma de texto no bloco de notas e posteriormente são transferidos a uma planilha do Microsoft Excel[®], facilitando a visualização e interpretação.

Toda a instrumentação foi projetada de maneira que possa ser transferida de um trator para outro, permitindo que sejam realizados comparativos entre tratores, inclusive de diferentes marcas, devido a estrutura ser de fácil transferência e ajustamento.

Durante os testes, foi possível acompanhar o comportamento das variáveis, diretamente no campo, com o trator em operação, seguido do armazenamento dos dados coletados. Com relação à velocidade de deslocamento, verificou-se que o receptor de GPS não é um equipamento muito adequado a esse tipo de situação devido à variação nos valores de velocidade, nas condições de aceleração e desaceleração. Porém, não compromete totalmente os valores obtidos, em função de se poder trabalhar com valores médios.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **Agricultural Machinery Management Data** (ASAE D497.4). St. Joseph: ASAE, 2003. p. 373-380.

_____. **Agricultural Machinery Management Data** (ASAE* S390.1 DEC94). Classifications and Definitions of Agricultural Equipment. ASAE Standards.

_____. **Agricultural Machinery Management Data** (ASAE S209.5 Agricultural Tractor Test Code). St. Joseph:ASAE,1989. p. 44-48

ANTUNIASSI, U. R. et al. Avaliação de sensores de velocidade em função do tipo de superfície e direção de deslocamento do trator. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 74-81, jan. 2001.

ARRIVO, A; 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.

ASSIS, R. L Conhecimentos básicos em física do solo e suas aplicações. In CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 17., 2000, Cascavel. **Anais...** Cascavel: 2000.

BACK, N; OGLIARI, A. **Desenvolvimento do produto: Aspectos gerais**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000. 24 p. Apostila.

BORTOLLOTO, V. C. et al. Demanda energética de uma semeadora-adubadora sob diferentes velocidades de deslocamento e tipos de cobertura vegetal no plantio direto da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 357-362, abr. 2005.

CCMQ – Centro de Capacitação em Metrologia e Qualidade. **Calibração de Instrumentos de medição**. Apostila de Curso. 2003.

DONALDSON, G. F. **Farm machinery testing: scop and purpose in the measurement and avaluation of farm machinery**. Ottawa: Royal Commission on Farm Machinery, 1970. 91 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. Disponível em: <<http://www.sif.org.br/eventos/palestras/2005%2009%20-%20VII%20Simposio%20Brasileiro%20sobre%20Colheita%20e%20Transporte%20Florestal/Art47-517-530.pdf>> Acesso em 19 de abr. de 2007.

GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, set/dez. 2004.

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.

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

HOFMANN-WELLENHOF, B. et al. **Global Positioning System: theory and practice**. New York: Springer-Verlag, 1992. 326 p.

LOPES, A. et al. Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, v. 5, n. 1, p.24-31, 2003. Disponível em: < <http://www.sbiagro.org.br/artigo%205.pdf>> Acesso em: 16 maio. 2007

LINARES, P. et al. Comparación de neumáticos traseros radiales y convencionales para tratores agrícolas. **Rivista di Ingegneria Agraria**. Bologna, v. 23, n.2, jun. 1992.

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, v7, n.2, p.382-86, jul. 2003.

MANTOVANI, E. et al. Automação do processo de avaliação do desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1241-46, jul.1999.

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

MILLER, D. E. Effect of subsoiling and irrigation regime on dry bean production in the Pacific Northwest. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.784-787, out. 1987.

MOLIN, J. P. et al. Análise comparativa de sensores de velocidade de deslocamento em função da superfície. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 768-773, set. 2005.

OLIVEIRA, M.L. et al. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1455-63, jul. 2000.

OLIVEIRA, V. F. A importância do projeto no processo de ensino/ aprendizagem. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V. F. (Org.). **O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial: conceitos, reflexões, aplicações e formação profissional**. Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2001. p. 145-184.

OVAL CORPORATION. K& K DO BRASIL. **Manual do produto e instalação**. São Paulo, 2008.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conjunto de conhecimentos do gerenciamento de projetos (PMBOK® Guide)**. Pennsylvania: Project Management Institut, 2000.

RAHEMAN, H; JHA, S.K. Wheel slip measurement in 2WD tractor. **Journal of Terramechanics**, v. 44, n. 1, p. 89-94, 2007. Disponível em: <
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V56-4K716K4-1&_user=687358&_coverDate=01%2F31%2F2007&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&sort=d&view=c&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=b7dc2a744a4877e649e2c97fedc97aa4
> Acesso em: 23 abr. 2007.

REIS, A. V. et al. Análise espectral das forças no sistema de engate de três pontos do trator agrícola. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 1, n. 1, jan/abr., 1995.

ROMANO. L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. 321f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

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.

SCHLOSSER. J. F. **Influencia del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras en la eficiencia en tracción de los tractores agrícolas**. 1996. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid.

SCHLOSSER, J. F. et al. Desenvolvimento de metodologia para previsão do fenômeno de vibrações decorrentes da interferência entre eixos de um trator com tração dianteira auxiliar (TDA). **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p.985-989, nov./dez.2001.

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

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. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 10-18, 1997.

SIQUEIRA, R. et al. Desempenho de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

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 –UNIOESTE, Cascavel.

TOMPKINS, F.D. et al. Comparison of tractor ground speed measurement techniques. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 31, n. 2, p.369-374, jan/fev. 1988.

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.

8 APÊNDICES

8.1 Apêndice A – Programação utilizada no software PC 200W.

```
'CR1000
'Created by Short Cut (2.5)

'Declare Variables and Units
Public Tensao_Bat
Public FBr6W
Public Pulsos_Flux
Public PerAvg(4)
Public Ano As String * 2
Public Mes As String * 2
Public Dia As String * 2
Public Hora As String * 2
Public Minuto As String * 2
Public Segundo As String * 2
Public Latitude As String * 8
Public Longitude As String * 9
Public Erro As String * 4
Public Altitude As String * 6
Public VelocidadeX
Public VelocidadeY
Public VelocidadeZ
Public Forca
Public Consumo
Public velocidade
Public in_bytes_str(3) AS String * 54

Units Tensao_Bat=Volts
Units FBr6W=mV
Units Pulsos_Flux=Counts
Units PerAvg=Hz
Units Forca=Kgf
Units Consumo=L/h
Units velocidade = Km/s

Dim VelXString AS String * 5
Dim VelYString AS String * 5
Dim VelZString AS String * 5
Dim nmbr_bytes_rtrnd

'Define Data Tables
DataTable(Table1,True,-1)
    DataInterval(0,4,Sec,10)
    Sample(1,Tensao_Bat,FP2)
    FieldNames("Bateria")
    Sample(1,FBr6W,FP2)
    FieldNames("Cel.Carga")
    Sample(1,Pulsos_Flux,FP2)
    FieldNames("Pulsos Flux.")
    Sample(1,PerAvg(1),FP2)
    FieldNames("Roda1")
```

```

Sample(1,PerAvg(2),FP2)
FieldNames("Roda2")
Sample(1,PerAvg(3),FP2)
FieldNames("Roda3")
Sample(1,PerAvg(4),FP2)
FieldNames("Roda4")
Sample(1,Ano,String)
FieldNames("Ano")
Sample(1,Mes,String)
FieldNames("Mês")
Sample(1,Dia,String)
FieldNames("Dia")
Sample(1,Hora,String)
FieldNames("Hora")
Sample(1,Minuto,String)
FieldNames("Minuto")
Sample(1,Segundo,String)
FieldNames("Segundo")
Sample(1,Latitude,String)
FieldNames("Latitude")
Sample(1,Longitude,String)
FieldNames("Longitude")
Sample(1,Erro,String)
FieldNames("Erro")
Sample(1,Altitude,String)
FieldNames("Altitude")
Average(1,VelocidadeX,String,False)
FieldNames("VelocidadeX")
Average(1,VelocidadeY,String,False)
FieldNames("VelocidadeY")
Average(1,VelocidadeZ,String,False)
FieldNames("VelocidadeZ")
Average(1,Forca,FP2,False)
FieldNames("Força")
Sample(1,Consumo,FP2)
FieldNames("Consumo")
Sample(1,Velocidade,FP2)
FieldNames("Velocidade")

EndTable

'Main Program
BeginProg

SerialOpen (Com1,9600,0,0,270)      'Tamanho do buffer é o
número de bytes * cinco.

Scan(4,Sec,1,0)
'Medida da Tensão da Bateria do Datalogger:
Battery(Tensao_Bat)
'Medida a 6 fios de Célula de carga Full Bridge:

0.05)
BrFull6W(FBr6W,1,mV5000,mV7_5,1,1,1,2500,True,True,0,250,4.80,-

Forca = (1000 * FBr6W)/2.103
'Medida de pulso do fluxômetro:
PulseCount(Pulsos_Flux,1,1,0,0,1.0,0.0)
'Medida do período dos pulsos dos sensores:
PeriodAvg(PerAvg(1),4,mV250,5,50,1,1,400,1.0,0.0)
'Recebe os dados do GPS. (Porta, Dest ,

SyncChar,NBytes, EndWord , RecsBack)
SerialInRecord
(Com1,in_bytes_str(3),&h40,54,&h00,nmbr_bytes_rtrnd,01)

```

```

'Divide o texto de entrada do GPS em suas componentes.
(SplitResult,SearchString,FilterString,NumSplit,SplitOptions)
in_bytes_str(1) = in_bytes_str(3)
Ano = Left(in_bytes_str(1),2)
in_bytes_str(2)=Right(in_bytes_str(1),52)
Mes = Left(in_bytes_str(2),2)
in_bytes_str(1)=Right(in_bytes_str(2),50)
Dia = Left(in_bytes_str(1),2)
in_bytes_str(2)=Right(in_bytes_str(1),48)
Hora = Left(in_bytes_str(2),2)
in_bytes_str(1)=Right(in_bytes_str(2),46)
Minuto = Left(in_bytes_str(1),2)
in_bytes_str(2)=Right(in_bytes_str(1),44)
Segundo = Left(in_bytes_str(2),2)
in_bytes_str(1)=Right(in_bytes_str(2),42)
Latitude = Left(in_bytes_str(1),8)
in_bytes_str(2)=Right(in_bytes_str(1),34)
Longitude = Left(in_bytes_str(2),9)
in_bytes_str(1)=Right(in_bytes_str(2),25)
Erro = Left(in_bytes_str(1),4)
in_bytes_str(2)=Right(in_bytes_str(1),21)
Altitude = Left(in_bytes_str(2),6)
in_bytes_str(1)=Right(in_bytes_str(2),15)
VelXString = Left(in_bytes_str(1),5)
in_bytes_str(2)=Right(in_bytes_str(1),10)
VelYString = Left(in_bytes_str(2),5)
in_bytes_str(1)=Right(in_bytes_str(2),5)
VelZString = Left(in_bytes_str(1),5)

VelocidadeX = Right(VelXString,4)
VelocidadeY = Right(VelYString,4)
VelocidadeZ = Right(VelZString,4)

Consumo = Pulsos_Flux * 1.8

Velocidade = Sqr((VelocidadeX * VelocidadeX) +
(VelocidadeY * VelocidadeY))

'Chama a tabela para armazenamento de dados
CallTable(Table1)
NextScan
EndProg

```

8.2 Apêndice B – Planilha de dados no Microsoft Excel®.

Trator MF 290		Raio (m)	Perímetro(m)							
Dianteira		0,590	3,7052	14.9-24R1						
Traseira		0,78	4,8984	18.4-34R1						
Marcha 1° simples										
TOA5	CR1000	CR1000	6791	CR1000.Std.15	MedidaTracao.CR1	Table1				
TIMESTAMP	RECORD	Bateria	Cel.Carga	Pulsos	Roda1	Roda2	Roda3	Roda4	Vel R1 dd	Vel R2 de
TS	RN	Volts	mV	Counts	Hz	Hz	Hz	Hz	Km/h	Km/h
24/6/2008 16:38	10019	12.65	1.557	6	9,010	9,870	8,310	9,050	3,75568335	4,114161
24/6/2008 16:38	10020	12.65	1.31	8	22,560	22,530	17,240	16,590	9,4037976	9,391293
24/6/2008 16:38	10021	12.65	0.189	6	22,450	22,190	17,130	16,860	9,35794575	9,249569
24/6/2008 16:38	10022	12.65	3.478	8	20,950	21,310	15,990	15,975	8,73269325	8,882754
24/6/2008 16:38	10023	12.65	3.435	10	20,580	20,810	15,490	15,340	8,5784643	8,674336
24/6/2008 16:38	10024	12.64	3.301	9	20,670	20,550	15,910	15,530	8,61597945	8,565959
24/6/2008 16:38	10025	12.65	3.364	10	19,510	20,000	14,900	14,880	8,13245085	8,3367
24/6/2008 16:38	10026	12.65	3.315	10	20,680	20,880	16,090	15,730	8,6201478	8,703515
24/6/2008 16:38	10027	12.64	2.961	10	21,870	21,880	16,480	16,230	9,11618145	9,12035
24/6/2008 16:38	10028	12.64	3.135	10	21,540	22,500	16,260	16,360	8,9786259	9,378788
24/6/2008 16:38	10029	12.64	4.288	10	21,560	21,710	16,050	16,010	8,9869626	9,049488
24/6/2008 16:38	10030	12.64	3.47	9	21,720	21,430	16,630	16,140	9,0536562	8,932774
24/6/2008 16:38	10031	12.64	4.295	10	20,080	20,010	15,190	15,420	8,3700468	8,340868
24/6/2008 16:38	10032	12.64	3.958	10	20,220	19,700	14,750	15,030	8,4284037	8,21165
24/6/2008 16:38	10033	12.64	4.053	9	17,450	17,330	13,000	12,790	7,27377075	7,223751
24/6/2008 16:38	10034	12.64	3.833	8	15,280	15,400	11,310	11,170	6,3692388	6,419259
24/6/2008 16:38	10035	12.64	4.047	8	12,840	12,920	10,600	10,250	5,3521614	5,385508
24/6/2008 16:38	10036	12.64	4.12	6	11,040	10,790	8,921	8,610	4,6018584	4,49765
									7,873781575	7,915465

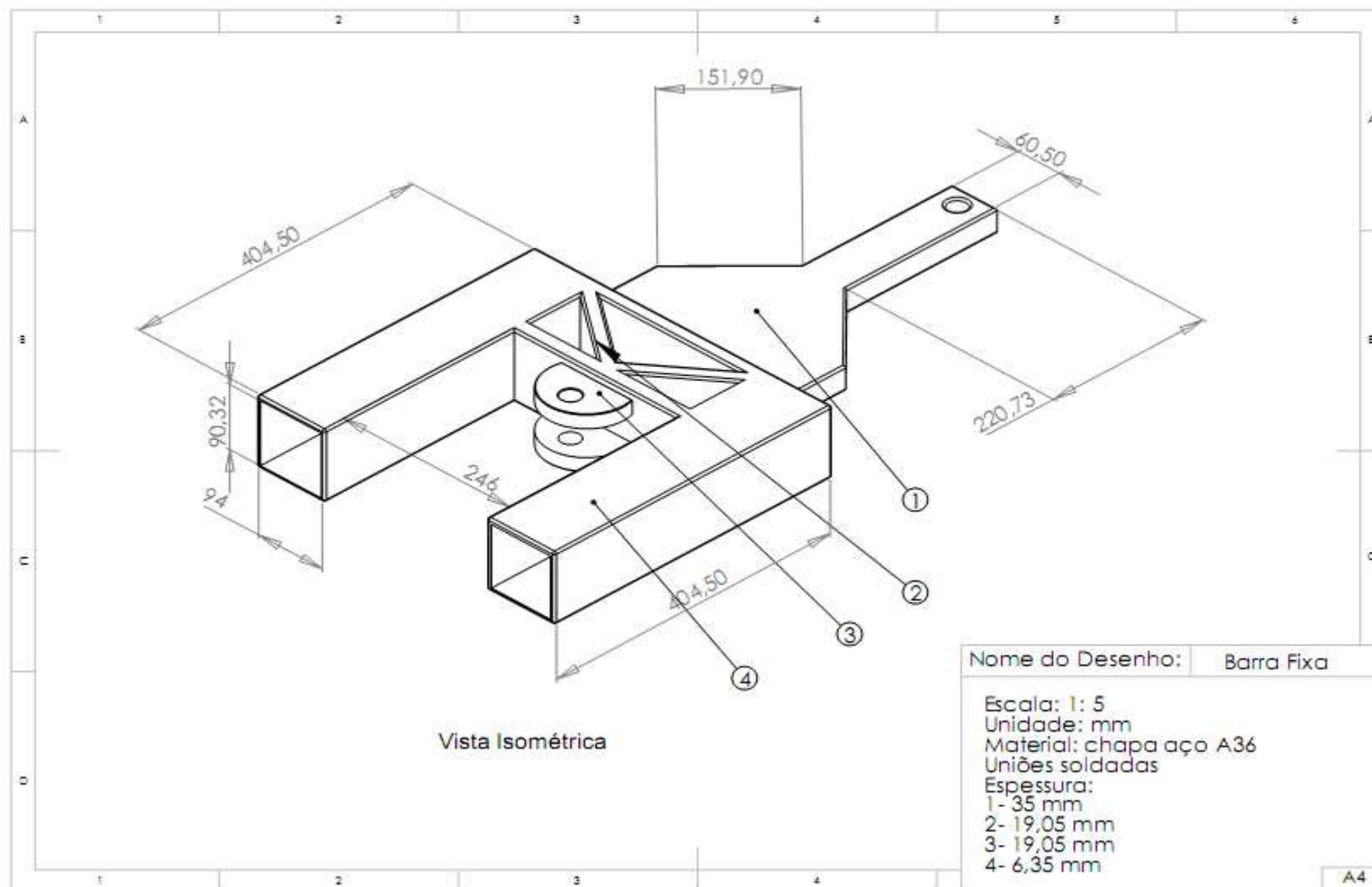
...Continuação

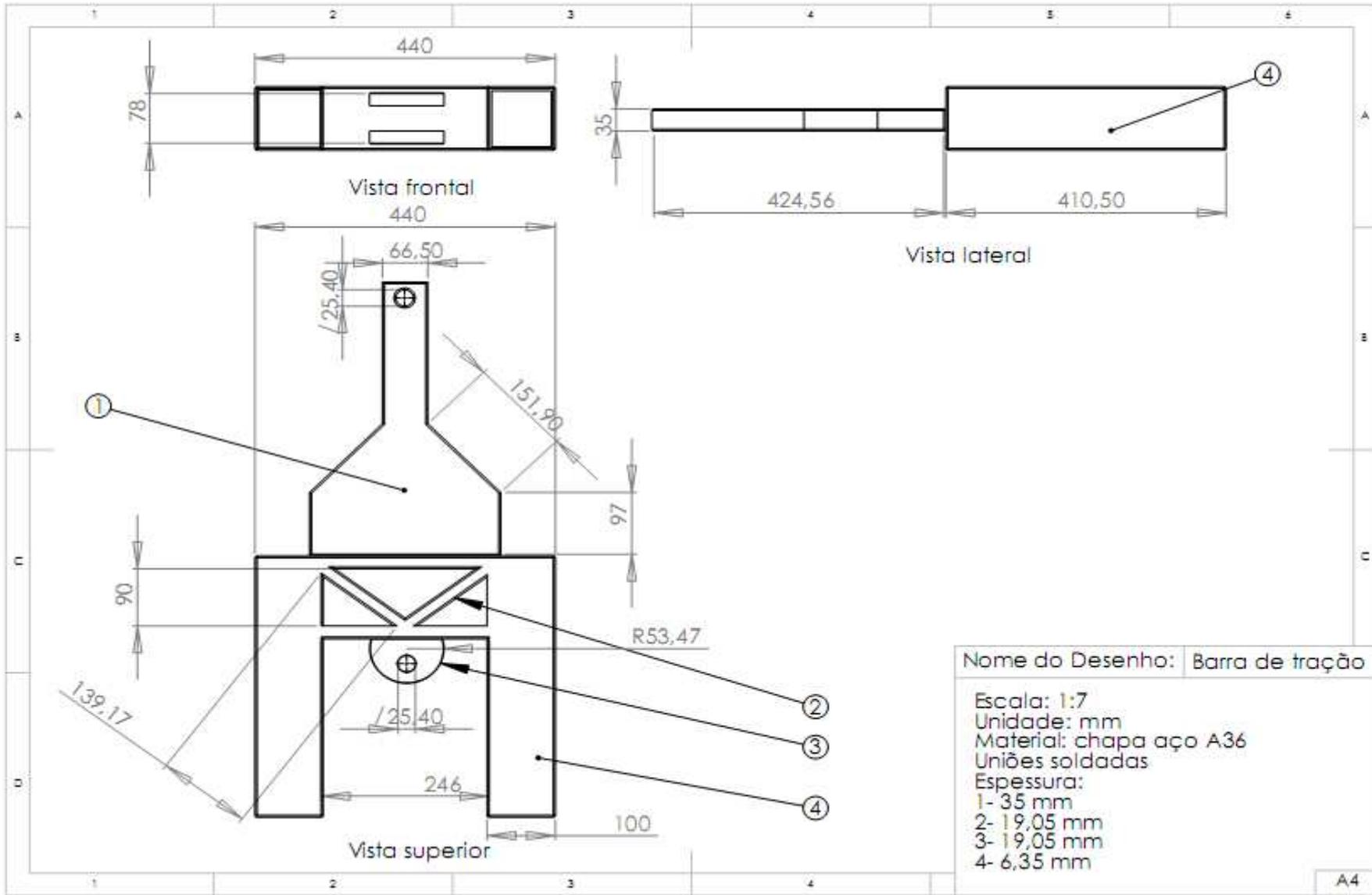
Vel R3 Td	Vel R4 Te	PatR1dd	PatR2de	PatR3Td	PatR4Te	Latitude	Longitude	Erro	Altitude	Ano	Mês	Dia
Km/h	Km/h	%	%	%	%							
4,579392	4,987184	100	100	100	100	S2943900	W05344333	G004	114	8	6	24
9,500447	9,142251	55,36271	55,30328	55,81681	54,08571	S2943900	W05344333	G004	115	8	6	24
9,439829	9,29104	1,709197	0,557525	2,561795	1,001397	S2943902	W05344334	G004	115	8	6	24
8,811609	8,803343	0,278187	1,962836	1,171288	1,078491	S2943904	W05344336	G004	115	8	6	24
8,536074	8,453414	11,45268	12,43134	11,01296	10,14281	S2943907	W05344337	G004	115	8	6	24
8,767524	8,558117	8,286689	7,751137	9,871929	7,666606	S2943909	W05344339	G004	115	8	6	24
8,210943	8,199922	4,250267	6,596135	5,165582	5,038116	S2943911	W05344340	G004	115	8	6	24
8,866716	8,668331	11,88086	12,72491	14,33131	12,37068	S2943913	W05344341	G004	115	8	6	24
9,081634	8,943866	11,69987	11,74023	11,36396	9,998653	S2943915	W05344343	G004	115	8	6	24
8,960398	9,015505	8,462608	12,3682	8,276398	8,837056	S2943917	W05344344	G004	115	8	6	24
8,844674	8,822631	8,547522	9,179391	7,076276	6,844112	S2943919	W05344345	G004	115	8	6	24
9,164294	8,89427	12,72034	11,53924	13,77405	11,15628	S2943921	W05344347	G004	115	8	6	24
8,370753	8,497499	7,65643	7,333389	7,664224	9,041476	S2943923	W05344348	G004	115	8	6	24
8,128283	8,282582	9,876173	7,49727	6,548524	8,289469	S2943925	W05344349	G004	115	8	6	24
7,16391	7,048185	4,775663	4,11629	3,315368	1,727896	S2943927	W05344351	G004	115	8	6	24
6,232602	6,155452	3,913165	4,661893	1,806656	0,575943	S2943929	W05344352	G004	115	8	6	24
5,841342	5,648468	0,720483	1,335217	9,034602	5,928466	S2943931	W05344353	G004	115	8	6	24
4,916095	4,744713	5,499048	3,309499	11,53955	8,344292	S2943932	W05344353	G004	115	8	6	24
7,967584	7,897598	14,83844	15,02265	15,57396	14,56264							

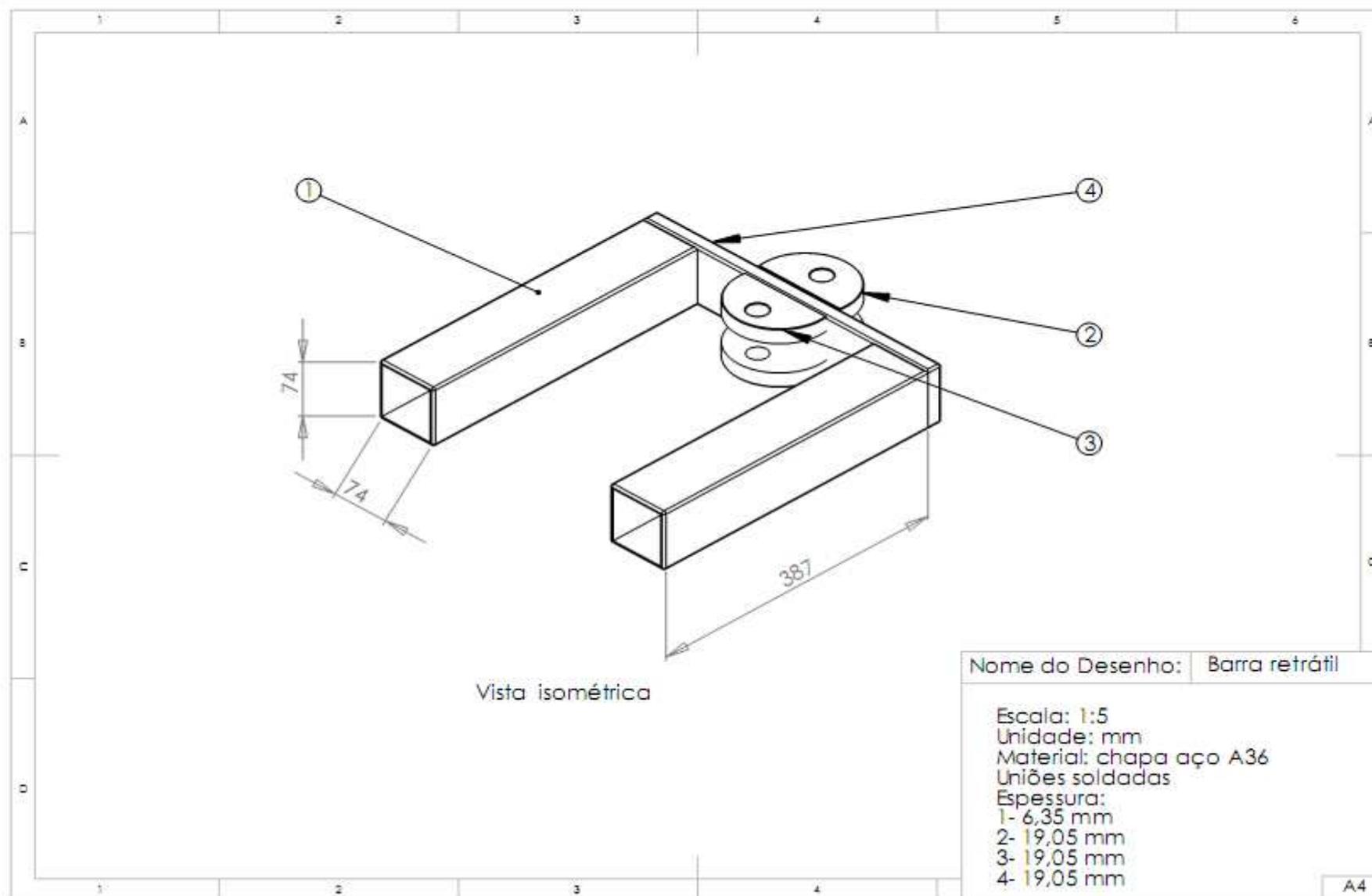
...Continuação

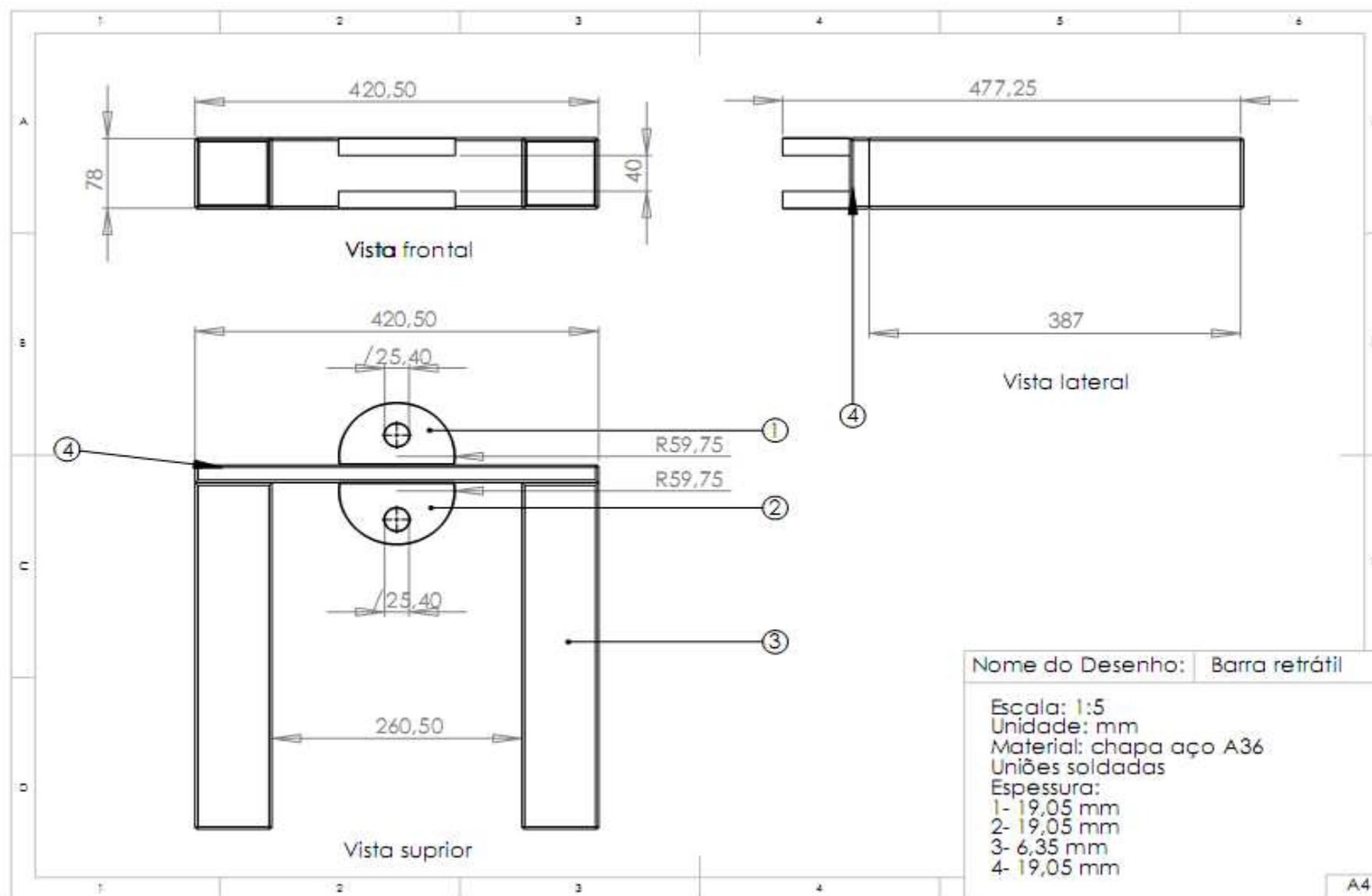
Hora	Minuto	segundo	Força	Consumo	Velocidade	Velocidade
			Kgf	L/h	dm/h	Km/h
16	38	2	740,5	10,8	0,000	0,00
16	38	4	622,9	14,4	11,660	4,20
16	38	6	89,8	10,8	25,550	9,20
16	38	8	1654	14,4	24,190	8,71
16	38	10	1634	18	21,100	7,60
16	38	12	1570	16,2	21,950	7,90
16	38	14	1600	18	21,630	7,79
16	38	16	1576	18	21,100	7,60
16	38	18	1408	18	22,360	8,05
16	38	20	1491	18	22,830	8,22
16	38	22	2039	18	22,830	8,22
16	38	24	1650	16,2	21,950	7,90
16	38	26	2042	18	21,470	7,73
16	38	28	1882	18	21,100	7,60
16	38	30	1927	16,2	19,240	6,93
16	38	32	1823	14,4	17,000	6,12
16	38	34	1925	14,4	14,760	5,31
16	38	36	1959	10,8	12,080	4,35
			1535,178	15,7	19,044	6,86

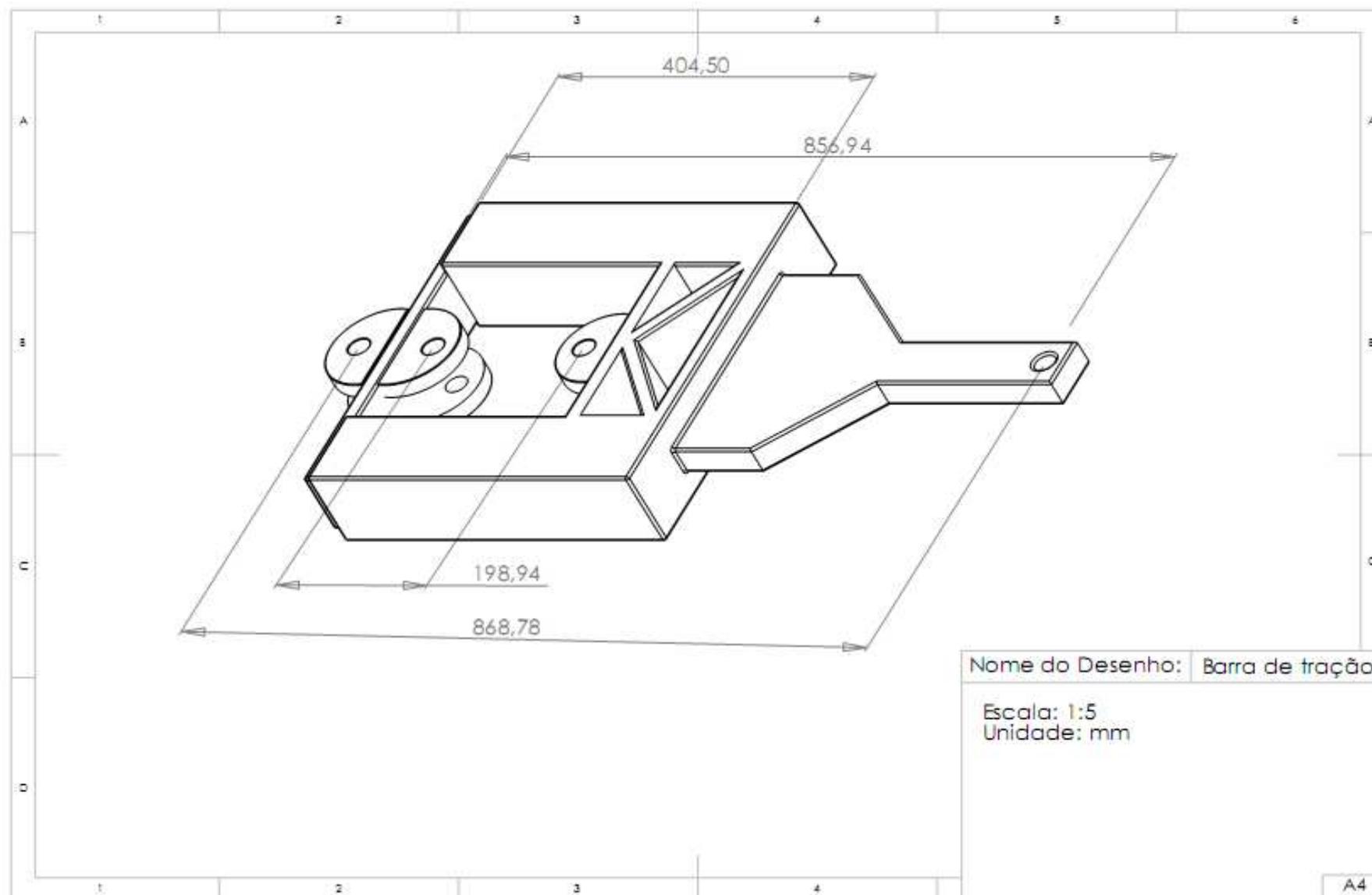
8.3 Apêndice C – Desenhos do sistema mecânico.

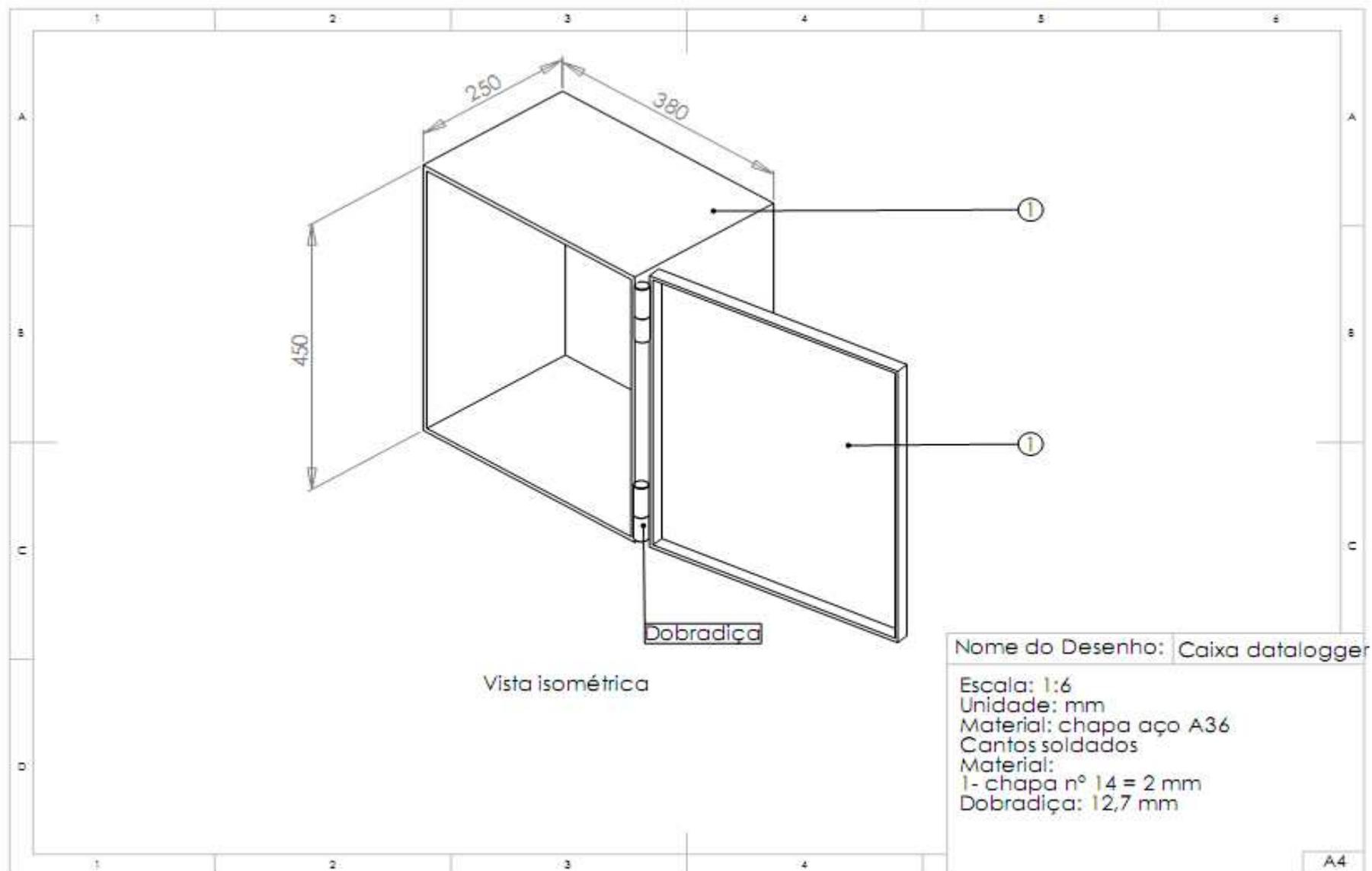


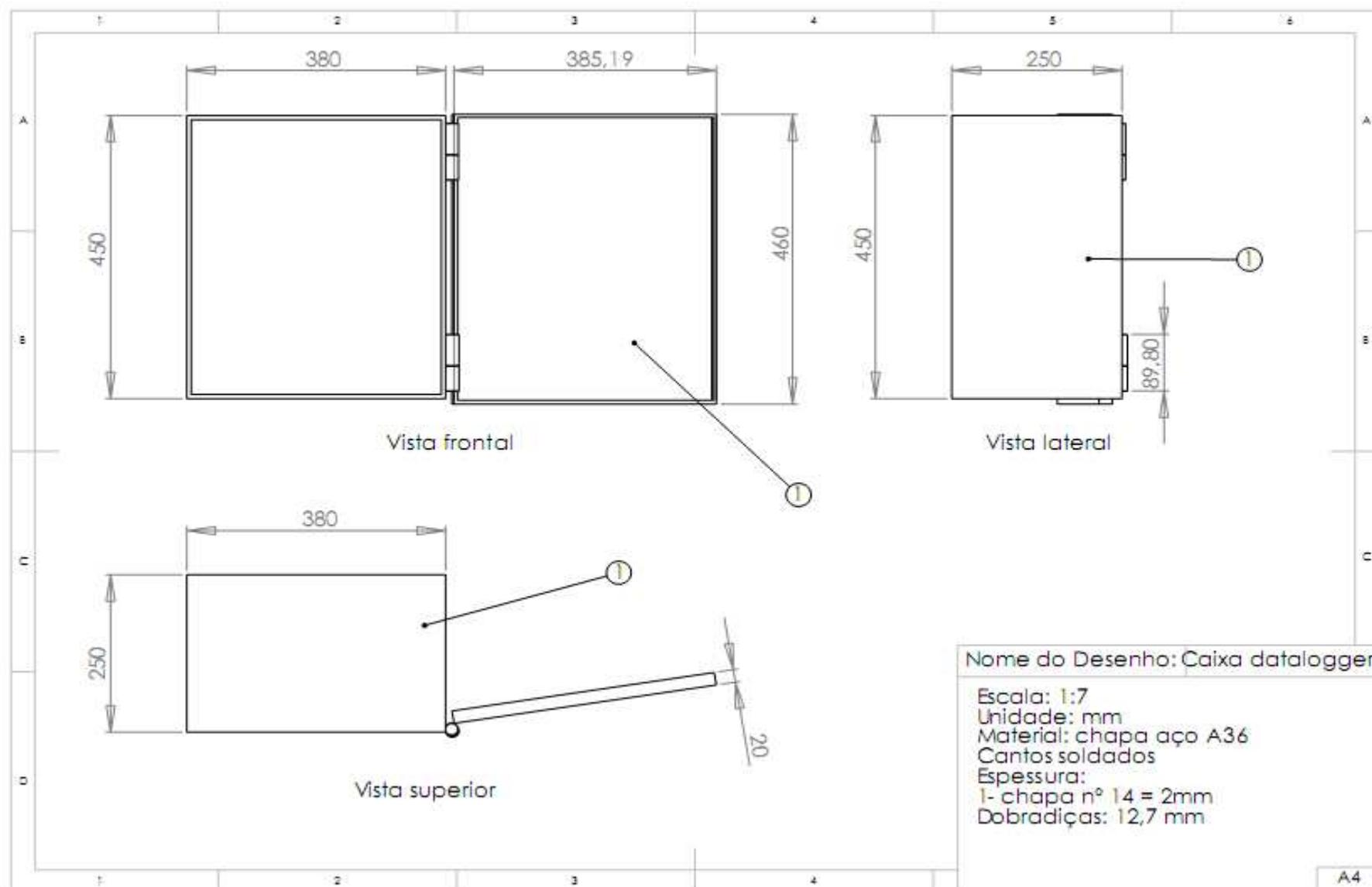


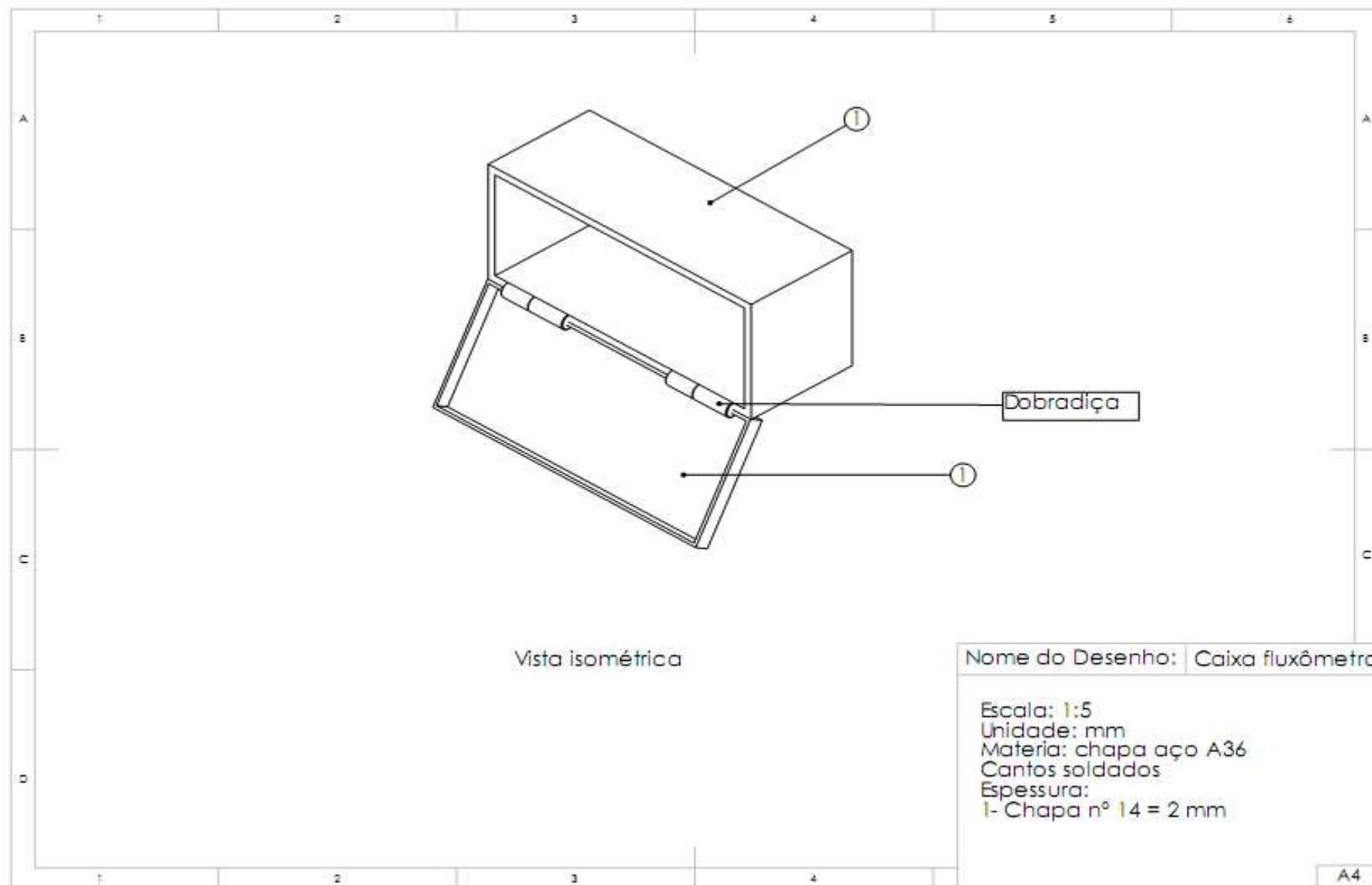


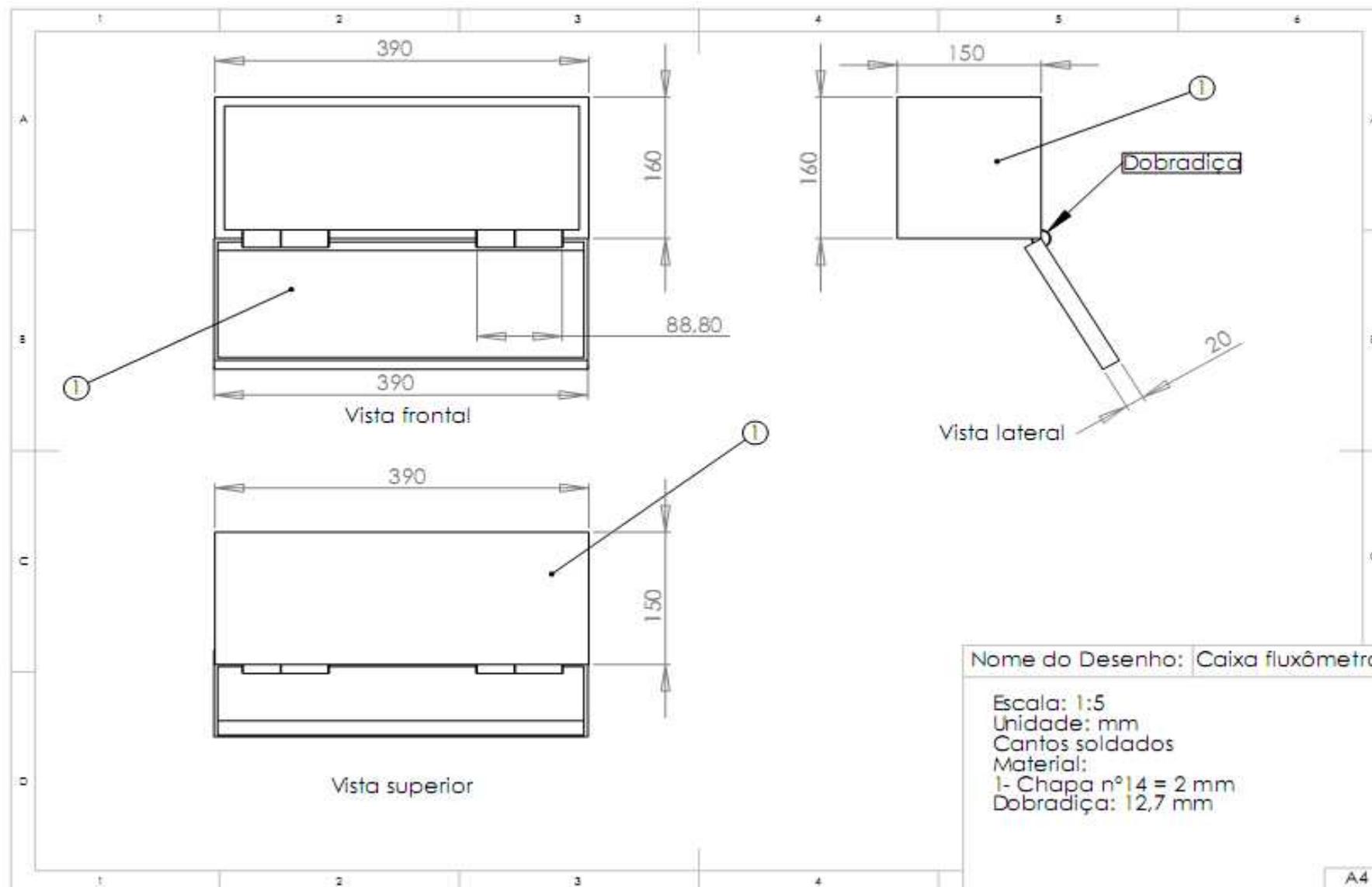


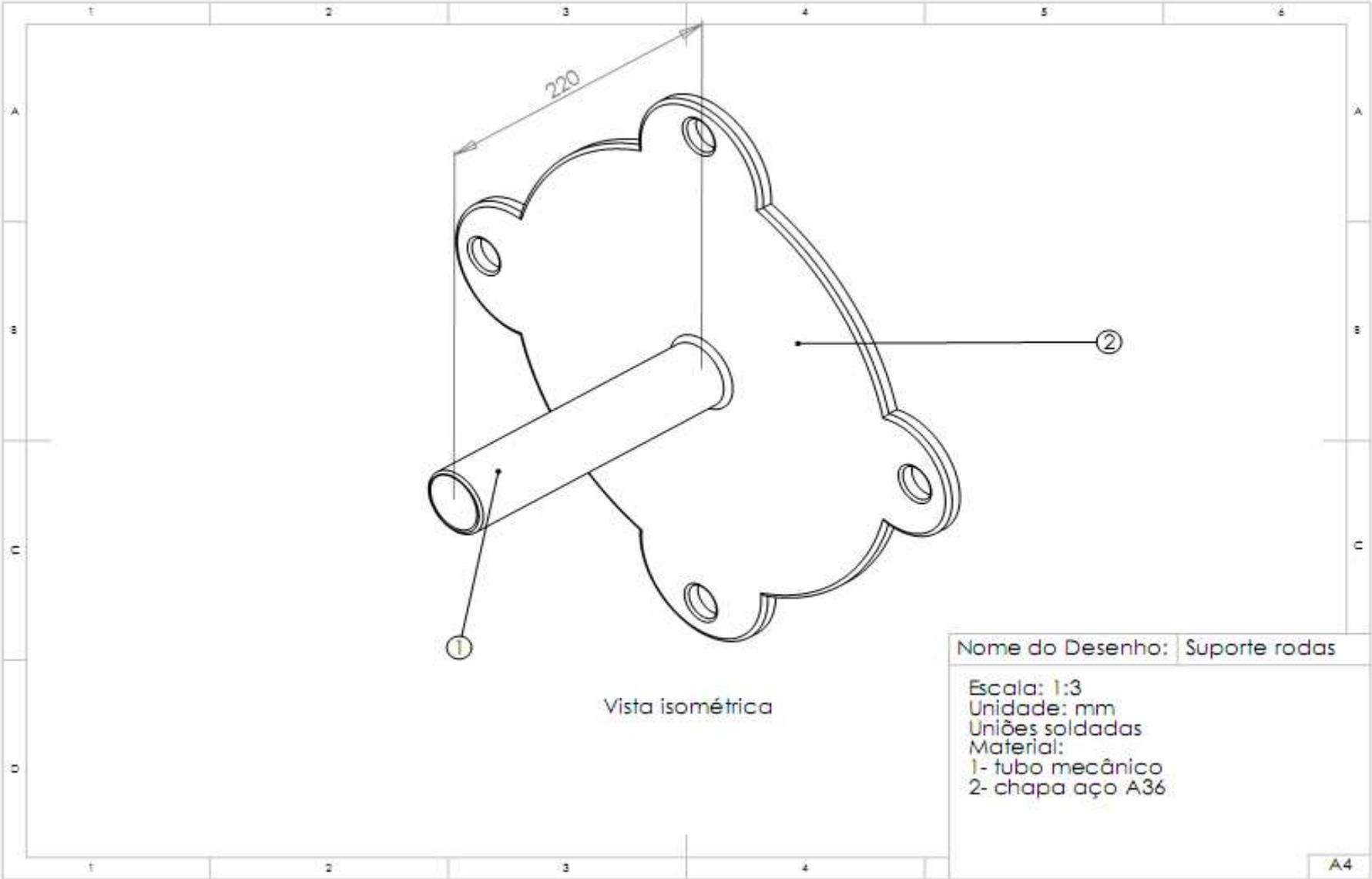


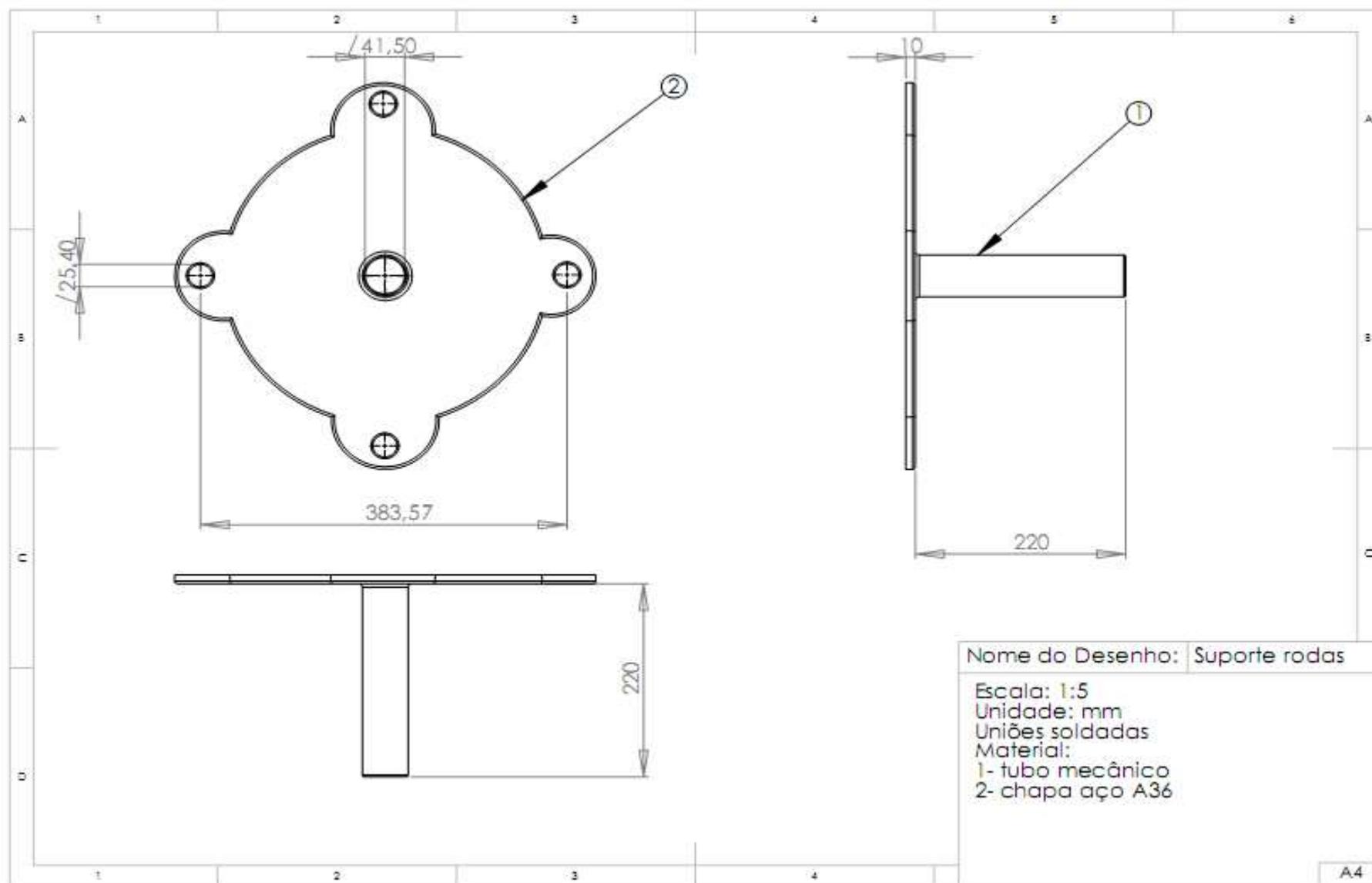


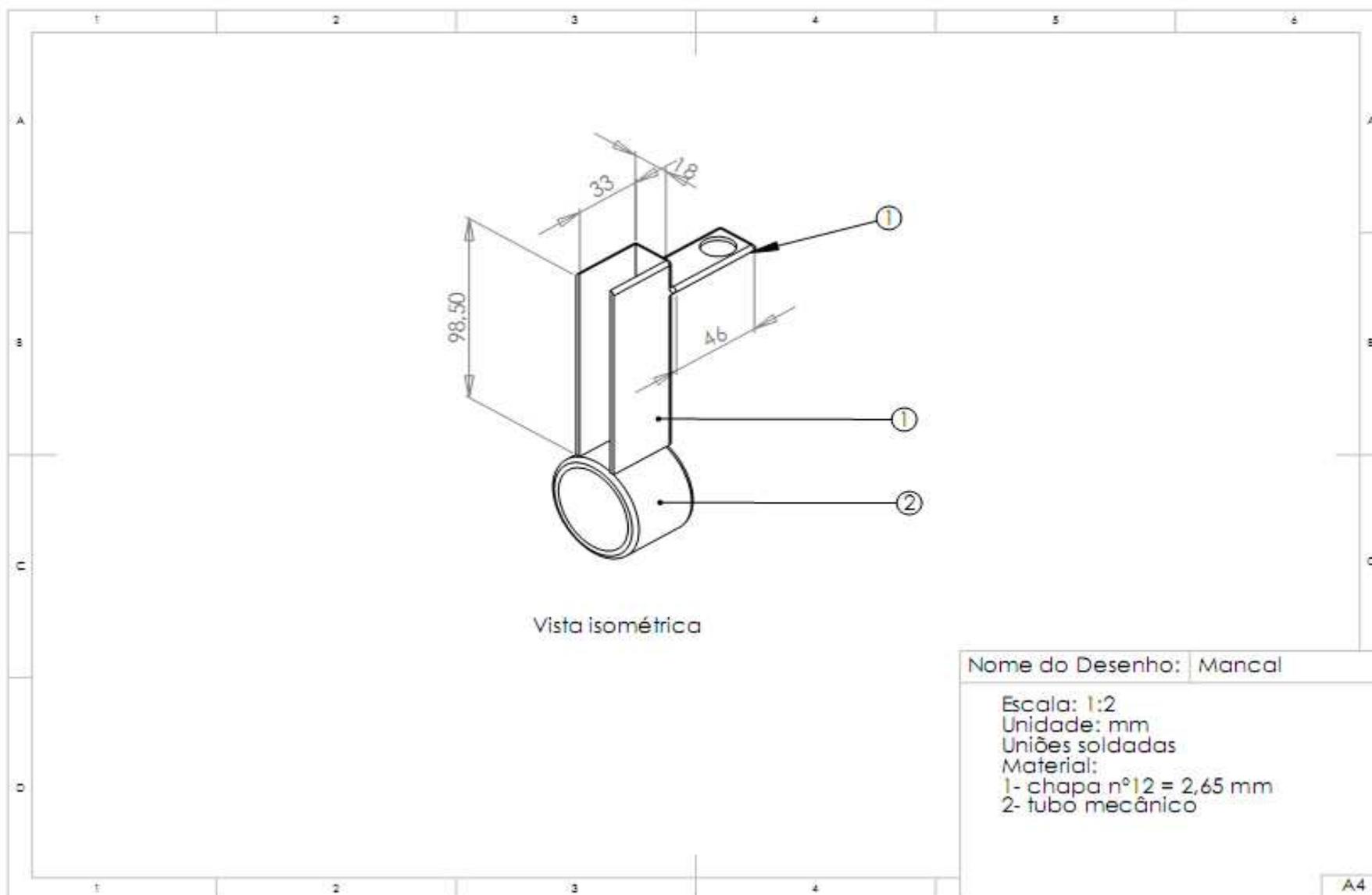


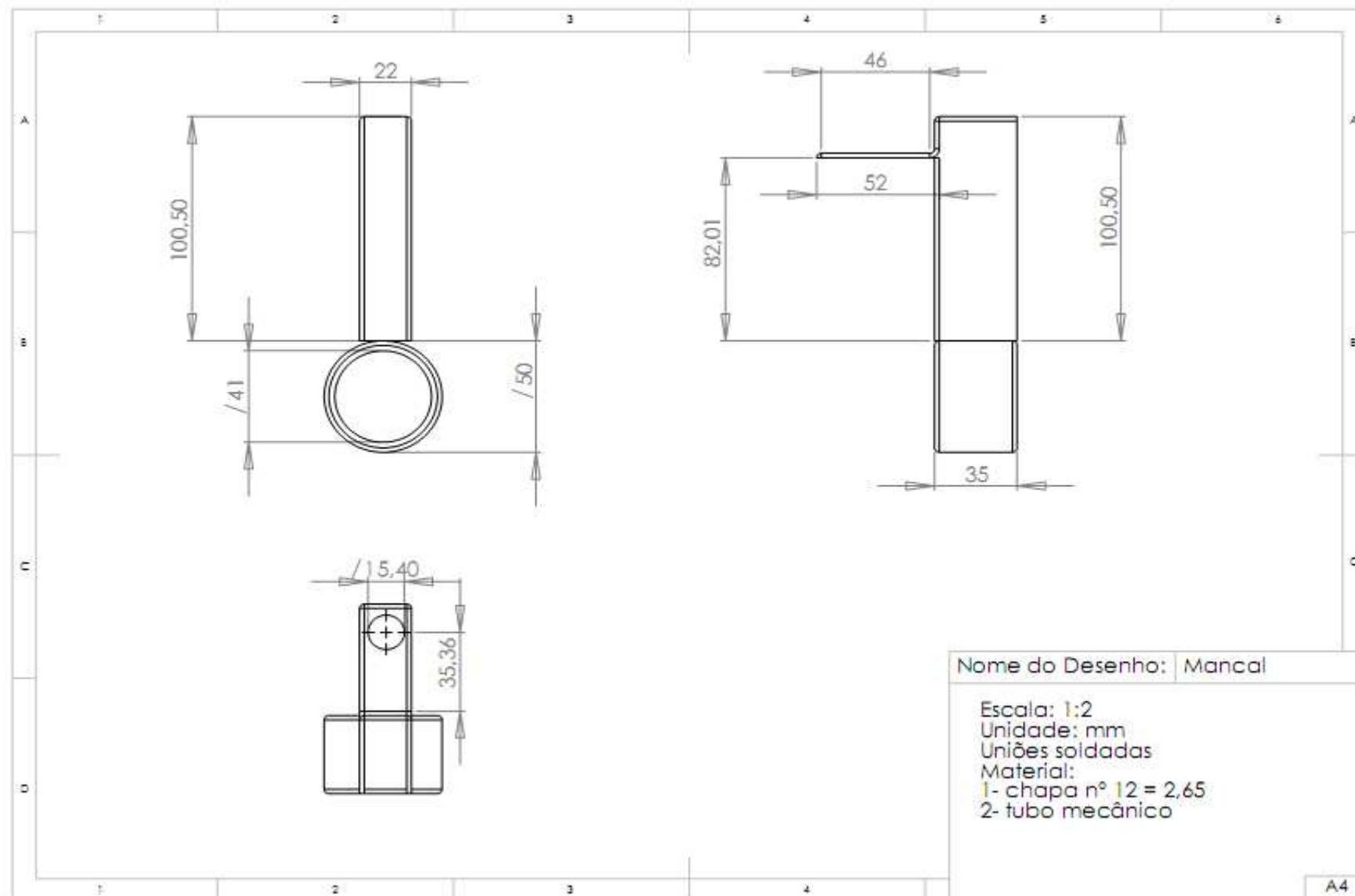


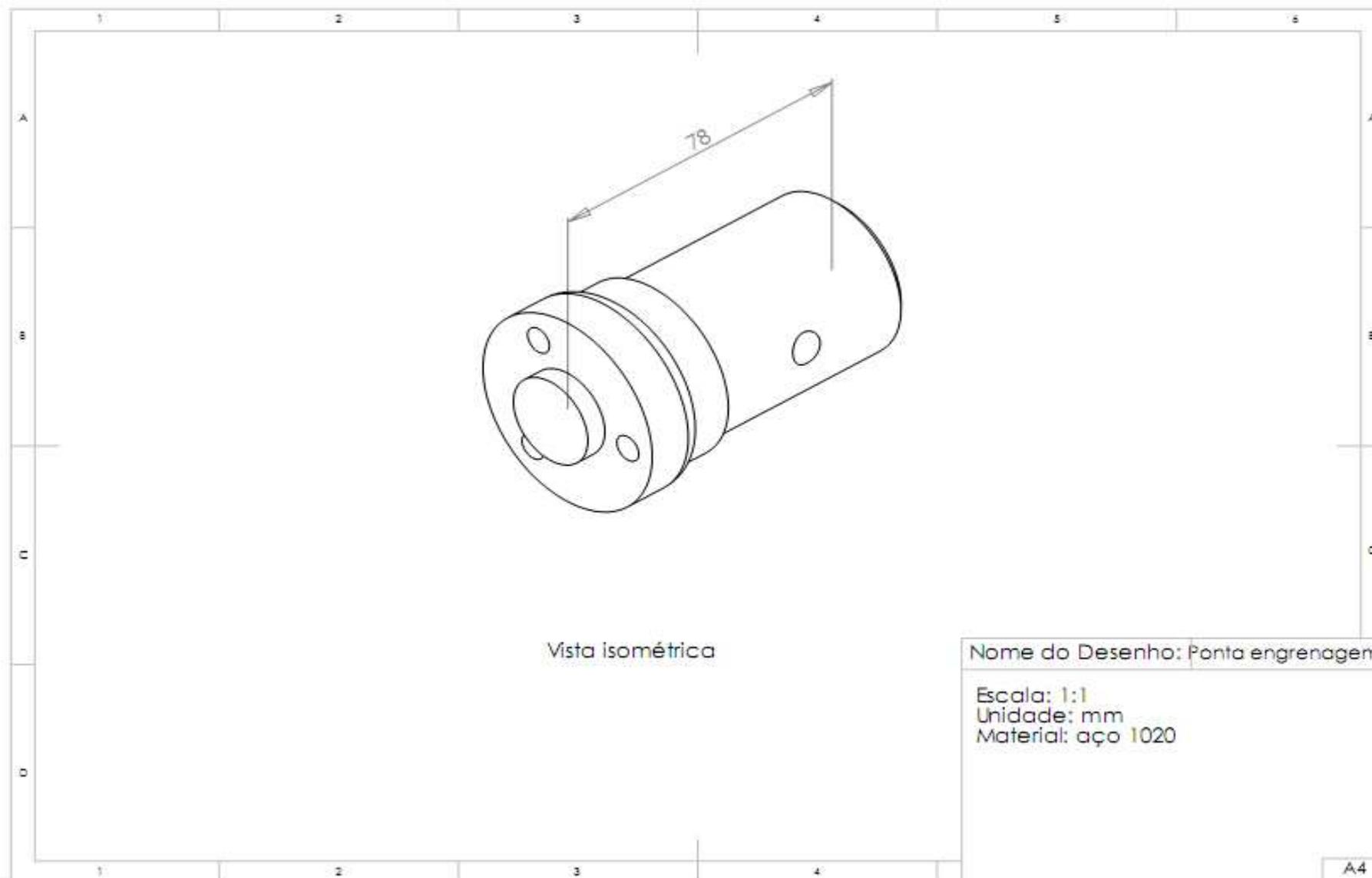


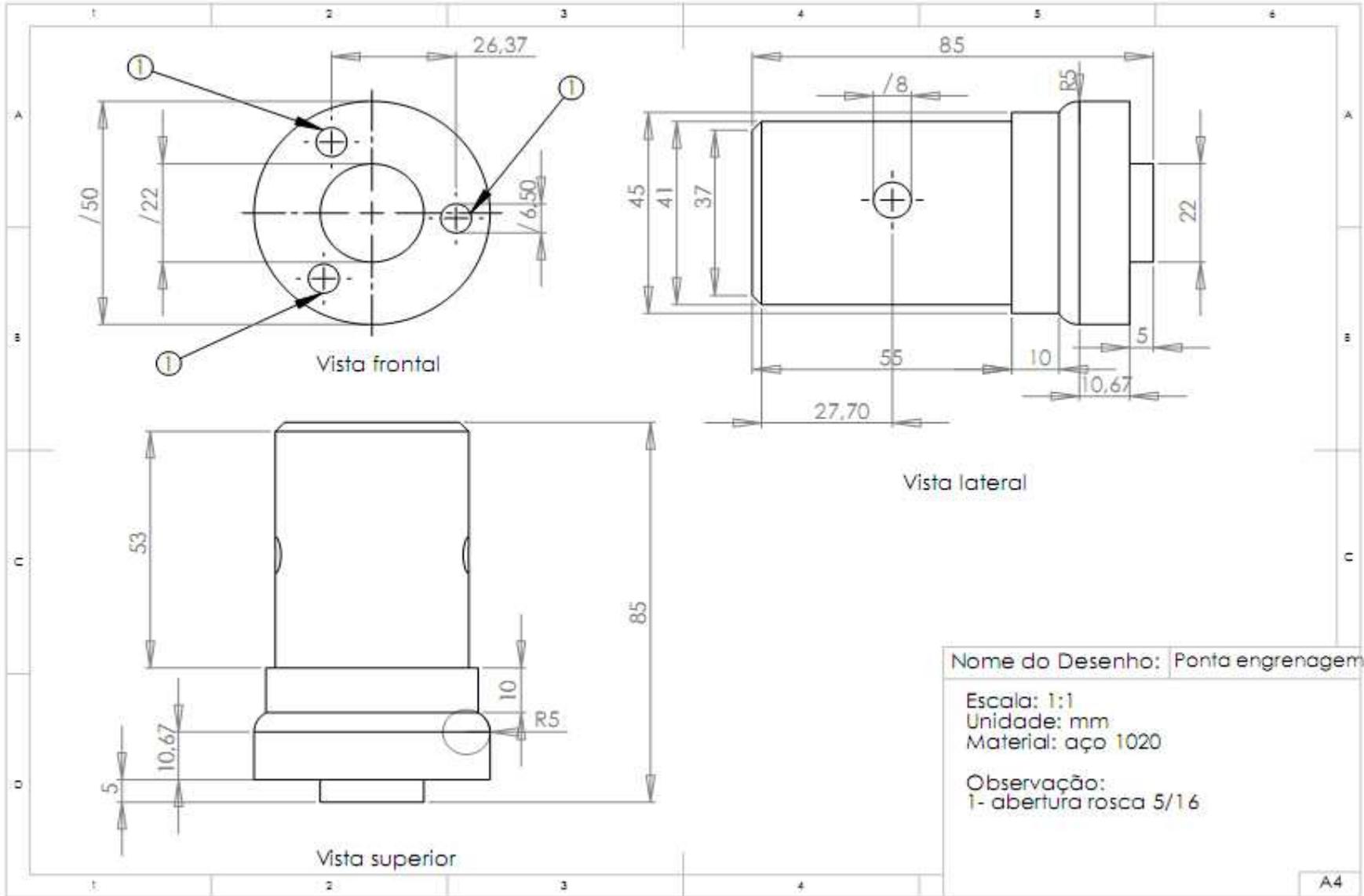


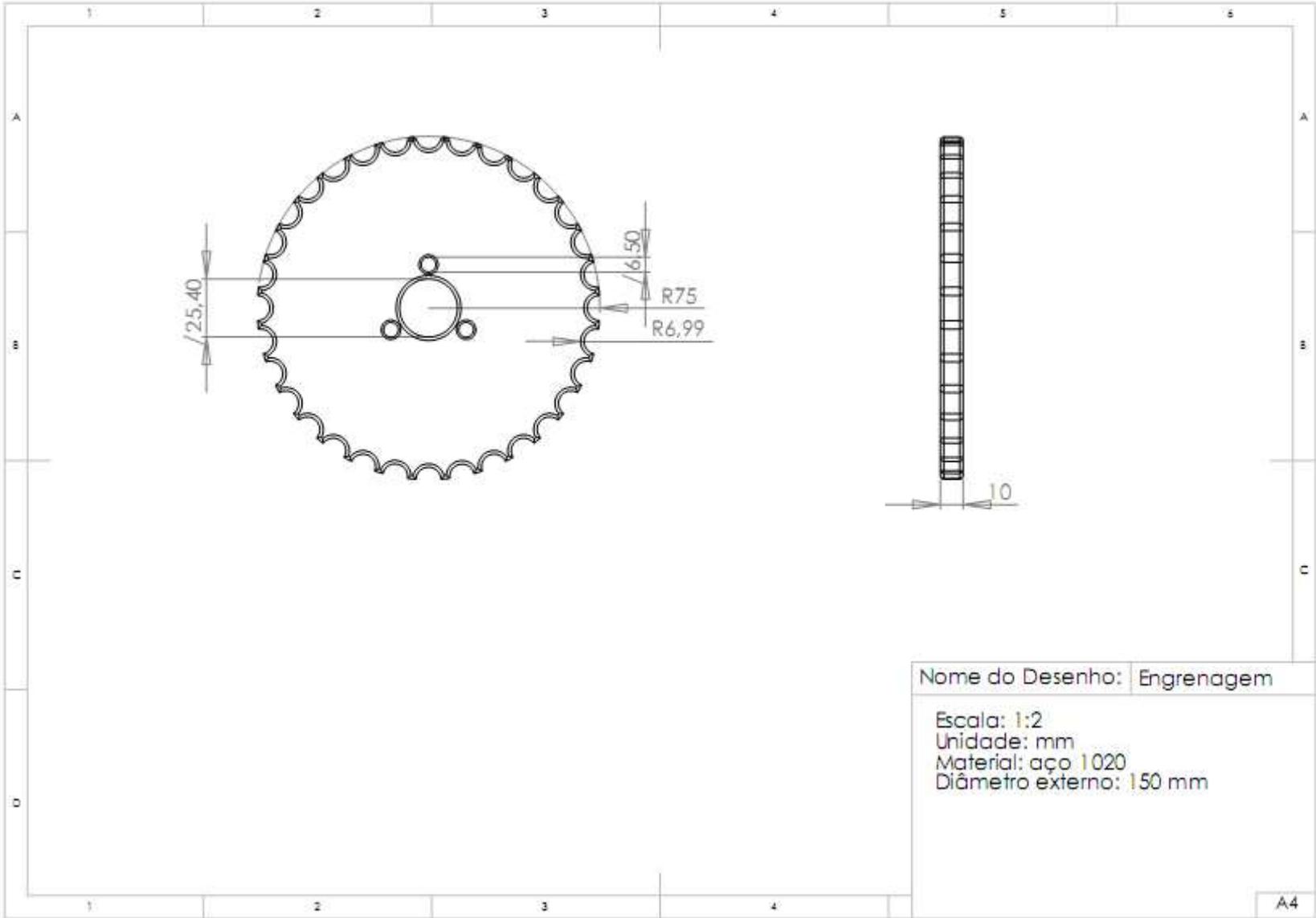


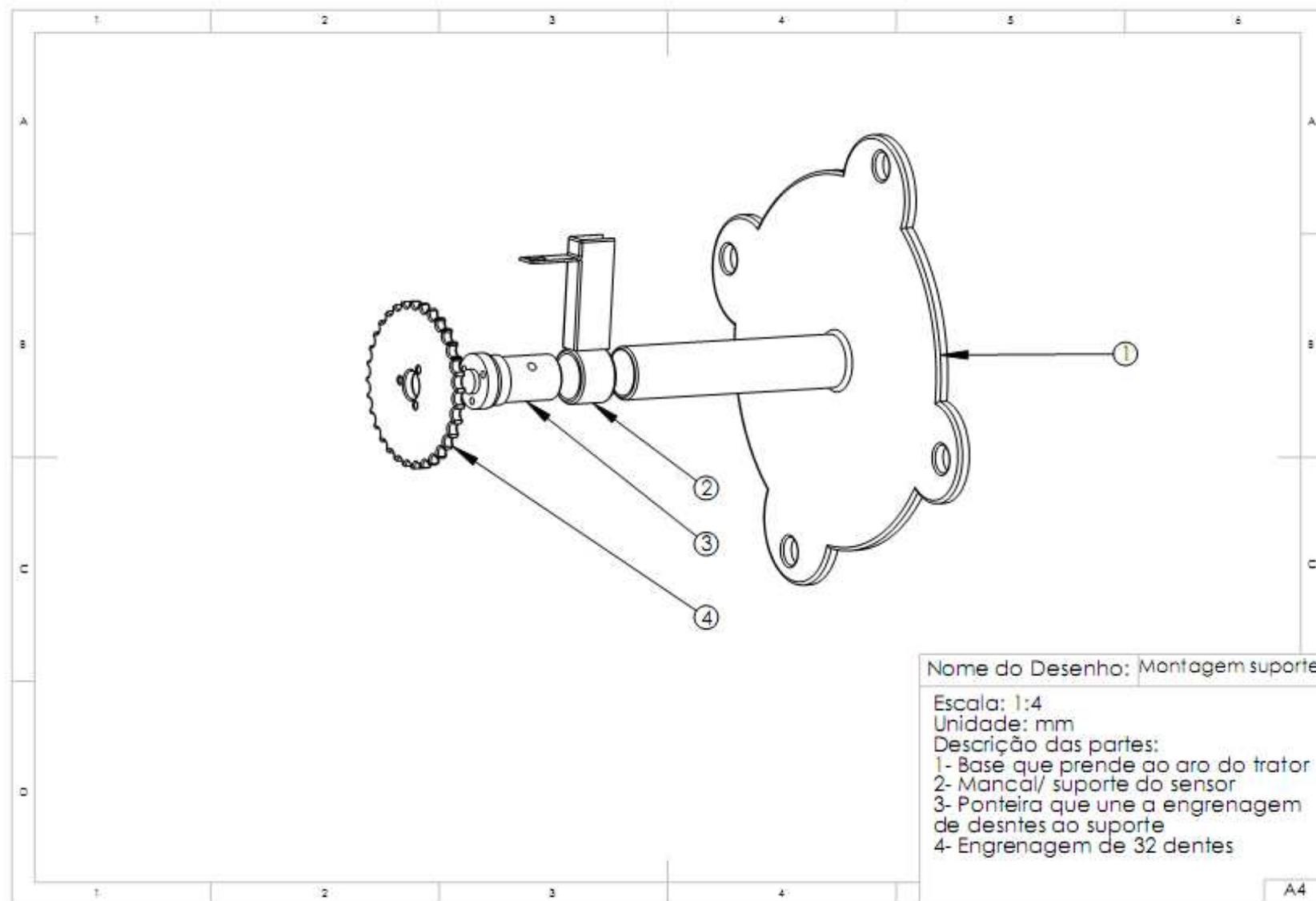












Nome do arquivo: Dissertação final 5 correção 1
Diretório: C:\Documents and Settings\Alexandre Russini\Meus documentos
Modelo: C:\Documents and Settings\Alexandre Russini\Dados de aplicativos\Microsoft\Modelos\Normal.dotm
Título:
Assunto:
Autor: Alexandre
Palavras-chave:
Comentários:
Data de criação: 4/2/2009 10:35:00
Número de alterações: 4
Última gravação: 15/2/2009 21:45:00
Salvo por: System
Tempo total de edição: 14 Minutos
Última impressão: 16/2/2009 19:13:00
Como a última impressão
Número de páginas: 141
Número de palavras: 25.118 (aprox.)
Número de caracteres: 135.643 (aprox.)