

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

**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA PROCESSAMENTO DE
DADOS E CRIAÇÃO DE UM SIMULADOR COMPUTACIONAL DE UMA
TRANSMISSÃO PARA VEÍCULOS**

FERNANDO HENRIQUE CAMPOS

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

BOTUCATU-SP
Junho – 2013

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

**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA PROCESSAMENTO DE
DADOS E CRIAÇÃO DE UM SIMULADOR COMPUTACIONAL DE UMA
TRANSMISSÃO PARA VEÍCULOS**

FERNANDO HENRIQUE CAMPOS

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

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

BOTUCATU-SP
Junho - 2013

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA PROCESSAMENTO
DE DADOS E CRIAÇÃO DE UM SIMULADOR COMPUTACIONAL DE
UMA TRANSMISSÃO PARA VEÍCULOS"

ALUNO: FERNANDO HENRIQUE CAMPOS

ORIENTADOR: PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS



PROF. DR. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA



PROF. DR. LEONARDO DE ALMEIDA MONTEIRO



PROF. DR. CARLOS ROBERTO PEREIRA PADOVANI



PROF. DR. JOAO EDUARDO GUARNETTI DOS SANTOS

Data da Realização: 07 de junho de 2013.

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

Campos, Fernando Henrique, 1985-
C198d Desenvolvimento de um aplicativo para processamento de dados e criação de um simulador computacional de uma transmissão para veículos / Fernando Henrique Campos. - Botucatu : [s.n.], 2013
 xii, 140 f. : ils. color., tabs., fots. color.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013
 Orientador: Kleber Pereira Lanças
 Coorientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra
 Inclui bibliografia

 1. Tratores - Dispositivos de transmissão. 2. Energia - Transmissão. 3. Software - Desenvolvimento. 4. Java (linguagem de programação de computador). I. Lanças, Kleber Pereira. II. Guerra, Saulo Philipe Sebastião. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

“O certo e o errado não existem, são apenas opiniões que refletem um determinado ponto de vista.”

(Fernando Henrique Campos)

DEDICO

Aos meus pais, Jaime e Aparecida

OFEREÇO

Aos meus avôs maternos, João e Maria (*in memoriam*)

Aos meus avôs Paternos, João e Lourdes (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Doutores Kléber Pereira Lanças, Saulo Philipe Sebastião Guerra, Pilar Linares pela orientação precisa, amizade, dedicação, compreensão e paciência em todas as fases do curso de doutorado.

Aos Professores Doutores Paulo Roberto Arbex, Carlos Roberto Pereira Padovani, Leonardo de Almeida Monteiro e Joao Eduardo Guarnetti dos Santos por aceitarem fazer parte da banca de doutorado.

A minha namorada Débora e aos amigos: Antonio Gabriel Filho, Paulo Roberto Arbex, Ricardo Carvalho Tosin, Leonardo de Almeida Monteiro, Fabrício Leite, Juan José Bonnin Acosta, Cristiano Alberto de Paula, Indiamara Marasca, Fabrício Campos Masiero, Éder Garcia, Gustavo Kimura Montanha, Guilherme Oguri, Emanuel Spadim Rangel, e Maria Cláudia Trabulsi.

Aos técnicos e funcionários do Departamento de Engenharia Rural e Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial da UNESP, Botucatu que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Agronomia da UNESP, Botucatu, pela paciência, consideração e apoio recebidos.

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

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

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES, pela bolsa cedida durante o curso de doutorado.

SUMARIO

	Página
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 RESUMEN	5
4 INTRODUÇÃO	7
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
5.1 Sistemas de transmissão	9
5.1.1 Transmissão Mecânica.....	9
5.1.2 Transmissão CVT (Continuous Variable Transmission).....	10
5.1.3 Tipos de transmissão CVT	13
5.1.3.1 Transmissão CVT Hidrodinâmica	15
5.1.3.2 Transmissão CVT de fricção (mecânica)	15
5.1.3.3 Transmissão CVT Hidrostática	17
5.1.3.4 Transmissão CVT Elétrica	19
5.2 Divisão de potência	21
5.2.1 Princípio da divisão de potência: regular.....	21
5.2.2 Princípio da divisão de potência: inversa	22
5.2.3 Transmissão de Variação Contínua com Divisão de Potência (<i>Continuous Variable Power-Split Transmission - CVPST</i>).....	25
5.2.4 Recirculação de potência na divisão de potência modo regular	27
5.3 Sistemas Planetários	28
5.3.1 Engrenagens Planetárias	29
5.3.2 Sistema Planetário Somador	30
5.3.2.1 Fluxo de potência.....	31
5.3.3 Sistema Planetário Divisor.....	33
5.3.3.1 Fluxo de potência.....	35
5.4 Linguagem de programação Java.....	37
5.5 Banco de dados MySQL.....	42
6 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
6.1 Local do experimento	45
6.2 Microcomputador	46
6.3 Linguagem de programação.....	46
6.4 Banco de dados	47

6.5 Maquete Docente de Transmissão Contínua (<i>Maqueta Docente de Transmisión Continua</i> – MDTC).....	48
6.5.1 Disposição dos componentes na MDTC.....	50
6.5.2 Motor	51
6.5.3 Freio	51
6.5.4 Mensuração de torque e rotação.....	52
6.5.5 Visores eletrônicos	52
6.5.6 Sistema planetário	53
6.5.7 Inversor	55
6.5.8 Variador	56
6.5.9 Alteração entre planetário somador e divisor.....	57
6.5.10 Funcionamento da MDTC	60
6.6 Equações utilizadas para os cálculos realizados pelo aplicativo.....	60
6.6.1 Cálculos e definições referentes ao sistema planetário e rotações	60
6.6.1.1 Relação de transmissão fixa entre o torque do eixo mecânico e a entrada ou saída mecânica (k_m)	60
6.6.1.2 Relação de transmissão fixa entre o torque do eixo variável e a entrada ou saída mecânica (k_f)	61
6.6.1.3 Relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio (R_{tb})	61
6.6.1.4 Rotação do porta-satélites (n_{ps}).....	62
6.6.1.5 Rotação das engrenagens planeta e coroa (n_p, n_c)	62
6.6.1.6 Rotação do eixo de entrada mecânico (n_{em})	63
6.6.1.7 Rotação do eixo de flutuante (n_f).....	63
6.6.1.8 Rotação do eixo de saída mecânica (n_{om}).....	64
6.6.1.9 Rotação do eixo de saída da unidade CVT (n_o).....	64
6.6.1.10 Rotação do eixo de saída para o freio (n_o').....	65
6.6.2 Cálculos referentes ao desempenho da maquete	65
6.6.2.1 Torque de saída no freio (M_o').....	65
6.6.2.2 Potência de saída no freio (N_o').....	66
6.6.2.3 Potência de saída da unidade CVT (N_o).....	66
6.6.2.4 Rendimento (η)	66
6.6.2.5 Relação de transmissão do eixo flutuante (R_f).....	67
6.6.2.6 Relação de transmissão do Variador (R_v).....	67
6.6.2.7 Relação de transmissão da unidade CVT (R_t)	68
6.6.3 Cálculos teóricos: Potências.....	68
6.6.3.1 Distribuição teórica de potencia mecânica (X_{mt})	68
6.6.3.2 Distribuição teórica de potencia variável (X_{vt})	69

6.6.3.3 Potência teórica do eixo flutuante (N_{ft})	70
6.6.3.4 Potência teórica do eixo de entrada mecânico (N_{emt})	70
6.6.3.5 Potência teórica do eixo de saída mecânico (N_{omt})	71
6.6.4 Cálculos teóricos: Torques	72
6.6.4.1 Torque teórico do eixo flutuante (M_{ft})	72
6.6.4.2 Torque teórico do eixo de entrada mecânico (M_{emt})	72
6.6.4.3 Torque teórico do eixo de saída mecânico (M_{omt})	73
6.6.5 Cálculos reais de desempenho realizados a partir de dados obtidos através de ensaios com a MDTC	73
6.6.5.1 Torque do eixo flutuante (M_f)	73
6.6.5.2 Torque do eixo de entrada mecânica (M_{em})	74
6.6.5.3 Torque do eixo de saída mecânica (M_{om})	74
6.6.5.4 Potência do eixo flutuante (N_f)	75
6.6.5.5 Potência do eixo de entrada mecânica (N_{em})	75
6.6.5.6 Potência do eixo de saída mecânica (N_{om})	76
6.6.5.7 Distribuição de potência mecânica (X_m)	77
6.6.5.8 Distribuição de potência variável (X_v)	77
6.6.5.9 Rotação e torque de entrada na unidade CVT ($n_{(1)}$, $M_{(1)}$)	78
6.6.5.10 Rotação e torque de saída da unidade CVT ($n_{o(1)}$, $M_{o(1)}$)	78
6.6.5.11 Potência de entrada na unidade CVT (N_e)	79
6.6.5.12 Potência de saída da unidade CVT ($N_{o(1)}$)	79
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
7.1 Considerações sobre o aplicativo	82
7.2 Formulário de apresentação	84
7.3 Formulário principal “MDTC - Folha de Cálculos”	84
7.4 Processamento e armazenamento dos dados obtidos através do ensaio com a MDTC	84
7.4.1 Formulário “MDTC - Folha de Cálculos”	85
7.4.2 Formulário “Dados do ensaio”	85
7.4.3 Formulário “Disposição do planetário”	87
7.4.4 Formulário “Dados da transmissão”	89
7.4.5 Formulário “Inserção de dados”	90
7.4.6 Formulário “Visualização”	91
7.4.7 Formulário “Abrir ensaios”	97
7.5 Ensaio através do simulador virtual da MDTC	98
7.5.1 Formulário “Simulador” aba “Simulador”	98
7.5.2 Iniciando o ensaio no simulador	101

7.5.3 Formulário “Simulador” aba “Resultados”	107
7.6 Alteração de Idioma	110
7.6.1 Formulário “Escolha de Idioma”	110
7.6 Validação do aplicativo	111
7.6.1 Validação do aplicativo no processamento e armazenamento dos dados gerados através de ensaios com a MDTC	111
7.6.2 Validação da simulação de dados através do simulador.....	122
8 CONCLUSÕES	131
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Princípio do comportamento da transmissão CVT hidrodinâmica.	15
Figura 2. Polia de diâmetro variável (Fonte: Gibbs, 2009).	16
Figura 3. Transmissão CVT hidrostática.	18
Figura 4. Projeto de uma transmissão CVT elétrica para veículos ultra-pesados (Fonte: Kiuchi et al., 2001).	20
Figura 5. Princípio de uma transmissão de variação contínua com divisão de potência (CVPST) (Fonte: Beachley e Frank, 1979).	22
Figura 6. Ilustração do princípio da transmissão continuamente variável com divisão de potência inversa (Fonte: Beachley e Frank, 1979).	23
Figura 7. Diagramas de transmissões de variação contínua com divisão de potência regular (a) e inversa (b), mostrando os sentidos de rotação e de torque (Baseado em uma unidade de variação contínua que possui os mesmos sentidos de rotação na entrada e na saída) (Fonte: Beachley e Frank, 1979).	24
Figura 8. Princípio da Transmissão de variação contínua com divisão de potência (Fonte: Sun, 2011).	25
Figura 9. Diagrama esquemático de uma transmissão continuamente variável com divisão de potência (Fonte: Beachley e Frank, 1979).	26
Figura 10. Diagrama esquemático de uma transmissão de variação contínua com divisão de potência quando operando no modo de recirculação de potência (Fonte: Beachley e Frank, 1979).	27
Figura 11. Conjunto de engrenagens planetárias (Fonte: Zhou, 2007).	29
Figura 12. Esquema completo de transmissão de potência do sistema planetário somador (Fonte: Monika, 2010 – modificado pelo autor).	31
Figura 13. Sistema planetário somador não-regenerativo (Fonte: Sun, 2011).	32
Figura 14. Sistema planetário somador regenerativo (Fonte: Sun, 2011).	32
Figura 15. Possíveis fluxos de potência no sistema planetário somador (Fonte: Sun, 2011).	33
Figura 16. Esquema completo de transmissão de potência do sistema planetário divisor (Fonte: Monika, 2010 – modificado pelo autor).	34
Figura 17. Sistema planetário divisor não-regenerativo (Fonte: Sun, 2011).	35
Figura 18. Sistema planetário divisor regenerativo (Fonte: Sun, 2011).	36
Figura 19. Possíveis fluxos de potência no sistema planetário divisor (Fonte: Sun, 2011).	36
Figura 20. Ilustração do ambiente de programação Java (Fonte: Sierra e Bates, 2011 – modificado pelo autor).	39
Figura 21. Visão geral do relacionamento entre as tecnologias (Fonte: Sierra e Bates, 2011 – modificado pelo autor).	40

Figura 22. Escola Técnica Superior de Engenheiros Agrônomos (ETSIA), da Universidade Politécnica de Madrid.	45
Figura 23. Linguagem de programação Java através da IDE <i>Netbeans</i>	46
Figura 24. Área de trabalho do software de banco de dados MySQL Server 5.5.	47
Figura 25. Descrição dos campos, tabelas e relacionamentos do banco de dados do aplicativo.	48
Figura 26. Maquete Docente de Transmissão Contínua.	49
Figura 27. Disposição dos componentes da maquete.	50
Figura 28. Motor e redução.	51
Figura 29. Freio de acionamento manual e células de carga contidas na Maquete.	52
Figura 30. Sensor utilizado para a mensuração de rotação e torque.....	52
Figura 31. Visores eletrônicos para a exibição dos dados de rotação e torque.	53
Figura 32. Sistema planetário utilizado na composição da maquete.	54
Figura 33. Esquema do sistema planetário utilizado na MDTC.....	55
Figura 34. Visualização das engrenagens planetárias conforme encontradas na MDTC. ...	55
Figura 35. Inversor instalado na MDTC.	56
Figura 36. Unidade variadora mecânica de correia.	57
Figura 37. <i>Layout</i> completo da MDTC.....	58
Figura 38. Fluxo de energia percorrido na MDTC no sistema planetário somador.	58
Figura 39. Fluxo de energia percorrido na MDTC no sistema planetário divisor.....	59
Figura 40. Engrenagem que realiza a alteração da MDTC entre sistema planetário somador e sistema planetário divisor.	59
Figura 41. Esquema detalhado de obtenção das rotações, torques e potências dos distintos eixos da maquete, na disposição planetário somador.	80
Figura 42. Esquema detalhado de obtenção das rotações, torques e potências dos distintos eixos da maquete, na disposição planetário divisor.....	81
Figura 43. Fluxograma simplificado do aplicativo.....	83
Figura 44. Formulário de apresentação do aplicativo.	84
Figura 45. Formulário principal “MDTC – Folha de Cálculos”	85
Figura 46. Formulário “Dados do ensaio”.	86
Figura 47. Alerta de controle exibido pelo aplicativo.....	86
Figura 48. Formulário “Disposição do planetário” quando selecionada a configuração planetário somador com inversor à direita.	87
Figura 49. Formulário “Disposição do planetário” quando selecionada a configuração planetário somador com inversor à esquerda.	88
Figura 50. Identificação padronizada do ensaio.	88
Figura 51. Explicação da padronização da identificação do ensaio.	89
Figura 52. Formulário “Dados da transmissão”.	89

Figura 53. Informação do significado da sigla e da equação utilizada pelo aplicativo.	90
Figura 54. Formulário “Inserção de dados”.	91
Figura 55. Formulário “Visualização”.	92
Figura 56. Formulário “Visualização” exibindo um gráfico.	93
Figura 57. Exemplo dos gráficos gerados pelo aplicativo	94
Figura 58. Caixa de diálogo “Salvar”.	95
Figura 59. Mensagem de sucesso exibida após a criação do relatório.	95
Figura 60. Exemplo de relatório gerado pelo aplicativo no formato PDF.	96
Figura 61. Exemplo de relatório gerado pelo aplicativo no formato XLS.	96
Figura 62. Formulário “Abrir ensaios”.	97
Figura 63. Formulário “Simulador”.	98
Figura 64. Ilustração completa e detalhada da MDTC.	99
Figura 65. Comandos para configuração da maquete e sensores virtuais.	100
Figura 66. Controles utilizados para ligar ou desligar a alimentação energética do simulador e indicação de quando o simulador está alimentado.	101
Figura 67. Controle para ligar e desligar os sensores do simulador.	101
Figura 68. Sensores do simulador ligados.	102
Figura 69. Controles para a disposição do planetário e do inversor.	102
Figura 70. Ilustração das disposições: planetário somador com inversor à esquerda (A), planetário somador com inversor à direita (B), planetário divisor com inversor à esquerda (C) e planetário divisor com inversor à direita (D).	103
Figura 71. Controle para o acionamento do simulador.	104
Figura 72. Simulador em funcionamento exibindo os valores obtidos.	104
Figura 73. Controle da carga aplicada ao simulador.	105
Figura 74. Mensagem exibida quando atingido o valor máximo (A) e mínimo (B) de frenagem.	105
Figura 75. Controle da variação da unidade variadora.	106
Figura 76. Representação gráfica da relação da unidade variadora no simulador.	106
Figura 77. Alertas de limite máximo (A) e mínimo (B) atingido.	106
Figura 78. Valores de rotação das engrenagens planetárias.	107
Figura 79. Painel “Dados”.	107
Figura 80. Formulário “Simulador” aba “Resultados”.	108
Figura 81. Exibição dos dados brutos gerados pelo simulador e dos resultados em tempo	108
Figura 82. Exemplo do registro de dados quando acionado o botão “Registrar”.	109
Figura 83. Botões “Completer dados”, “Salvar”, “Relatório” e “Fechar”.	110
Figura 84. Formulário “Escolha do Idioma”.	111

Figura 85. Planilha utilizada anteriormente para o processamento dos dados na disposição planetários somador com inversor à esquerda (fonte: LLORENTE, 2009).	112
Figura 86. Relatório gerado para a disposição planetário somador com inversor à esquerda.	118
Figura 87. Relatório gerado para a disposição planetário somador com inversor à direita.	119
Figura 88. Relatório gerado para a disposição planetário divisor com inversor à esquerda.	120
Figura 89. Relatório gerado para a disposição planetário divisor com inversor à direita. .	121
Figura 90. Relatório gerado através dos dados do simulador para a disposição planetário somador com inversor à esquerda.....	127
Figura 91. Relatório gerado através dos dados do simulador para a disposição planetário somador com inversor à direita	128
Figura 92. Relatório gerado através dos dados do simulador para a disposição planetário divisor com inversor à esquerda.	129
Figura 93. Relatório gerado através dos dados do simulador para a disposição planetário divisor com inversor à direita	130

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1. Importantes princípios físicos da transmissão continuamente variável (CVT) para veículos.....	13
Tabela 2. Aplicação e potencial futuro das transmissões CVT: mecânicas, hidrostáticas e elétricas.....	14
Tabela 3. Possíveis configurações da MDTC.....	50
Tabela 4. Dados mecânicos das engrenagens do sistema planetário.	53
Tabela 5. Configurações do inversor e respectivos tipos de fluxo de potência obtidos.	56
Tabela 6. Condições do ensaio de validação do aplicativo	112
Tabela 7. Resultados obtidos através da planilha eletrônica anteriormente utilizada e pelo aplicativo para a disposição planetário somador com inversor à esquerda.....	114
Tabela 8. Resultados obtidos através da planilha eletrônica anteriormente utilizada e pelo aplicativo para a disposição planetário somador com inversor à direita.....	115
Tabela 9. Resultados obtidos através da planilha eletrônica anteriormente utilizada e pelo aplicativo para a disposição planetário divisor com inversor à esquerda.	116
Tabela 10. Resultados obtidos através da planilha eletrônica anteriormente utilizada e pelo aplicativo para a disposição planetário divisor com inversor à direita.	117
Tabela 11. Dados brutos obtidos pela MDTC e pelo simulador para a disposição planetário somador com inversor à esquerda.....	123
Tabela 12. Dados brutos obtidos pela MDTC e pelo simulador para a disposição planetário somador com inversor à direita.....	124
Tabela 13. Dados brutos obtidos pela MDTC e pelo simulador para a disposição planetário divisor com inversor à esquerda.	125
Tabela 14. Dados brutos obtidos pela MDTC e pelo simulador para a disposição planetário divisor com inversor à direita.	126

1 RESUMO

Na busca contínua da otimização do desempenho dos tratores no campo, um aspecto mecânico importante a ser pesquisado e objeto de inovações é a transmissão, cuja responsabilidade é transmitir energia e potência provenientes do motor a combustão interna para o conjunto de eixos que movimenta as rodas dos tratores.

A função do sistema de transmissão é a utilização da máquina de forma variada, devido às diversas atividades desenvolvidas pelo trator no campo, proporcionando sempre a rotação e potência que melhor se adapte a necessidade da atividade desenvolvida pelo trator. Como consequência, deverá ser transmitida somente a potência necessária para cada atividade específica obtendo um desempenho energético mais eficiente do trator, menor emissão de poluentes e a segurança e conforto do operador durante a atividade agrícola.

Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi desenvolver um aplicativo para simular o desempenho cinemático e dinâmico de quatro configurações de transmissões continuamente variáveis (CVT) com divisão de potência e como objetivo secundário, armazenar e processar os dados obtidos através de ensaios de bancada realizados através de um equipamento de laboratório denominado *Maqueta Docente Transmisión Continua* (MDTC) localizada na *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSIA)*, da *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha, utilizada para simular mecanicamente o comportamento de diferentes configurações de transmissões CVT.

Para o desenvolvimento do aplicativo foi utilizada a linguagem de programação Java através do Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE) *NetBeans* 6.9.1, e como base de dados foi utilizado o banco de dados MySQL Server 5.5.

O aplicativo denominado “MDTC – Folha de Cálculos” realizou a simulação virtual dos quatro tipos de configurações de transmissão CVT com divisão de potência, apresentando em sua simulação dados coerentes com os dados gerados a partir de ensaios com a MDTC. O aplicativo também realizou o armazenamento e processamento dos dados obtidos através de ensaios realizados com a MDTC de forma correta e eficiente, possibilitando maior facilidade na análise e na comparação dos resultados de desempenho obtidos nos ensaios e também permitiu a criação e manutenção de uma base de dados com os resultados dos ensaios realizados através do simulador e da MDTC.

DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR DATA PROCESSING AND CREATION OF A SIMULATION SOFTWARE OF A VEHICLE TRANSMISSION. Botucatu, 2013 140p.

Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FERNANDO HENRIQUE CAMPOS

Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

Co-advisor: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

2 SUMMARY

In the continuous search of agricultural machinery performance improvement in field an important mechanical aspect to be researched and subject to innovations is the transmission, whose the responsibility is to transmit energy and power from the internal combustion engine to the set of axes that moves the tractor wheels.

The function of the transmission system is the use of the machine in different ways due to different activities undertaken by the tractor in the field, always providing the rotation and power of the wheels that best suits the need of the activity developed. As result should be transmitted only the required power for each specific activity improving the machinery energy performance, lower emissions, and the operator safety and comfort during agricultural activity.

In this context, the aim of this research was to develop a software in order to simulate the kinematic and dynamic performance of four types of continuously variable transmissions (CVT) with power-split system and as a secondary objective, store and process the data obtained from bench tests performed by a laboratory equipment called Maqueta Docente Transmisión (MTDC) located at Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSIA), of Universidad Politécnica de Madrid (UPM), located in Madrid, Spain, used to mechanically simulate the performance of different configurations of CVT transmissions.

For the software development were used the programming language Java through the Integrated Development Environment (IDE) NetBeans 6.9.1, and as database was used the Database Management System (DMS) MySQL Server 5.5.

The software named "MDTC - *Folha de Calculos*" realized the virtual simulation of four types of settings of CVT transmission with power-split system successfully generating in the simulation consistent data with the data generated from tests with the MDTC. The application also held the storage and processing of data obtained from tests performed with the MDTC correctly and efficiently, allowing easier analysis and comparison of test performance results. The software also allowed the creation and maintenance of a database with the results of tests performed by the simulator and tests conducted by the MDTC.

Keywords: *Performance evaluation, Power transmission, Power-Split, Java, NetBeans, Software development.*

DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS Y LA CREACIÓN DE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE UNA TRANSMISIÓN PARA VEHÍCULO. Botucatu, 2013 140p.

Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: FERNANDO HENRIQUE CAMPOS

Orientador: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

Co-orientador: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

3 RESUMEN

Na busca contínua da otimização do desempenho dos tratores no campo, um aspecto mecânico importante a ser pesquisado e objeto de inovações é a transmissão, cuja responsabilidade é transmitir energia e potência provenientes do motor a combustão interna para o conjunto de eixos que movimenta as rodas dos tratores.

En la búsqueda permanente de optimizar el rendimiento de la maquinaria agrícola en el campo un importante aspecto mecánico que debe ser investigado y objeto de innovaciones, es la transmisión, cuya responsabilidad es transmitir la energía y la potencia del motor de combustión interna para el conjunto de ejes que mueve las ruedas de los tractores.

La función de la transmisión es el uso de la máquina de diferentes maneras debido a las diferentes actividades llevadas a cabo por el tractor en el campo ofreciendo siempre la rotación y la potencia a las ruedas del tractor que mejor se adapte a la necesidad de la actividad. Como resultado, debe ser transmitida únicamente la potencia necesaria para cada actividad específica obteniendo de la maquinaria un rendimiento energético más eficiente, menos emisiones y la seguridad y comodidad del operador durante la actividad agrícola.

En este contexto, el objetivo de este estudio fue desarrollar un software con el fin de simular el comportamiento dinámico y cinemático de cuatro tipos de transmisiones de variación continua (CVT), con ramificación de potencia y con el objetivo secundario de almacenar y procesar datos obtenidos a través de un banco de pruebas

llevados a cabo a través de un equipo de laboratorio llamado “Maqueta Docente Transmisión Continua” (MTDC) ubicada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSIA), de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), con sede en Madrid, España, cuyo objetivo es simular el comportamiento mecánico de las diferentes configuraciones de transmisiones CVT.

Para el desarrollo del software se utilizó la lenguaje de programación Java a través del Ambiente Integrado de Desarrollo (IDE) NetBeans 6.9.1, y como base de datos se utilizó el Sistema Administrador de Base de Datos (SABD) MySQL Server 5.5.

El software llamado "MDTC – Hoja de Cálculos", realizó la simulación virtual de cuatro tipos de configuración de transmisión CVT con ramificación de potencia, presentando sus datos de simulación coherentes con los datos generados a partir de pruebas con la MDTC. El software también realizó el almacenamiento y el procesamiento de los datos obtenidos a través de las pruebas realizadas con la MDTC de manera correcta y eficiente, lo que permitió con más facilidad el análisis y la comparación de los resultados de las pruebas de rendimiento.

El software también posibilitó la creación y mantenimiento de una base de datos con los resultados de las pruebas realizadas por el simulador y las pruebas llevadas a cabo por la MDTC.

Palabras-clave: *Evaluación de desempeño, Transmisión de potencia, División de potencia, Java, NetBeans, Desarrollo de software.*

4 INTRODUÇÃO

Na questão da mecanização em pequenas e grandes propriedades um dos principais interesses dos agricultores é buscar nas máquinas agrícola a relação mais satisfatória entre potência versus desempenho energético.

Na composição dos tratores agrícolas um dos elementos que afeta diretamente essa relação é o sistema de transmissão utilizado pelo trator. O sistema de transmissão é um dos mecanismos presente no trator que garante a transmissão da potência do motor para as rodas do trator, para a tomada de potência (TDP) e sistema hidráulico.

As transmissões convencionais utilizam o sistema de engrenagens de relação fixa para alterar a velocidade e a potência proporcionadas ao trator, contudo muitas inovações surgiram a respeito desse tema sendo que a mais atual, já aplicada comercialmente em tratores agrícolas, é o sistema de transmissão CVT com divisão de potência.

A CVT trata-se de um sistema de transmissão que opera sem relação fixa, sendo que sua relação é alterada conforme a necessidade requerida pelo trator permitindo que o trator trabalhe em seu ponto ótimo de funcionamento em qualquer condição e durante toda atividade agrícola.

Modelos e maquetes que simulam o funcionamento desse tipo de transmissão são importantes para a compreensão do seu comportamento por pesquisadores e profissionais, auxiliando no desenvolvimento de novos projetos, inovações ou simplesmente na formação de novos profissionais.

Na área agrícola, diversas são as atividades em que a informática pode atuar, entre essas atividades podem ser citadas o registro e processamento de dados de qualquer natureza e a simulação de eventos ou comportamentos no meio rural. Através aplicativos específicos é possível simular desde situações complexas de comportamento climático até a simulação de atividades simples como a de produtividade de determinadas áreas. A utilização da simulação computacional também pode diminuir o custo de projeto e desenvolvimento de equipamentos uma vez que a demonstração e a avaliação de diferentes sistemas mecânicos podem ser realizadas e avaliadas, sem a necessidade da construção dos mesmos para que se saibam os resultados, operacional e econômico.

Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um aplicativo com a finalidade de simular o desempenho cinemático de quatro tipos de transmissões continuamente variáveis (CVT) e como objetivo secundário registrar e processar os dados obtidos através de ensaios realizados através da *Maqueta Docente de Transmisión Continúa* (MTDC).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Sistemas de transmissão

O trator agrícola é uma máquina de tração projetada e inicialmente recomendada para proporcionar potência aos implementos agrícolas (ASAE, 1995).

Segundo Schlosser (1997) o trator agrícola é composto de motor, sistemas de mecânicos transmissão, sistema de direção e componentes complementares, onde são acoplados implementos e máquinas diversas.

Conforme Márquez (2004a) o sistema de transmissão é o conjunto de elementos mecânicos que garantem a transmissão de potência do motor para os diferentes mecanismos a serem utilizados, como: o sistema hidráulico, a tomada de potência (TDP) e as rodas motrizes.

5.1.1 Transmissão Mecânica

De acordo com Ribas et al. (2010) a transmissão do tipo mecânica contém engrenagens que se deslocam em eixos com ranhuras para encaixarem-se umas às outras, logo a velocidade de saída depende do número de pares engatados e do número de dentes das engrenagens.

Conforme Niemann (2002) as transmissões por engrenagem são as mais frequentemente usadas, tanto para eixos paralelos como para eixos reversos ou concorrentes, servindo para potências, rotações e multiplicação de movimentos.

Na transmissão mecânica a caixa de câmbio é classificada de acordo com suas características sendo que esta pode ser do tipo engrenagem deslizante ou do tipo engrenagem sincronizada. No tipo engrenagem deslizante, a marcha é selecionada antes do início do trabalho, segundo o critério do operador, sendo necessária a parada do trator para que se efetue a troca de marchas (RIBAS et al., 2010).

Segundo Ribas et al. (2010), na transmissão mecânica do tipo sincronizada, qualquer marcha pode ser selecionada com o trator em movimento, pois anéis próprios acertam a velocidade de giro das engrenagens a serem acopladas. Para operações em que é exigida uma maior demanda de potência (aração, escarificação, etc), quando se deseja efetuar a troca de marchas durante a operação, torna-se necessário o acionamento da embreagem nos tratores com transmissões mecânicas, acarretando uma parada imediata do trator.

5.1.2 Transmissão CVT (Continuous Variable Transmission)

Márquez (2004b), afirma que a melhora de produtividade dos tratores modernos, é em grande parte consequência da evolução das transmissões e, uma alternativa moderna que busca de forma automática o aproveitamento da potência do trator minimizando o consumo de combustível, é o conceito CVT (*Continuously Variable Transmission*), conhecido na Espanha e no Brasil como transmissão de variação contínua.

O conceito CVT é conhecido desde o século XV, quando Leonardo da Vinci fez um desenho mostrando o potencial da transmissão de variação contínua (BIRCH, 2000).

Segundo Lu (1998) e Fox (2003) uma transmissão de variação contínua (CVT) é uma transmissão que pode gradualmente mudar para quaisquer relações de transmissão entre um limite superior e um inferior.

Para Viti (2007) e Singh e Nair (1992), se entende como transmissão de variação contínua (CVT) um sistema que permite variar as relações de transmissão, sendo que, com esta solução pode ser utilizado um número infinito de relação de transmissão entre um valor máximo e um mínimo determinado pelas características da construção da transmissão CVT.

CVT é uma transmissão que pode variar sua velocidade continuamente ao longo de sua gama permissível. A sua relação de velocidade pode

assumir qualquer valor entre os seus limites operacionais, isto é, um número infinito de relações é possível, enquanto uma caixa de câmbio convencional tem um número pequeno de relações de velocidades fixas (BEACHLEY e FRANK, 1979).

Segundo Beachley e Frank, (1979), um câmbio CVT proporcionando relações de velocidades em sentidos diferentes, também seria considerado um câmbio IVT desde que sua gama de variações passe por uma relação de velocidade zero. Mesmo esta definição de IVT sendo amplamente aceita, IVT é muitas vezes utilizada como sinônimo de CVT, por aqueles que não estão familiarizados com a diferença.

Teoricamente um câmbio CVT causaria menos fadiga do motor e produziria uma transmissão de energia mais confiável, pois as restrições das engrenagens fixas de cada marcha impostas pelo câmbio convencional ao motor, o obrigam a trabalhar em uma velocidade diferente da ideal. (MORI et al. 2001).

Alguns projetos muito precoces, mas ao mesmo tempo com alto grau de sofisticação em relação à transmissão CVT, são passíveis de serem mencionados como a ideia de Renault (Renault, 1907) de utilizar o princípio de divisão de potência hidrostática-mecânica para transmissão de um automóvel (RENIUS e RESCH, 2005).

Segundo Renius et al. (2006), a primeira pesquisa abrangente sobre transmissões CVT hidrostáticas para tratores foram realizadas no antigo Instituto Nacional de Engenharia Agrícola (NIAE) na cidade de Silsoe, Reino Unido, no desenvolvimento de um protótipo (Hamblin 1952), que foi apresentado 1954.

De acordo com Renius et al. (2006), os resultados obtidos incentivaram diversas companhias a desenvolverem protótipos, mas todos os esforços foram em vão. Os motivos dos fracassos foram à baixa eficiência (consumo específico elevado), alto custo e altos níveis de ruídos e, como a transmissão de carga escalonada tornou-se popular, a aplicação do câmbio CVT em tratores cessou.

A melhor eficiência da unidade hidrostática é de 80,5%, mas a melhor eficiência geral do sistema é apenas de 73% a 75%, devido às rodas de engrenagem adicionais, incluindo a unidade final. Estes números são ainda típicos para estruturas semelhantes (RENIUS e RESCH, 2005).

Reiter (1990), afirmam que os melhores valores de rendimento para transmissões convencionais são, no entanto acima de 90% e cerca de 85 a 87% para o sistema todo de transmissão.

Já era sabido na época que as perdas de potência poderiam ser reduzidas através do princípio da divisão da potência (JARCHOW, 1964 e MOLLY 1966 e KRESS 1968).

Ge et al. (2010) afirmam que a falta de torque é causada pela falta de dentes de engrenagem, que forma uma ligação mecânica rígida entre duas engrenagens, pois discos de fricção são propensos a deslizarem entre si, especialmente em alto torque.

Contudo a apresentação pública de Renius (1988) realizada no *Munich Research Tractor*, na Alemanha marcou o início de uma série de novos desenvolvimentos. Sua unidade variadora reunia a transmissão mecânica e a transmissão CVT, sendo que esta unidade atingiu a eficiência de até 90% (RENIUS e RESCH, 2005).

A transmissão Fendt “Vario” CVT foi apresentada para tratores na feira Agritechnica de 1995 e introduzida pela primeira vez para um modelo grande porte (926 Vario) de 1996 (DZIUBA e HONZEK, 1997).

Segundo Renius e Resch (2005), o sucesso extraordinário motivou a Fendt que passou a aplicar o princípio para outros modelos de tratores nos anos seguintes. Enquanto isso, ZF e Steyr seguiram com seus próprios conceitos baseados em hidrostática e na divisão de potência. A empresa John Deere em um primeiro passo, utilizou o conceito ZF, mas depois desenvolveu sua própria transmissão hidrostática de divisão de potência para tratores de maior porte (Renius e Resch, 2005).

Conforme Márquez (2010), com a chegada ao mercado das transmissões Fendt Vario utilizando unidades hidrostáticas de pistões axiais, a eficiência do sistema aumentou consideravelmente fazendo-as competitivas.

Nota-se que muitas transmissões modernas, nada mais são do que a composições mistas, com parte da potência sendo transmitida através do conceito hidrostático e parte mecânico, com a divisão de potências realizadas através de engrenagens epícicloidais onde para aumentar a eficiência, se busca transmitir por via mecânica a maior parte da potência (MÁRQUEZ, 2010).

Sun (2011) afirma que as necessidades dos clientes por baixo consumo de combustível, baixas emissões de gases tóxicos e alto desempenho requerem novas soluções técnicas que possam permitir a otimização do sistema completo, A tecnologia CVT, ainda está no patamar de uma nova tecnologia-chave que deverá melhorar a eficiência energética de veículos com motores de combustão interna, porque ela permite que este funcione com a máxima eficiência e reduz a dificuldade da operação do campo.

O progresso no desenvolvimento do câmbio CVT tem sido lento por diversas razões, sendo uma delas a falta de demanda, visto que o câmbio convencional manual e automático há muito tempo tem oferecido desempenho e economia de combustível, consideradas suficientes (GE et al., 2010).

Além disso, de acordo com Broge (1999), esse problema foi, possivelmente, influenciado por tentativas frustradas de desenvolver um câmbio CVT que oferecesse capacidade de torque, eficiência, tamanho, peso e, com custo de produção, similares ao da transmissão convencional.

5.1.3 Tipos de transmissão CVT

O estudo dos princípios de funcionamento de uma transmissão CVT, inclui quatro grupos que podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Importantes princípios físicos da transmissão continuamente variável (CVT) para veículos.

Tipo CVT	Princípio da transmissão da energia	Controle da relação de transmissão	Aplicação	Eficiência
Hidrodinâmica	Força do fluxo na bomba da turbina	Em geral, automaticamente em função da carga	Importante para automóveis e máquinas de construção	Baixa
Mecânica	Força de tração devido ao atrito entre as superfícies de fricção	Raio do ponto de tração da força de tração	Importante para automóveis e máquinas de construção	Excelente
Hidrostática	Forças hidrostáticas em bomba(s) e motor(es)	Deslocamento das unidades hidráulicas	Importante para máquinas móveis	Moderada
Elétrica	Forças eletromagnéticas em gerador(es) e motor(es) elétrico	Frequência da corrente ou fluxo elétrico	Futura	Moderada

Fonte: RENIUS e RESCH, 2005 e RENIUS et al., 2006.

A transmissão hidrodinâmica (conversora de torque) não é aplicável em tratores agrícolas, pois mesmo a atingindo alta eficiência, estas só podem ser atingidas em uma gama muito pequena de relações de transmissão. Uma segunda desvantagem é a sua capacidade limitada de controle, o que é um dos requisitos para a gestão das transmissões mais avançadas. (RENIUS et al., 2006)

Segundo Renius et al. (2006), apenas as transmissões mecânicas, hidrostáticas e elétricas parecem ser aplicáveis em tratores. O potencial de suas aplicações,

atual e no futuro, está apresentado na Tabela 2, que inclui também a sua aplicação no setor de automação.

As transmissões CVT hidrostáticas diretas (transmissão hidrostática sozinha, sem redução final e eixos) só atingem eficiência de 80%. As Transmissões CVT elétricas são formadas pela combinação de um gerador, um conversor de potência e um motor eléctrico e alcançam valores similares ao da transmissão CVT hidrostática. (RENIUS et al., 2006).

Tabela 2. Aplicação e potencial futuro das transmissões CVT: mecânicas, hidrostáticas e elétricas.

Tipo	Vantagens	Inconvenientes	Comentários
Mecânicas de fricção direta	Alta eficiência Baixo nível de ruído	Não começa desde o zero Limitações de potência	Correias tipo impulso em carros japoneses Correias do tipo tração: AudiCadena-Luk (2000) Toroidal Nissan (1999)
Mecânicas com ramificação de potência	Inicia do zero Baixo nível de ruído	Eficiência pode ser menor que na direta	Protótipos conhecidos com o nome de "Engrenagem Neutra"
Hidrostáticas diretas	Longa experiência Alto nível de conforto	Baixa eficiência Alto nível de ruído	Popular para pequenos tratores
Hidrostáticas com ramificação de potência	Alta eficiência	Alto nível de ruído Flexibilidade limitada A mudança pode ser complicada Custo elevado de Pesquisa e Desenvolvimento	Claas HM8 (1996) Fendt vario (1996) Steyr S-Matic (2000) ZF Eccom 1.5 (2001) John Deere/USA (2001)
Elétricas com motor diesel	Baixo nível de ruídos Alto nível de conforto	Alto custo Baixa eficiência	Diversas pesquisas em unidades e caixas
Elétricas com baterias	Baixo nível de ruídos Alto nível de conforto	Custo muito alto Motor extra para TDP Custo elevado de Pesquisa e Desenvolvimento	Possibilidade a longo prazo de uso comercial
Elétricas com ramificação da potência com motor diesel	Alta eficiência Baixo nível de ruído	Alto custo Alto custo de Pesquisa e Desenvolvimento	Em nível de pesquisa, uso comercial a longo prazo

Fonte: RENIUS e RESCH, 2005 e RENIUS et al., 2006.

5.1.3.1 Transmissão CVT Hidrodinâmica

As transmissões CVTs hidrodinâmicas fornecem uma relação de velocidade continuamente variável através do ajuste da velocidade do motor hidrodinâmico, isto envolve o ajuste da quantidade de fluido no circuito. Em uma transmissão CVT hidrodinâmica, a bomba hidrodinâmica ou o motor hidrodinâmico ou ambos, são do tipo de deslocamento variável (KAWAHARA et al., 1990, INOUE, 1990, FURUMOTO et al., 1990).

A relação de velocidade deste tipo de transmissão CVT é continuamente variável de frente para trás ou de trás para frente. A necessidade de um grande espaço, alto ruído, baixa eficiência e custo, tornam este tipo de transmissão CVT inadequados para aplicações em automóveis (KUMM, 1991). A Figura 1 apresenta de forma simples o princípio hidrodinâmico.

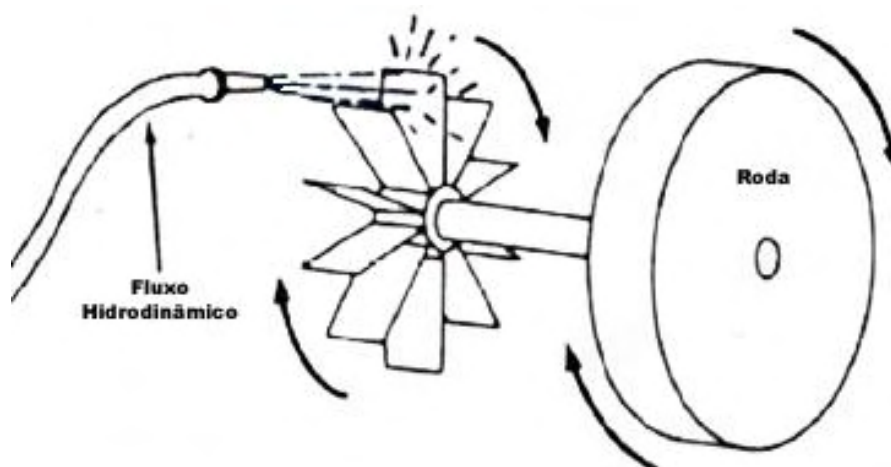


Figura 1. Princípio do comportamento da transmissão CVT hidrodinâmica.

5.1.3.2 Transmissão CVT de fricção (mecânica)

Os tipos mais comuns de transmissões CVTs são baseados no atrito entre dois ou mais componentes rotativos em que o raio para o ponto de contato, pode ser variado. Isto é tipicamente realizado através de uma polia de diâmetro variável (*Variable-*

Diameter Pulley - VDP), (Figura 2), também conhecida como a unidade de Reeves (GIBBS, 2009).

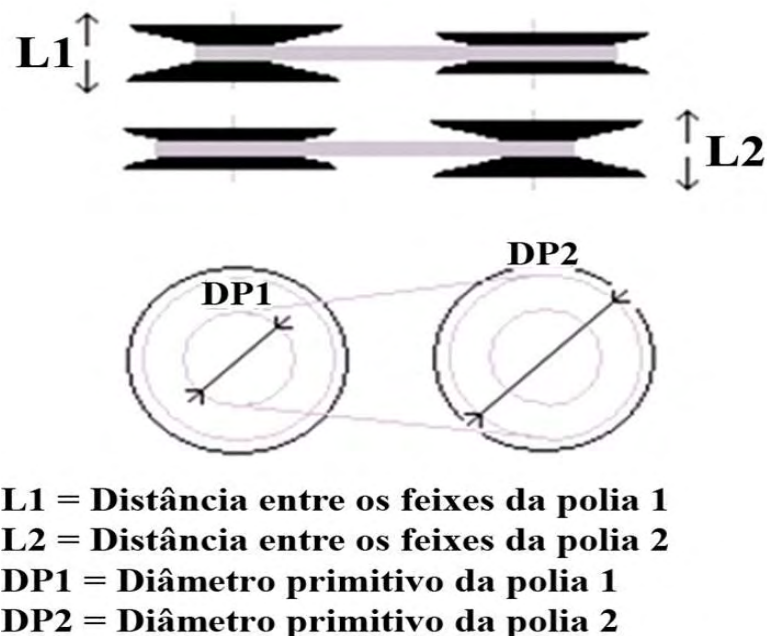


Figura 2. Polia de diâmetro variável (Fonte: Gibbs, 2009).

Segundo Gibbs (2009), neste sistema, existem duas polias compostas por uma roldana (de correias em V) sendo uma estacionária e outra móvel e estas polias são separadas perpendicularmente aos seus eixos de rotação, com uma correia em V que corre entre elas. A relação de transmissão é alterada através do conjunto de ações de movimento dos feixes, sendo que, em uma das polias os feixes se aproximam, na outra os feixes se distanciam.

Devido à secção transversal em forma de V da correia, ela força as polias para que girem em um raio diferente daquele que estava anteriormente, assim, os diâmetros das polias são eficientemente alterados. Uma vez que o centro de rotação para cada polia e o comprimento do cinto não muda no processo, as roldanas móveis de ambas as polias devem ajustar-se simultaneamente em sentidos opostos, a fim de manter a tensão adequada da correia (GIBBS, 2009).

Hibi (1993), afirma que uma força de contato elevada permite que os rolos transmitam uma potência considerável sem deslizar. Esta unidade CVT em suas

melhores condições de trabalho é capaz de obter uma eficiência superior a 98% à frente, e 80% no sentido inverso com uma potência considerável.

Nos primeiros tipos de transmissão CVT, tipo polia de tração, era difícil realizar o ajuste a fim de obter uma folga pré-determinada entre os membros do disco. Além disso, era difícil definir um valor constante de pré-carga para a mola do disco, devido a variações sensíveis na operação de regulação (LU, 1998).

Uma nova patente (HIBI, 1993) resolveu estes problemas, no entanto, o elevado custo dos materiais de alta resistência necessários, limitou sua aplicação.

5.1.3.3 Transmissão CVT Hidrostática

Segundo Beachley e Frank (1979), transmissões hidrostáticas transmitem potência, através do uso de alta pressão do fluido hidráulico, geralmente em pressões de até 34473,78 kPa (5000 psi). Uma transmissão hidrostática (Figura 3) é constituída por uma bomba e um motor hidráulico ligados entre si por duas linhas hidráulicas, além de outros componentes hidráulicos necessários (tais como reservatório, válvulas de retenção, e as válvulas de alívio). A bomba cria a potência hidráulica (pressão e taxa de fluxo), e o motor converte a energia hidráulica para uma força mecânica (torque e velocidade).

A alteração de relação de velocidade nestas transmissões é realizada através da variação dos deslocamentos da bomba e do motor, enquanto a pressão do sistema global limita a quantidade de torque que pode ser transmitida. A alteração na relação de velocidade é, portanto, continuamente variável ao longo do seu alcance operacional (FOX, 2003).

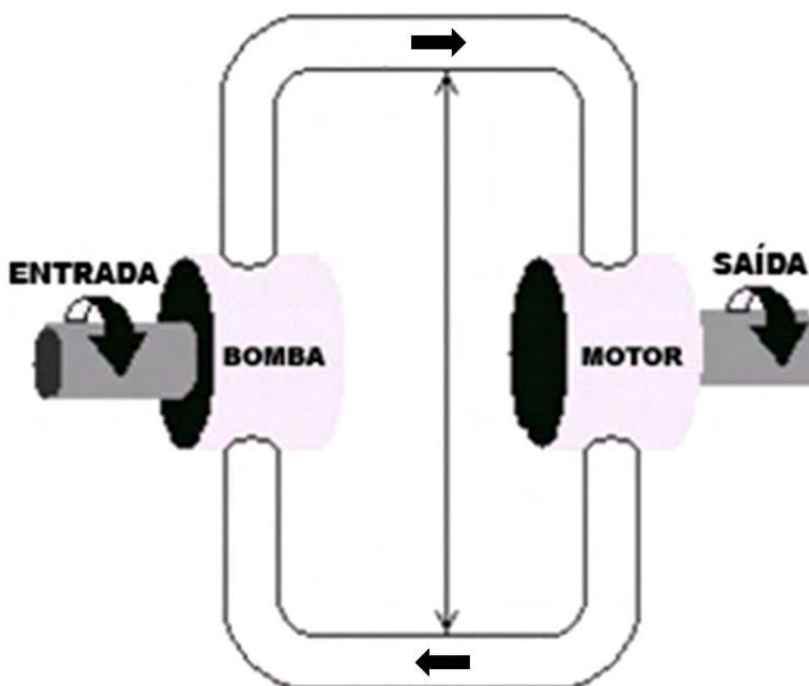


Figura 3. Transmissão CVT hidrostática.

Fenton (1996), afirma que a transmissão hidrostática se difere das unidades hidrodinâmicas que são empregadas em conversores de torque automotivos comuns, pois esta depende da energia cinética do fluido para derivar a potência, enquanto a unidade hidrostática é análoga a uma coluna de líquido acionando uma unidade hidráulica ligada a uma carga.

A transmissão hidrostática tem uma eficiência mecânica mais baixa do que outras transmissões continuamente variáveis utilizadas em aplicações automotivas (Singh e Nair, 1992).

No entanto, a transmissão hidrostática é um sucesso em aplicações de veículos *off-road* onde o funcionamento do veículo é, principalmente, em baixa velocidade e o regime de torque elevado e o excesso de peso da unidade não são um problema como em um trator (FOX, 2003).

Segundo Gibbs (2009), não é necessário caixas de transmissões adicionais para obter uma marcha ré, pois o fluxo dos motores hidráulicos pode ser facilmente invertido com a utilização de válvulas. Devido ao calor gerado pelo fluxo do fluido hidráulico, as transmissões CVTs hidrostáticas geralmente não são utilizadas para aplicações onde é necessária a utilização de alto torque por um longo período.

Transmissões hidrostáticas diretas quase sempre têm uma relação que tende ao infinito, ou seja, são IVTs (uma vez que o curso da bomba pode ser ajustado para zero, a velocidade de saída do motor irá variar de zero a seu valor máximo). O curso da bomba pode, geralmente, ser invertido de modo que a rotação do motor hidráulico pode ser positiva ou negativa. O torque da transmissão hidrostática pode ser revertido (a linha de alta pressão de mudar para a linha de baixa pressão e vice-versa), com a "bomba", em seguida, agindo como um motor e o "motor" como uma bomba (BEACHLEY e FRANK, 1979).

Equipamentos agrícolas com baixa velocidade de movimentação são típicas aplicações para uma transmissão CVT hidrostática, tais como os tratores, colhedoras e ceifadoras. As transmissões CVT hidrostáticas podem ser comumente encontradas em muitos cortadores de grama de mão e tratores de jardim destinados a tracionar o equipamento, tais como uma enxada rotativa ou um arado de aivecas. Existe ainda uma variedade de equipamentos de terraplenagem pesada que, atualmente, utilizam transmissões CVT hidrostáticas (GIBBS, 2009).

5.1.3.4 Transmissão CVT Elétrica

Segundo Fox (2003), a transmissão CVT elétrica, ou o conjunto de veículos híbridos elétricos (*Hybrid Electric Vehicles* – HEV), é composto de três a quatro elementos principais, sendo eles a fonte de energia, o gerador, o motor elétrico, e uma bateria (Figura 4).

O princípio básico da transmissão CVT elétrica é análogo ao da transmissão CVT hidrostática. A fonte de energia (motor à combustão) aciona um gerador elétrico, que por sua vez aciona um motor elétrico que controla a relação de transmissão e esta ligado ao eixo de saída. Ao contrário da transmissão CVT hidrostática, a adição de uma bateria pode armazenar o excesso de energia que, normalmente, seria desperdiçado durante a operação do veículo (KIUCHI et al., 2001).

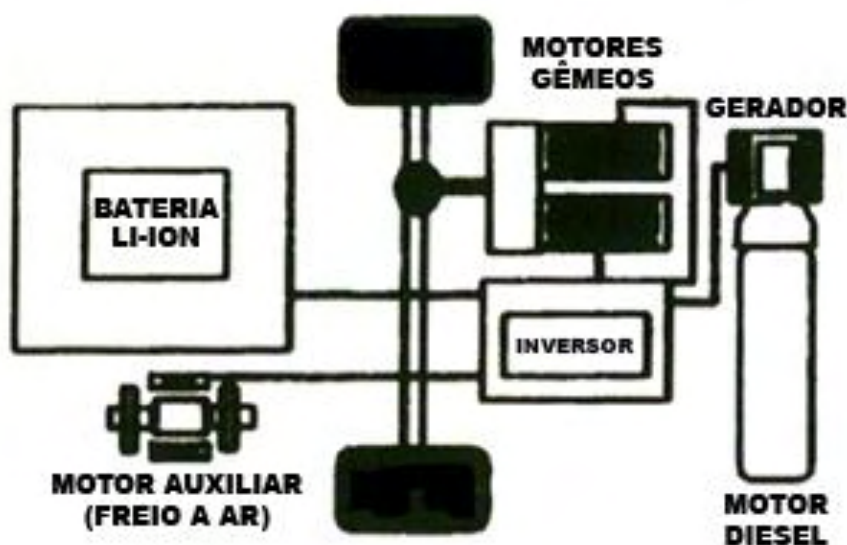


Figura 4. Projeto de uma transmissão CVT elétrica para veículos ultra-pesados (Fonte: Kiuchi et al., 2001).

Renius e Resch (2005), afirmam que a transmissão CVT elétrica, tem as seguintes vantagens: baixo nível de ruído, baixo nível de manutenção, baixa perda de transferência de energia, alta aplicabilidade de sistemas de controle, baixo consumo de energia para o controle da relação de transmissão e não causa poluição. Em contrapartida, suas desvantagens são: os aspectos de segurança devido aos elevados níveis de tensão elétrica, custos maiores e eficiência menor.

Segundo Fenton (1996), as transmissões CVT elétricas foram utilizadas com sucesso limitado, contudo demonstraram ter um desempenho superior e apresentaram economia significativa de combustível.

Por outro lado, este tipo de transmissão é padrão de série para veículos pesados, como locomotivas a diesel e caminhões ultra-pesados. A transmissão CVT elétrica serve bem em situações em que a fonte de alimentação e os locais de carga não permitem uma unidade mecânica direta e onde é necessária uma transmissão precisa de alta potência precisa (KIUCHI et al. 2001).

O automóvel introduzido comercialmente pela Toyota em 1997 o “Prius” (KILLMAN et al. 1999) reforçou a ampla pesquisa sobre transmissões CVTs híbridas na indústria automotiva, mas também deve estimular a pesquisa para as unidades de tratores agrícolas, o que é realizado desde há alguns anos, por exemplo, na Universidade de Dresden (BARUCKI, 2000).

De acordo com Renius e Resch (2005), as transmissões CVT elétricas têm potencial para a aplicação em tratores que utilizem o sistema de divisão de potência e, talvez mais tarde, também em módulos diretos com as células de combustível.

Todas as soluções existentes poderão, de uma forma ou outra, exigir a utilização de elementos de transmissões convencionais, tais como as faixas e as rodas de engrenagem de redução da velocidade.

5.2 Divisão de potência

A transmissão CVT tem vantagens distintas sobre as transmissões convencionais de relações fixas, mas as unidades CVT atuais sofrem por sua capacidade limitada de torque quando comparada com as transmissões convencionais (VAHABZADEH e MACEY, 1990).

Segundo Fox (2003), existem duas maneiras de superar essas limitações: ou a unidade de CVT tem que ser redesenhada, ou ela pode ser combinada, com um conjunto de engrenagens epícicloidais para alterar suas características operacionais.

Conforme Renius et al. (2006), em relação às exigências do mercado, as transmissões CVT necessitam ser complementadas com as transmissões convencionais, ou seja, o sistema de transmissão CVT necessita da divisão de potência. Isto conduz a muitos sistemas sofisticados de transmissão com três tipos principais de desenvolvimento: Transmissões CVT mecânicas ramificada, transmissões de ramificação da potência hidrostática mecânica e transmissões CVT elétricas.

5.2.1 Princípio da divisão de potência: regular

O princípio da divisão de potência foi desenvolvido para superar parcialmente as características de baixa eficiência de algumas transmissões CVT. A ideia básica era enviar apenas uma parte da potência por meio da unidade de variação contínua (*Continuously Variable Unit – CVU*), e o restante da potência seria transferido por um caminho mecânico direto (com maior eficiência). Os dois componentes da alimentação foram então adicionados em um diferencial de engrenagem mecânica, na saída da transmissão CVT, com divisão de potência (BEACHLEY e FRANK, 1979 e KRESS, 1968). A Figura 5 ilustra o princípio básico de uma transmissão de variação contínua com divisão de potência.

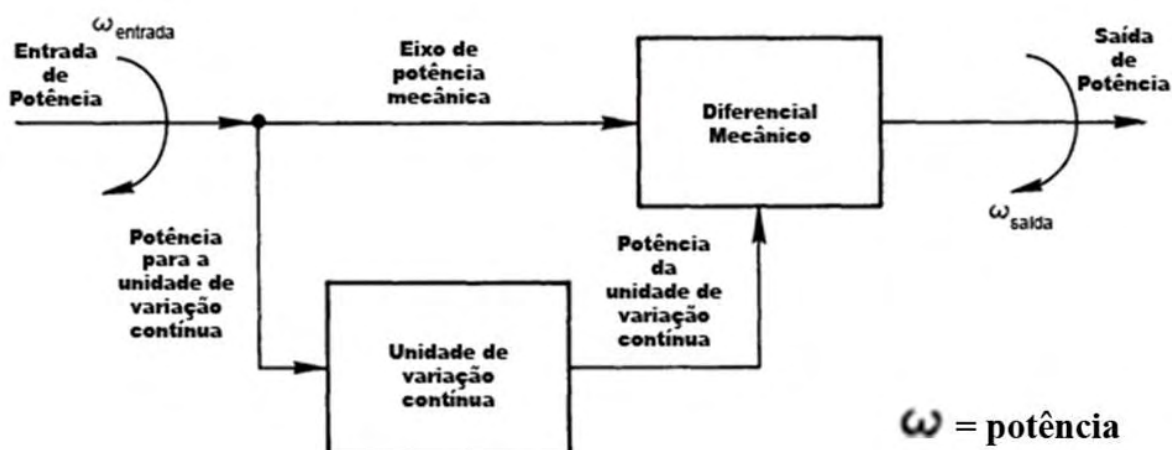


Figura 5. Princípio de uma transmissão de variação contínua com divisão de potência (CVPST) (Fonte: Beachley e Frank, 1979).

5.2.2 Princípio da divisão de potência: inversa

O princípio da divisão de potência regular desvincula uma faixa de relação de transmissão para melhorar a eficiência. A configuração de divisão de potência inversa faz exatamente o contrário, diminui a eficiência para melhorar a faixa de relação. Este comportamento é favorável para CVTs que têm boa eficiência, mas uma faixa de relação limitada uma vez que uma pequena diminuição na eficiência global pode permitir uma grande melhoria na faixa de relação (BEACHLEY e FRANK, 1979).

A Figura 6 apresenta o princípio fundamental envolvido. A única diferença significativa entre a Figura 5 e a Figura 6 é a direção do fluxo de alimentação. A engrenagem regenerativa é uma simples engrenagem diferencial, praticamente a mesma que para a divisão de potência regular, mas ligada a outros elementos de uma maneira ligeiramente diferente.

Conforme explicado por Beachley e Frank (1979), ignorando temporariamente os detalhes da engrenagem e concentrando-se nas direções de fluxo de potência, é possível observar que, no caminho mecânico direto, a potência flui "para trás" a partir do diferencial para o eixo de entrada. Isto faz com que a potência que passa através da CVU seja maior do que se fosse utilizada sozinha transferindo mais potência.

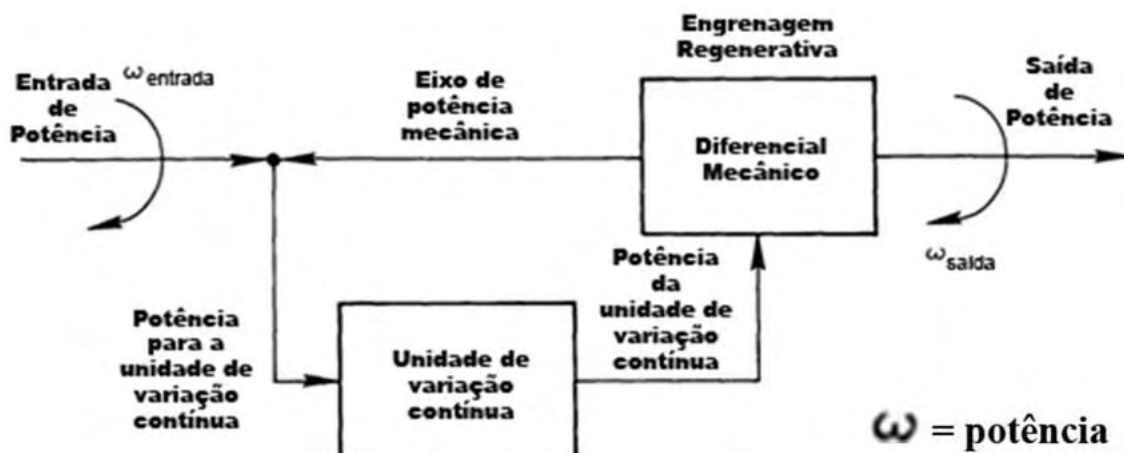


Figura 6. Ilustração do princípio da transmissão continuamente variável com divisão de potência inversa (Fonte: Beachley e Frank, 1979).

Sendo uma unidade com essa finalidade ela irá operar com uma eficiência mais baixa, produzindo uma maior perda de energia e uma eficiência resultante menor (no entanto, com um bom desenho e uma pequena quantidade de recirculação de potência, a redução da eficiência pode ser bastante pequena). Um exemplo da sua utilização seria ampliar a faixa de relações de uma transmissão CVT de correia a partir de um valor finito para o infinito, assim produzindo uma transmissão IVT (BEACHLEY e FRANK, 1979).

A Figura 7 explica as diferenças que fazem a situação de potência regular ou inversa ocorrer, com as duas configurações que são idênticas, exceto em um elemento: o par de engrenagens extra da segunda versão.

Na Figura 7 (a), é possível observar uma transmissão CVT com divisão de potência regular, enquanto na Figura 7 (b), uma transmissão CVT com divisão de potência inversa. Incluídas na Figura 7, estão às setas que mostram as direções de rotações dos eixos, bem como o torque agindo sobre os diferentes eixos (BEACHLEY e FRANK, 1979).

Ainda Beachley e Frank (1979), confirmam que, para a divisão de potência regular (Figura 7(a)), o torque e o sentido de rotação do eixo de caminho mecânico são tão grandes que a sua potência é transmitida para o diferencial. Para a divisão de potência inversa (Figura 7(b)), o par de engrenagens extra (que deve possuir uma grande relação de redução) inverte o sentido de rotação do eixo do setor mecânico. A

exigência de equilíbrio de torque do diferencial, no entanto, limita-o no eixo, resultando na potência retirada do diferencial e transmitida de volta para a entrada.

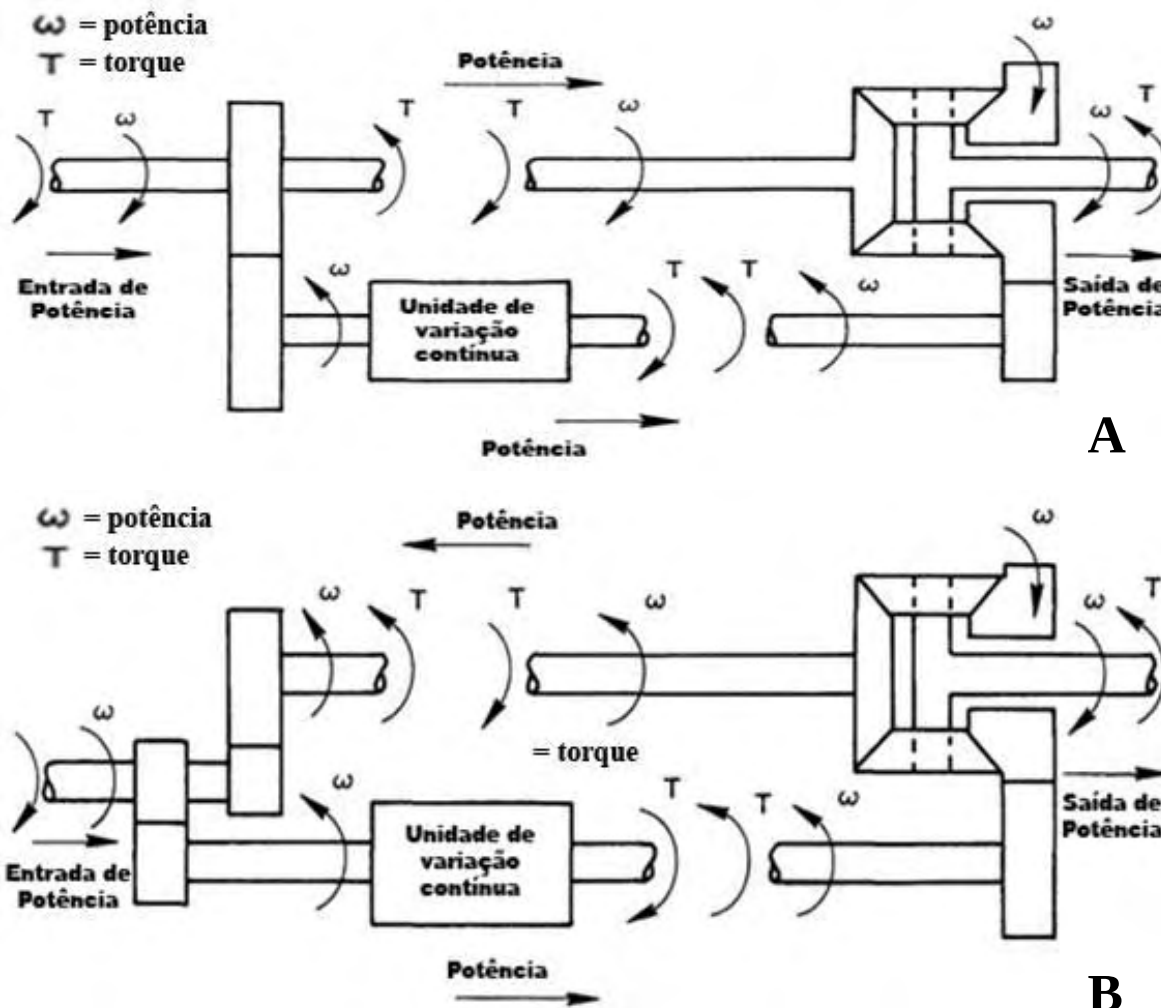


Figura 7. Diagramas de transmissões de variação contínua com divisão de potência regular (a) e inversa (b), mostrando os sentidos de rotação e de torque (Baseado em uma unidade de variação contínua que possui os mesmos sentidos de rotação na entrada e na saída) (Fonte: Beachley e Frank, 1979).

Tanto os princípios de divisão de potência regular e divisão de potência inversa são úteis dependendo das aplicações e das características das CVUs. Também é possível projetar e construir uma transmissão CVT que pode alternar o uso da divisão de potência regular e inversa através de um arranjo de troca de marchas na entrada, que permitiria qualquer sentido de rotação para o eixo de potência mecânica (BEACHLEY e FRANK, 1979).

5.2.3 Transmissão de Variação Contínua com Divisão de Potência (Continuous Variable Power-Split Transmission - CVPST)

Segundo Fox (2003), o CVPST (*Continuous Variable Power-Split Transmission*) é um sistema de transmissão que consiste em um variador e um ou mais conjuntos de engrenagens epicíclicas. O CVPST opera num circuito de alimentação de três eixos onde um dos eixos é a saída ou entrada da transmissão, e os outros dois eixos são ligados por um variador, que é então ligado à entrada ou saída da transmissão.

A ideia básica é dividir a potência de entrada em duas partes, sendo que uma parte da potência é enviada através de um setor de relação variável hidrostática e a parte restante da potência enviada por um setor mecânico (Figura 8), atingindo maior eficiência. As duas partes da potência são então somadas em uma engrenagem diferencial mecânica ou engrenagem planetária (SUN, 2011).



Figura 8. Princípio da Transmissão de variação contínua com divisão de potência (Fonte: Sun, 2011).

Para uma dada velocidade de entrada, tal como ω_{entrada} , duas velocidades são adicionadas na engrenagem planetária, uma fixa e a outra variável, assim, a velocidade de saída $\omega_{\text{saída}}$ é variável. De acordo com o desenho do sistema escolhido, apenas uma parte da potência transmitida é transferida através do caminho de hidrostático (MONIKA, 2000) e a eficiência total do que aquela de uma transmissão CVT direta (RENIUS e RESCH, 2005). A Figura 9 apresenta uma vista detalhada da transmissão continuamente variável com divisão de potência.

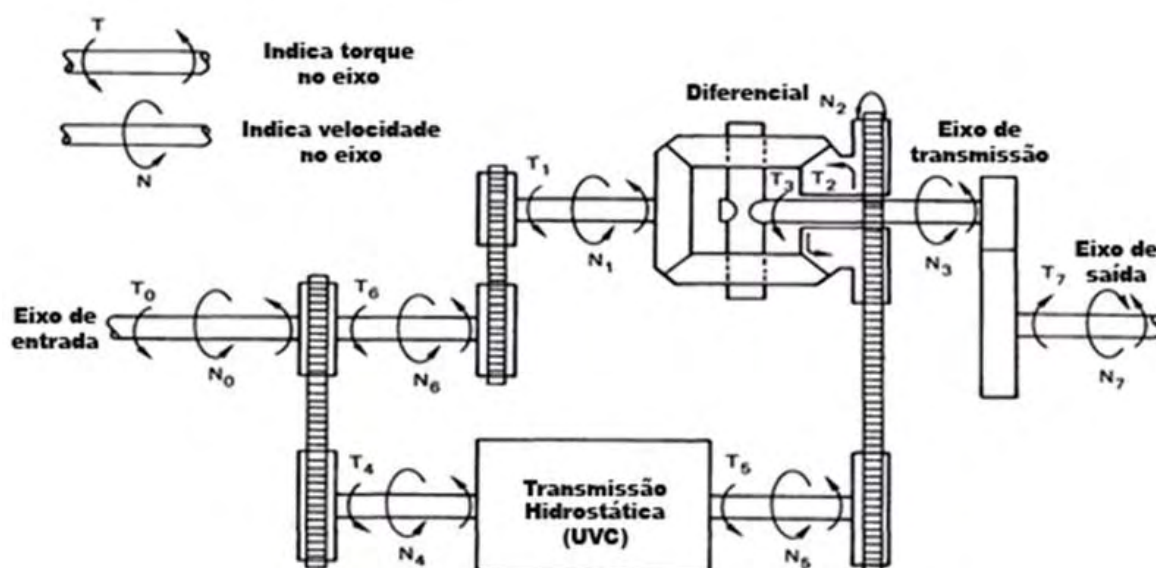


Figura 9. Diagrama esquemático de uma transmissão continuamente variável com divisão de potência (Fonte: Beachley e Frank, 1979).

Segundo Sun (2011), assumindo que a razão de separação é de 70% com a transmissão mecânica e 30% com transmissão hidrostática, com uma eficiência de transmissão mecânica de 95%, e uma eficiência de transmissão hidrostática de 80%. A eficiência global resultante deverá ser de 90,5%.

Esta qualidade é o que tem atraído os engenheiros a este conceito, porque um CVPST pode estender a potência dos mecanismos CVTs atuais. O interesse pelo CVPST vem desde o século passado, mas seu desenvolvimento para usos automotivos tem sido bastante limitado (FOX, 2003).

A primeira indústria a reconhecer as vantagens de combinar a transmissão CVT e um conjunto de engrenagens diferenciais produziu transmissões para equipamentos agrícolas. Estas unidades combinaram uma transmissão hidrostática com engrenagens epícicloidais (FOX, 2003).

Segundo Beccari e Cammalleri (2001), as CVPSTs podem ser projetadas para estender o desenvolvimento de potência de qualquer variador, mas o alcance da transmissão global será reduzido.

O desenvolvimento econômico das transmissões com divisão de potência precisa do apoio, e de ferramentas de simulação que podem, por exemplo, ajudar a identificar as perdas de potência devido à recirculação de potência ou velocidades anormais (alta) de alguma engrenagem. Essas ferramentas também podem evitar surpresas

desagradáveis na fase de protótipo, poupando orçamentos adicionais devido às alterações dos projetos (RENIUS et al., 2006).

5.2.4 Recirculação de potência na divisão de potência modo regular

Algumas transmissões CVT com divisão de potência regular podem operar produzindo recirculação de potência, o que é um pouco semelhante à configuração de divisão de potência inversa. Observa-se esquematicamente, na Figura 10, o que ocorre em tal situação. Comparando esta situação com a Figura 7 (b), nota-se que a diferença significativa é que o poder de recirculação na Figura 10 ocorre através do setor CVU em vez do setor mecânico. O setor mecânico é, então, o único que está sobrecarregado (transmitindo mais do que a entrada do sistema) (BEACHLEY e FRANK, 1979).

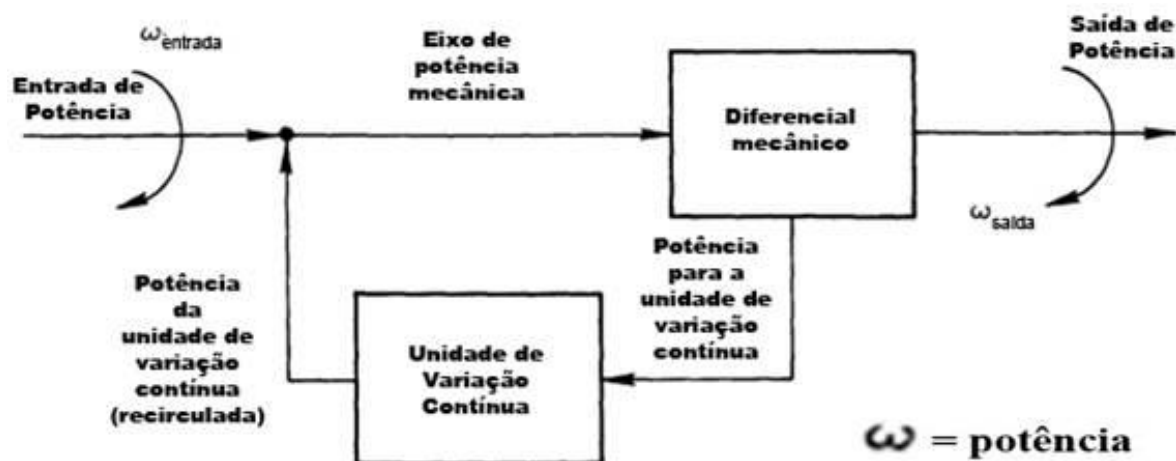


Figura 10. Diagrama esquemático de uma transmissão de variação contínua com divisão de potência quando operando no modo de recirculação de potência (Fonte: Beachley e Frank, 1979).

Segundo Beachley e Frank (1979), para explicar como este tipo de recirculação de potência pode ocorrer, deve-se considerar um sistema de divisão de potência, em que a CVU é uma transmissão hidrostática (Figura 10), com um motor de deslocamento fixo, mais uma bomba de deslocamento variável que tem um curso totalmente reversível.

Para alcançar a máxima variação de relação possível com este sistema, seria necessário variar o curso de bombeamento de um extremo ao outro. Quando o curso da bomba torna-se negativo, no entanto, o motor hidráulico vai rodar na direção negativa. Para manter o mesmo sentido de torque de saída, o torque do motor não pode mudar. Com uma mudança de direção de rotação, mas nenhuma mudança na direção do torque, o motor na realidade torna-se uma bomba e, a partir de um raciocínio semelhante, a bomba de deslocamento variável torna-se um motor. A potência, por consequência, flui para trás, dando o que é conhecido como recirculação de potência (BEACHLEY e FRANK, 1979).

Beachley e Frank (1979) enfatizam que isto pode ocorrer apenas se a CVU for uma IVT, que, para uma dada direção de rotação de entrada, pode-se ter rotação de saída positiva ou negativa. Sendo que a transmissão hidrostática básica é também um IVT (BEACHLEY e FRANK, 1979).

Segundo Beachley e Frank (1979), na prática, geralmente não é desejável permitir muita recirculação de potência, isto é, a bomba permite utilizar apenas uma parte do seu curso negativo. O uso da recirculação de potência máxima, às vezes pode resultar em uma situação extrema, onde a potência que está sendo recirculada é, muitas vezes, a potência de entrada.

Permitir potência extra no circuito interno exigiria maiores rolamentos, engrenagens e semelhantes maiores. Além disso, a maioria das perdas é proporcional à quantidade de potência que está sendo transmitida. Portanto, uma transmissão CVT com divisão de potência projetada para operar com significativa recirculação de potência teria baixa eficiência (BEACHLEY e FRANK, 1979).

5.3 Sistemas Planetários

As transmissões CVT, de acordo com a ASAE (1995), podem ser classificadas em dois grandes grupos: divisão interna (divisão e reunião das duas potências no interior da unidade CVT) e divisão externa (divisão e reunião no exterior da unidade de CVT).

Segundo Renius et al. (2006), em ambos os casos, apenas certa quantidade de potência é transmitida através da unidade de CVT, enquanto o restante é

transmitido mecanicamente, chegando assim a uma eficiência "mista", superior a da unidade de CVT pura.

5.3.1 Engrenagens Planetárias

Um sistema de divisão de potência é constituído, geralmente, por três elementos: um conjunto de engrenagens planetárias, uma unidade de variação contínua e um mecanismo de razão fixa (FR). Os elementos básicos de uma transmissão CVT hidrostática-mecânica de divisão de potência são: eixo de entrada, eixo de saída, conjunto de engrenagens planetárias (PGT), CVU e transmissão mecânica interna (SUN, 2011).

Segundo Fox (2003) e Sun (2011), o coração da CVPST é o conjunto de engrenagens planetárias. O sistema planetário é constituído por uma engrenagem denominada planeta (*Sun* (inglês), *Planeta* (espanhol)), uma engrenagem denominada coroa (*Ring* (inglês), *Corona* (espanhol)) e as engrenagens denominadas satélites (*Planet* (inglês), *Satélites* (espanhol)) acopladas a um suporte de engrenagem que é denominado porta-satélites (*Carrier* (inglês), *Portasatélites* (espanhol)). A Figura 11 ilustra a estrutura do sistema planetário.

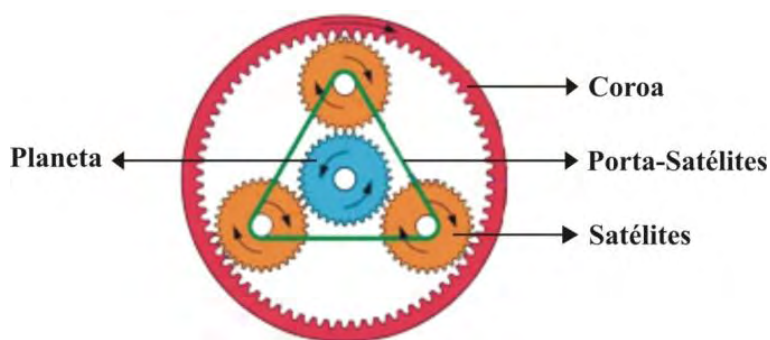


Figura 11. Conjunto de engrenagens planetárias (Fonte: Zhou, 2007).

A velocidade do sistema planetário é definida pelo conjunto de três velocidades (Equação 1): a velocidade da engrenagem planeta, a velocidade da engrenagem coroa e a velocidade do porta-satélites (SUN, 2011).

$$n_s S + n_r R = n_c (S + R) \quad (1)$$

Em que:

n_s = Velocidade de rotação da engrenagem planeta (rpm);

n_r = Velocidade de rotação da engrenagem coroa (rpm);

n_c = Velocidade de rotação da engrenagem planeta (rpm);

S = Número de dentes da engrenagem planeta (unidades);

R = Número de dentes da engrenagem coroa (unidades);

O porta-satélites permite que as engrenagens satélites operem com uma rotação composta permitindo rodarem em torno do seu próprio eixo e girar em torno do eixo central da transmissão. O sistema de engrenagem planetária tem dois graus de liberdade (FOX, 2003 e SUN, 2011).

Conforme Fox (2003), uma vez que existem dois graus de liberdade, o movimento de quaisquer dois elementos devem ser conhecidos a fim de determinar o movimento do terceiro. Devido a esta liberdade de concepção, dois conjuntos de engrenagens planetárias com a mesma razão, podem produzir diferentes relações de velocidade, dependendo de quais componentes estão acoplados. Um projeto cuidadoso deve ser realizado para que a transmissão resultante opere dentro de todos os parâmetros do projeto.

5.3.2 Sistema Planetário Somador

As caixas com sistema planetário somador, utilizam uma combinação das transmissões hidráulica e mecânica, e possuem o sistema de engrenagens planetárias na saída em direção às rodas. Isto proporciona quatro etapas ou escalonamentos, reduzindo assim a porcentagem de potência transmitida hidrostáticamente, produzindo uma melhora da eficiência de transmissão em detrimento do aumento da complexidade da caixa de transmissão como um todo (MÁRQUEZ, 2002).

Segundo Márquez (2002), nesta opção, o ponto de "bloqueio" (quando toda a potência é transmitida mecanicamente) fornece uma relação de transmissão de 0,75 podendo trabalhar o conjunto oferecendo valores de relação de transmissão acima e abaixo deste valor. À medida que a relação de transmissão se afasta da relação do ponto de bloqueio a eficiência da caixa de transmissão é reduzida.

O sistema planetário somador é também sinônimo de divisão de torque. O projeto do sistema planetário somador impõe que uma das unidades hidráulicas esteja ligada ao eixo de entrada. A divisão de torque refere-se ao torque de entrada que é dividido em duas partes e transmitido, via hidrostática e mecânica. As rotações CVU e da unidade mecânica são somadas ao planetário, e finalmente, transmitidas para o eixo de condução (SUN, 2011). A Figura 12 apresenta o esquema completo de transmissão de potência do sistema planetário somador.

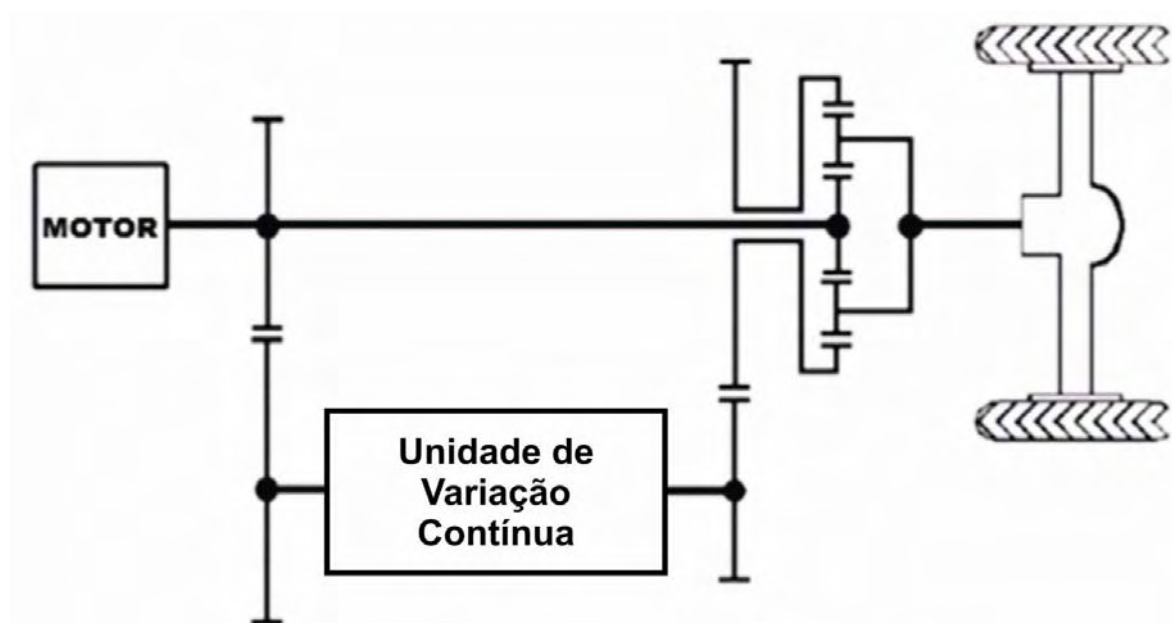


Figura 12. Esquema completo de transmissão de potência do sistema planetário somador (Fonte: Monika, 2010 – modificado pelo autor).

5.3.2.1 Fluxo de potência

O artigo de KRESS (1968) contém os modelos completos de sistemas planetários somador e divisor. O ponto de bloqueio de transmissão é um ponto em que uma transmissão CVT com divisão de potência torna-se puramente mecânica (LINARES et al. 2010).

No ponto de bloqueio o eixo flutuante do sistema planetário fica sem movimento, o setor de transmissão mecânica neste ponto é conhecido como relação de bloqueio. Até a relação de ponto de bloqueio, ocorre uma condição em que a engrenagem “coroa” do sistema planetário é acionada pela unidade hidráulica (2), que atua como um motor. Nesta condição, a circulação de potência é não-regenerativa, ou seja, não ocorre o

retorno da potência através do sistema como se pode observar na Figura 13. Assim esta pode ser uma faixa de operação positiva (SUN, 2011).

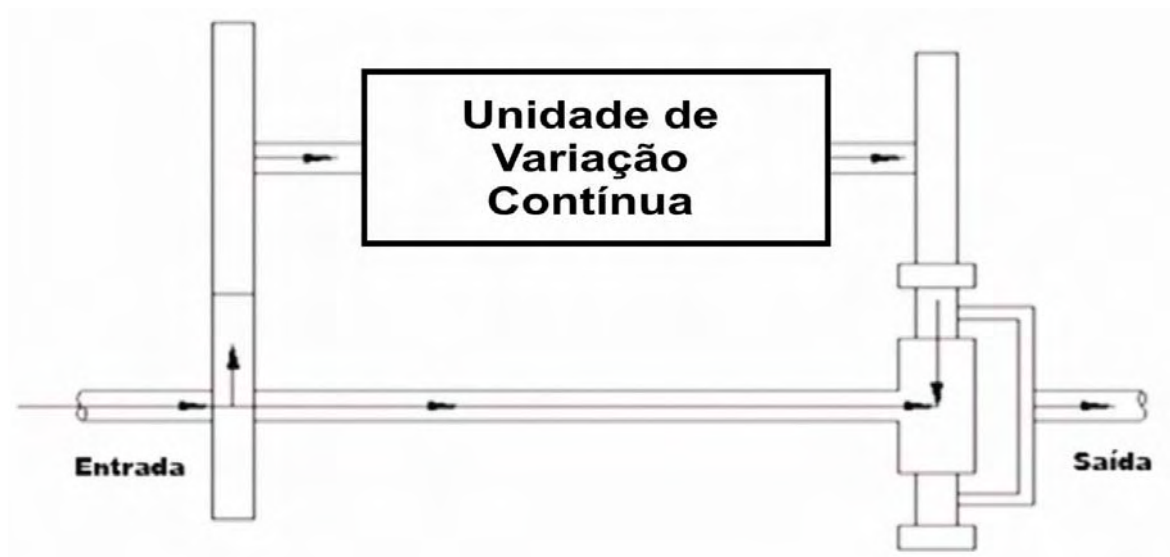


Figura 13. Sistema planetário somador não-regenerativo (Fonte: Sun, 2011).

A partir da relação de ponto de bloqueio, ocorre uma condição na qual o eixo flutuante do sistema planetário, aciona a unidade hidráulica (2), que atua como uma bomba. A potência retorna para a unidade hidráulica (1), que nesta condição atua como um motor, e esta potência é adicionada à potência de entrada, como se pode observar na Figura 14. Neste caso a circulação de potência é regenerativa (SUN, 2011).



Figura 14. Sistema planetário somador regenerativo (Fonte: Sun, 2011).

O diagrama a seguir (Figura 15) mostra os possíveis padrões de fluxos de potência do sistema planetário somador:

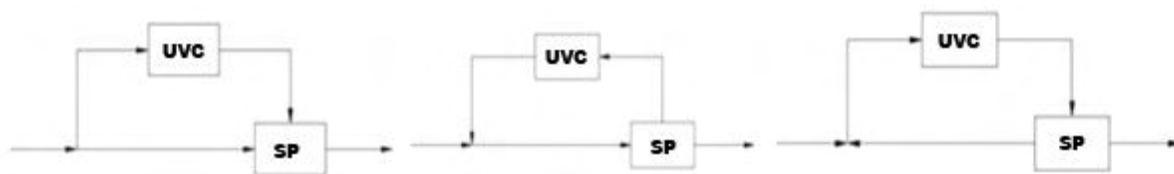


Figura 15. Possíveis fluxos de potência no sistema planetário somador (Fonte: Sun, 2011).

Uma vez que a relação de ponto de bloqueio é conhecida, a distribuição de potência entre os caminhos mecânico e hidrostático podem ser obtidas através das Equações 2 e 3 respectivamente.

$$P_h = 1 - \frac{R_{tl}}{R_t} \quad (2)$$

$$P_m = \frac{R_{tl}}{R_t} \quad (3)$$

Em que:

P_h = Quantidade de energia no caminho hidrostático (kW);

P_m = Quantidade de energia no caminho mecânico (kW);

R_t = Relação de transmissão no caminho mecânico do sistema planetário de engrenagens (unidades); **i**

R_{tl} = Relação de transmissão do ponto de bloqueio (unidades);

5.3.3 Sistema Planetário Divisor

Segundo Márquez (2002), nas transmissões CVT com sistema planetário divisor, o conjunto de engrenagens planetárias encontra-se no eixo de entrada da potência transmitida a partir do motor e, deste sistema planetário saem duas linhas de potência, uma mecânica e a outra hidráulica, que se juntam no eixo de saída da caixa de transmissão para as rodas.

O sistema planetário divisor é sinônimo de divisão de velocidade e soma de torque. A disposição do sistema planetário divisor necessita que uma das unidades hidráulicas esteja ligada ao eixo de saída. A divisão de velocidade refere-se ao fato de que a velocidade de entrada é dividida em duas partes e transmitida por via hidrostática e mecânica (SUN, 2011). A Figura 16 apresenta o esquema completo de transmissão de potência do sistema planetário divisor.

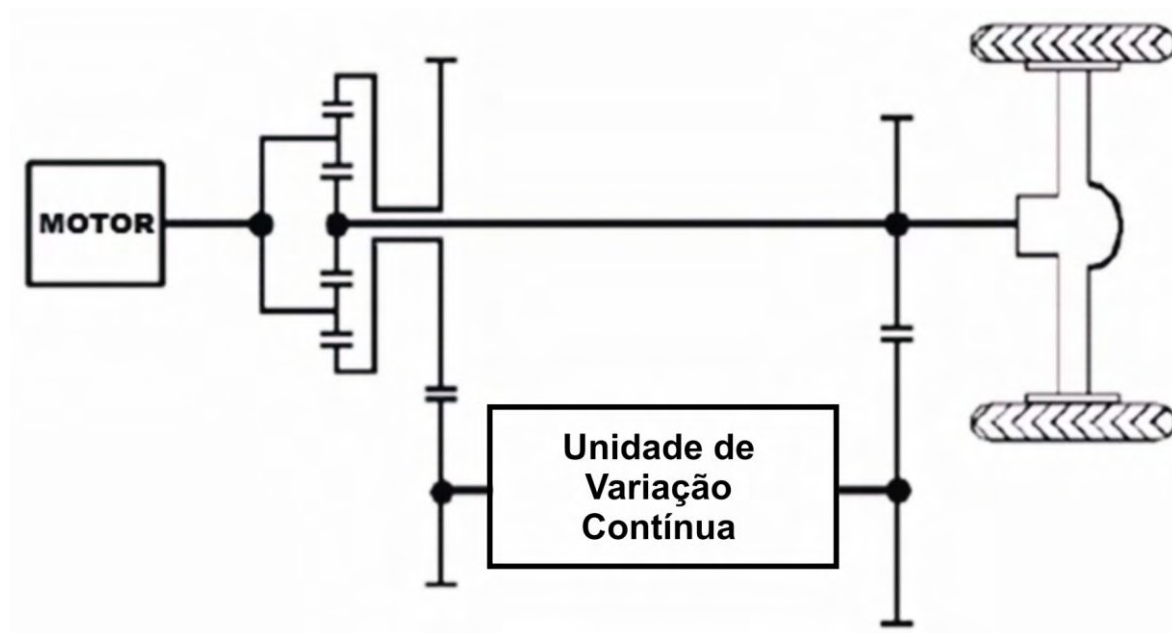


Figura 16. Esquema completo de transmissão de potência do sistema planetário divisor (Fonte: Monika, 2010 – modificado pelo autor).

Na porção hidráulica, assim como em qualquer unidade de transmissão hidrostática, haverá uma unidade de acionamento e uma unidade de recepção do fluido, que por sua vez é responsável pela transmissão de potência (a bomba e o motor podem ter suas funções invertidas). Pelo menos uma dessas unidades possui capacidade variável, o que permite ajustar a velocidade do eixo de saída para tipo do trabalho que o trator está executando, mantendo constante a rotação do motor, mesmo à custa de perdas energéticas superiores do que as obtidas em uma transmissão puramente mecânica (MÁRQUEZ, 2002).

Márquez (2002), ainda afirma que essas perdas aumentam à medida que a potência transmitida como "hidráulica" é maior, o que acontece quando se tenta

trabalhar mais lentamente, algo habitual nas operações agrícolas que exigem mais potência, preparo de solo.

5.3.3.1 Fluxo de potência

Do mesmo modo que o sistema planetário somador, a unidade hidráulica pode agir tanto como bomba ou motor, subtraindo potência e torque se atuando como uma bomba e adicionando potência e torque se atuando como um motor (KRESS, 1968).

Conforme Sun (2011), enquanto a relação de transmissão do setor mecânico for menor que a relação do ponto de bloqueio, o membro flutuante do sistema planetário aciona a unidade (2), esta é uma condição favorável não-regenerativa. O fluxo de potência é apresentado na Figura 17.

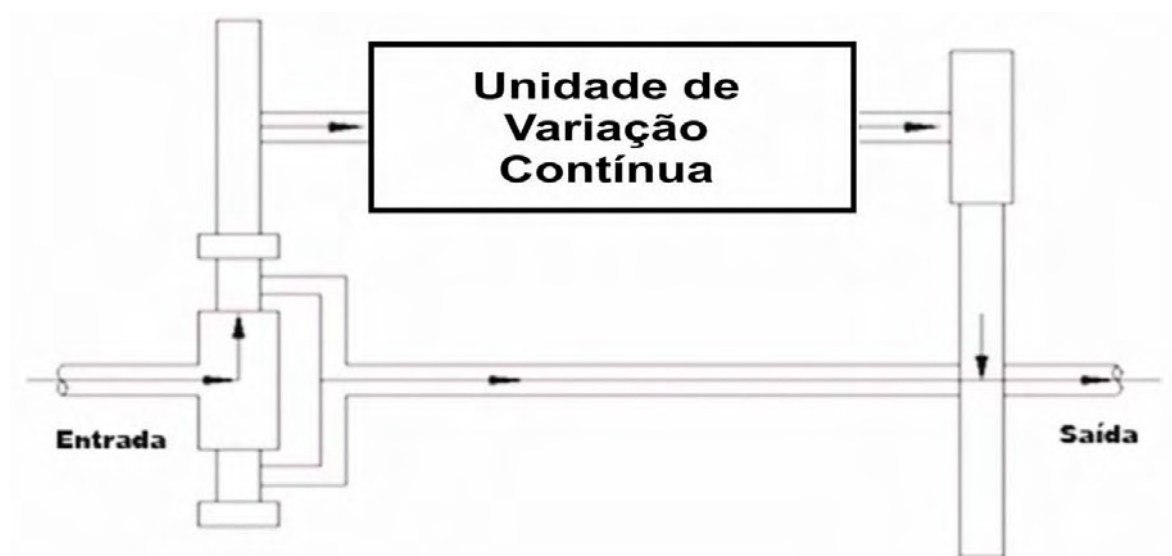


Figura 17. Sistema planetário divisor não-regenerativo (Fonte: Sun, 2011).

A partir da relação de ponto de bloqueio, o membro flutuante do sistema planetário é acionado pela unidade (2), esta é uma condição regenerativa de circulação de potência (SUN, 2011), o fluxo de potência é apresentado na Figura 18.

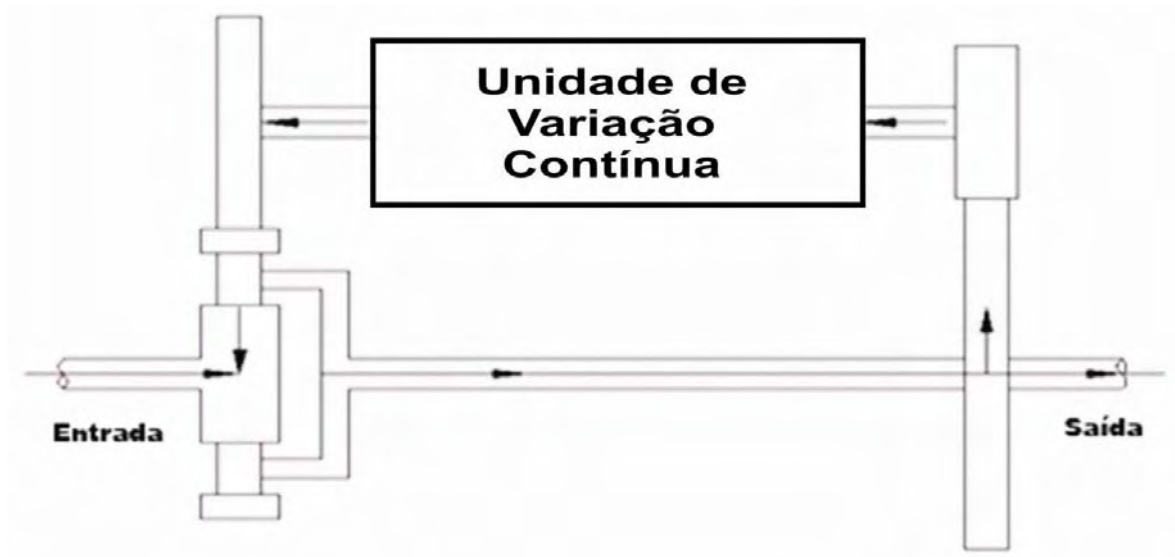


Figura 18. Sistema planetário divisor regenerativo (Fonte: Sun, 2011).

A Figura 19 mostra os possíveis padrões de fluxos de potência do sistema planetário divisor.

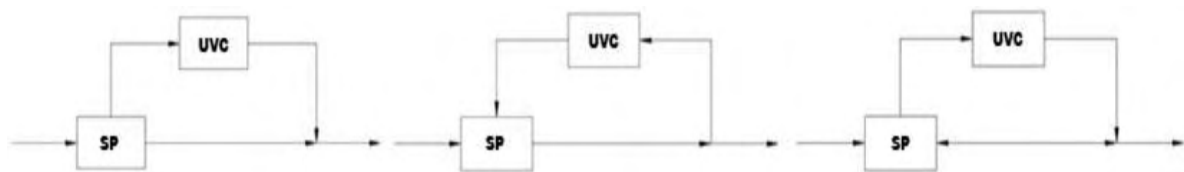


Figura 19. Possíveis fluxos de potência no sistema planetário divisor (Fonte: Sun, 2011).

Conhecida a relação de transmissão do ponto de bloqueio, é possível calcular a porção de potência que percorre o caminho hidrostático (Equação 4), e o caminho mecânico (Equação 5).

$$P_h = 1 - \frac{R_t}{R_{tl}} \quad (4)$$

$$P_m = 1 - P_h \quad (5)$$

Em que:

P_h = Quantidade de energia no caminho hidrostático (kW);

P_m = Quantidade de energia no caminho mecânico (kW);

R_t = Relação de transmissão no caminho mecânico do sistema planetário de engrenagens (unidades);

R_{tl} = Relação de transmissão do ponto de bloqueio (unidades);

5.4 Linguagem de programação Java

Segundo Lins (2006), as linguagens de programação são codificações utilizadas para escrever programas, que podem ser utilizados por humanos ou máquinas. Assim como as linguagens humanas, as linguagens de computação possuem regras sintáticas, responsáveis pela sua forma e estrutura semântica que garantem sua correta definição.

Conforme relatado por Alves (2005), uma das principais metas das linguagens de programação é permitir uma maior produtividade aos programadores, permitindo expressar suas intenções mais facilmente comparadas à linguagem que um computador entende (código de máquina). Assim, as linguagens de programação são projetadas para adotar uma sintaxe de nível mais alto, que pode ser mais facilmente entendida por programadores humanos. As linguagens de programação são ferramentas importantes para que os programadores e engenheiros de *software* possam escrever programas mais organizados e com maior rapidez.

Diversas linguagens de programação foram criadas para os mais variados domínios de aplicação. Exemplos destes domínios são as aplicações científicas, aplicações comerciais, inteligência artificial, programação de sistemas e linguagens de propósitos especiais (SEBESTA, 2011).

Em 1991 a empresa *Sun Microsystems*, financiou um projeto de pesquisa corporativa interna que resultou em uma linguagem baseada em C++ que seu criador, James Gosling, chamou de *Oak* (em inglês significa carvalho) em homenagem a uma árvore de carvalho vista por ele através de sua janela da Sun. Descobriu-se mais tarde que já havia uma linguagem de computador com esse nome. Quando uma equipe da Sun visitou uma cafeteria local, o nome Java (cidade de origem de um tipo de café importado) foi sugerido e o nome se tornou popular (DEITEL e DEITEL, 2010).

Segundo Oracle (2012), a linguagem de programação Java foi desenvolvida pela *Sun Microsystems* no início da década de 90. Ela pode ser caracterizada como sendo orientada a objetos, independente de plataforma e multitarefa.

Conforme Deitel e Deitel (2010), a *Sun Microsystems* anunciou finalmente o Java em uma conferencia do setor em Maio de 1995, ele chamou a atenção da comunidade de negócios por causa do enorme interesse na Web. O Java é agora utilizado para desenvolver aplicativos corporativos de grande porte, aprimorar a funcionalidade de servidores da Web, fornecer aplicativos para dispositivos voltados ao consumo popular (como telefones celulares) e para muitos outros propósitos.

No lançamento para o público da versão 1.02, o Java agradou os programadores com sua sintaxe amigável, recursos orientados a objetos, gerenciamento de memória e, o melhor de tudo, a promessa de portabilidade, ou seja, a possibilidade de escrever uma vez e executar em qualquer lugar (SIERRA e BATES, 2005).

Segundo Doherty e Manning (1998) e Bueno (2001), Java é uma linguagem de programação orientada a objetos com uma sintaxe semelhante ao C e C++, embora mais simples.

O projeto orientado a objetos fornece uma maneira natural e intuitiva de visualizar o processo de projeto de *software*. É possível modelar objetos por seus atributos e comportamentos assim como se descreve os objetos do mundo real. A orientação a objetos, também modela a comunicação entre objetos. Assim como as pessoas trocam mensagens entre si, os objetos também se comunicam via mensagens (DEITEL e DEITEL, 2010).

Conforme Almeida (2005), dentre as linguagens que suportam o paradigma de programação orientada a objetos, as mais utilizadas são C++ e Java sendo esta mais apropriada devido a vários aspectos que não são encontrados em C++. Entre estes aspectos, quatro são particularmente relevantes: desempenho numérico; capacidade de reutilização do *software* e suporte a persistência dos dados.

Segundo Hamilton (1996) e Gulbransen e Rawlings (1996), a principal vantagem do Java é que as aplicações são completamente portáteis. Uma vez que o código é escrito, não há a necessidade de adaptá-lo ou mesmo recompilá-lo. Para um programa qualquer executa-lo em um computador, ele deve primeiro ser traduzido de uma linguagem Pascal ou C++ para a linguagem de máquina, o que é feito pelo compilador. Como geralmente os *softwares* já vêm compilados, devem ser criadas diferentes versões para plataformas diferentes.

Doherty e Manning (1998), afirmam que a linguagem Java foi projetada especificamente para ser independente de plataforma. Isso significa que

programas escritos em Java podem ser compilados uma vez e ser executados em qualquer máquina que suporte Java independente de sua plataforma.

Segundo Almeida (2005) e Goes (2007), a linguagem de programação Java independe do sistema operacional, pois utiliza um processo diferente de compilação ou interpretação dos tradicionalmente conhecidos. Um interpretador é como o nome indica, um programa que interpreta diretamente as frases do programa fonte, isto é, simula a execução dos comandos desse programa sobre um conjunto de dados. A interpretação de programas escritos em uma determinada linguagem define uma “Máquina Virtual”, na qual é realizada a execução de instruções dessa linguagem.

A equipe de desenvolvimento da linguagem Java criou uma camada específica de plataforma, chamada de Máquina Virtual Java (*Java Virtual Machine* – JVM), que faz a interface entre o *hardware* e o programa. Quando é instalado um navegador que suporta o Java em um computador, por exemplo, uma cópia do interpretador Java também é instalada, o que permite que o navegador execute *applets* (mini aplicativos) e seu sistema execute programas independentes em Java (DOHERTY e MANNING, 1998).

Conforme Almeida (2005), um ambiente de programação Java é constituído de um compilador (2) Java, que através de um código-fonte (1) gera um código de mais baixo nível, chamado *bytecodes* (3), que é então interpretado. Um interpretador de *bytecodes* (termo sem tradução para a língua portuguesa designado para denominar uma forma intermediária de código interpretada pelas JVM) interpreta instruções da JVM (4) (Figura 20).

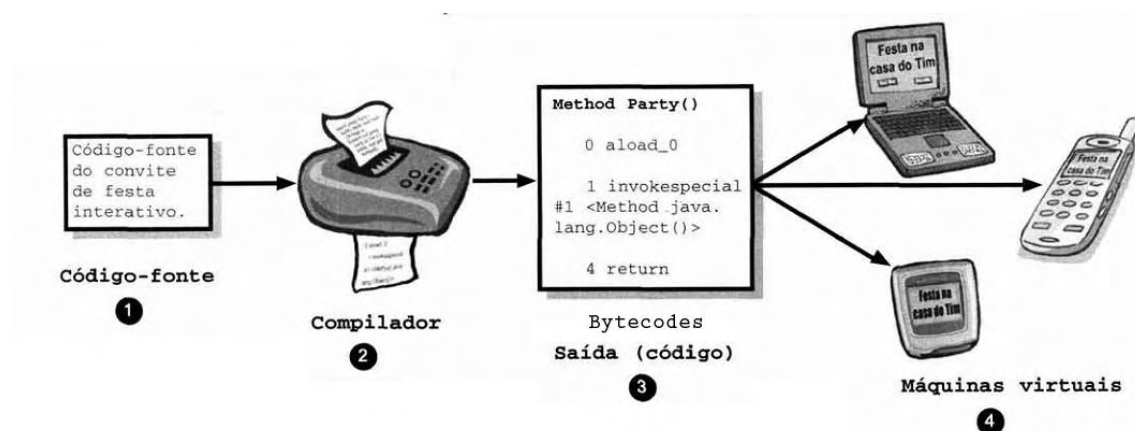


Figura 20. Ilustração do ambiente de programação Java (Fonte: Sierra e Bates, 2011 – modificado pelo autor).

Ao invés de produzir instruções específicas para máquinas distintas, o compilador Java produz *bytecodes* independente de plataforma. A JVM traduz o *bytecode* em instruções específicas para a máquina em uso. A JVM é instalada na máquina do usuário, ou como parte de um navegador ou como parte de um sistema operacional (HAMILTON, 1996 e GULBRANSEN e RAWLINGS, 1996).

Segundo Vernners (2000) e Oracle (2012), quando se fala sobre Java é importante distinguir as quatro tecnologias inter-relacionadas: a Linguagem de Programação Java, o formato de arquivos *class* do Java, a Java API (Interface de Programação de Aplicativo) e a JVM. A linguagem de programação Java é a linguagem nos quais aplicações Java são escritas. Diferentemente de outras linguagens de programação que compilam ou interpretam um programa para que ele seja executado na linguagem Java os programas são compilados e interpretados. O compilador inicialmente transforma o código-fonte do programa (arquivos com a extensão .java) em arquivos *class* do Java (com extensão .class). Um texto do *class* não contém o código que é nativo a seu processador; contém os *bytecodes*, ou seja, a linguagem de máquina da JVM. Esses arquivos são interpretados pela JVM. Na execução do programa, alguns recursos do sistema, tais como entrada e saída (I/O), que são implementados nas classes da Java API, são acessados. A Figura 21 apresenta uma visão geral do relacionamento entre as quatro tecnologias.

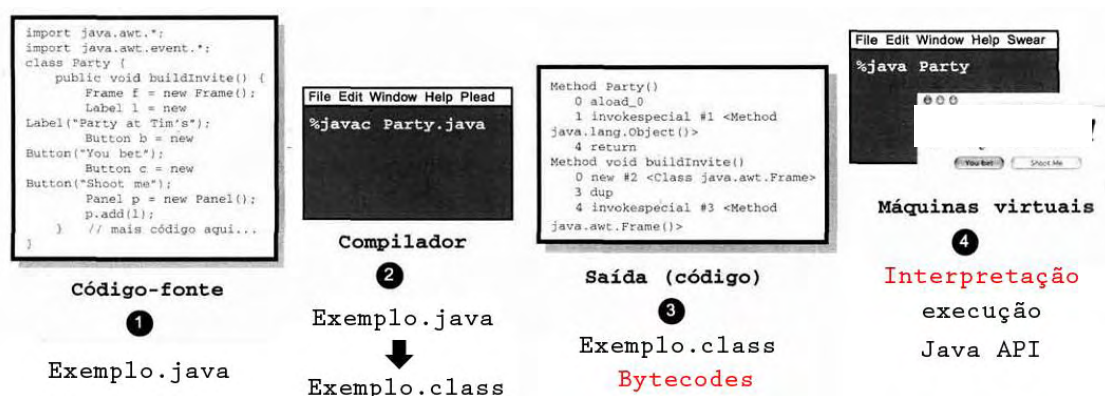


Figura 21. Visão geral do relacionamento entre as tecnologias (Fonte: Sierra e Bates, 2011 – modificado pelo autor).

Hamilton (1996) e Gulbransen e Rawlings (1996), afirmam que as aplicações em Java também são mais robustas que aplicações correspondentes em C ou C++, porque um sistema de execução Java ou JVM, gerencia toda a memória. As mesmas

características que fornecem robustez também oferecem segurança, mesmo quando as aplicações navegam pela internet (*download*), pois o JVM possui mecanismos de segurança que protegem contra interferências indevidas. As aplicações que executam tarefas concorrentes são mais rápidas, pois o Java possui suporte próprio para tratamento de concorrência.

No trabalho de Nikishkov (2003) e Nikishkov et al. (2003) foi comparado o desempenho do código para elementos finitos desenvolvido em Java e do código análogo em C++, para solução de problemas de elasticidade tridimensional. Para executar o código Java foram feitos testes empregando as versões 1.1, 1.2, 1.3, e 1.4 da JVM, mostrando que o uso de diferentes JVM pode levar a uma diferença considerável de desempenho. Através da visualização dos gráficos de desempenho obtidos para o cálculo de matriz de rigidez percebeu-se que a melhor JVM para resolver o problema é a 1.2 e que essa é ainda mais eficiente do que C++.

Para criar um programa em Java, como em qualquer outra linguagem de programação, onde o código fonte é compilado, o programador deve transcrever seu algoritmo para o código fonte da linguagem, utilizando qualquer editor de texto ou editores desenvolvidos especialmente com suporte a recursos especiais para a linguagem Java, para facilitar a programação como os editores denominados Eclipse, NetBeans, jDeveloper, jBuilder, jEdit, entre outros (DEITEL e DEITEL, 2010).

Conforme comentado por Deitel e Deitel (2010), programadores Java concentram-se na elaboração de novas classes e reutilização de classes existentes. Existem muitas bibliotecas de classe e outras estão sendo desenvolvidas em todo mundo. O *software* é então construído a partir de componentes amplamente disponíveis, portáteis, bem-documentados e cuidadosamente testados e bem definidos. Esse tipo de capacidade de reutilização de *software* acelera o desenvolvimento de programas de alta qualidade.

A linguagem de programação Java tem vantagens significativas sobre outras linguagens e outros ambientes que fazem sua utilização satisfatória para qualquer tarefa de programação em consequência disso tornou-se uma das linguagens de programação mais utilizadas atualmente (GOES, 2007 e SILVA et al., 2001).

5.5 Banco de dados MySQL

Machado e Abreu (2009) definem banco de dados como uma coleção de fatos registrados que refletem o estado de certos aspectos de interesse do mundo real.

Segundo Norton (2004), um banco de dados é o depósito de conjuntos de dados relacionados, onde as informações podem ser acrescentadas e extraídas segundo a vontade do usuário.

Bancos de dados são coleções de dados relacionados que permitem o armazenamento e a consulta de informações através de uma linguagem padrão o SQL (Linguagem Estruturada de Consulta – *Structured Query Language*). Interfaces padrões, como ODBC (Conectividade de Banco de dados Aberta – *Open DataBase Connectivity*) e JDBC (Conectividade de Banco de dados Java – *Java DataBase Connectivity*), permitem a conexão entre aplicativos e banco de dados, tornando os bancos de dados canais de comunicação entre diversos aplicativos (COOK e DAS, 2005 e ELMASRI e NAVATHE, 2011). Verificar ou retirar.

Segundo Alves (2005), para se ter um banco de dados, são necessários três ingredientes principais: uma fonte de informação, a partir da qual os dados são derivados; uma interação com o mundo real e um público (grupo de usuários) que demonstra interesse nos dados contidos no banco.

Machado e Abreu (2009) separam a descrição da informação em um banco de dados em três níveis. O primeiro deles, chamado modelo conceitual, representa a realidade do problema do ambiente, constituindo-se em uma visão global dos principais dados e relacionamentos, independente das restrições de implementação. O modelo conceitual, segundo os autores, é a primeira etapa do projeto de um sistema de aplicação em banco de dados. O segundo nível é o modelo lógico, que descreve as estruturas que estarão contidas no banco de dados. O terceiro nível, chamado modelo físico, descreve as estruturas físicas de armazenamento de dados, tais como tamanho de campos e índices.

Um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) é um conjunto de programas que permitem aos usuários criar e manter um banco de dados. Entre os SGBD, o MySQL se destaca por ser um *software* de licença livre, portátil e compatível com diversas linguagens de programação e utiliza a linguagem SQL como interface. Sua

interface permite manipular dados através de funções como recuperação de dados específicos, criação e atualização de tabelas, entre outras. O compartilhamento permite aos múltiplos usuários e programas acessar, de forma concorrente, o banco de dados (ELMASRI e NAVATHE, 2011).

Segundo Camargo (2005) o MySQL é um banco de dados relacional que utiliza o SQL como forma de acessar e manipular dados armazenados. O MySQL é um sistema de banco de dados robusto, rápido, multitarefa, multiusuário, podendo ser utilizado embutido em um programa de uso em massa, com alta carga e missão crítica. Este SGBD pode ser usado para vários fins, como: uma simples lista de compras, uma galeria de imagens ou uma grande quantidade de dados de uma rede corporativa.

O MySQL foi originalmente desenvolvido pela empresa sueca TCX, que precisava de um servidor de banco de dados operando com grandes escalas de dados, rapidamente e sem exigir caríssimas plataformas de *hardware*. A TCX opera desde 1996 com 40 bancos de dados, contendo 10.000 tabelas, das quais 500 têm mais de 10 milhões de linhas (MORAZ, 2005).

Ullman (2003) afirma que o MySQL é um gerenciador de banco de dados multiusuário, que dá ao *software* a possibilidade de trabalhar em rede com diversos acessos simultâneos, e multitarefas, características que permite repartir a utilização do processador entre várias tarefas, simultaneamente.

Conforme descrito por Cancian (2006) e Moraz (2005) o banco de dados MySQL é um servidor multi-threaded, isto é cria múltiplos processos de execução em um único processo para atender solicitações simultâneas e também possui um sistema avançado de segurança.

Cancian (2006), afirma que a partir da versão 4, o MySQL conta com controle automático de transações e concorrência. No caso de alguma falha de execução, o gerenciador de transações emite uma ordem para o cancelamento de todas as instruções da transação (*rollback*) ou, caso contrário, para sua efetivação (*commit*), garantindo assim a conformidade e fazendo a validação das informações antes do armazenamento. O gerenciador de concorrência evita o bloqueio de tabelas ou que o sistema trave no caso de duas transações concorrerem entre si. Outra ferramenta importante para garantir a integridade das informações é o gerenciador de registros de atividades (*log*), que registra todas as instruções SQL executadas para restabelecer o

sistema caso ocorra alguma eventualidade, tal como quedas de energia ou problemas no sistema operacional. Além disso, os arquivos provenientes do gerenciador de registros de atividades podem ser utilizados para eventuais auditorias no sistema.

O Instituto Nacional Americano de Normas (*American National Standards Institute* – ANSI) é uma organização voluntária da indústria e comércio nos Estados Unidos que, juntamente com a Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission* – IEC) e com a Organização Internacional de Normatização (*International Organization for Standardization* – ISO), controla os padrões de normas técnicas nos Estados Unidos de acordo com os padrões internacionais. O MySQL é compatível com o padrão normalmente referenciado como SQL-92, que é o mais difundido e utilizado pelos gerenciadores de bancos de dados relacionais (MYSQL, 2012).

O MySQL é um sistema gerenciador de banco de dados relacionais, ou seja, utiliza um conjunto de tabelas para armazenar as informações, construído em múltiplas camadas. Por seu alto desempenho aliado à consistência, confiabilidade e facilidade de uso, o MySQL é um dos servidores de dados mais utilizados no mundo (CANCIAN, 2006).

Conforme Niederauer (2011), o MySQL é uma alternativa atrativa porque, mesmo possuindo uma tecnologia complexa de banco de dados, seu custo é baixo. Tem como destaque suas características de velocidade, escalabilidade e confiabilidade, o que vem fazendo com que ele seja adotado por departamentos de Tecnologia da Informação (TI), desenvolvedores de páginas na internet e vendedores de pacotes de *software*.

O MySQL foi escolhido para ser o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) por ser um banco de dados SQL, confiável, robusto, gratuito, estável, portátil para diferentes plataformas assim como a linguagem de programação Java e oferecer um alto nível de segurança (PORTO et al., 2007 e MYSQL, 2012).

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Local do experimento

O desenvolvimento do aplicativo e os ensaios para sua verificação e validação, foram realizados no Departamento de Engenharia Rural pertencente à *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos* (ETSIA), da *Universidad Politécnica de Madrid* (UPM) (Figura 22), localizada na cidade de Madrid, Espanha.



Figura 22. Escola Técnica Superior de Engenheiros Agrônomos (ETSIA), da Universidade Politécnica de Madrid.

6.2 Microcomputador

Para o desenvolvimento do programa computacional foi utilizado um notebook com a seguinte configuração:

- Processador: Core™ 2 duo 1.66 GHz;
- Memória: 2 Gigabytes – DDR2 SDRAM 667 MHz;
- Disco Rígido: 120 Gigabytes – SATA;
- Wireless: Padrão 802.11 b/g, adaptador mini PCI;
- Modem: Motorola SM56 Data Fax Modem;
- Ethernet: 10/100Mbps onboard;

As outras configurações não mencionadas, não representam nenhuma vantagem ou desvantagem para o desenvolvimento do aplicativo.

6.3 Linguagem de programação

A linguagem de programação escolhida para o desenvolvimento do aplicativo foi a linguagem Java utilizada a partir do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) *NetBeans* versão 6.9.1 (Figura 23). O Java foi escolhido porque além de ser uma linguagem de programação com diversos recursos, como visto na revisão bibliográfica e através dela é possível desenvolver um ambiente totalmente intuitivo ao usuário final, facilitando sua interação com as funcionalidades do aplicativo.



Figura 23. Linguagem de programação Java através da IDE *Netbeans*.

6.4 Banco de dados

O Banco de Dados utilizado como base de dados para o aplicativo foi o MySQL Server 5.5 (Figura 24), sendo escolhido por ser um banco de dados robusto com diversas funcionalidades e porque é distribuído gratuitamente, conforme também descrito na revisão bibliográfica.



Figura 24. Área de trabalho do software de banco de dados MySQL Server 5.5.

Na Figura 25 é possível observar a estrutura do banco de dados utilizado pelo aplicativo desenvolvido.

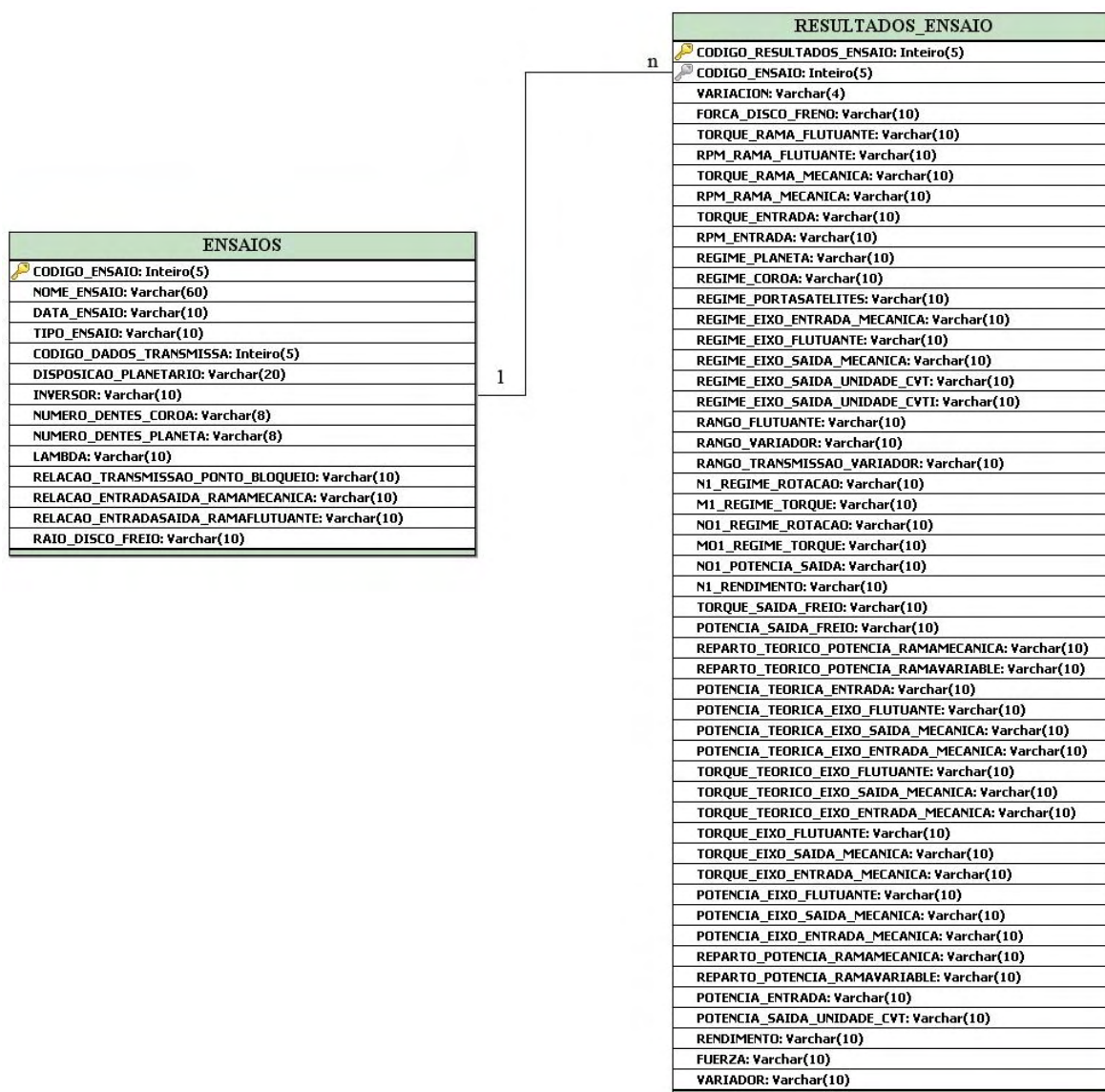


Figura 25. Descrição dos campos, tabelas e relacionamentos do banco de dados do aplicativo.

6.5 Maquete Docente de Transmissão Contínua (*Maqueta Docente de Transmisión Continua* – MDTC)

O aplicativo desenvolvido teve como base para configuração execução e confirmação dos dados obtidos a Maquete Docente de Transmissão Contínua (*Maqueta Docente de Transmisión Continua* - MDTC) (HERRANZ, 2005, ALMARZA DE JUAN, 2006, GONZALEZ, 2009 e LLORENTE, 2009). A MDTC foi criada em 2005, pelo Departamento de Engenharia Rural da Escola Técnica Superior de Engenheiros Agrônomos, através do grupo de pesquisa “*Tractores y Laboreo*”, com a finalidade de

desenvolver uma maquete de caráter didático das transmissões de variação contínua (Figura 26).



Figura 26. Maquete Docente de Transmissão Contínua.

A MDTC consiste na representação, em escala menor, do sistema de transmissão de potência de um trator agrícola equipado com uma transmissão CVT com divisão de potência.

A MDTC pode assumir o comportamento de quatro diferentes tipos de construções de uma transmissão CVT com divisão de potência (Tabela 3) sendo que cada um desses tipos de construção apresentam comportamento e eficiência diferentes. Através da MDTC foi possível realizar ensaios de bancada para verificar e entender o comportamento cinemático e dinâmico de cada um dos quatro tipos de construção da transmissão CVT, assim como avaliar os desempenhos e formas de transmissão de potência (kW), rotação (rpm) e torque (N.m) em diferentes condições de trabalho.

A MDTC estava sendo utilizada nas aulas práticas das disciplinas de “*Vehículos Todo-Terreno*”, “*Tractores*” e “*Motores y Máquinas Hidráulicas*”. Nas

aulas práticas realizavam-se as tomadas de dados para que os alunos estudassem o comportamento cinemático e dinâmico da transmissão e analisassem os parâmetros do projeto da transmissão.

Tabela 3. Possíveis configurações da MDTC.

Configuração	Posição Planetário	Posição Inversor
1	Somador	Esquerda
2	Somador	Direita
3	Divisor	Esquerda
4	Divisor	Direita

6.5.1 Disposição dos componentes na MDTC

A Figura 27 apresenta a disposição de todos os componentes da MDTC para a melhor compreensão de sua estrutura e funcionamento.

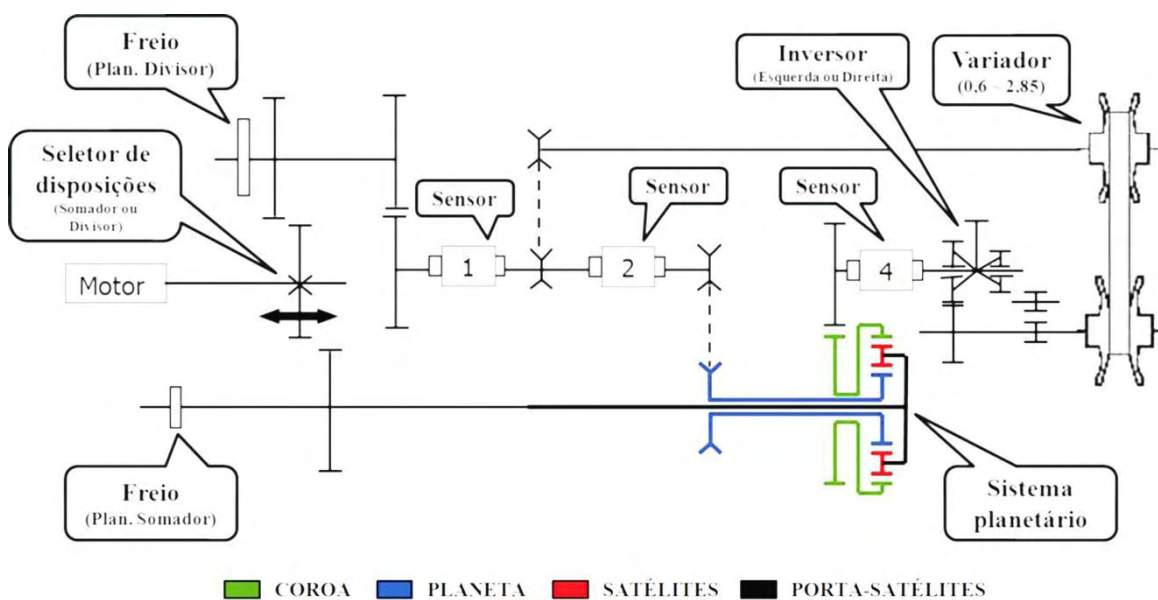


Figura 27. Disposição dos componentes da maquete.

6.5.2 Motor

Um motor elétrico foi utilizado para simular a entrada de energia do motor à combustão ao circuito da transmissão CVT. O motor possuía 1,85 kW de potência e trabalhava com uma rotação constante de 1.490 rpm, passando por uma redução com relação de 1/25, fazendo com que o poder de rotação transmitido ao circuito CVT fosse de 60 rpm. Na Figura 28, podem ser observados o motor e o redutor.

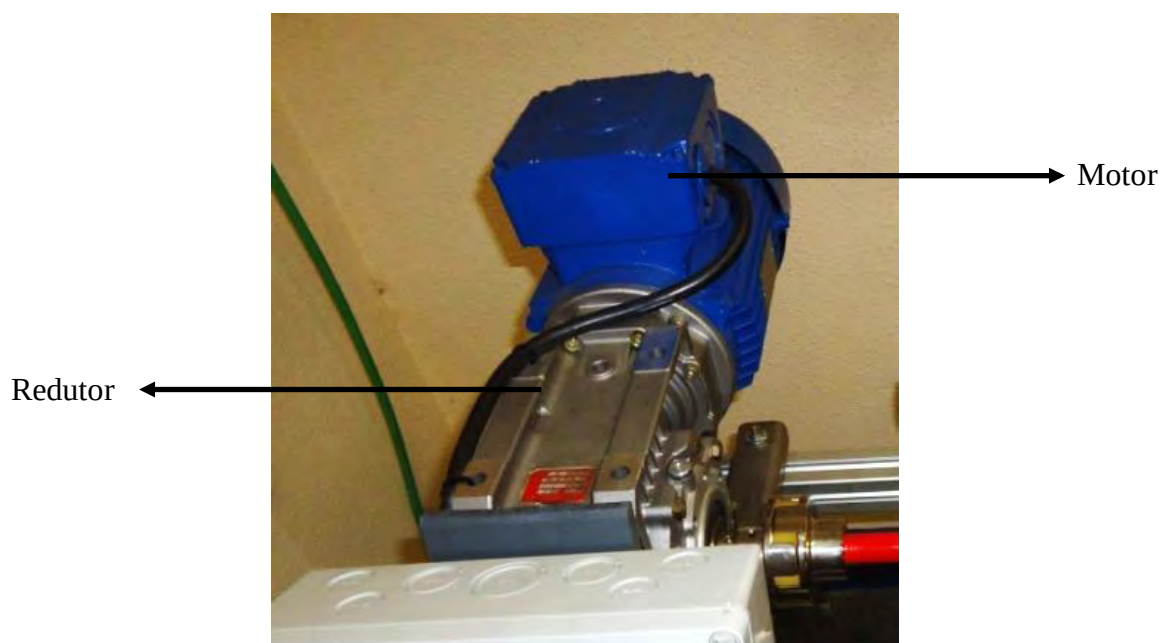


Figura 28. Motor e redução.

6.5.3 Freio

Para a aplicação da carga de frenagem na MDTC, foram utilizados dois freios tipo “pinça”, sendo um freio correspondente à configuração planetário somador e outro à configuração planetário divisor (Figura 29). Cada freio era composto por um disco de freio mecânico de metal com o raio conhecido de 0,075 (mm) para o planetário somador e de 0,115 (mm) para o planetário divisor. A frenagem do disco de freio era realizada através de duas pastilhas de freio acionadas manualmente. Também foram instaladas células de carga nos freios para mensurar a força que as “pinças” exerciam nos discos de freio.

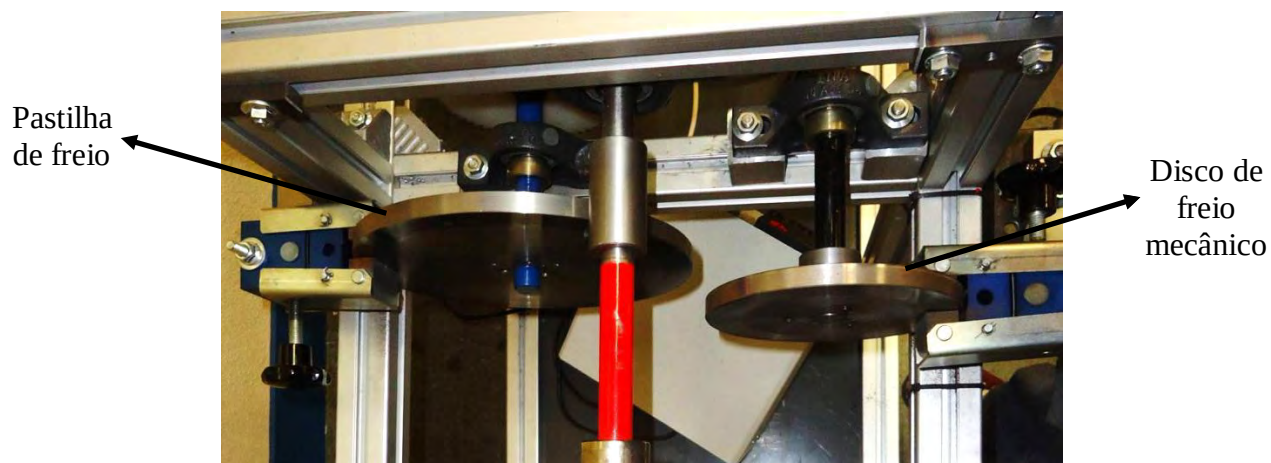


Figura 29. Freio de acionamento manual e células de carga contidas na Maquete.

6.5.4 Mensuração de torque e rotação

Para mensurar o torque e a rotação nos eixos de entrada e saída são utilizados três sensores (Figura 30), instalados nos eixos com capacidade de medição do torque (até 100 N.m.) e da rotação (até 4.000 rpm).

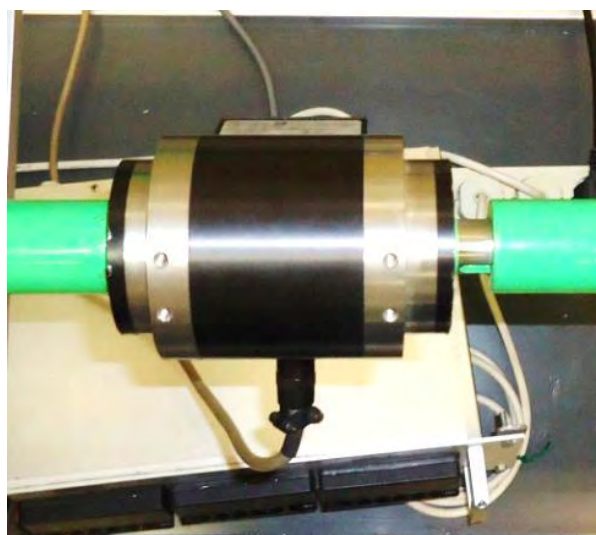


Figura 30. Sensor utilizado para a mensuração de rotação e torque.

6.5.5 Visores eletrônicos

Para visualizar os dados gerados através de cada sensor de rotação e de torque de cada eixo, foram utilizados dois visores eletrônicos (um para exibir a rotação e outro para o torque). Para a exibição dos valores das células de carga instaladas

nos freios, foi utilizado um dispositivo eletrônico de exibição para cada disposição da MDTC (Sistema planetário somador e Sistema planetário divisor). Ao todo são utilizados seis dispositivos eletrônicos de exibição para exibir os dados gerados através dos três sensores de torque e rotação e dois dispositivos para a exibição dos valores referentes às células de carga. Na Figura 31, é possível observar com detalhes, os dispositivos eletrônicos de exibição referentes aos sensores de torque e rotação.



Figura 31. Visores eletrônicos para a exibição dos dados de rotação e torque.

6.5.6 Sistema planetário

O conjunto de engrenagens planetárias utilizadas era o mesmo utilizado pelo trator Fendt Vario 400 (Sistema Planetário Simples) cedido pela empresa AGCO Iberia S.A.¹ A configuração das engrenagens planetárias utilizadas é apresentado na Tabela 4. A Equação 6 é utilizada para o cálculo da relação de dentes entre a engrenagem planeta e a engrenagem coroa (λ).

Tabela 4. Dados mecânicos das engrenagens do sistema planetário.

Características do Sistema Planetário	
Coroa	58 dentes
Planeta	20 dentes
λ	1/2,9

¹ O autor não recomenda nem dá anuência a marcas e modelos citados na tese

Em que:

$$\lambda = \frac{Z_p}{Z_c} \quad (6)$$

Em que:

λ = Relação de dentes entra as engrenagens coroa e planeta do sistema planetário (unidades);

Z_c = Número de dentes da engrenagem coroa (unidades);

Z_p = Número de dentes da engrenagem planeta (unidades);

Os valores de λ , Z_c e Z_p são utilizados no cálculo dos valores relativos ao comportamento de uma transmissão CVT, na Figura 32 é possível observar a imagem do sistema planetário utilizado na MDTC e o trator onde esse mesmo sistema planetário é utilizado.



Figura 32. Sistema planetário utilizado na composição da maquete.

O conjunto de engrenagens planetárias utilizadas pode ser representado através do esquema apresentado na Figura 33. Na Figura 34, pode ser observada a engrenagem planetária que estava instalada na MDTC.

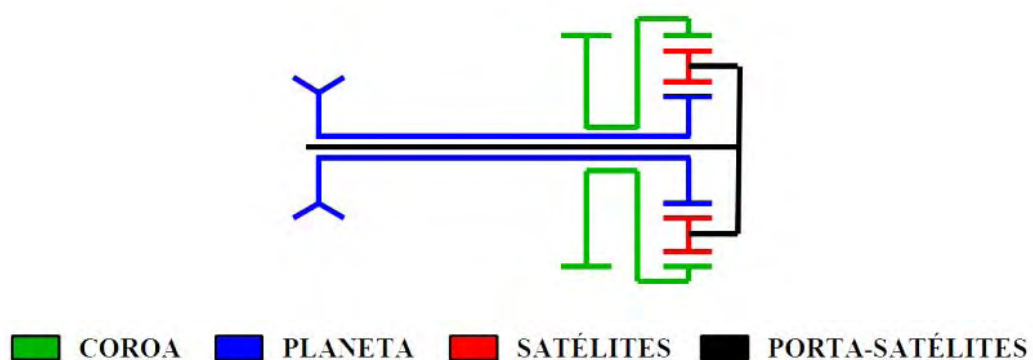


Figura 33. Esquema do sistema planetário utilizado na MDTC.

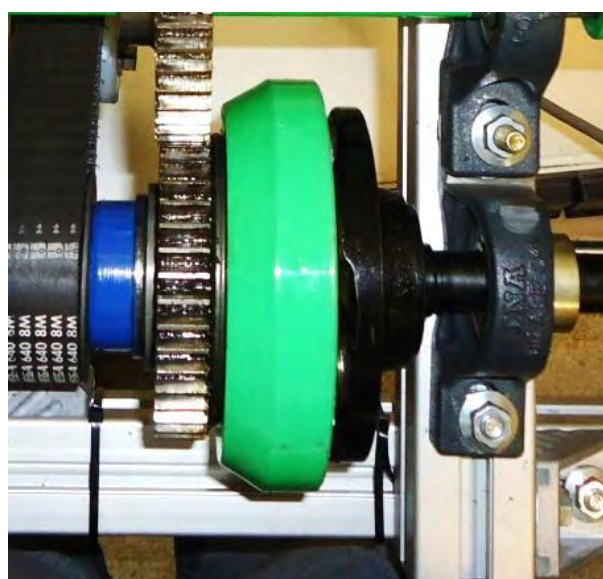


Figura 34. Visualização das engrenagens planetárias conforme encontradas na MDTC.

6.5.7 Inversor

O inversor (Figura 35) é uma engrenagem intermediária entre o sistema planetário e o variador. Ele foi instalado com o objetivo de se obter os dois tipos de fluxos de potência que a MDTC permite (não regenerativa e regenerativa variável).

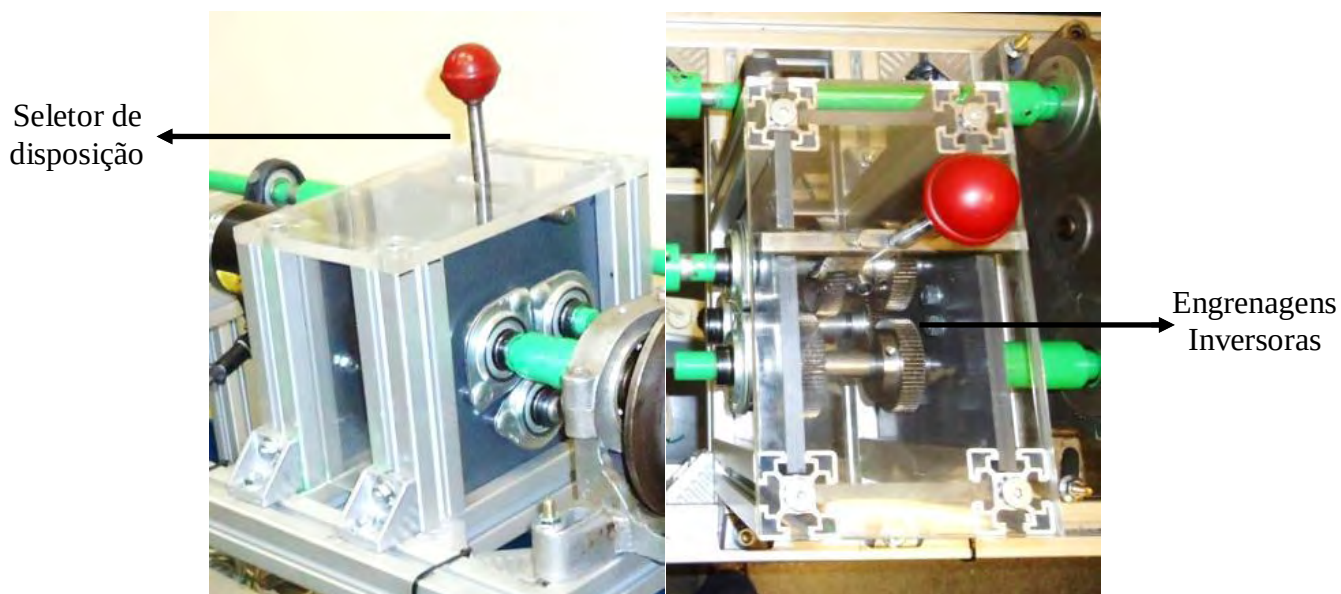


Figura 35. Inversor instalado na MDTC.

Na Tabela 5 são apresentados os tipos de fluxo de potência obtidos, mediante a disposição do inversor.

Tabela 5. Configurações do inversor e respectivos tipos de fluxo de potência obtidos.

Disposição do inversor	Tipo do fluxo de potência
Esquerda	Não Regenerativa
Direita	Regenerativa Variável

6.5.8 Variador

O sistema transmissão variável, utilizado em tratores é o método hidrostático, contudo devido à inviabilidade da construção de uma unidade variadora hidrostática, optou-se por utilizar uma unidade variadora mecânica. Dentro dos tipos de unidades variadoras mecânicas existentes, foi selecionada uma unidade de correia (Figura 36), sendo esta mais simples do ponto de vista didático e para o manuseio.

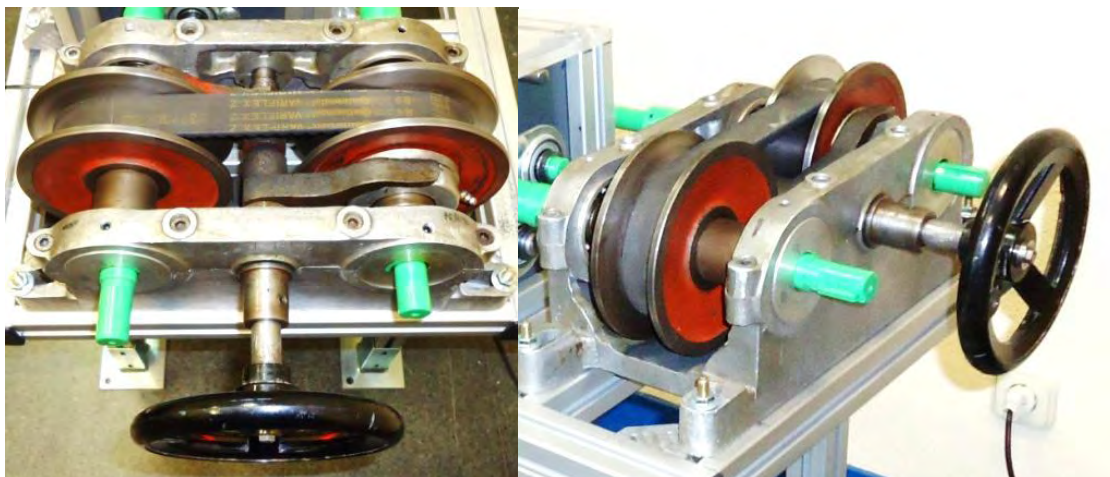


Figura 36. Unidade variadora mecânica de correia.

A unidade variadora mecânica de correia é composta por duas polias de diâmetros variáveis, uma alavanca rotativa no formato de leme e uma correia. A relação de transmissão é modificada manualmente através do acionamento da alavanca. O variador pode obter relações que vão desde $1/0,6$ até $1/2,85$ simulando a variação contínua que ocorre em uma transmissão CVT.

6.5.9 Alteração entre planetário somador e divisor

A MDTC pode assumir tanto a disposição de planetário somador (*input-coupled*) quanto a de planetário divisor (*output-coupled*). A alteração entre as disposições era realizada através da mudança da posição de uma engrenagem próxima ao motor. Para explicar com mais clareza como é alterado o tipo de planetário mediante a alteração da engrenagem, na Figura 37 está apresentado o *layout* completo da MDTC.

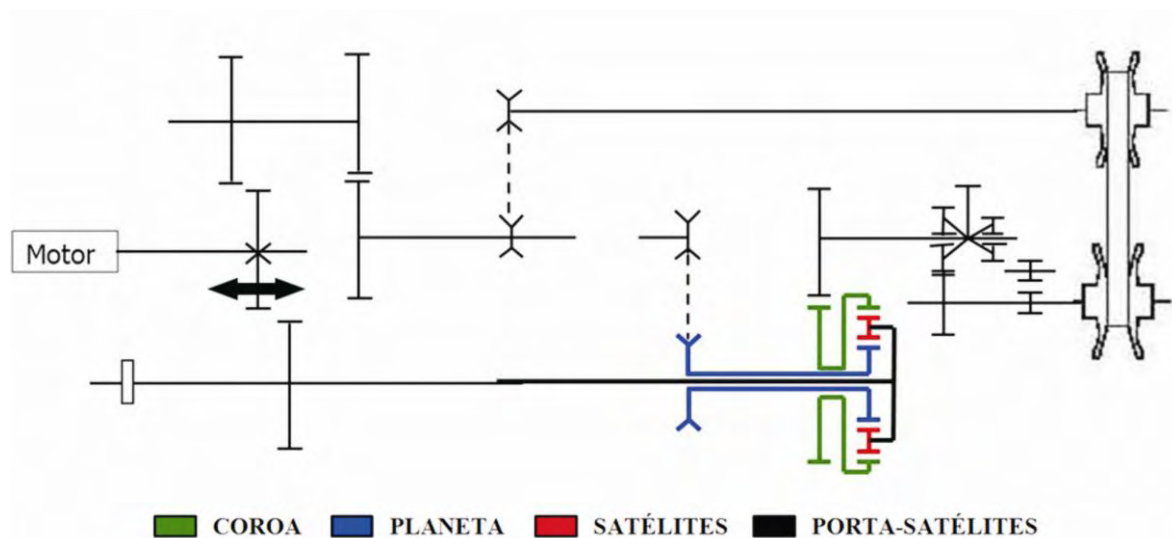


Figura 37. Layout completo da MDTC.

Como é possível observar na Figura 39, o eixo que representa a energia vinda do motor não está ligado a nenhum outro eixo. A seta bilateral que pode ser observada na Figura 37 indica que a engrenagem ligada ao eixo do motor, pode assumir duas posições, uma que está ao seu lado direito e outro ao seu lado esquerdo. Quando a engrenagem assume a conexão da esquerda (Figura 38), a maquete funciona como uma transmissão CVT com planetário somador. Pode ser observado também na Figura 40, através das setas, o fluxo que a energia percorre na MDTC, quando assumida a disposição planetário somador.

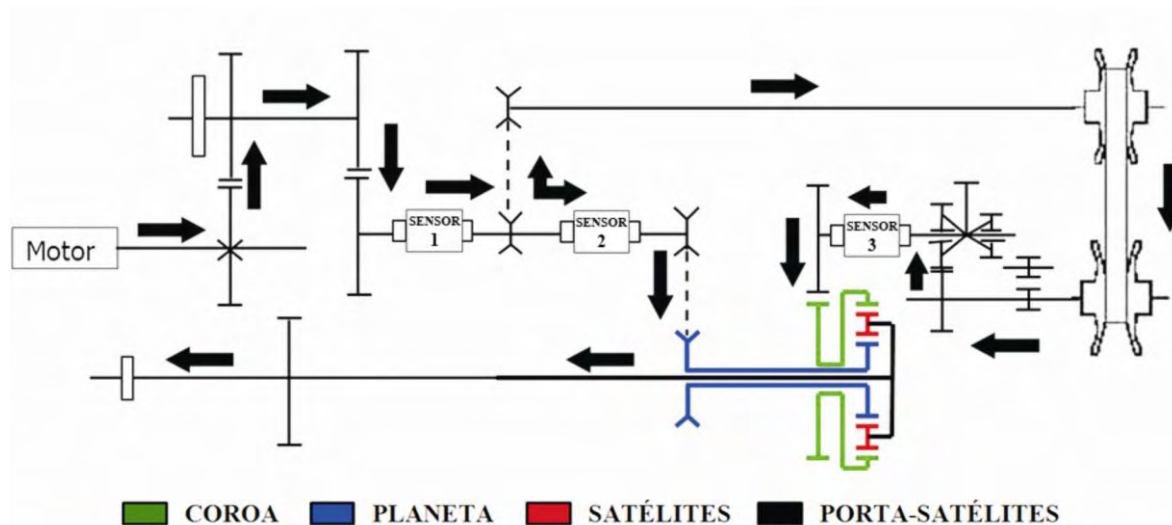


Figura 38. Fluxo de energia percorrido na MDTC no sistema planetário somador.

Na Figura 39, é possível observar, também através das setas, o fluxo de energia percorrido na MDTC quando a engrenagem do eixo do motor assume a conexão da direita na Figura 39, ou seja, a MDTC assume a disposição de planetário divisor.

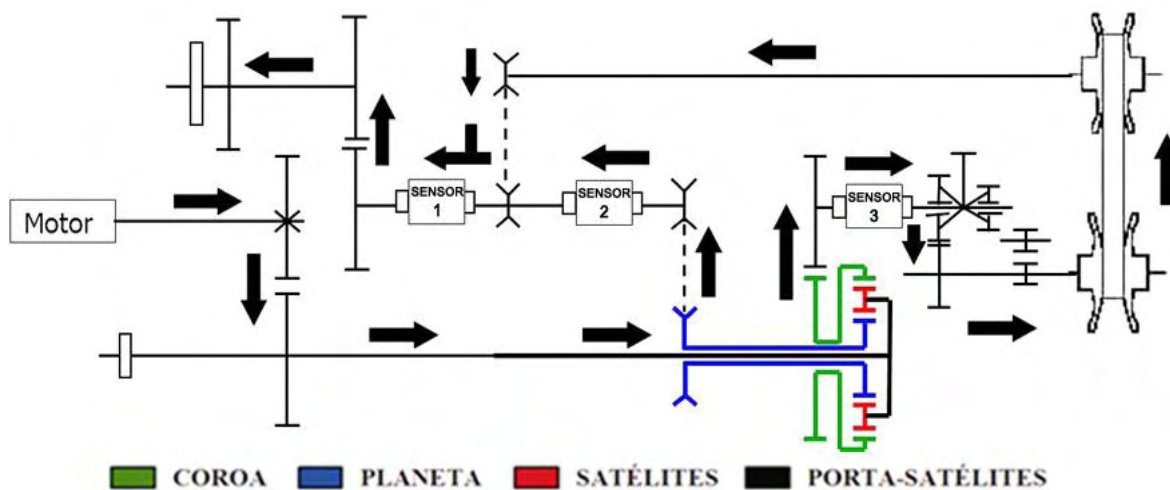


Figura 39. Fluxo de energia percorrido na MDTC no sistema planetário divisor.

Na Figura 40, é apresentada a imagem real da engrenagem que deve ser movida para alterar a disposição dos planetários.

Engrenagem que
realiza a troca entre
as disposições

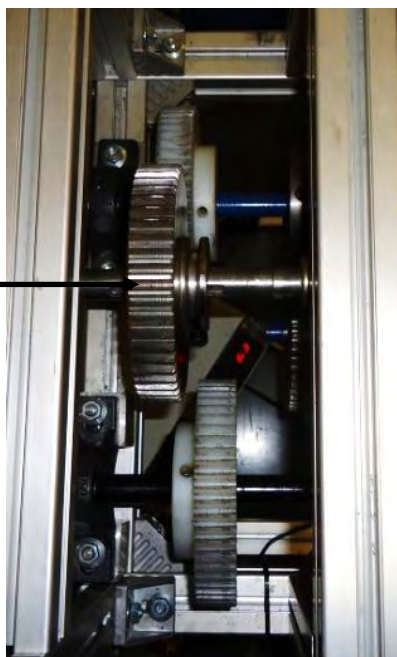


Figura 40. Engrenagem que realiza a alteração da MDTC entre sistema planetário somador e sistema planetário divisor.

6.5.10 Funcionamento da MDTC

Para realizar a tomada de dados através da MDTC o operador deve escolher o sistema planetário (somador ou divisor) e a disposição do inversor (esquerda ou direita) com o qual deseja trabalhar.

Após ligar a MDTC o usuário deve aplicar a carga desejada no disco de freio que corresponde à saída de potência da disposição selecionada. Os dados referentes ao torque e a rotação por minuto da MDTC são adquiridos pelos sensores instalados e são exibidos nos dispositivos eletrônicos de exibição sendo estes devidamente anotados pelo usuário para cálculo posterior dos resultados.

Para alterar a condição do ensaio o usuário deve alterar a relação da unidade variadora através do acionamento da alavanca em forma de leme, sendo que cada alteração na relação da unidade variadora representa uma condição de ensaio diferente.

Através dos dados obtidos nas diferentes condições após os devidos cálculos foi possível obter o comportamento cinemático, dinâmico e de divisão de potência da transmissão CVT, além do seu respectivo rendimento para uma determinada carga.

6.6 Equações utilizadas para os cálculos realizados pelo aplicativo

6.6.1 Cálculos e definições referentes ao sistema planetário e rotações

6.6.1.1 Relação de transmissão fixa entre o torque do eixo mecânico e a entrada ou saída mecânica (k_m)

O cálculo da relação de transmissão fixa entre o torque mecânico e a entrada ou saída mecânica foi realizado através da Equação 7.

$$k_m = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

Em que:

k_m = Relação de transmissão fixa entre o torque do eixo mecânico e a entrada ou saída mecânica (unidades);

λ = Relação de dentes entre as engrenagens coroa e planeta do sistema planetário (unidades);

6.6.1.2 Relação de transmissão fixa entre o torque do eixo variável e a entrada ou saída mecânica (k_f)

O cálculo da relação de transmissão fixa entre o torque variável e a entrada ou saída mecânica foi realizado através da Equação 8.

$$k_f = 1 - k_m \quad (8)$$

Em que:

k_f = Relação de transmissão fixa entre o torque do eixo variável e a entrada ou saída mecânica (unidades);

k_m = Relação de transmissão fixa entre o torque do eixo mecânico e a entrada ou saída mecânica (unidades);

6.6.1.3 Relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio (R_{tb})

O cálculo da relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio para a disposição planetário somador foi realizado através da Equação 9, e para a disposição planetário divisor foi realizado através da Equação 10.

$$R_{tb} = k_m \quad (9)$$

Em que:

R_{tb} = Relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio (unidades);

k_m = Relação de transmissão fixa entre o torque mecânico e a entrada ou saída mecânica (unidades);

$$R_{tb} = \frac{1}{k_m} \quad (10)$$

Em que:

R_{tb} = Relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio (unidades);

k_m = Relação de transmissão fixa entre o torque do eixo mecânico e a entrada ou saída mecânica (unidades);

6.6.1.4 Rotação do porta-satélites (n_{ps})

O cálculo da rotação do porta-satélites foi realizado através da Equação 11.

$$n_{ps} = \frac{n_c Z_c + n_p Z_p}{Z_c + Z_p} = n_c \frac{\lambda}{\lambda + 1} + n_p \frac{1}{\lambda + 1} \quad (11)$$

Em que:

n_{ps} = Rotação do porta-satélites (rpm);

n_c = Rotação da engrenagem coroa (rpm);

n_p = Rotação da engrenagem planeta (rpm);

Z_c = Número de dentes da engrenagem coroa (unidades);

Z_p = Número de dentes da engrenagem planeta (unidades);

λ = Relação de dentes entre as engrenagens coroa e planeta do sistema planetário (unidades);

6.6.1.5 Rotação das engrenagens planeta e coroa (n_p, n_c)

A rotação das engrenagens planeta e coroa, foram informadas através dos sensores instalados na maquete, e foram representados pelas Equações 12 e 13.

$$n_p = \text{Valor de rpm obtido pelo sensor 2} \quad (12)$$

$$n_c = \text{Valor de rpm obtido pelo sensor 3} \quad (13)$$

Em que:

n_p = Rotação da engrenagem planeta (rpm);

n_c = Rotação da engrenagem coroa (rpm);

6.6.1.6 Rotação do eixo de entrada mecânico (n_{em})

A rotação do eixo de entrada mecânico é igual à rotação da engrenagem planeta, e para a disposição planetário somador foi representado através da Equação 14 e para a disposição planetário divisor pela Equação 15.

$$n_{em} = n_p \quad (14)$$

Em que:

n_{em} = Rotação do eixo de entrada mecânico (rpm);

n_p = Rotação da engrenagem planeta (rpm);

$$n_{em} = n_{ps} \quad (15)$$

Em que:

n_{em} = Rotação do eixo de entrada mecânico (rpm);

n_{ps} = Rotação da engrenagem porta-satélites (rpm);

6.6.1.7 Rotação do eixo de flutuante (n_f)

A rotação do eixo flutuante é igual à rotação da engrenagem coroa, e foi representado pela Equação 16.

$$n_f = n_c \quad (16)$$

Em que:

n_f = Rotação do eixo flutuante (rpm);

n_c = Rotação da engrenagem coroa (rpm);

6.6.1.8 Rotação do eixo de saída mecânica (n_{om})

A rotação do eixo de saída mecânica é igual a rotação da engrenagem porta-satélites, e foi representado para a disposição planetário somador pela Equação 17 e para a disposição planetário divisor pela Equação 18.

$$n_{om} = n_{ps} \quad (17)$$

Em que:

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânica (rpm);

n_{ps} = Rotação da engrenagem porta satélites (rpm);

$$n_{om} = n_p \quad (18)$$

Em que:

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânica (rpm);

n_p = Rotação da engrenagem planeta (rpm);

6.6.1.9 Rotação do eixo de saída da unidade CVT (n_o)

A rotação do eixo de saída da unidade CVT é igual a rotação do eixo de saída mecânica, e foi representado pela Equação 19.

$$n_o = n_{om} \quad (19)$$

Em que:

n_o = Rotação do eixo de saída da unidade CVT (rpm);

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânica (rpm);

6.6.1.10 Rotação do eixo de saída para o freio (n_o')

A rotação do eixo de saída para o freio é igual à rotação do eixo de saída mecânica, e foi representado para a disposição planetário somador pela Equação 20 e para a disposição planetária divisora pela Equação 21.

$$n_{o'} = n_{om} \quad (20)$$

Em que:

$n_{o'}$ = Rotação do eixo de saída para o freio (rpm);

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânica (rpm);

$$n_{o'} = -n_o \quad (21)$$

Em que:

$n_{o'}$ = Rotação do eixo de saída para o freio (rpm);

n_o = Rotação do eixo de saída da unidade CVT (rpm);

6.6.2 Cálculos referentes ao desempenho da maquete

6.6.2.1 Torque de saída no freio (M_o')

O cálculo do torque de saída no freio foi realizado através da Equação 22. O sinal de negativo observado em algumas equações representa que a rotação está no sentido inverso ao sentido normal.

$$M_o' = -F_f \cdot r \quad (22)$$

Em que:

M_o' = Torque de saída no freio (N.m);

F_f = Força exercida no disco do freio (N);

r = raio do disco (mm);

6.6.2.2 Potência de saída no freio (N_o')

O cálculo da potência de saída no freio foi realizado através da Equação 23.

$$N_o' = \frac{M_o' \cdot 2\pi \cdot n_o}{60} \quad (23)$$

Em que:

N_o' = Potência de saída no freio (W);

M_o' = Torque de saída no freio (N.m.);

n_o = Rotação do eixo de saída da unidade CVT (rpm);

6.6.2.3 Potência de saída da unidade CVT (N_o)

A potência de saída da unidade CVT é igual a potencia de saída no freio já que se supõe que o rendimento do par de engrenagens entre ambos os eixos, é muito próximo de 1 (0,99), e foi então representada pela equação 24.

$$N_o = N_o' \quad (24)$$

Em que:

N_o = Potência de saída da unidade CVT (W);

N_o' = Potência de saída no freio (W);

6.6.2.4 Rendimento (η)

O rendimento é a relação entre as potencias de saída e entrada da unidade CVT, e seu valor foi definido pela Equação 25.

$$\eta = \frac{N_o}{N_e} \cdot 100 \quad (25)$$

Em que:

η = Rendimento (%);

N_o = Potência de saída da unidade CVT (W);

N_e = Potência de entrada da unidade CVT (W);

6.6.2.5 Relação de transmissão do eixo flutuante (R_f)

Trata-se da relação das rotações entre o variador e o eixo de entrada mecânica, sendo seu cálculo realizado através da Equação 26.

$$R_f = \frac{n_f}{n_{em}} \quad (26)$$

Em que:

R_f = Relação de transmissão do eixo flutuante (unidades);

n_f = Rotação do eixo de flutuante (rpm);

n_{em} = Rotação do eixo de entrada mecânico (rpm);

6.6.2.6 Relação de transmissão do Variador (R_v)

É a relação entre as rotações dos eixos de entrada e de saída do variador, e seu valor foi definido para a disposição planetário somador pela Equação 27 e para a disposição planetário divisor pela Equação 28.

$$R_v = \frac{-n_f}{n_{em}} \quad (27)$$

Em que:

R_v = Relação de transmissão do variador (unidades);

n_f = Rotação do eixo de flutuante (rpm);

n_{em} = Rotação do eixo de entrada mecânico (rpm);

$$R_v = \frac{n_f}{n_{om}} \quad (28)$$

Em que:

R_v = Relação de transmissão do variador (unidades);

n_f = Rotação do eixo de flutuante (rpm);

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânica (rpm);

6.6.2.7 Relação de transmissão da unidade CVT (R_t)

É a relação de transmissão da unidade CVT, e seu valor foi definido pela Equação 29.

$$R_t = \frac{n_{om}}{n_{em}} \quad (29)$$

Em que:

R_t = Relação de transmissão da unidade CVT (unidades);

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânica (rpm);

n_{em} = Rotação do eixo de entrada mecânica (rpm);

6.6.3 Cálculos teóricos: Potências

6.6.3.1 Distribuição teórica de potencia mecânica (X_{mt})

A distribuição teórica da potencia mecânica é a razão entre a relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio e a relação de transmissão do variador, e seu valor foi definido para a disposição planetário somador pela Equação 30 e para a disposição planetário divisor pela Equação 31.

$$X_{mt} = \frac{R_{tb} \cdot 100}{R_t} \quad (30)$$

Em que:

X_{mt} = Distribuição teórica de potência mecânica (%);

R_{tb} = Relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio (unidades);

R_t = Relação de transmissão do variador (unidades);

$$X_{mt} = \frac{R_t \cdot 100}{R_{tb}} \quad (31)$$

Em que:

X_{mt} = Distribuição teórica de potência mecânica (%);

R_t = Relação de transmissão do variador (unidades);

R_{tb} = Relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio (unidades);

6.6.3.2 Distribuição teórica de potencia variável (X_{vt})

A distribuição teórica de potencia variável é o resultado da razão entre a relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio e a relação de transmissão do variador e seu valor foi definido para a disposição planetário somador pela Equação 32 e para a disposição planetário divisor pela Equação 33.

$$X_{vt} = 100. \left(1 - \frac{R_{tb}}{R_t} \right) \quad (32)$$

Em que:

X_{vt} = Distribuição teórica de potência variável (%);

R_{tb} = Relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio (unidades);

R_t = Relação de transmissão do variador (unidades);

$$X_{vt} = 100. \left(1 - \frac{R_t}{R_{tb}} \right) \quad (33)$$

Em que:

X_{vt} = Distribuição teórica de potência variável (%);

R_t = Relação de transmissão do variador (rpm);

R_{tb} = Relação de transmissão mecânica no ponto de bloqueio (rpm);

6.6.3.3 Potência teórica do eixo flutuante (N_{ft})

A potência teórica do eixo flutuante é o produto da potência de entrada pela distribuição teórica de potencia variável e seu valor foi definido pela Equação 34.

$$N_{ft} = \frac{X_{vt} \cdot N_{et}}{100} \quad (34)$$

Em que:

N_{ft} = Potência teórica do eixo flutuante (W);

X_{vt} = Distribuição teórica de potencia variável (%);

N_{et} = Potência teórica de entrada (W);

6.6.3.4 Potência teórica do eixo de entrada mecânico (N_{emt})

Do mesmo modo, a potência teórica no eixo de entrada mecânico, é o produto da potência de entrada pela distribuição teórica de potência mecânica e seu valor foi definido para a disposição planetário somador pela Equação 35 e para a disposição planetário divisor pela Equação 36.

$$N_{emt} = \frac{X_{mt} \cdot N_{et}}{100} \quad (35)$$

Em que:

N_{emt} = Potência teórica do eixo de entrada mecânico (W);

X_{mt} = Distribuição teórica de potencia mecânica (%);

N_{et} = Potência teórica de entrada (W);

$$N_{emt} = N_{omt} + N_{ft} = N_{et} \quad (36)$$

Em que:

N_{emt} = Potência teórica do eixo de entrada mecânico (W);

N_{omt} = Potência teórica do eixo de saída mecânico (W);

N_{ft} = Potência teórica do eixo flutuante (W);

N_{et} = Potência teórica de entrada (W);

6.6.3.5 Potência teórica do eixo de saída mecânico (N_{omt})

A potência teórica do eixo de saída mecânico, é o resultado da soma das duas anteriores, que no caso da disposição planetário somador, é igual a potência de entrada teórica e seu valor foi definido para a disposição planetário somador pela Equação 37 e para a disposição planetário divisor pela Equação 38.

$$N_{omt} = N_{emt} + N_{ft} = N_{et} = N_o \quad (37)$$

Em que:

N_{omt} = Potência teórica do eixo de saída mecânico (W);

N_{emt} = Potência teórica do eixo de entrada mecânico (W);

N_{ft} = Potência teórica do eixo flutuante (W);

N_{et} = Potência teórica de entrada (W);

N_o = Potência de saída da unidade CVT (W);

$$N_{omt} = \frac{X_{mt} \cdot N_{et}}{100} \quad (38)$$

Em que:

N_{omt} = Potência teórica do eixo de saída mecânico (W);

X_{mt} = Distribuição teórica de potencia mecânica (%);

N_{et} = Potência teórica de entrada (W);

6.6.4 Cálculos teóricos: Torques

Todos os torques teóricos foram calculados através das potências teóricas anteriormente calculadas e das respectivas rotações.

6.6.4.1 Torque teórico do eixo flutuante (M_{ft})

O cálculo do torque teórico do eixo flutuante foi realizado através da Equação 38.

$$M_{ft} = \frac{N_{ft} \cdot 60}{2\pi \cdot n_f} \quad (38)$$

Em que:

M_{ft} = Torque teórico do eixo flutuante (W);

N_{ft} = Potência teórica do eixo flutuante (W);

n_f = Rotação do eixo de flutuante (rpm)

6.6.4.2 Torque teórico do eixo de entrada mecânico (M_{emt})

O cálculo do torque teórico do eixo de entrada mecânico foi realizado através da Equação 39.

$$M_{emt} = \frac{N_{emt} \cdot 60}{2\pi \cdot n_{em}} \quad (39)$$

Em que:

M_{emt} = Torque teórico do eixo de entrada mecânico (W);

N_{emt} = Potência teórica do eixo de entrada mecânico (W);

n_{em} = Rotação do eixo de entrada mecânico (rpm);

6.6.4.3 Torque teórico do eixo de saída mecânico (M_{omt})

O cálculo do torque teórico do eixo de saída mecânico foi realizado através da Equação 40.

$$M_{omt} = \frac{N_{omt} \cdot 60}{2\pi \cdot n_{om}} = M_{emt} + M_{ft} \quad (40)$$

Em que:

M_{omt} = Torque teórico do eixo de saída mecânico (W);

N_{omt} = Potência teórica do eixo de saída mecânico (W);

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânico (rpm);

M_{emt} = Torque teórico do eixo de entrada mecânico (W);

M_{ft} = Torque teórico do eixo flutuante (W);

6.6.5 Cálculos reais de desempenho realizados a partir de dados obtidos através de ensaios com a MDTC

6.6.5.1 Torque do eixo flutuante (M_f)

O torque do eixo flutuante foi obtido através do sensor e foi representados através da Equação 41.

$$M_f = \text{Valor de torque obtido pelo sensor 3} \quad (41)$$

Em que:

M_f = Torque do eixo flutuante (N.m);

6.6.5.2 Torque do eixo de entrada mecânica (M_{em})

O torque do eixo de entrada mecânica para a disposição planetário somador foi obtido através do sensor e foi representados através da Equação 42 e para a disposição planetário divisor foi obtido através da Equação 43.

$$M_{em} = \text{Valor de torque obtido pelo sensor 3} \quad (42)$$

Em que:

M_f = Torque do eixo flutuante (N.m);

M_{em} = Torque do eixo de entrada mecânica (N.m);

$$M_{em} = \frac{N_{em}.60}{2\pi.n_{em}} \quad (43)$$

Em que:

M_{em} = Torque do eixo de entrada mecânica (N.m);

N_{em} = Potência do eixo de entrada mecânica (W);

n_{em} = Rotação do eixo de entrada mecânica (rpm);

6.6.5.3 Torque do eixo de saída mecânica (M_{om})

O cálculo do torque do eixo de saída mecânica para a disposição planetário somador foi realizado através da Equação 44 e para a disposição planetário divisor foi obtido através do através do sensor e representado pela Equação 45.

$$M_{om} = \frac{N_{om}.60}{2\pi.n_{om}} \quad (44)$$

Em que:

M_{om} = Torque do eixo de saída mecânica (N.m);

N_{om} = Potência de eixo de saída mecânica (W);

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânica (rpm);

M_{om} = Valor de torque obtido pelo sensor 2 (45)

Em que:

M_{om} = Torque do eixo de saída mecânica (N.m);

6.6.5.4 Potência do eixo flutuante (N_f)

O cálculo da potência do eixo flutuante foi realizado através da Equação 46.

$$N_f = \frac{M_f \cdot 2\pi \cdot n_f}{60} \quad (46)$$

Em que:

N_f = Potência do eixo flutuante (W);

M_f = Torque do eixo flutuante (N.m);

n_f = Rotação do eixo flutuante (rpm);

6.6.5.5 Potência do eixo de entrada mecânica (N_{em})

O cálculo da potência do eixo de entrada mecânica foi realizado para a disposição planetário somador através da Equação 47 e para a disposição planetário divisor através da Equação 48.

$$N_{em} = \frac{M_{em} \cdot 2\pi \cdot n_{em}}{60} \quad (47)$$

Em que:

N_{em} = Potência do eixo de entrada mecânica (W);

M_{em} = Torque do eixo de entrada mecânica (N.m);

n_{em} = Rotação do eixo de entrada mecânica (rpm);

$$N_{em} = N_f + N_{om} \quad (48)$$

Em que:

N_{em} = Potência do eixo de entrada mecânica (W);

N_f = Potência do eixo flutuante (W);

N_{om} = Potência do eixo de saída mecânica (W);

6.6.5.6 Potência do eixo de saída mecânica (N_{om})

O cálculo da potência do eixo de saída mecânica foi realizado para a disposição planetário somador através da Equação 49 e para a disposição planetário divisor através da Equação 50.

$$N_{om} = N_f + N_{em} \quad (49)$$

Em que:

N_{om} = Potência do eixo de saída mecânica (W);

N_f = Potência do eixo flutuante (W);

N_{em} = Potência do eixo de entrada mecânica (W);

$$N_{om} = \frac{M_{om} \cdot 2\pi \cdot n_{om}}{60} \quad (50)$$

Em que:

N_{om} = Potência do eixo de saída mecânica (W);

M_{om} = Torque do eixo de saída mecânica (N.m);

n_{om} = Rotação do eixo de saída mecânica (rpm);

6.6.5.7 Distribuição de potência mecânica (X_m)

O cálculo da distribuição de potência mecânica foi realizado para a disposição planetário somador através da Equação 51 e para a disposição planetário divisor através da Equação 52.

$$X_m = \frac{100.N_{em}}{N_{om}} \quad (51)$$

Em que:

X_m = Distribuição de potência mecânica (%);

N_{em} = Potência do eixo de entrada mecânica (W);

N_{om} = Potência de eixo de saída mecânica (W);

$$X_m = \frac{100.N_{om}}{N_{em}} \quad (52)$$

Em que:

X_m = Distribuição de potência mecânica (%);

N_{om} = Potência no eixo de saída mecânica (W);

N_{em} = Potência no eixo de entrada mecânica (W);

6.6.5.8 Distribuição de potência variável (X_v)

O cálculo da distribuição de potência variável foi realizado para a disposição planetário somador através da Equação 53 e para a disposição planetário divisor através da Equação 54.

$$X_v = \frac{100.N_f}{N_{om}} \quad (53)$$

Em que:

X_v = Distribuição de potência variável (%);

N_f = Potência do eixo flutuante (W);

N_{om} = Potência de eixo de saída mecânica (W);

$$X_v = \frac{100.N_f}{N_{em}} \quad (54)$$

Em que:

X_v = Distribuição de potência variável (%);

N_f = Potência do eixo flutuante (W);

N_{em} = Potência no eixo de entrada mecânica (W);

6.6.5.9 Rotação e torque de entrada na unidade CVT ($n_{(1)}$, $M_{(1)}$)

As rotações e torques do eixo de entrada na unidade CVT para a disposição planetário somador são obtidos através dos sensores instalados na maquete e foram representadas pelas Equações 55 e 56.

$$n_{(1)} = \text{Valor de rpm obtido pelo sensor 1} \quad (55)$$

$$M_{(1)} = \text{Valor de torque obtido pelo sensor 1} \quad (56)$$

Em que:

$n_{(1)}$ = Rotação do eixo de entrada (rpm);

$M_{(1)}$ = Torque do eixo de entrada (N.m);

6.6.5.10 Rotação e torque de saída da unidade CVT ($n_{o(1)}$, $M_{o(1)}$)

As rotações e torques do eixo de saída da unidade CVT para a disposição planetário divisor foram obtidos através dos sensores instalados na maquete e foram representados pelas Equações 57 e 58.

$$n_{o(1)} = \text{Valor de rotação obtido pelo sensor 1} \quad (57)$$

$$M_{o(1)} = \text{Valor de torque obtido pelo sensor 1} \quad (58)$$

Em que:

$n_{o(1)}$ = Rotação do eixo de entrada (rpm);

$M_{o(1)}$ = Torque no eixo de entrada (N.m);

6.6.5.11 Potência de entrada na unidade CVT (N_e)

O cálculo da potência de entrada na unidade CVT para a disposição planetário somador foi realizado através da Equação 59.

$$N_e = \frac{M_{(1)} \cdot 2\pi \cdot n_{(1)}}{60} \quad (59)$$

Em que:

N_e = Potência de entrada na unidade CVT (W);

$M_{(1)}$ = Torque do eixo de entrada (N.m);

$n_{(1)}$ = Rotação do eixo de entrada (rpm);

6.6.5.12 Potência de saída da unidade CVT ($N_{o(1)}$)

O cálculo da potência de saída na unidade CVT para a disposição planetário divisor foi realizado através da Equação 60.

$$N_{o(1)} = \frac{M_{o(1)} \cdot 2\pi \cdot n_{o(1)}}{60} \quad (60)$$

Em que:

$M_{o(1)}$ = Torque no eixo de entrada (N.m);

$n_{o(1)}$ = Rotação do eixo de entrada (rpm);

A Figura 41 apresenta um esquema detalhado da obtenção de cada um dos valores reais nos eixos na disposição planetário somador. Em verde estão

representados os dados iniciais (provenientes dos sensores), em azul as rotações dos eixos e no sistema planetário, em amarelo os torques dos eixos, e em laranja as potências nos eixos. Entre os distintos quadros a união pode ser realizada com uma linha simples que representa a igualdade dos valores, e com uma seta, que representa que a definição do valor requer uma operação matemática.

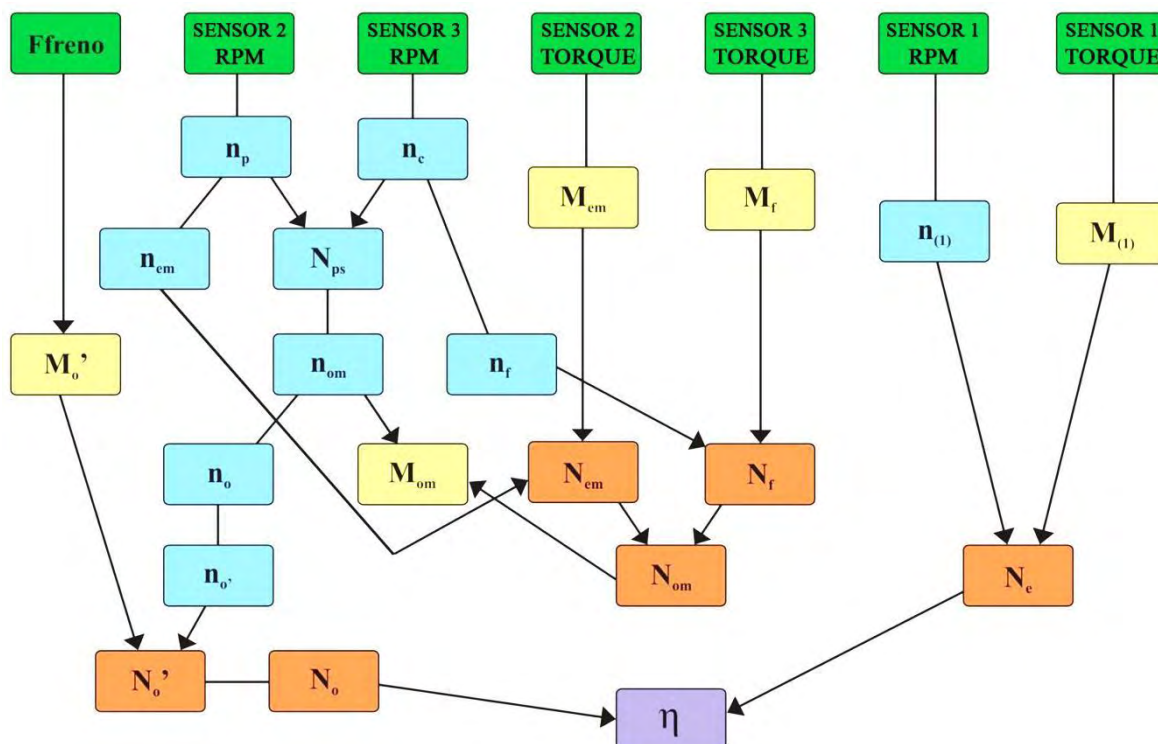


Figura 41. Esquema detalhado de obtenção das rotações, torques e potências dos distintos eixos da maquete, na disposição planetário somador.

A Figura 42 apresenta um esquema detalhado da obtenção de cada um dos valores reais nos eixos na disposição planetário divisor. Em verde estão representados os dados iniciais (provenientes dos sensores), em azul as rotações dos eixos e no sistema planetário, em amarelo os torques dos eixos, e em laranja as potências nos eixos. Entre os distintos quadros a união pode ser realizada com uma linha simples que representa a igualdade dos valores, e com uma seta, que representa que a definição do valor requer uma operação matemática.

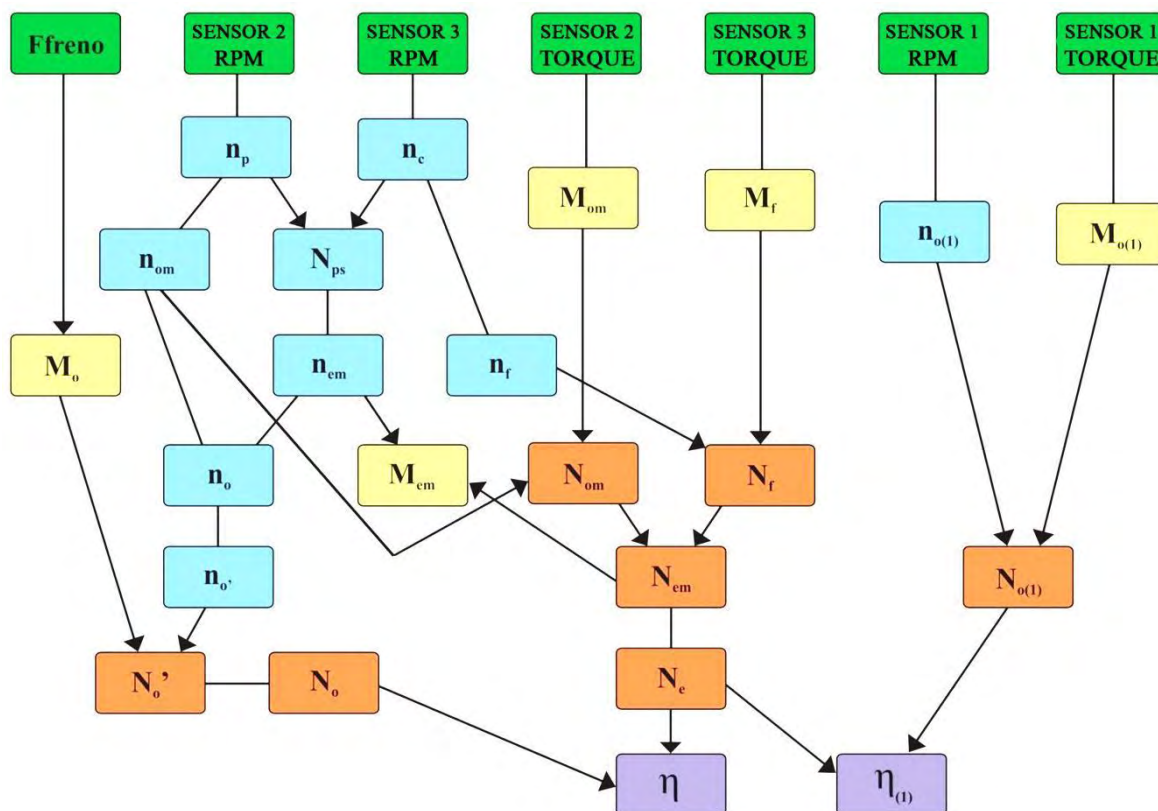


Figura 42. Esquema detalhado de obtenção das rotações, torques e potências dos distintos eixos da maquete, na disposição planetário divisor.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Considerações sobre o aplicativo

A discussão apresentada tem o objetivo de demonstrar todas as funcionalidades e resultados obtidos pelo aplicativo desenvolvido. Para facilitar o entendimento do fluxo de atividades realizadas pelo aplicativo, na Figura 43 é apresentado seu fluxograma simplificado. Os tópicos subsequentes têm como objetivo explicar detalhadamente todas as etapas descritas superficialmente no fluxograma.

Com o mesmo intuito da MDTC o aplicativo teve como requisito em seu desenvolvimento, ser simples, de fácil entendimento e manuseio por seus usuários.

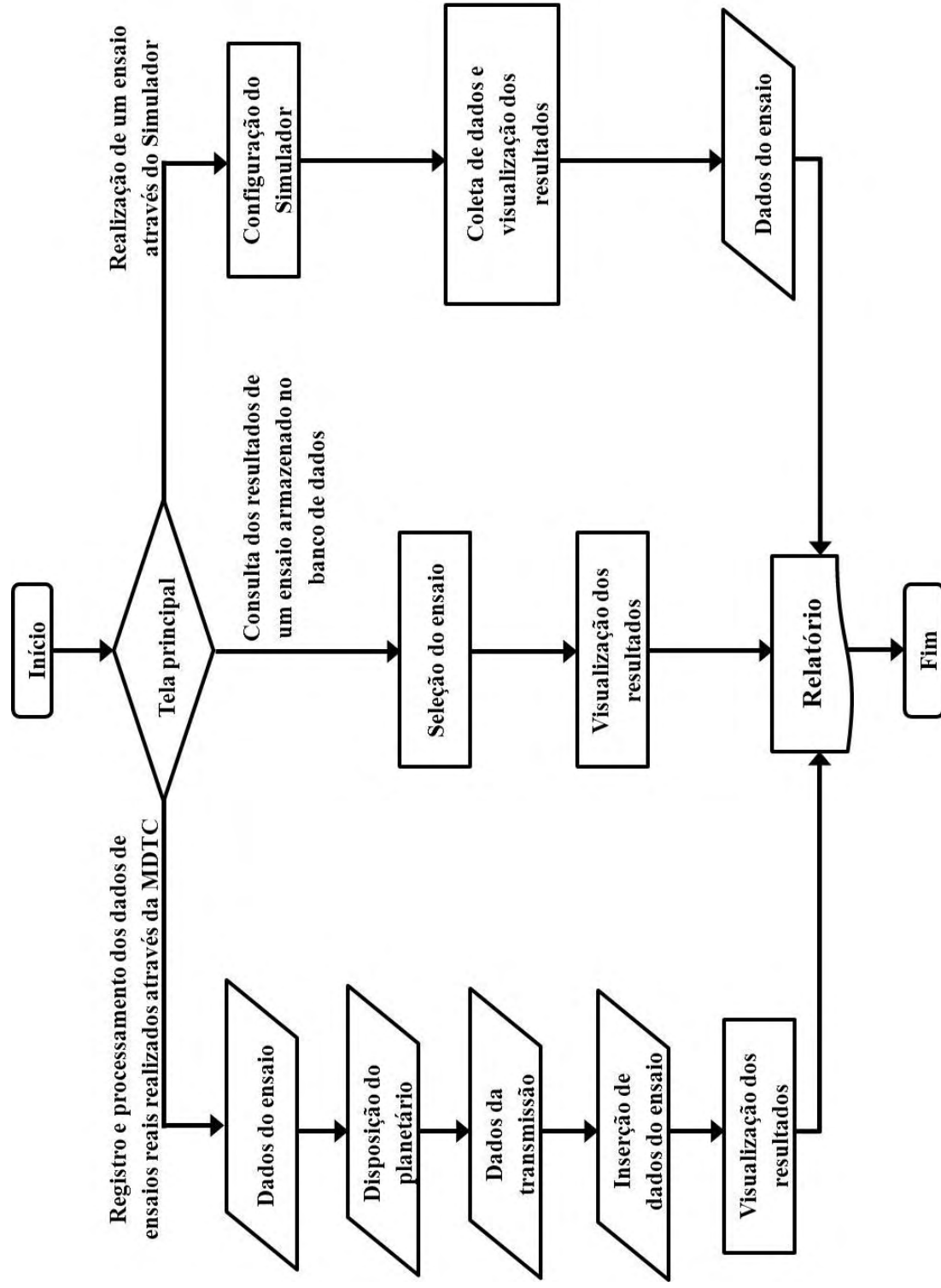


Figura 43. Fluxograma simplificado do aplicativo.

7.2 Formulário de apresentação

O aplicativo desenvolvido recebeu o nome “MDTC – Folha de Cálculos”, e quando iniciado exibe o “Formulário de apresentação” (Figura 44), onde são exibidos seu nome e os logotipos da Universidade Politécnica de Madrid e do grupo “*Tractores y Laboreo*”.



Figura 44. Formulário de apresentação do aplicativo.

7.3 Formulário principal “MDTC - Folha de Cálculos”

O formulário “MDTC – Folha de Cálculos” é o corpo principal do aplicativo, pois todos os formulários do aplicativo são exibidos no interior dele (Figura 45). Este formulário é exibido exatamente após o formulário de apresentação e nele o usuário define a sua opção de trabalho escolhendo entre as opções: nova seção de tomada de dados, abrir uma seção anterior para visualização, realizar um ensaio através do simulador ou alterar o idioma do aplicativo.

7.4 Processamento e armazenamento dos dados obtidos através do ensaio com a MDTC

A seguir são descritos os procedimentos realizados para que o aplicativo processe e armazene os dados provenientes do ensaio real com a MDTC.

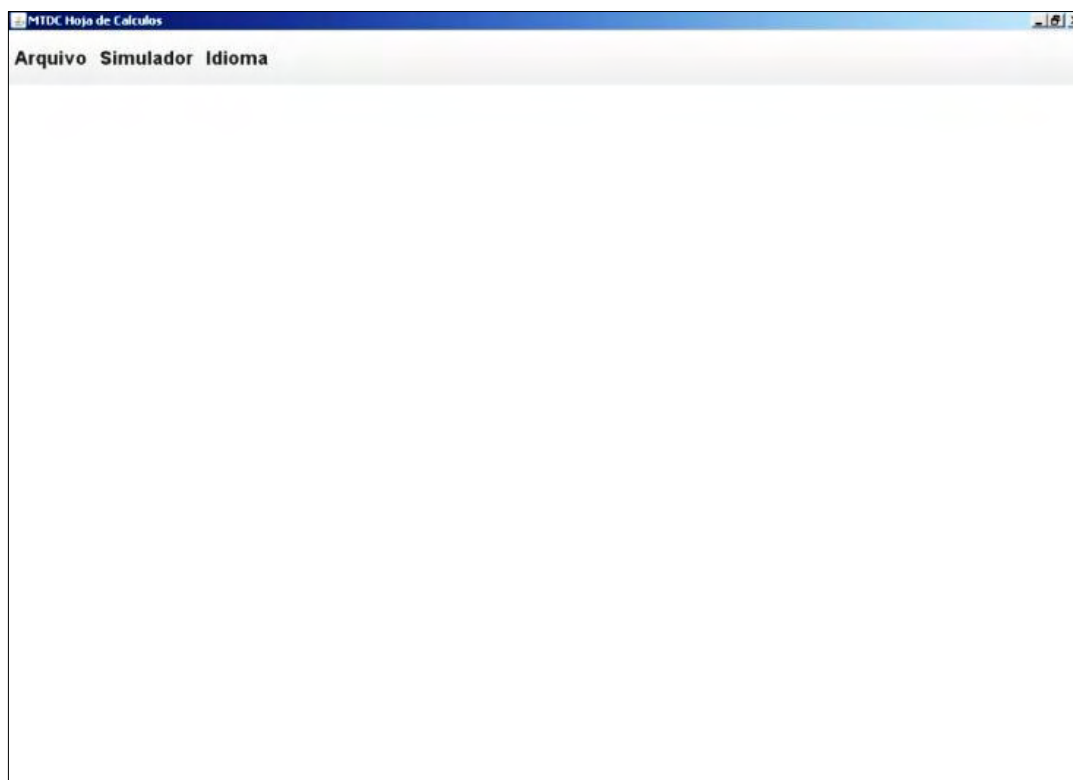


Figura 45. Formulário principal “MDTC – Folha de Cálculos”.

7.4.1 Formulário “MDTC - Folha de Cálculos”

No formulário “MDTC – Folha de Cálculos” quando selecionado o menu “Arquivo” e na sequência a opção “Novo” é iniciada uma sequência lógica de procedimentos para a realização dos cálculos dos resultados de desempenho obtidos através de um ensaio com a MDTC. Sendo assim ao selecionar a opção “Novo”, é exibido o formulário “Dados do ensaio”.

7.4.2 Formulário “Dados do ensaio”

O formulário “Dados do ensaio” (Figura 46) dispõe de campos para a inserção da descrição e da carga na qual foi ou será realizado o ensaio. A data é informada automaticamente pelo aplicativo sendo esta obtida através do sistema operacional instalado no microcomputador utilizado.

Figura 46. Formulário “Dados do ensaio”.

O aplicativo possui diversas técnicas de controle e prevenção de erros por parte do usuário, uma dessas técnicas é bloquear o prosseguimento do aplicativo caso alguma informação seja omitida ou inserida fora dos padrões pertinentes a cada campo.

Neste formulário (“Dados do ensaio”) foram inseridas duas técnicas de controle, caso o usuário tente prosseguir a tomada de dados sem informar a descrição ou a carga utilizada no ensaio com a MDTC, é exibida uma mensagem de alerta solicitando a inserção da descrição do ensaio ou de sua carga. Na Figura 47, é exibido um exemplo de mensagem de controle do aplicativo.

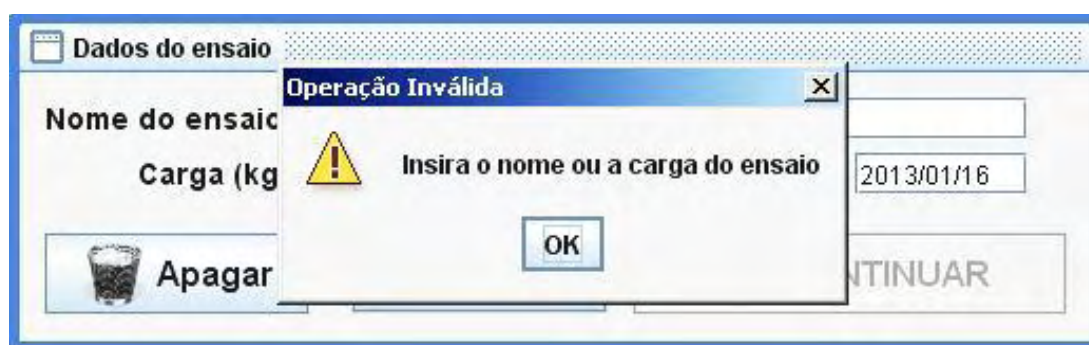


Figura 47. Alerta de controle exibido pelo aplicativo.

Para salvar os dados foi utilizado o botão “Salvar” que quando pressionado salva os dados e habilita a opção “Continuar” possibilitando o prosseguimento do armazenamento dos dados. Ao pressionar o botão “Continuar”, é exibido o formulário “Disposição do planetário”.

7.4.3 Formulário “Disposição do planetário”

O formulário “Disposição do planetário” exibe as disposições da MDTC na qual podem ser realizados os ensaios (Planetário Somador com Inversor à Direita, Planetário Somador com Inversor a Esquerda, Planetário Divisor com Inversor a Direita e Planetário Divisor com Inversor a Esquerda).

A escolha da disposição é realizada através dos botões “Somador” e “Divisor” para a seleção do planetário e dos botões “Direita” e “Esquerda” para a escolha da posição do inversor. Cada vez que a disposição do sistema planetário ou do inversor é alterada, o aplicativo exibe o desenho esquemático da MDTC, além da disposição selecionada escrita por extenso para evitar qualquer tipo de engano por parte do usuário. Na Figura 48, é possível observar a tela “Disposição do planetário”, quando é selecionada a configuração “Planetário somador com inversor à direita” e na Figura 49 quando é selecionada a configuração “Planetário somador com inversor à esquerda”.

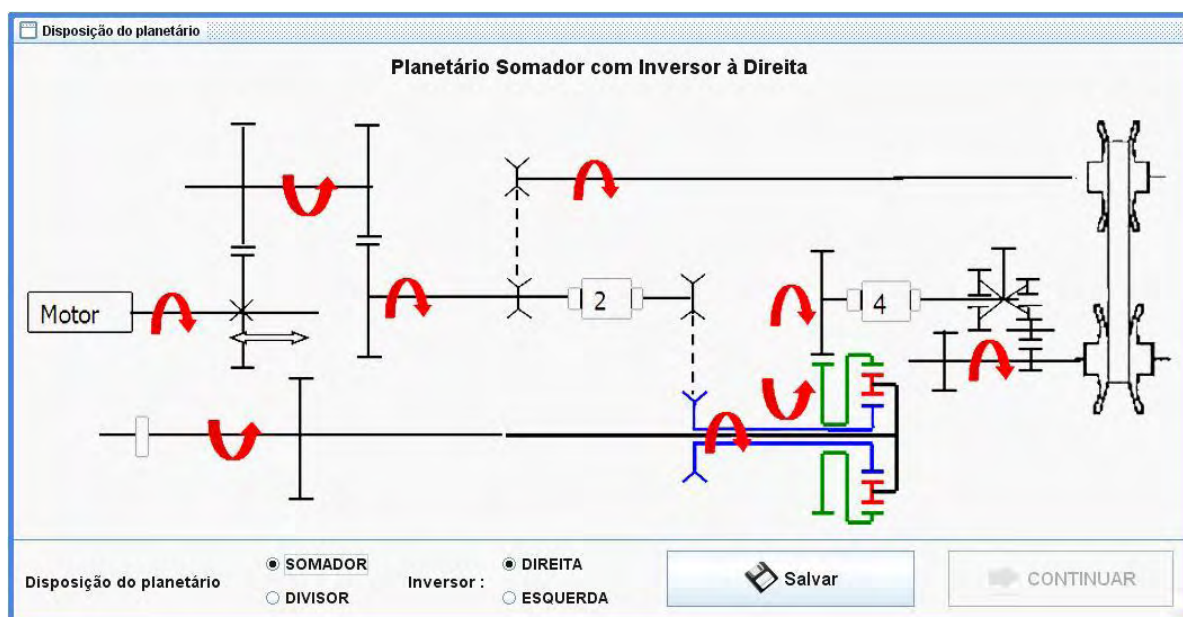


Figura 48. Formulário “Disposição do planetário” quando selecionada a configuração planetário somador com inversor à direita.

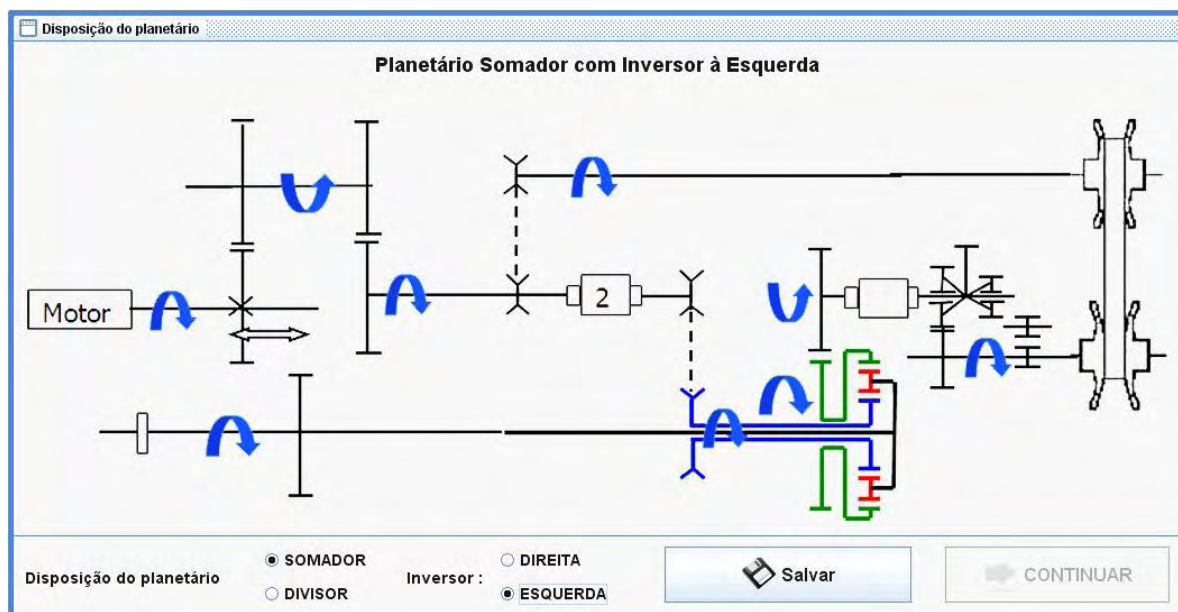


Figura 49. Formulário “Disposição do planetário” quando selecionada a configuração planetário somador com inversor à esquerda.

Quando pressionado o botão “Salvar”, o aplicativo salva a escolha, e é possível observar no canto superior esquerdo do formulário principal (“MDTC – Folha de Cálculos”) (Figura 50), a identificação padronizada do ensaio.

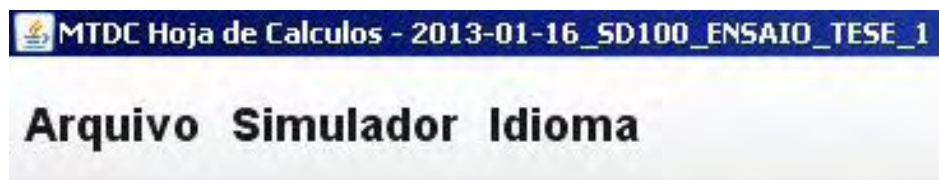


Figura 50. Identificação padronizada do ensaio.

A identificação do ensaio foi padronizada para facilitar a busca do ensaio posteriormente no banco de dados e evitar confusões entre ensaios semelhantes. O nome do ensaio é formado pela data de sua realização, disposição do planetário e do inversor, carga do ensaio e a descrição informada pelo usuário no início do aplicativo (Formulário “Dados do ensaio”). Na Figura 51, é possível observar detalhadamente como foi realizada a padronização da identificação do ensaio.

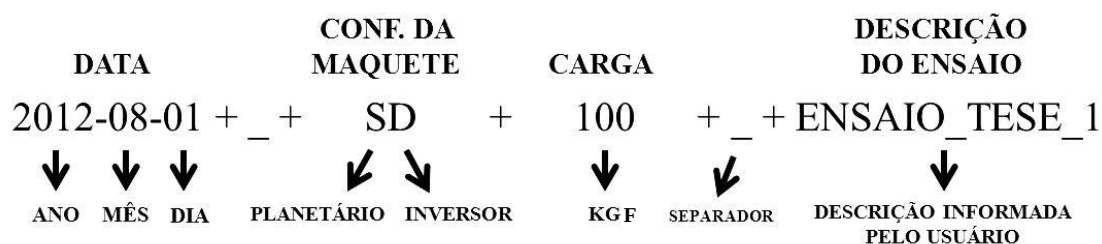


Figura 51. Explicação da padronização da identificação do ensaio.

Ao ser pressionado o botão “Salvar”, além da escolha do usuário ser salva, também é habilitado o botão “Continuar” para que seja possível prosseguir com a inserção de dados. Quando pressionado o botão “Continuar” é exibido o formulário “Dados da transmissão”.

7.4.4 Formulário “Dados da transmissão”

No formulário “Dados da transmissão” (Figura 52) são informados os dados relativos ao sistema planetário da MDTC. Estes dados são o número de dentes das engrenagens coroa e planeta (para a MDTC estes dados são 58 e 20 dentes, para as engrenagens coroa e planeta respectivamente).

Figura 52. Formulário “Dados da transmissão”.

Em caso de dúvida em relação a alguma sigla ou equação utilizada na realização de determinado cálculo, ao ser posicionado o cursor do mouse sobre o campo

ou sigla referente à dúvida o aplicativo exibe o significado da sigla e a equação utilizada para obter seu valor (Figura 53).

Dados da transmissão

Zc : Zp :

λ : Rtb :

km :
Relação entre o número de dentes de engrenagens pertencentes ao SPS que não compartilham o mesmo PS
Equação: $\lambda = Zc / Zp$

r: 0,075

Apagar Salvar

CONTINUAR

Figura 53. Informação do significado da sigla e da equação utilizada pelo aplicativo.

Após a informação dos valores, quando pressionado o botão “Salvar”, o aplicativo realiza os cálculos necessários e informa os valores restantes automaticamente (λ , Rtb, km, kf), salva os dados e também habilita o botão “Continuar” para tornar possível o prosseguimento da inserção de dados. Ao ser pressionado o botão “Continuar”, é exibido o formulário “Inserção de dados”.

7.4.5 Formulário “Inserção de dados”

No formulário “Inserção de dados” o aplicativo disponibiliza uma tabela semelhante à encontrada em softwares como o Microsoft Excel, para possibilitar a inserção dos dados relativos ao ensaio realizado na MDTC (Figura 54). Neste formulário, são digitados os valores de freio (Ffreio), torque (Torque4, Torque2 e Torque1) e rotação (rpm1, rpm2 e rpm4), sendo que todos esses valores foram obtidos durante um ensaio, através dos sensores instalados na MDTC.

Variador	Ffreio	Torque4	rpm4	Torque2	rpm2	Torque1	rpm1
1	100	3,6	34	2,1	58	3,1	58
2	100	3,4	36	1,2	58	3,2	58
3	100	3,7	41	1,8	57	3,4	58
4	100	3,8	45	1,9	57	3,6	58
5	100	4,2	49	1,8	57	3,8	58
6	100	4,4	55	1,7	57	4,3	58
7	100	4,6	60	1,4	58	5,4	58
8	100	4,8	68	1,4	58	6,3	57
9	100	4,8	76	1,3	57	7,2	57
10	100	4,7	77	1,4	57	7,8	57
11	100	4,7	83	1,4	58	8,3	58
12	100	4,8	90	1,4	57	9,4	58
13	100	4,8	91	1,5	58	10	57
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Figura 54. Formulário “Inserção de dados”.

Como o aplicativo pode ser utilizado por usuários de países onde o separador de casas decimais pode ser diferente (ponto ou vírgula), o aplicativo possui um filtro que possibilita a utilização de qualquer separador de casas decimais (ponto ou vírgula) durante a digitação dos dados de entrada. Este filtro tem como objetivo à prevenção de qualquer erro que esta situação pode resultar aos cálculos.

Após a inserção dos dados do ensaio, ao ser pressionado o botão “Calcular”, o aplicativo realiza os cálculos referentes ao desempenho mecânico e cinemático da MDTC mediante os dados informados. Após o aplicativo realizar os cálculos, é disponibilizado o botão “Visualizar” que quando pressionado, exibe o formulário “Visualização”.

7.4.6 Formulário “Visualização”

No formulário “Visualização” (Figura 55) podem ser visualizados os dados de entrada (dados brutos referentes aos valores obtidos através do ensaio real com a MDTC) informados pelo usuário, assim como todos os cálculos relativos ao desempenho cinemático e dinâmico do ensaio. Os resultados são exibidos em tabelas semelhantes as do Microsoft Excel, sendo que cada coluna da tabela tem seu rótulo, e as linhas abaixo de cada rótulo representam seu respectivo valor para cada variação do variador (condição do ensaio).

Visualização

Disposição: TIPO PLANETÁRIO SOMADOR Inversor: Direita

Relatório

Fechar

Variador	Ffrel	Torqu...	rpm4	Torqu...	rpm2	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt	Torque1	rpm1	n(1)	M(1)	Ne
1	100	3.6	34	2.1	58	58.0	-34.0	-10.41	58.0	-34.0	-10.41	-10.41	-10.41	-0.58	0.59	-0.17	3.1	58	58.0	3.1	18.83
2	100	3.4	36	1.2	58	58.0	-36.0	-11.89	58.0	-36.0	-11.89	-11.89	-11.89	-0.62	0.63	-0.2	3.2	58	58.0	3.2	19.44
3	100	3.7	41	1.8	57	57.0	-41.0	-15.87	57.0	-41.0	-15.87	-15.87	-15.87	-0.71	0.72	-0.27	3.4	58	58.0	3.4	20.66
4	100	3.8	45	1.9	57	57.0	-45.0	-18.84	57.0	-45.0	-18.84	-18.84	-18.84	-0.78	0.79	-0.33	3.6	58	58.0	3.6	21.87
5	100	4.2	49	1.8	57	57.0	-49.0	-21.82	57.0	-49.0	-21.82	-21.82	-21.82	-0.85	0.86	-0.38	3.8	58	58.0	3.8	23.09
6	100	4.4	55	1.7	57	57.0	-55.0	-26.28	57.0	-55.0	-26.28	-26.28	-26.28	-0.96	0.97	-0.46	4.3	58	58.0	4.3	26.12
7	100	4.6	60	1.4	58	58.0	-60.0	-29.74	58.0	-60.0	-29.74	-29.74	-29.74	-1.03	1.04	-0.51	5.4	58	58.0	5.4	32.8
8	100	4.8	68	1.4	58	58.0	-68.0	-35.69	58.0	-68.0	-35.69	-35.69	-35.69	-1.17	1.18	-0.61	6.3	57	57.0	6.3	37.61
9	100	4.8	76	1.3	57	57.0	-76.0	-41.89	57.0	-76.0	-41.89	-41.89	-41.89	-1.33	1.34	-0.73	7.2	57	57.0	7.2	42.98
10	100	4.7	77	1.4	57	57.0	-77.0	-42.64	57.0	-77.0	-42.64	-42.64	-42.64	-1.35	1.36	-0.74	7.8	57	57.0	7.8	46.56

Variador	Mo'	No'	No	Xmt	Xvt	Net	Nft	Nomt	Nemt	Mft	Momt	Memt	Mf	Mom	Mem	Nf	Nom	Nem	Xm	Xv	Ne	No	η
1	-7.5	8.18	8.18	-152.94	252.95	8.18	12.82	8.19	-12.51	-5.81	-7.51	-2.05	-3.6	-0.07	-2.1	12.82	0.08	-12.75	-1593...	252.95	18.83	8.18	0.44
2	-7.5	9.34	9.34	-130.0	230.0	9.34	12.82	9.35	-12.14	-5.7	-7.5	-1.99	-3.4	-4.44	-1.2	12.82	5.54	-7.28	-131.4	230.0	19.44	9.34	0.49
3	-7.5	12.47	12.47	-96.29	196.3	12.47	15.89	12.48	-12.0	-5.7	-7.5	-2.01	-3.7	-3.09	-1.8	15.89	5.15	-10.74	-208.54	196.3	20.66	12.47	0.61
4	-7.5	14.8	14.8	-78.78	178.79	14.8	17.91	14.82	-11.65	-5.61	-7.51	-1.95	-3.8	-3.33	-1.9	17.91	6.57	-11.34	-172.6	178.79	21.87	14.8	0.68
5	-7.5	17.14	17.14	-68.42	168.43	17.14	21.56	17.15	-11.72	-5.62	-7.5	-1.96	-4.2	-4.73	-1.8	21.56	10.82	-10.74	-99.26	168.43	23.09	17.14	0.75
6	-7.5	20.65	20.65	-56.52	156.53	20.65	25.35	20.66	-11.67	-5.61	-7.5	-1.95	-4.4	-5.52	-1.7	25.35	15.21	-10.14	-66.66	156.53	26.12	20.65	0.8
7	-7.5	23.36	23.36	-50.98	150.99	23.36	28.84	23.39	-11.9	-5.61	-7.51	-1.95	-4.59	-6.53	-1.4	28.84	20.34	-8.5	-41.78	150.99	32.8	23.36	0.72
8	-7.5	28.04	28.04	-42.62	142.63	28.04	34.19	28.05	-11.95	-5.61	-7.5	-1.96	-4.8	-6.87	-1.4	34.19	25.69	-8.5	-33.08	142.63	37.61	28.04	0.75
9	-7.5	32.91	32.91	-35.61	135.62	32.91	38.21	32.93	-11.71	-5.6	-7.5	-1.96	-4.8	-6.94	-1.3	38.21	30.46	-7.75	-25.44	135.62	42.98	32.91	0.77
10	-7.5	33.49	33.49	-35.13	135.14	33.49	37.9	33.5	-11.76	-5.61	-7.5	-1.97	-4.7	-6.61	-1.4	37.9	29.55	-6.35	-28.25	135.14	46.56	33.49	0.72

Figura 55. Formulário “Visualização” .

Quando o usuário clica sobre qualquer coluna da tabela, é possível visualizar seu respectivo gráfico permitindo a comparação dos resultados de desempenho para cada condição (posição do variador) ensaiada (Figura 56). Além disso, o gráfico exibe também a equação utilizada para a realização do cálculo.

Na Figura 57, é possível observar alguns exemplos dos gráficos gerados pelo aplicativo.

Ainda na tela “Visualização”, ao ser pressionado o botão “Relatório” o aplicativo gera um relatório do ensaio no formato PDF (*Portable Document Format*) ou XLS (*Excel Spreadsheet*). Quando selecionada a opção para gerar o relatório, o aplicativo exibe uma caixa de dialogo (Figura 58) onde é necessário informar o local em que o relatório será salvo e o tipo de arquivo a ser gerado (PDF ou XLS). O nome do arquivo é a identificação padronizada do ensaio (conforme exposto anteriormente), contudo caso exista a necessidade, o nome do arquivo pode ser alterado.

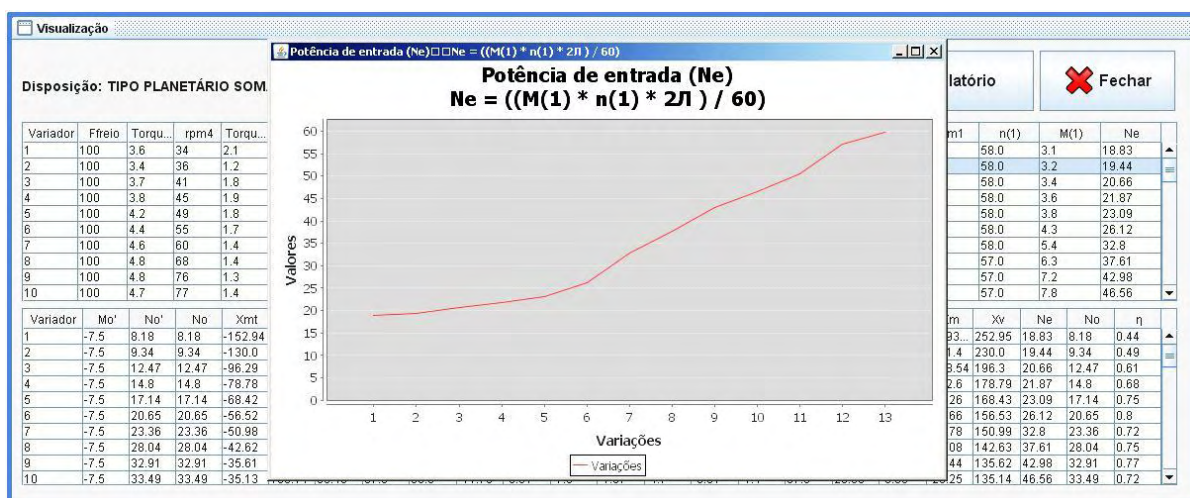


Figura 56. Formulário “Visualização” exibindo um gráfico.

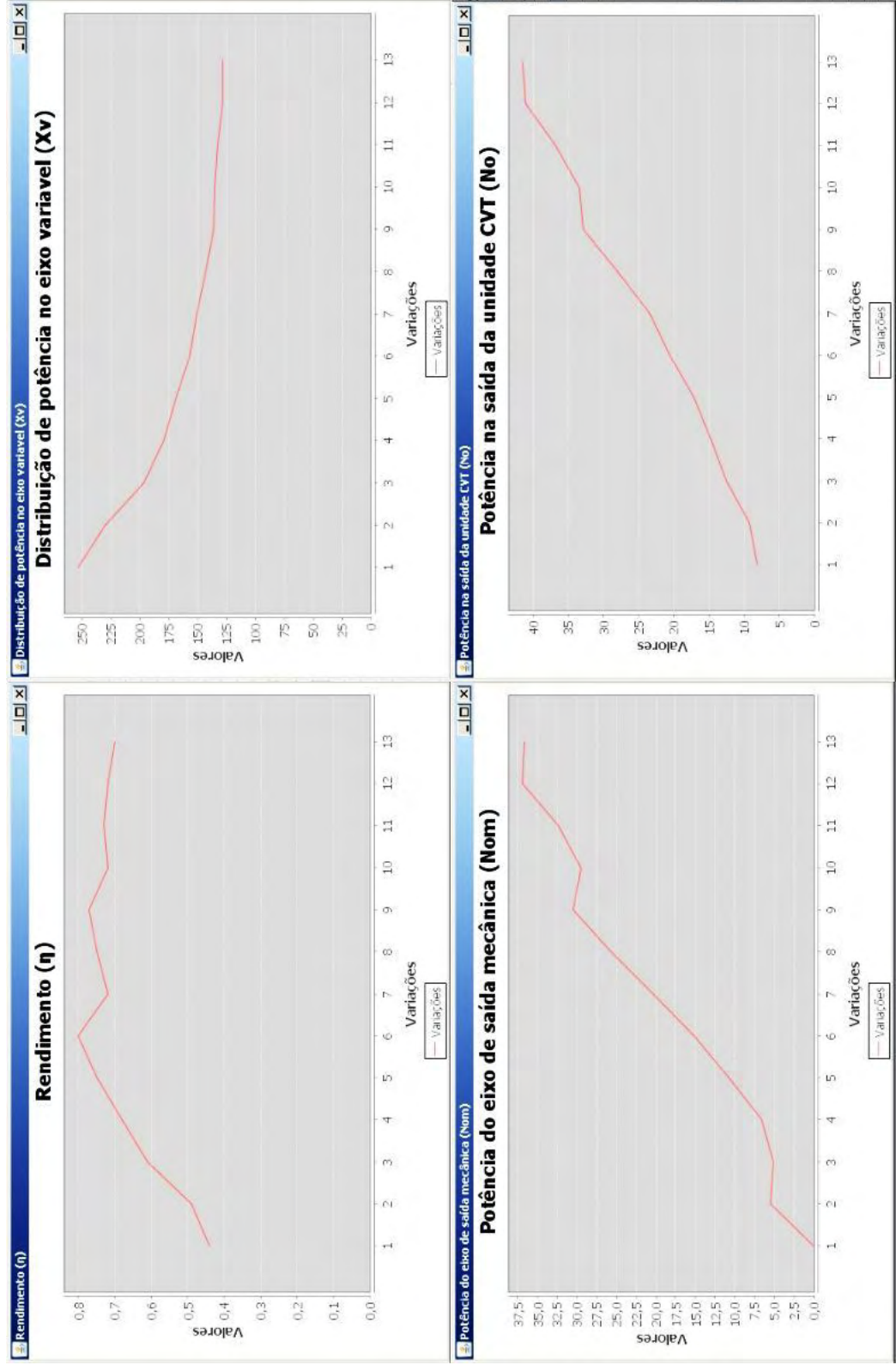


Figura 57. Exemplo dos gráficos gerados pelo aplicativo

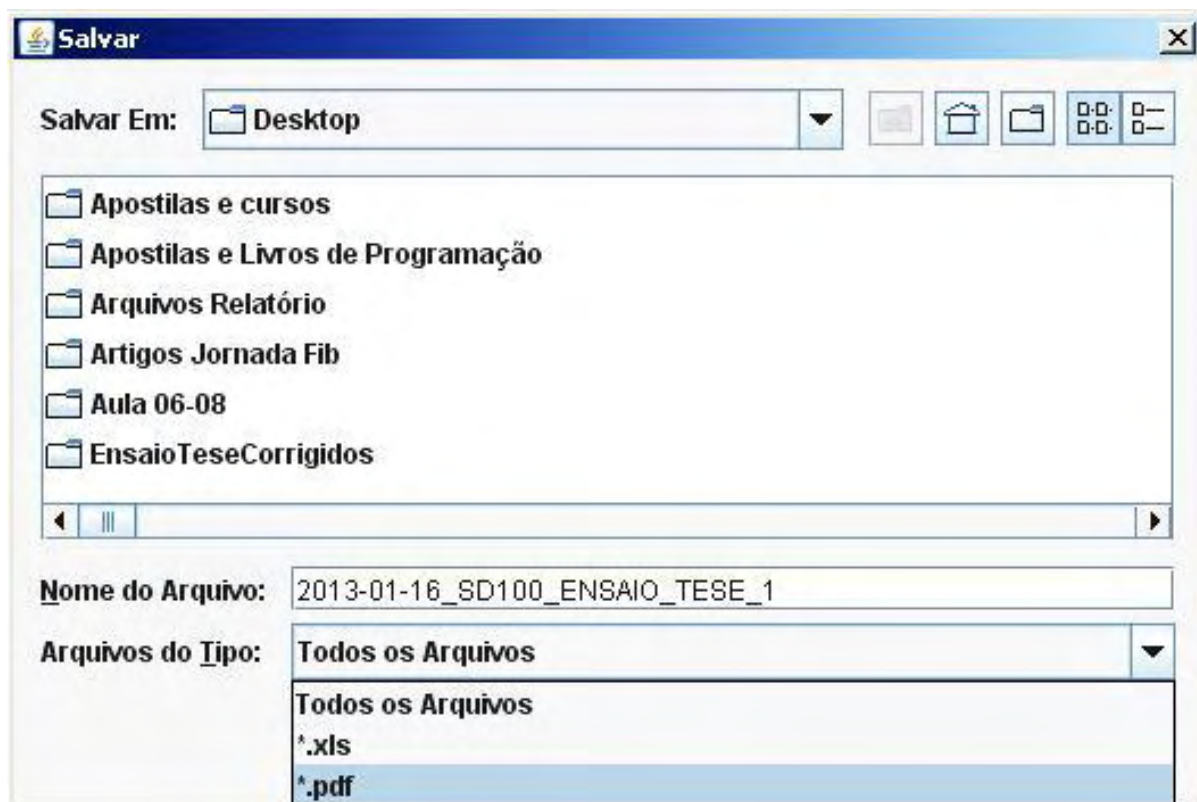


Figura 58. Caixa de diálogo “Salvar”.

Após gerar e salvar o relatório o aplicativo exibe uma mensagem de sucesso e informa onde o arquivo do relatório será salvo (Figura 59). Na Figura 60, é possível observar um exemplo do relatório gerado pelo aplicativo no formato PDF.

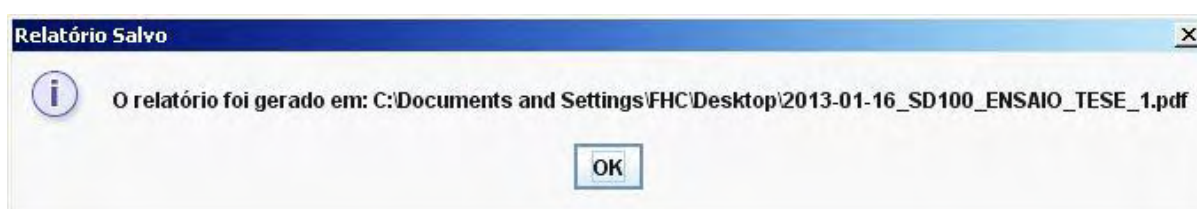


Figura 59. Mensagem de sucesso exibida após a criação do relatório.

Na Figura 61, é apresentado um exemplo do relatório salvo no formato XLS. Proporcionar este formato para salvar o relatório é interessante, pois nesse formato os dados são facilmente manipulados para utilização em outros aplicativos ou análises posteriores.

MDTC - MAQUETE DOCENTE DE TRANSMISSÃO CONTÍNUA

Descrição: 2013-01-16_SD100_ENSAIO_TESE_1

Data: 2013/01/16

Dados da transmissão: TIPO PLANETÁRIO SOMADOR

INVERSOR: Direita

Zc: 58 Zp: 20 Lambda: 2.9 Rtb: 0.26 km: 0.26 kf: 0.74 r: 0.075

Variação	Ffleo	Torque4	rpm4	Torque2	rpm2	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt
1	100	3.6	34	2.1	58	58.0	-34.0	-10.41	58.0	-34.0	-10.41	-10.41	-10.41	-0.58	0.59	-0.17
2	100	3.4	36	1.2	58	58.0	-36.0	-11.89	58.0	-36.0	-11.89	-11.89	-11.89	-0.62	0.63	-0.2
3	100	3.7	41	1.8	57	57.0	-41.0	-15.87	57.0	-41.0	-15.87	-15.87	-15.87	-0.71	0.72	-0.27
4	100	3.8	45	1.9	57	57.0	-45.0	-18.84	57.0	-45.0	-18.84	-18.84	-18.84	-0.78	0.79	-0.33
5	100	4.2	49	1.8	57	57.0	-49.0	-21.82	57.0	-49.0	-21.82	-21.82	-21.82	-0.85	0.86	-0.38
6	100	4.4	55	1.7	57	57.0	-55.0	-26.28	57.0	-55.0	-26.28	-26.28	-26.28	-0.96	0.97	-0.46
7	100	4.6	60	1.4	58	58.0	-60.0	-29.74	58.0	-60.0	-29.74	-29.74	-29.74	-1.03	1.04	-0.51
8	100	4.8	68	1.4	58	58.0	-68.0	-35.69	58.0	-68.0	-35.69	-35.69	-35.69	-1.17	1.18	-0.61
9	100	4.8	76	1.3	57	57.0	-76.0	-41.89	57.0	-76.0	-41.89	-41.89	-41.89	-1.33	1.34	-0.73
10	100	4.7	77	1.4	57	57.0	-77.0	-42.64	57.0	-77.0	-42.64	-42.64	-42.64	-1.35	1.36	-0.74
11	100	4.7	83	1.4	58	58.0	-83.0	-46.84	58.0	-83.0	-46.84	-46.84	-46.84	-1.43	1.44	-0.8
12	100	4.8	90	1.4	57	57.0	-90.0	-52.3	57.0	-90.0	-52.3	-52.3	-52.3	-1.57	1.58	-0.91
13	100	4.8	91	1.5	58	58.0	-91.0	-52.79	58.0	-91.0	-52.79	-52.79	-52.79	-1.56	1.57	-0.91

Torque1	rpm1	n(1)	M(1)	Ne
3.1	58	58.0	3.1	18.83
3.2	58	58.0	3.2	19.44
3.4	58	58.0	3.4	20.66
3.6	58	58.0	3.6	21.87
3.8	58	58.0	3.8	23.09
4.3	58	58.0	4.3	26.12
5.4	58	58.0	5.4	32.8
6.3	57	57.0	6.3	37.61
7.2	57	57.0	7.2	42.98
7.8	57	57.0	7.8	46.56
8.3	58	58.0	8.31	50.48
9.4	58	58.0	9.4	57.1
10	57	57.0	10.0	59.7

Variação	Mo'	No'	No	Xmt	Xvt	Net	Nft	Nomt	Nemt	Mft	Momt	Memt	Mf	Mom	Mem	Nf	Nom	Nem	Xm	Xv	Ne	No	n
1	-7.5	8.18	8.18	-152.94	252.95	8.18	20.7	8.19	-12.51	-5.81	-7.51	-2.05	-3.6	-0.07	-2.1	12.82	0.08	-12.75	-15937.5	16025.0	18.83	8.18	0.44
2	-7.5	9.34	9.34	-130.0	230.0	9.34	21.49	9.35	-12.14	-5.7	-7.5	-1.99	-3.4	-4.44	-1.2	12.82	5.54	-7.28	-131.4	231.41	19.44	9.34	0.49
3	-7.5	12.47	12.47	-96.29	196.3	12.47	24.48	12.48	-12.0	-5.7	-7.5	-2.01	-3.7	-3.09	-1.8	15.89	5.15	-10.74	-208.54	308.55	20.66	12.47	0.61
4	-7.5	14.8	14.8	-78.78	178.79	14.8	26.47	14.82	-11.65	-5.61	-7.51	-1.95	-3.8	-3.33	-1.9	17.91	6.57	-11.34	-172.6	272.61	21.87	14.8	0.68
5	-7.5	17.14	17.14	-68.42	168.43	17.14	28.87	17.15	-11.72	-5.62	-7.5	-1.96	-4.2	-4.73	-1.8	21.56	10.82	-10.74	-99.26	199.27	23.09	17.14	0.75
6	-7.5	20.65	20.65	-56.52	156.53	20.65	32.33	20.66	-11.67	-5.61	-7.5	-1.95	-4.4	-5.52	-1.7	25.35	15.21	-10.14	-66.66	166.67	26.12	20.65	0.8
7	-7.5	23.36	23.36	-50.98	150.99	23.36	35.28	23.39	-11.9	-5.61	-7.51	-1.95	-4.59	-6.53	-1.4	28.84	20.34	-8.5	-41.78	141.79	32.8	23.36	0.72
8	-7.5	28.04	28.04	-42.62	142.63	28.04	40.0	28.05	-11.95	-5.61	-7.5	-1.96	-4.8	-6.87	-1.4	34.19	25.69	-8.5	-33.08	133.09	37.61	28.04	0.75
9	-7.5	32.91	32.91	-35.61	135.62	32.91	44.64	32.93	-11.71	-5.6	-7.5	-1.96	-4.8	-6.94	-1.3	38.21	30.46	-7.75	-25.44	125.45	42.98	32.91	0.77
10	-7.5	33.49	33.49	-35.13	135.14	33.49	45.26	33.5	-11.76	-5.61	-7.5	-1.97	-4.7	-6.61	-1.4	37.9	29.55	-8.35	-28.25	128.26	46.56	33.49	0.72
11	-7.5	36.79	36.79	-32.5	132.5	36.79	48.75	36.8	-11.95	-5.6	-7.5	-1.96	-4.7	-6.59	-1.4	40.86	32.36	-8.5	-26.26	126.27	50.48	36.79	0.73
12	-7.5	41.08	41.08	-28.57	128.58	41.08	52.83	41.1	-11.73	-5.6	-7.5	-1.96	-4.8	-6.73	-1.4	45.24	36.89	-8.35	-22.63	122.64	57.1	41.08	0.72
13	-7.5	41.47	41.47	-28.57	128.58	41.47	53.33	41.49	-11.84	-5.59	-7.5	-1.94	-4.8	-6.62	-1.5	45.75	36.64	-9.11	-24.86	124.87	59.7	41.47	0.7

Figura 60. Exemplo de relatório gerado pelo aplicativo no formato PDF.

A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AV	AW	AX	AY	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BP																																	
1																																	MDTC - MAQUETE DOCENTE DE TRANSMISSÃO CONTÍNUA																																																															
2																																																																																																
3																																																																																																
4																																																																																																
5																																	2013-01-16_SD100_ENSAIO_TESE_1																																Data: 2013/01/16																															
6																																																																																																
7	Dados da transmissão:																																TIPO PLANETÁRIO SOMADOR																																INVERSOR: Direita																															
8																																	Zc: 58 Zp: 20 Lambda: 2.9 Rtb: 0.26 km: 0.26 kf: 0.74 r: 0.075																																																															
9																																																																																																
10																																																																																																
11																																																																																																
12																																																																																																
13																																																																																																
14																																																																																																
15																																																																																																
16																																																																																																
17																																																																																																
18																																																																																																
19																																																																																																
20																																																																																																
21																																																																																																
22																																																																																																
23																																																																																																
24																																																																																																
25																																																																																																
26																																																																																																
27																																																																																																
28																																																																																																
29																																																																																																
30																																																																																																
31																																																																																																
32																																																																																																
33																																																																																																
34																																																																																																
35																																																																																																
36																																																																																																
37																																																																																																

Ainda no formulário “Visualização”, quando pressionado o botão “Fechar” o aplicativo exibe um formulário de confirmação da finalização do ensaio em questão, caso este formulário seja confirmado, o aplicativo fecha o ensaio e retorna ao seu corpo principal oferecendo novamente as mesmas opções descritas no subitem 7.3 (“Formulário MDTC – Folha de Cálculos”).

7.4.7 Formulário “Abrir ensaios”

No formulário “MDTC – Folha de Cálculos”, exibido exatamente após a tela de apresentação, ao ser selecionada a opção “Arquivo” e em sequência a opção “Abrir” é exibido o formulário “Abrir ensaios” (Figura 62), onde é possível selecionar qualquer ensaio realizado anteriormente para visualização. Esta tela possuiu também a opção de filtrar os ensaios, mediante a disposição do planetário e do inversor para facilitar a busca dos ensaios. Após a seleção do ensaio, ao ser pressionado o botão “Carregar”, o aplicativo carrega os dados do ensaio selecionado e abre o formulário “Visualização”, que possui todas as funcionalidades descritas no subitem 7.3.6 (Tela “Visualização”).

The screenshot shows a software window titled "Abrir ensaios". On the left is a list box containing several test identifiers, with "2013-01-16_SD100_ENSAIO_TESE_1" selected. To the right is a "Filtros" (Filters) section with five radio button options: "Todos" (selected), "Somador Direito", "Somador Esquerdo", "Divisor Direito", and "Divisor Esquerdo". Below the filters are two buttons: "Carregar" (Load) and "Fechar" (Close) with a red X icon. At the bottom left, a text field labeled "Ensaio selecionado:" displays the selected test identifier.

Figura 62. Formulário “Abrir ensaios”.

7.5 Ensaio através do simulador virtual da MDTC

A seguir são descritos os procedimentos para a realização de um ensaio através do simulador virtual da MDTC.

7.5.1 Formulário “Simulador” aba “Simulador”

Quando selecionado o menu “Simulador” e em sequência a opção “Abrir...” no formulário “MDTC – Folha de Cálculos”, o aplicativo carrega o formulário “Simulador” onde é exibida a aba “Simulador” (Figura 63). Esta aba foi denominada assim porque foi nela que através do simulador virtual é possível gerar dados teóricos do comportamento cinemático, dinâmico e de divisão de potência dos quatro diferentes tipos de construções de transmissão CVT com divisão de potência.

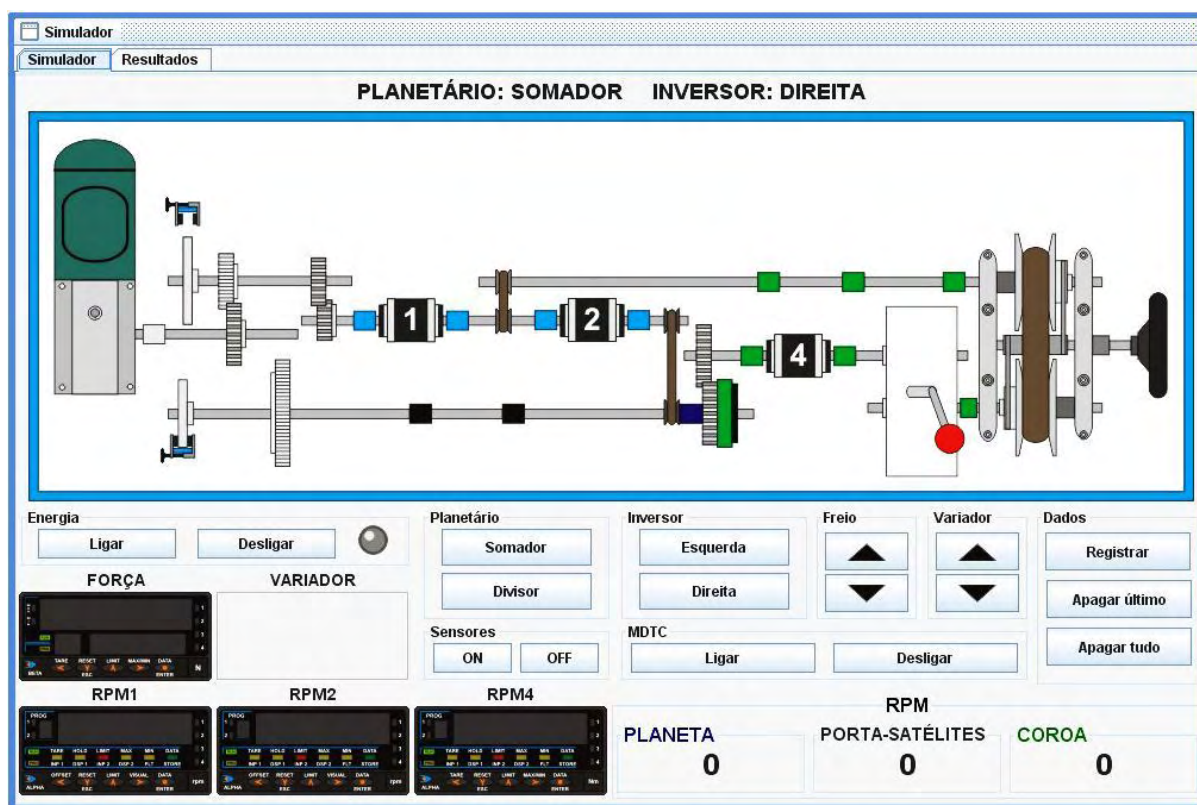


Figura 63. Formulário “Simulador”.

No formulário “Simulador” aba “Simulador” é possível observar a ilustração completa e detalhada da MDTC (Figura 64) e os comando utilizados para configurar o simulador (Figura 65). Assim como simular os desempenhos de cada configuração de câmbio CVT, o simulador virtual tem também como premissa simular todos os procedimentos necessários para a realização de um ensaio com a MDTC.

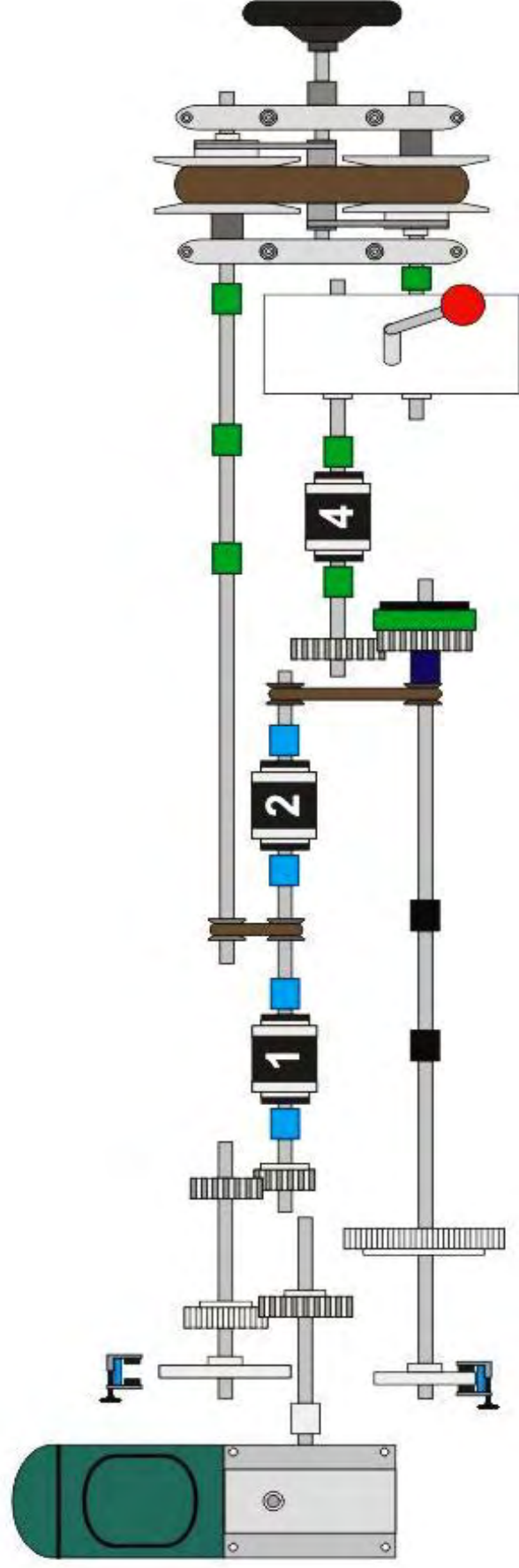


Figura 64. Ilustração completa e detalhada da MDTC.



Figura 65. Comandos para configuração da maquete e sensores virtuais.

7.5.2 Iniciando o ensaio no simulador

Para iniciar o ensaio no simulador, é necessário pressionar o botão “Ligar” no painel “Energia” e o simulador exibe a indicação de que esta devidamente alimentado com energia (luz acesa). Em destaque na Figura 66, é possível observar os botões que controlam o fornecimento de energia para o simulador e a indicação de quando o simulador está devidamente alimentado (luz verde acesa ou luz verde apagada).

Após ligar a energia do simulador, é necessário também ligar os sensores do simulador para que seja possível visualizar os dados obtidos durante o ensaio. Para ligar os sensores deve ser pressionado o botão “ON” no painel “Sensores” (Figura 67). Na Figura 68, é possível observar os sensores do simulador quando ligados.



Figura 66. Controles utilizados para ligar ou desligar a alimentação energética do simulador e indicação de quando o simulador está alimentado.



Figura 67. Controle para ligar e desligar os sensores do simulador.



Figura 68. Sensores do simulador ligados.

Para dar prosseguimento ao ensaio, é necessário seleccionar a disposição escolhida para o ensaio, para seleccionar entre as duas disposições disponíveis (planetário somador e planetário divisor), é necessário pressionar o botão “Somador” ou “Divisor”. Ambos os botões estão localizados no painel “Planetário”.

Em uma ação similar ao procedimento anterior, é necessário seleccionar a disposição do inversor (esquerda ou direita) (Figura 69).



Figura 69. Controles para a disposição do planetário e do inversor.

Ao ser modificada a disposição do planetário ou do inversor do simulador, o aplicativo modifica a ilustração da maquete exibida para o usuário e também informa escrito por extenso a disposição do planetário e do inversor selecionados. A transição entre as configurações da maquete é realizada através de animação gráfica o que aumenta o nível de realidade do simulador. Na Figura 70, é possível observar as quatro configurações possíveis no simulador: planetário somador com inversor à esquerda (A), planetário somador com inversor à direita (B), planetário divisor com inversor à esquerda (C) e planetário divisor com planetário à direita (D).

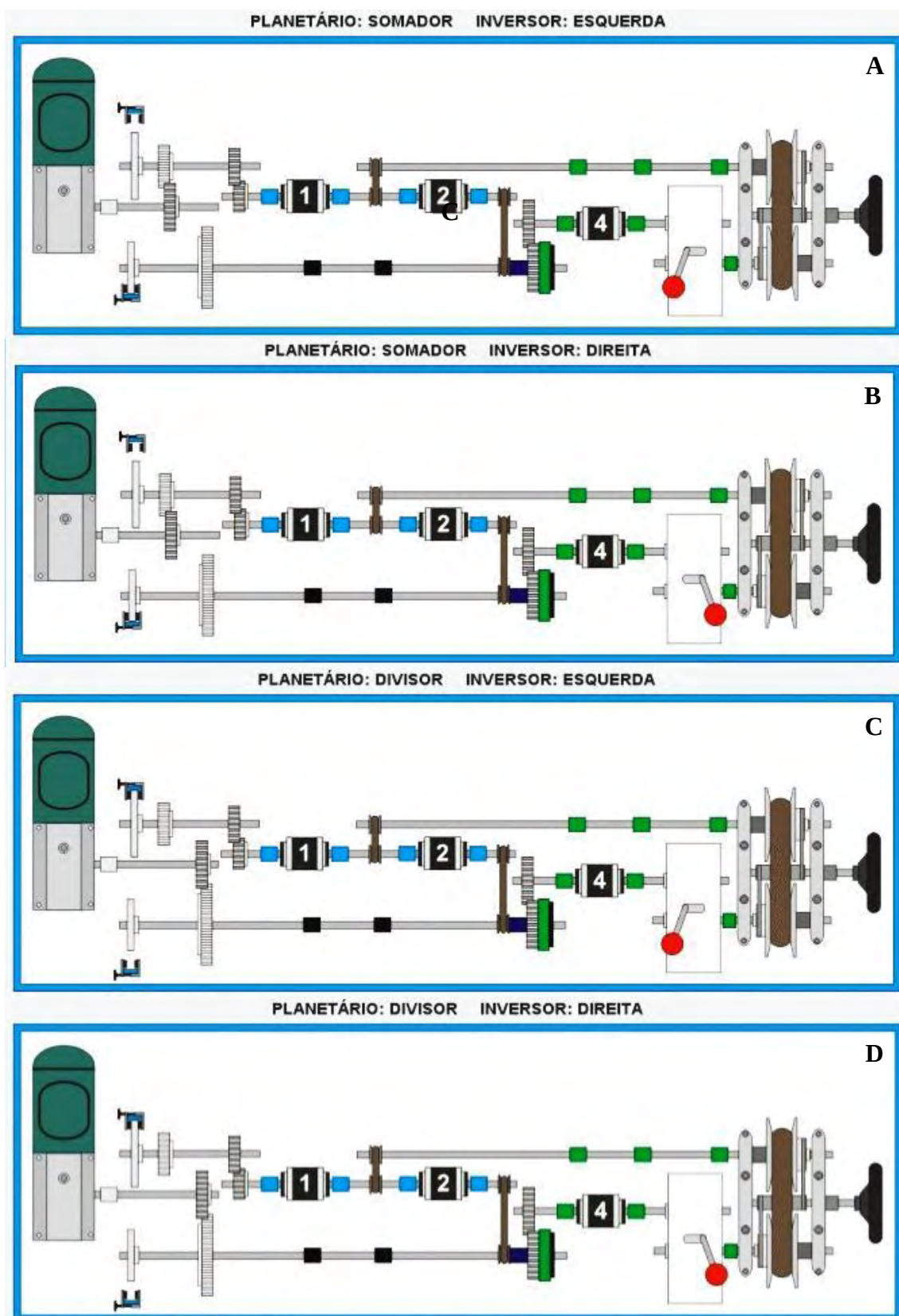


Figura 70. Ilustração das disposições: planetário somador com inversor à esquerda (A), planetário somador com inversor à direita (B), planetário divisor com inversor à esquerda (C) e planetário divisor com inversor à direita (D).

Depois de configurada a disposição do simulador, ao pressionar o botão “Ligar” no painel “MDTC” é acionada a movimentação da maquete. A movimentação da maquete também é representada através de animação gráfica, que obedece ao sentido de rotação de cada eixo mediante a disposição selecionada. Na Figura 71, são apresentados os controles que desligam e ligam o simulador.



Figura 71. Controle para o acionamento do simulador.

Na Figura 72, é possível observar o simulador em funcionamento e os dados gerados sendo exibidos no formulário através dos sensores virtuais.

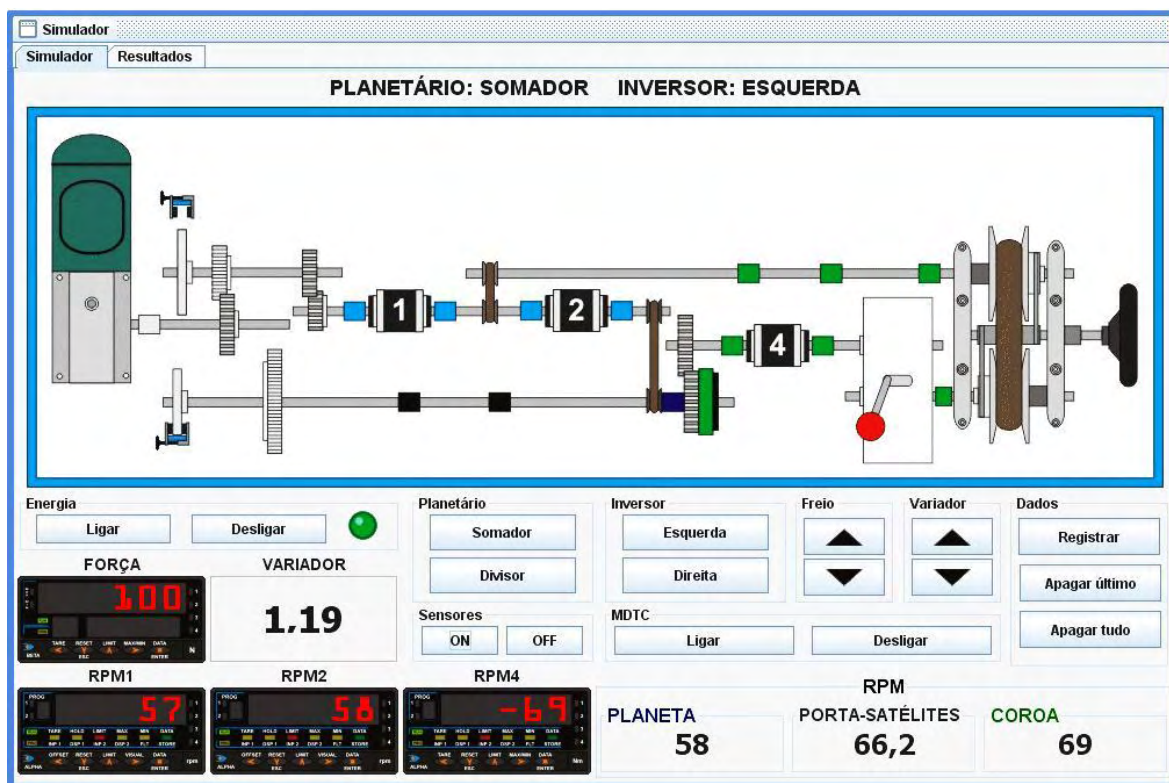


Figura 72. Simulador em funcionamento exibindo os valores obtidos.

Para alterar a força de frenagem aplicada ao simulador, deve ser pressionado o botão que indica uma “seta para cima” ou “seta para baixo” no painel “Freio” (Figura 73). A alteração da força é sempre na ordem de 5 kgf.



Figura 73. Controle da carga aplicada ao simulador.

O limite mínimo para o valor de frenagem foi definido como 0 (zero) e o valor máximo 200 (duzentos), sendo assim quando um desses dois limites é atingido durante o ensaio, um aviso sonoro e uma mensagem de aviso são retornadas pelo aplicativo, alertando que o limite máximo ou mínimo foi atingido. Na Figura 74, é possível observar as mensagens exibidas quando é atingido o valor máximo (A) ou mínimo (B) de frenagem.

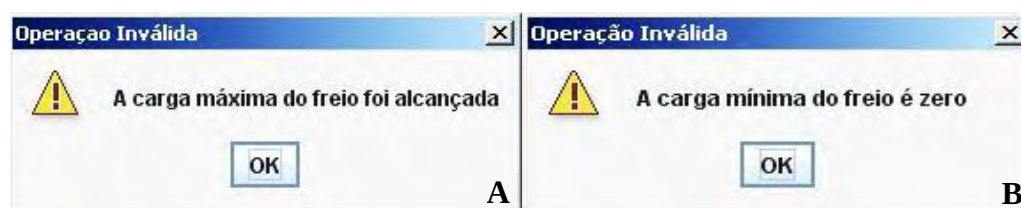


Figura 74. Mensagem exibida quando atingido o valor máximo (A) e mínimo (B) de frenagem.

O controle da variação de relação de transmissão da unidade variadora pode ser alterado de forma semelhante à de alteração do freio, através de dois botões que indicam uma “seta para cima” e uma “seta para baixo” (Figura 75).



Figura 75. Controle da variação da unidade variadora.

A representação da alteração da relação de transmissão da unidade variadora é realizada através de animação gráfica pelo aplicativo sendo que à medida que a relação de variação aumenta ou diminui, é possível visualizar a modificação da unidade variadora de polias na representação gráfica da maquete. Na Figura 76, é possível observar a representação da variação das polias no simulador.

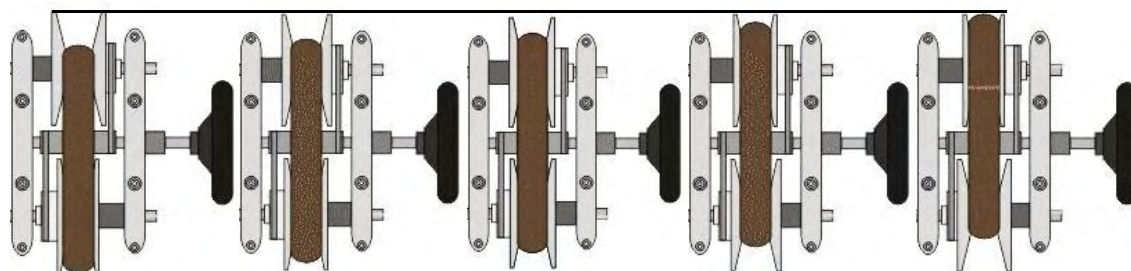


Figura 76. Representação gráfica da relação da unidade variadora no simulador.

Os valores mínimos e máximos de relação de transmissão que a unidade variadora pode atingir são: $1/0,6$ e $1/2,85$ respectivamente. Sendo assim esses foram os valores limites adotados pelo simulador. Para evitar o avanço além do limite máximo ou mínimo, quando é atingido um desses valores o aplicativo emite um aviso sonoro e exibe uma mensagem informando que o limite máximo ou mínimo foi atingido. Na figura 77 são apresentadas as mensagens exibidas quando o limite máximo (A) ou limite mínimo (B) atingido.

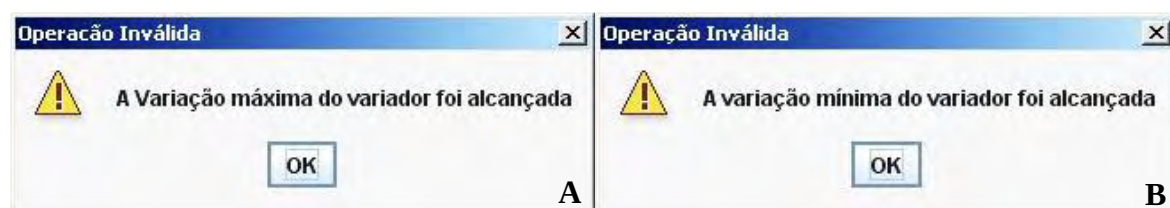


Figura 77. Alertas de limite máximo (A) e mínimo (B) atingido.

De maneira adicional também são informados pelo aplicativo os valores de rotação das engrenagens: planeta, porta-satélites e coroa que podem ser observados no canto inferior direito da tela “Simulador” na aba “Simulador” (Figura 78).



Figura 78. Valores de rotação das engrenagens planetárias.

Assim como os dados do ensaio real realizado na MDTC, os dados gerados pelo simulador também podem ser registrados e processados pelo aplicativo.

O registro dos dados na tela “Simulador” aba “Simulador”, são realizados através dos botões contidos no painel “Dados” (Figura 79), a funcionalidade desses botões será explicada no próximo subitem.



Figura 79. Painel “Dados”.

7.5.3 Formulário “Simulador” aba “Resultados”

No formulário “Simulador” o aplicativo também dispõe de uma aba denominada “Resultados” (Figura 80). Esta aba possibilita ao usuário a visualização dos dados e resultados obtidos a partir do ensaio com o simulador.

Figura 80. Formulário “Simulador” aba “Resultados”.

Na parte superior da aba “Resultados” são apresentados os resultados de desempenho do simulador em tempo real (Figura 81), sendo que estes dados foram calculados a partir dos dados brutos gerados através do simulador.

Figura 81. Exibição dos dados brutos gerados pelo simulador e dos resultados em tempo

Na área central e inferior da aba, estão as tabelas que registram os dados referentes ao ensaio com o simulador. Os dados foram adicionados nessas tabelas, através dos botões contidos no painel “Dados” (“Registrar”, “Apagar último” e “Apagar tudo”). O botão “Registrar” ao ser pressionado, registra os valores fornecidos pelo simulador naquele momento, o botão “Apagar último” apaga a última linha de dados registrados e o botão “Apagar tudo” por sua vez apaga todos os dados registrados. A

funcionalidade dos botões contidos no painel “Dados” são as mesmas, tanto na aba “Simulador” quanto na aba “Resultados”. Em destaque na Figura 82, é possível observar o exemplo da adição de uma linha nas tabelas quando foi pressionado o botão “Registrar”.

Variação	Força	Variador	rpm1	rpm2	rpm4
1	100	1,19	57	58	-69
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Variaç...	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt	Mo'	No'	No	Xmt	Xvt	Net	Nft	Nmt	Nemt	Mft	Momt	Memt	n(1)	no(1)
1	58	69	66,2	58	69	66,2	66,2	66,2	1,19	1,19	1,14	7,5	52	52	22,5	77,5	52	40,3	52	11,7	5,6	7,5	1,9	57	
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									

Figura 82. Exemplo do registro de dados quando acionado o botão “Registrar”.

Conforme mencionado no subitem 7.3.6 (Formulário “Visualização”), ao “clique” sobre qualquer coluna de ambas as tabelas, é possível visualizar o seu respectivo gráfico que permite a comparação dos resultados de desempenho para cada condição ensaiada. Além disso, o gráfico exibe também a equação utilizada para a realização do cálculo.

Ao final da tomada de dados através do simulador, é possível salvar os dados obtidos e gerar relatórios com os resultados. Contudo para salvar os dados é necessário informar alguns dados sobre o ensaio, dessa forma para salvar os dados coletados, deve ser pressionado o botão “Completar dados” (Figura 83). Ao ser pressionado o botão “Completar dados” o aplicativo exibe a tela “Dados do ensaio”, (cujas funcionalidades foram devidamente explicadas no subitem 7.3.1) para que o usuário informe o nome do ensaio e sua carga.

Após finalizar a tela “Dados do ensaio”, o aplicativo libera para uso os botões “Salvar” e “Relatório”. Ao ser pressionado o botão “Salvar”, o aplicativo salva os dados brutos e os resultados em seu banco de dados. Para gerar um relatório é necessário pressionar o botão “Relatório” que possui a mesma funcionalidade do botão “Relatório” do formulário “Visualização” (cujas funcionalidades foram devidamente explicadas no subitem 7.3.6).

Varição	Força	Variador	rpm1	rpm2	rpm4
1	100	1,19	57	58	-69
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Dados

Registrar

Apagar último

Apagar tudo

Completar dados

Fechar

Salvar

Relatório

Variç...	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt	Mo'	No'	No	Xmt	Xvt	Net	Nft	Nomt	Nemt	Mft	Momt	Memt	n(1)	no(1)
1	58	69	66,2	58	69	66,2	66,2	66,2	1,19	1,19	1,14	7,5	52	52	22,5	77,5	52	40,3	52	11,7	5,6	7,5	1,9	57	
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									

Figura 83. Botões “Completar dados”, “Salvar”, “Relatório” e “Fechar”.

Para finalizar o ensaio é necessário pressionar o botão “Fechar” e realizar a confirmação da finalização do ensaio e o aplicativo retorna a seu formulário Principal “MDTC - Folha de Cálculos”.

7.6 Alteração de Idioma

A seguir foram descritas as ações necessárias para a alteração do idioma do aplicativo.

7.6.1 Formulário “Escolha de Idioma”

No formulário “MDTC – Folha de Cálculos” exibido exatamente após a tela de apresentação, ao ser selecionada a opção “Idioma” e em sequência a opção “Alterar” é exibido o formulário “Escolha do Idioma” (Figura 84), este formulário permite que o usuário altere o idioma do aplicativo. Os idiomas disponíveis para escolha foram: Português (Brasil), Castelhana (Espanha) e Inglês (USA).

Para alterar o idioma do aplicativo é necessário clicar sobre a opção do idioma desejado e depois pressionar o botão “Aplicar” e o idioma do aplicativo será alterado.

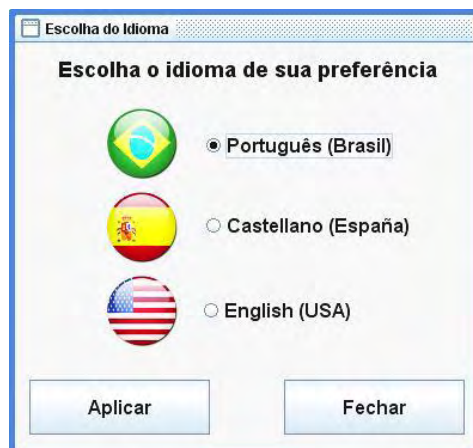


Figura 84. Formulário “Escolha do Idioma”.

7.6 Validação do aplicativo

A validação do aplicativo foi dividida em duas partes, a primeira buscou validar os cálculos e resultados gerados pelo aplicativo no processamento e armazenamento dos dados de ensaios realizados através da MDTC, e a segunda parte procurou verificar e validar a fidedignidade dos dados gerados através de um ensaio pelo simulador em relação aos dados gerados por um ensaio com a MDTC.

7.6.1 Validação do aplicativo no processamento e armazenamento dos dados gerados através de ensaios com a MDTC

Para validar o aplicativo no processamento e armazenamento dos dados obtidos através de ensaios com a MDTC, foi realizado um ensaio com a MDTC nas condições apresentadas na Tabela 6. Os dados gerados através desse ensaio foram inseridos nas planilhas eletrônicas utilizadas anteriormente para a realização do processamento dos dados conforme descrito e utilizado por Llorente (2009). Na Figura 85 é possível observar a planilha utilizada para os cálculos da disposição planetário somador com inversor a esquerda.

Tabela 6. Condições do ensaio de validação do aplicativo

Disposição		Frenagem	Nº de variações
Planetário	Inversor	(kgf)	do variador
Somador	Esquerda	100	13
Somador	Direita	100	13
Divisor	Esquerda	100	13
Divisor	Direita	100	13

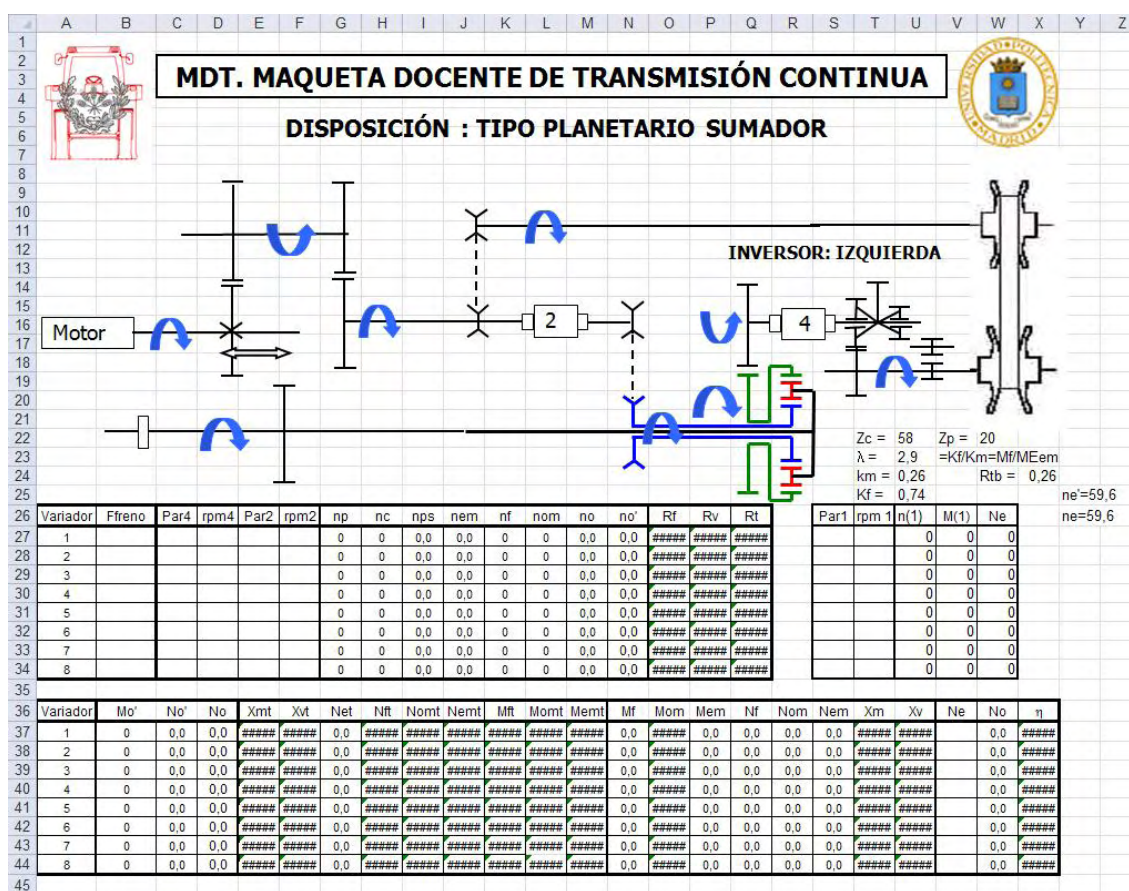


Figura 85. Planilha utilizada anteriormente para o processamento dos dados na disposição planetários somador com inversor à esquerda (fonte: LLORENTE, 2009).

Os mesmos dados obtidos através do ensaio realizado também foram inseridos no aplicativo desenvolvido e através da comparação dos resultados obtidos para ambos foi realizada a validação do aplicativo.

Para a comparação dos resultados obtidos foram selecionados de forma aleatória 6 variáveis apresentadas no resultados finais da planilha eletrônica e do aplicativo sendo estes valores comparados para cada condição. A comparação foi realizada para as 4 disposições possíveis de ensaio: planetário somador com inversor à esquerda, planetário somador com inversor à direita, planetário divisor com inversor à esquerda e planetário divisor com inversor à direita. Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 são apresentadas as comparações dos resultados para cada disposição ensaiada.

Conforme observado nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 os valores apresentados tanto pela planilha eletrônica quanto pelo aplicativo são os mesmos sendo que a única diferença apresentada foi que em alguns campos os valores apresentados pelo aplicativo possuem uma casa decimal a mais.

Nas Figura 86, 87, 88 e 89 são apresentados os relatórios gerados pelo aplicativo para as 4 (quatro) disposições ensaiadas. Os relatórios são compostos de dados técnicos relativos ao ensaio, dos dados brutos inseridos pelo usuário (tomados durante o ensaio realizado através da MDTC) e dos dados processados e calculados que representam os resultados de desempenho obtidos através do ensaio.

Tabela 7. Resultados obtidos através da planilha eletrônica anteriormente utilizada e pelo aplicativo para a disposição planetário somador com inversor à esquerda.

Planilha Eletrônica							Aplicativo					
Condição	n _p	n _{om}	R _t	N _o	M _{om}	N _e	n _p	n _{om}	R _t	N _o	M _{om}	N _e
1	58	41,6	0,72	32,7	7,2	37,0	58	41,65	0,72	32,72	7,23	37,05
2	57	42,1	0,74	33,0	7,4	37,0	57	42,13	0,74	33,09	7,43	37,05
3	57	45,8	0,81	36,0	7,1	37,6	57	45,85	0,81	36,02	7,15	37,66
4	57	48,0	0,85	37,7	7,1	38,2	57	48,08	0,85	37,77	7,13	38,21
5	58	52,8	0,92	41,4	7,0	41,3	58	52,80	0,92	41,47	7,07	41,31
6	58	58,0	1,00	45,5	6,8	43,7	58	58,00	1,00	45,56	6,81	43,74
7	58	60,9	1,06	47,9	6,8	47,3	58	60,98	1,06	47,90	6,81	47,38
8	58	63,9	1,11	50,2	6,9	50,4	58	63,95	1,11	50,23	6,90	50,48
9	58	66,1	1,15	51,9	6,8	54,9	58	66,18	1,15	51,98	6,81	54,92
10	57	75,5	1,33	59,3	6,8	60,8	57	75,59	1,33	59,37	6,82	60,89
11	57	84,5	1,49	66,3	6,8	71,0	57	84,52	1,49	66,39	6,82	71,04
12	58	87,0	1,50	68,3	6,9	80,7	58	87,00	1,50	68,33	6,94	80,79
13	58	89,2	1,54	70,0	6,9	89,2	58	89,24	1,54	70,09	6,94	89,29

Tabela 8. Resultados obtidos através da planilha eletrônica anteriormente utilizada e pelo aplicativo para a disposição planetário somador com inversor à direita.

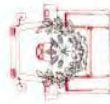
Condição	Planilha Eletrônica						Aplicativo					
	n _{em}	n _o '	M ₍₁₎	N _{et}	M _{omt}	X _n	n _{em}	n _o '	M ₍₁₎	N _{et}	M _{omt}	X _n
1	58,0	-10,4	3,1	8,1	-7,5	-15937,5	58,0	-10,41	3,1	8,18	-7,51	-15937,50
2	58,0	-11,8	3,2	9,3	-7,5	-131,4	58,0	-11,89	3,2	9,34	-7,50	-131,40
3	57,0	-15,8	3,4	12,4	-7,5	-208,5	57,0	-15,87	3,4	12,47	-7,50	-208,54
4	57,0	-18,8	3,6	14,8	-7,5	-172,6	57,0	-18,84	3,6	14,80	-7,51	-172,60
5	57,0	-21,8	3,8	17,1	-7,5	-99,2	57,0	-21,82	3,8	17,14	-7,50	-99,26
6	57,0	-26,2	4,3	20,6	-7,5	-66,6	57,0	-26,28	4,3	20,65	-7,50	-66,66
7	58,0	-29,7	5,4	23,3	-7,5	-41,7	58,0	-29,74	5,4	23,36	-7,51	-41,78
8	58,0	-35,6	6,3	28,0	-7,5	-33,0	58,0	-35,69	6,3	28,04	-7,50	-33,08
9	57,0	-41,8	7,2	32,9	-7,5	-25,4	57,0	-41,89	7,2	32,91	-7,50	-25,44
10	57,0	-42,6	7,8	33,4	-7,5	-28,2	57,0	-42,64	7,8	33,49	-7,50	-28,25
11	58,0	-46,8	8,3	36,7	-7,5	-26,2	58,0	-46,84	8,3	36,79	-7,50	-26,26
12	57,0	-52,3	9,4	41,0	-7,5	-22,6	57,0	-52,30	9,4	41,08	-7,50	-22,63
13	58,0	-52,7	10,0	41,4	-7,5	-24,8	58,0	-52,79	10,0	41,47	-7,50	-24,86

Tabela 9. Resultados obtidos através da planilha eletrônica anteriormente utilizada e pelo aplicativo para a disposição planetário divisor com inversor à esquerda.

Condição	Planilha Eletrônica						Aplicativo					
	n _c	R _v	X _{vt}	N _{em}	N _{om}	η	n _c	R _v	X _{vt}	N _{em}	N _{om}	η
1	-54,0	0,84	70,1	78,3	19,7	0,88	-54,0	0,84	70,13	78,3	19,74	0,88
2	-56,0	0,89	71,4	75,8	17,8	0,89	-56,0	0,89	71,43	75,89	17,82	0,89
3	-58,0	0,99	73,5	71,0	16,6	0,91	-58,0	0,99	73,51	71,08	16,69	0,91
4	-59,0	1,08	75,3	66,2	15,5	0,93	-59,0	1,08	75,33	66,25	15,56	0,93
5	-61,0	1,22	77,6	60,2	13,0	0,90	-61,0	1,22	77,67	60,24	13,09	0,90
6	-63,0	1,4	79,7	54,2	10,8	0,85	-63,0	1,4	79,75	54,22	10,8	0,85
7	-63,0	1,54	81,3	49,3	9,4	0,83	-63,0	1,54	81,30	49,39	9,45	0,83
8	-64,0	1,65	82,3	46,9	8,5	0,82	-64,0	1,65	82,34	46,98	8,58	0,82
9	-65,0	1,72	82,8	45,7	8,3	0,81	-65,0	1,72	82,86	45,78	8,36	0,81
10	-64,0	1,83	83,9	42,1	6,9	0,82	-64,0	1,83	83,90	42,17	6,97	0,82
11	-66,0	2,13	85,7	37,3	5,8	0,73	-66,0	2,13	85,72	37,35	5,85	0,73
12	-67,0	2,24	86,2	36,1	5,3	0,76	-67,0	2,24	86,24	36,14	5,35	0,76
13	-69,0	2,66	88,3	31,3	4,0	0,69	-69,0	2,66	88,32	31,35	4,09	0,69

Tabela 10. Resultados obtidos através da planilha eletrônica anteriormente utilizada e pelo aplicativo para a disposição planetário divisor com inversor à direita.

Condição	Planilha Eletrônica						Aplicativo					
	n_{ps}	R_f	N_{omt}	M_{emt}	N_f	N_{em}	n_{ps}	R_f	N_{omt}	M_{emt}	N_f	N_{em}
1	-60,4	1,89	-46,6	-18,0	317,5	220,0	-60,41	1,89	-46,64	-18,08	317,56	220,07
2	-55,5	1,88	-40,6	-17,6	235,2	164,9	-55,53	1,88	-40,68	-17,60	235,25	164,94
3	-56,5	1,86	-38,8	-17,0	201,2	141,4	-56,53	1,86	-38,88	-17,09	201,22	141,41
4	-58,5	1,82	-33,1	-15,5	180,9	130,4	-58,56	1,82	-33,10	-15,51	180,94	130,48
5	-57,1	1,77	-26,7	-14,0	161,8	120,7	-57,15	1,77	-26,70	-14,08	161,83	120,79
6	-57,2	1,72	-20,2	-12,2	143,6	110,4	-57,23	1,72	-20,22	-12,26	143,68	110,47
7	-57,2	1,68	-16,5	-11,0	129,6	102,0	-57,28	1,68	-16,51	-11,04	129,69	102,05
8	-56,8	1,66	-14,1	-10,3	115,1	92,7	-56,82	1,66	-14,19	-10,32	115,18	92,75
9	-56,6	1,63	-11,6	-9,3	106,9	87,6	-56,61	1,63	-11,65	-9,34	106,94	87,68
10	-56,1	1,63	-11,2	-9,2	101,0	83,1	-56,12	1,63	-11,25	-9,22	101,02	83,12
11	-58,1	1,57	-7,2	-7,3	92,3	78,4	-58,17	1,57	-7,29	-7,31	92,35	78,41
12	-58,2	1,55	-6,1	-6,7	85,7	74,0	-58,20	1,55	-6,16	-6,72	85,77	74,03
13	-57,4	1,54	-5,1	-6,2	82,0	71,6	-57,48	1,54	-5,13	-6,20	82,02	71,64



MDTC - MAQUETE DOCENTE DE TRANSMISSÃO CONTÍNUA

Descrição: 2012-07-22_S1100_ENSAIO_VALIDACAO_APLICATIVO

Data: 2012/07/22

Dados da transmissão: TIPO PLANETÁRIO SOMADOR

INVERSOR: Esquerda

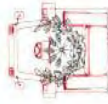
Zc: 58 Zp: 20 Lambda: 2.9 Rtb: 0.26 km: 0.26 kf: 0.74 r: 0.075																
Varição	Ffreio	Torque4	rpm4	Torque2	rpm2	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt
1	100	4.8	-36	2.2	58	58.0	36.0	41.65	58.0	36.0	41.65	41.65	41.65	0.63	0.63	0.72
2	100	4.9	-37	2.3	57	57.0	37.0	42.13	57.0	37.0	42.13	42.13	42.13	0.65	0.65	0.74
3	100	4.8	-42	2.2	57	57.0	42.0	45.85	57.0	42.0	45.85	45.85	45.85	0.74	0.74	0.81
4	100	4.7	-45	2.3	57	57.0	45.0	48.08	57.0	45.0	48.08	48.08	48.08	0.79	0.79	0.85
5	100	4.7	-51	2.3	58	58.0	51.0	52.8	58.0	51.0	52.8	52.8	52.8	0.88	0.88	0.92
6	100	4.7	-58	2.1	58	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	1.0	1.0	1.0
7	100	5.1	-62	1.7	58	58.0	62.0	60.98	58.0	62.0	60.98	60.98	60.98	1.07	1.07	1.06
8	100	5.1	-66	1.8	58	58.0	66.0	63.95	58.0	66.0	63.95	63.95	63.95	1.14	1.14	1.11
9	100	5.1	-69	1.7	58	58.0	69.0	66.18	58.0	69.0	66.18	66.18	66.18	1.19	1.19	1.15
10	100	5.1	-82	1.7	57	57.0	82.0	75.59	57.0	82.0	75.59	75.59	75.59	1.44	1.44	1.33
11	100	5.1	-94	1.7	57	57.0	94.0	84.52	57.0	94.0	84.52	84.52	84.52	1.65	1.65	1.49
12	100	5.2	-97	1.7	58	58.0	97.0	87.0	58.0	97.0	87.0	87.0	87.0	1.68	1.68	1.5
13	100	5.2	-100	1.7	58	58.0	100.0	89.24	58.0	100.0	89.24	89.24	89.24	1.73	1.73	1.54

Torque1	rpm1	n(1)	M(1)	Ne
6.1	58	58.0	6.1	37.05
6.1	58	58.0	6.1	37.05
6.2	58	58.0	6.2	37.66
6.4	57	57.0	6.4	38.21
6.8	58	58.0	6.8	41.31
7.2	58	58.0	7.2	43.74
7.8	58	58.0	7.8	47.38
8.3	58	58.0	8.31	50.48
9.2	57	57.0	9.2	54.92
10.2	57	57.0	10.2	60.89
11.9	57	57.0	11.9	71.04
13.3	58	58.0	13.3	80.79
14.7	58	58.0	14.7	89.29

Torque1	rpm1	n(1)	M(1)	Ne
6.1	58	58.0	6.1	37.05
6.1	58	58.0	6.1	37.05
6.2	58	58.0	6.2	37.66
6.4	57	57.0	6.4	38.21
6.8	58	58.0	6.8	41.31
7.2	58	58.0	7.2	43.74
7.8	58	58.0	7.8	47.38
8.3	58	58.0	8.31	50.48
9.2	57	57.0	9.2	54.92
10.2	57	57.0	10.2	60.89
11.9	57	57.0	11.9	71.04
13.3	58	58.0	13.3	80.79
14.7	58	58.0	14.7	89.29

Varição	Mo'	No'	No	Xmt	Xvt	Net	Nft	Nomt	Nemt	Mft	Momt	Memt	Mf	Mom	Mem	Nf	Nom	Nem	Xm	Xv	Ne	No	n
1	7.5	32.72	32.72	36.12	63.89	32.72	20.91	32.74	11.82	5.55	7.51	1.95	4.8	7.23	2.21	18.1	31.53	13.43	42.6	57.41	37.05	32.72	0.89
2	7.5	33.09	33.09	35.14	64.87	33.09	21.47	33.1	11.63	5.55	7.51	1.95	4.91	7.43	2.3	19.03	32.77	13.73	41.9	58.08	37.05	33.09	0.9
3	7.5	36.02	36.02	32.1	67.91	36.02	24.47	36.04	11.57	5.57	7.51	1.94	4.8	7.15	2.21	21.12	34.32	13.2	38.47	61.54	37.66	36.02	0.96
4	7.5	37.77	37.77	30.59	69.42	37.77	26.22	37.78	11.56	5.57	7.51	1.94	4.7	7.13	2.3	22.15	35.88	13.73	38.27	61.74	38.21	37.77	0.99
5	7.5	41.47	41.47	28.27	71.74	41.47	29.76	41.49	11.73	5.58	7.51	1.94	4.7	7.07	2.3	25.11	39.08	13.97	35.75	64.26	41.31	41.47	1.01
6	7.5	45.56	45.56	26.0	74.0	45.56	33.72	45.57	11.85	5.56	7.51	1.96	4.7	6.81	2.1	28.55	41.31	12.76	30.89	69.12	43.74	45.56	1.05
7	7.5	47.9	47.9	24.53	75.48	47.9	36.16	47.91	11.75	5.57	7.51	1.94	5.1	6.81	1.7	33.12	43.45	10.33	23.78	76.23	47.38	47.9	1.02
8	7.5	50.23	50.23	23.43	76.58	50.23	38.47	50.24	11.77	5.57	7.51	1.94	5.1	6.9	1.8	35.25	46.19	10.94	23.69	76.32	50.48	50.23	1.0
9	7.5	51.98	51.98	22.61	77.4	51.98	40.24	52.0	11.76	5.57	7.51	1.94	5.1	6.81	1.7	36.86	47.19	10.33	21.9	78.11	54.92	51.98	0.95
10	7.5	59.37	59.37	19.55	80.46	59.37	47.77	59.38	11.61	5.57	7.51	1.95	5.1	6.82	1.7	43.8	53.95	10.15	18.82	81.19	60.89	59.37	0.98
11	7.5	66.39	66.39	17.45	82.56	66.39	54.82	66.41	11.59	5.57	7.51	1.95	5.1	6.82	1.7	50.21	60.36	10.15	16.82	83.19	71.04	66.39	0.94
12	7.5	68.33	68.33	17.34	82.67	68.33	56.49	68.34	11.85	5.57	7.51	1.96	5.2	6.94	1.7	52.83	63.16	10.33	16.36	83.65	80.79	68.33	0.85
13	7.5	70.09	70.09	16.89	83.12	70.09	58.26	70.1	11.84	5.57	7.51	1.95	5.2	6.94	1.7	54.46	64.8	10.33	15.95	84.05	89.29	70.09	0.79

Figura 86. Relatório gerado para a disposição planetário somador com inversor à esquerda.



MDTC - MAQUETE DOCENTE DE TRANSMISSÃO CONTÍNUA

Descrição: 2012-07-23_SD100_ENSAIO_VALIDACAO_APLICATIVO

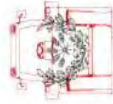
Data: 2012/07/23

Dados da transmissão: TIPO PLANETÁRIO SOMADOR INVERSOR: Direita

Zc: 58 Zp: 20 Lambda: 2.9 Rtb: 0.26 km: 0.26 kf: 0.74 r: 0.075																
Varição	Ffreio	Torque4	rpm4	Torque2	rpm2	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt
1	100	3.6	34	2.1	58	58.0	-34.0	-10.41	58.0	-34.0	-10.41	-10.41	-10.41	-0.58	0.59	-0.17
2	100	3.4	36	1.2	58	58.0	-36.0	-11.89	58.0	-36.0	-11.89	-11.89	-11.89	-0.82	0.63	-0.2
3	100	3.7	41	1.8	57	57.0	-41.0	-15.87	57.0	-41.0	-15.87	-15.87	-15.87	-0.71	0.72	-0.27
4	100	3.8	45	1.9	57	57.0	-45.0	-18.84	57.0	-45.0	-18.84	-18.84	-18.84	-0.78	0.79	-0.33
5	100	4.2	49	1.8	57	57.0	-49.0	-21.82	57.0	-49.0	-21.82	-21.82	-21.82	-0.85	0.86	-0.38
6	100	4.4	55	1.7	57	57.0	-55.0	-26.28	57.0	-55.0	-26.28	-26.28	-26.28	-0.96	0.97	-0.46
7	100	4.6	60	1.4	58	58.0	-60.0	-29.74	58.0	-60.0	-29.74	-29.74	-29.74	-1.03	1.04	-0.51
8	100	4.8	68	1.4	58	58.0	-68.0	-35.69	58.0	-68.0	-35.69	-35.69	-35.69	-1.17	1.18	-0.61
9	100	4.8	76	1.3	57	57.0	-76.0	-41.89	57.0	-76.0	-41.89	-41.89	-41.89	-1.33	1.34	-0.73
10	100	4.7	77	1.4	57	57.0	-77.0	-42.64	57.0	-77.0	-42.64	-42.64	-42.64	-1.35	1.36	-0.74
11	100	4.7	83	1.4	58	58.0	-83.0	-46.84	58.0	-83.0	-46.84	-46.84	-46.84	-1.43	1.44	-0.8
12	100	4.8	90	1.4	57	57.0	-90.0	-52.3	57.0	-90.0	-52.3	-52.3	-52.3	-1.57	1.58	-0.91
13	100	4.8	91	1.5	58	58.0	-91.0	-52.79	58.0	-91.0	-52.79	-52.79	-52.79	-1.56	1.57	-0.91
Torque1 rpm1 n(1) M(1) Ne																

Varição	Mo'	No'	No	Xmt	Xvt	Net	Nft	Nomt	Nemt	Mft	Momt	Memt	Mf	Mom	Mem	Nf	Nom	Nem	Xm	Xv	n(1)	M(1)	Ne
1	-7.5	8.18	8.18	-152.94	252.95	8.18	20.7	8.19	-12.51	-5.81	-7.51	-2.05	-3.6	-0.07	-2.1	12.82	0.08	-12.75	-15937.5	16025.0	18.83	8.18	0.44
2	-7.5	9.34	9.34	-130.0	230.0	9.34	21.49	9.35	-12.14	-5.7	-7.5	-1.99	-3.4	-4.44	-1.2	12.82	5.54	-7.28	-131.4	231.41	19.44	9.34	0.49
3	-7.5	12.47	12.47	-96.29	196.3	12.47	24.48	12.48	-12.0	-5.7	-7.5	-2.01	-3.7	-3.09	-1.8	15.89	5.15	-10.74	-208.54	308.55	20.66	12.47	0.61
4	-7.5	14.8	14.8	-78.78	178.79	14.8	26.47	14.82	-11.65	-5.61	-7.51	-1.95	-3.8	-3.33	-1.9	17.91	6.57	-11.34	-172.6	272.61	21.87	14.8	0.68
5	-7.5	17.14	17.14	-68.42	168.43	17.14	28.87	17.15	-11.72	-5.62	-7.5	-1.96	-4.2	-4.73	-1.8	21.56	10.82	-10.74	-99.26	199.27	23.09	17.14	0.75
6	-7.5	20.65	20.65	-56.52	156.53	20.65	32.33	20.66	-11.67	-5.61	-7.5	-1.95	-4.4	-5.52	-1.7	25.35	15.21	-10.14	-66.66	166.67	26.12	20.65	0.8
7	-7.5	23.36	23.36	-50.98	150.99	23.36	35.28	23.39	-11.9	-5.61	-7.51	-1.95	-4.59	-6.53	-1.4	28.84	20.34	-8.5	-41.78	141.79	32.8	23.36	0.72
8	-7.5	28.04	28.04	-42.62	142.63	28.04	40.0	28.05	-11.95	-5.61	-7.5	-1.96	-4.8	-6.87	-1.4	34.19	25.69	-8.5	-33.08	133.09	37.61	28.04	0.75
9	-7.5	32.91	32.91	-35.61	135.62	32.91	44.64	32.93	-11.71	-5.6	-7.5	-1.96	-4.8	-6.94	-1.3	38.21	30.46	-7.75	-25.44	125.44	42.98	32.91	0.77
10	-7.5	33.49	33.49	-35.13	135.14	33.49	45.26	33.5	-11.76	-5.61	-7.5	-1.97	-4.7	-6.61	-1.4	37.9	29.55	-8.35	-28.25	128.26	46.56	33.49	0.72
11	-7.5	36.79	36.79	-32.5	132.5	36.79	48.75	36.8	-11.95	-5.6	-7.5	-1.96	-4.7	-6.59	-1.4	40.86	32.36	-8.5	-26.26	126.27	50.48	36.79	0.73
12	-7.5	41.08	41.08	-28.57	128.58	41.08	52.83	41.1	-11.73	-5.6	-7.5	-1.96	-4.8	-6.73	-1.4	45.24	36.89	-8.35	-22.63	122.64	57.1	41.08	0.72
13	-7.5	41.47	41.47	-28.57	128.58	41.47	53.33	41.49	-11.84	-5.59	-7.5	-1.94	-4.8	-6.62	-1.5	45.75	36.64	-9.11	-24.86	124.87	59.7	41.47	0.7

Figura 87. Relatório gerado para a disposição planetário somador com inversor à direita.



MDTC - MAQUETE DOCENTE DE TRANSMISSÃO CONTÍNUA

Descrição: 2012-07-23_DI100_ENSAIO_VALIDACAO_APLICATIVO

Data: 2012/07/23

Dados da transmissão: TIPO PLANETÁRIO DIVISOR

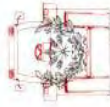
INVERSOR: Esquerda

Zc: 58 Zp: 20 : 2.9 Rtb: 3.85 km: 0.26 kf: 0.74 r: 0.115

Varição	Freio	Torque4	rpm4	Torque2	rpm2	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt	Torque1	rpm1	no(1)	Mo(1)	No(1)	(1)
1	100	12.3	54	2.9	-65	-65.0	-54.0	-56.82	-56.82	-54.0	-65.0	-65.0	65.0	0.96	0.84	1.15	-9.5	-64	-64.0	-9.5	63.67	0.72
2	100	11.5	56	2.7	-63	-63.0	-56.0	-57.79	-57.79	-56.0	-63.0	-63.0	63.0	0.97	0.89	1.1	-9.5	-65	-65.0	-9.5	64.67	0.76
3	100	10.2	58	2.7	-59	-59.0	-58.0	-58.25	-58.25	-58.0	-59.0	-59.0	59.0	1.0	0.99	1.02	-9.7	-56	-56.0	-9.69	56.83	0.73
4	100	9.1	59	2.7	-55	-55.0	-59.0	-57.97	-57.97	-59.0	-55.0	-55.0	55.0	1.02	1.08	0.95	-9.7	-53	-53.0	-9.69	53.79	0.75
5	100	8.5	61	2.5	-50	-50.0	-61.0	-58.17	-58.17	-61.0	-50.0	-50.0	50.0	1.05	1.22	0.86	-9.8	-48	-48.0	-9.8	49.27	0.74
6	100	8.1	63	2.3	-45	-45.0	-63.0	-58.38	-58.38	-63.0	-45.0	-45.0	45.0	1.08	1.4	0.78	-9.8	-44	-44.0	-9.8	45.16	0.71
7	100	7.6	63	2.2	-41	-41.0	-63.0	-57.35	-57.35	-63.0	-41.0	-41.0	41.0	1.1	1.54	0.72	-9.9	-41	-41.0	-9.9	42.51	0.72
8	100	7.3	64	2.1	-39	-39.0	-64.0	-57.58	-57.58	-64.0	-39.0	-39.0	39.0	1.12	1.65	0.68	-9.9	-39	-39.0	-9.9	40.44	0.71
9	100	7.1	65	2.1	-38	-38.0	-65.0	-58.07	-58.07	-65.0	-38.0	-38.0	38.0	1.12	1.72	0.66	-10	-37	-37.0	-10.0	38.75	0.69
10	100	6.7	64	1.9	-35	-35.0	-64.0	-56.56	-56.56	-64.0	-35.0	-35.0	35.0	1.14	1.83	0.62	-10.1	-34	-34.0	-10.1	35.97	0.7
11	100	6.6	66	1.8	-31	-31.0	-66.0	-57.02	-57.02	-66.0	-31.0	-31.0	31.0	1.16	2.13	0.55	-10.1	-32	-32.0	-10.1	33.85	0.66
12	100	6.1	67	1.7	-30	-30.0	-67.0	-57.51	-57.51	-67.0	-30.0	-30.0	30.0	1.17	2.24	0.53	-10.1	-28	-28.0	-10.1	29.62	0.62
13	100	5.8	69	1.5	-26	-26.0	-69.0	-57.97	-57.97	-69.0	-26.0	-26.0	26.0	1.2	2.66	0.45	-10.2	-25	-25.0	-10.19	26.68	0.58

Varição	Mo'	No'	No	Xmt	Xvt	Net	Nft	Nomt	Nemt	Mft	Momt	Memt	Mf	Mom	Mem	Nf	Nom	Nem	Xm	Xv	Ne	No	n
1	11.5	78.28	78.28	29.88	70.13	78.28	54.9	23.4	78.3	-9.7	-3.43	-13.15	-12.3	-2.9	-15.0	69.56	19.74	89.3	22.11	77.9	89.3	78.28	0.88
2	11.5	75.87	75.87	28.58	71.43	75.87	54.2	21.69	75.89	-9.24	-3.28	-12.54	-11.5	-2.7	-14.08	67.44	17.82	85.26	20.91	79.1	85.26	75.87	0.89
3	11.5	71.06	71.06	26.5	73.51	71.06	52.24	18.84	71.08	-8.6	-3.04	-11.65	-10.19	-2.7	-12.88	61.9	16.69	78.59	21.24	78.77	78.59	71.06	0.91
4	11.5	66.24	66.24	24.88	75.33	66.24	49.9	16.35	66.25	-8.07	-2.83	-10.91	-9.1	-2.7	-11.82	56.23	15.56	71.79	21.68	78.33	71.79	66.24	0.93
5	11.5	60.22	60.22	22.34	77.67	60.22	46.78	13.46	60.24	-7.32	-2.57	-9.88	-8.5	-2.5	-11.06	54.3	13.09	67.39	19.43	80.58	67.39	60.22	0.9
6	11.5	54.2	54.2	20.26	79.75	54.2	43.23	10.99	54.22	-6.55	-2.33	-8.86	-8.1	-2.29	-10.5	53.44	10.8	64.24	16.82	83.19	64.24	54.2	0.85
7	11.5	49.38	49.38	18.71	81.3	49.38	40.15	9.24	49.39	-6.08	-2.15	-8.22	-7.6	-2.2	-9.92	50.14	9.45	59.59	15.86	84.15	59.59	49.38	0.83
8	11.5	46.97	46.97	17.67	82.34	46.97	38.68	8.3	46.98	-5.77	-2.03	-7.79	-7.3	-2.1	-9.53	48.93	8.58	57.51	14.92	85.09	57.51	46.97	0.82
9	11.5	45.77	45.77	17.15	82.86	45.77	37.93	7.85	45.78	-5.57	-1.97	-7.52	-7.1	-2.1	-9.32	48.33	8.36	56.69	14.75	85.26	56.69	45.77	0.81
10	11.5	42.15	42.15	16.11	83.9	42.15	35.37	6.8	42.17	-5.27	-1.85	-7.11	-6.7	-1.9	-8.75	44.91	6.97	51.88	13.44	86.57	51.88	42.15	0.82
11	11.5	37.34	37.34	14.29	85.72	37.34	32.01	5.34	37.35	-4.63	-1.64	-6.25	-6.6	-1.8	-8.61	45.62	5.85	51.47	11.37	88.64	51.47	37.34	0.73
12	11.5	36.13	36.13	13.77	86.24	36.13	31.16	4.98	36.14	-4.44	-1.58	-6.0	-6.1	-1.7	-7.99	42.8	5.35	48.15	11.12	88.89	48.15	36.13	0.76
13	11.5	31.32	31.32	11.69	88.32	31.32	27.67	3.67	31.35	-3.82	-1.34	-5.16	-5.8	-1.5	-7.57	41.91	4.09	46.0	8.9	91.11	46.0	31.32	0.69

Figura 88. Relatório gerado para a disposição planetário divisor com inversor à esquerda.



MDTC - MAQUETE DOCENTE DE TRANSMISSÃO CONTÍNUA

Descrição: 2012-07-24_DD100_ENSAIO_VALIDACAO_APLICATIVO

Data: 2012/07/24

Dados da transmissão: TIPO PLANETÁRIO DIVISOR INVERSOR: Direita

Zc: 58 Zp: 20 : 2.9 Rtb: 3.85 km: 0.26 kf: 0.74 r: 0.115

Varição	Freio	Torque4	rpm4	Torque2	rpm2	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt	Torque1	rpm1	no(1)	Mo(1)	No(1)	(1)
1	100	26.6	114	9.8	95	95.0	-114.0	-60.41	-60.41	-114.0	95.0	95.0	-95.0	1.89	1.2	-1.57	9.6	93	93.0	9.6	93.5	0.43
2	100	21.6	104	7.9	85	85.0	-104.0	-55.53	-55.53	-104.0	85.0	85.0	-85.0	1.88	1.23	-1.53	9.5	82	82.0	9.5	81.58	0.5
3	100	18.3	105	6.8	84	84.0	-105.0	-56.53	-56.53	-105.0	84.0	84.0	-84.0	1.86	1.25	-1.48	9.5	79	79.0	9.5	78.6	0.56
4	100	16.3	106	6.1	79	79.0	-106.0	-58.56	-58.56	-106.0	79.0	79.0	-79.0	1.82	1.35	-1.34	9.4	75	75.0	9.4	73.83	0.57
5	100	15.3	101	5.6	70	70.0	-101.0	-57.15	-57.15	-101.0	70.0	70.0	-70.0	1.77	1.45	-1.22	9.6	66	66.0	9.6	66.36	0.55
6	100	14	98	5.2	61	61.0	-98.0	-57.23	-57.23	-98.0	61.0	61.0	-61.0	1.72	1.61	-1.06	9.7	60	60.0	9.7	60.95	0.56
7	100	12.9	96	4.8	55	55.0	-96.0	-57.28	-57.28	-96.0	55.0	55.0	-55.0	1.68	1.75	-0.96	9.6	56	56.0	9.6	56.3	0.56
8	100	11.7	94	4.2	51	51.0	-94.0	-56.82	-56.82	-94.0	51.0	51.0	-51.0	1.66	1.85	-0.89	9.7	49	49.0	9.7	49.78	0.54
9	100	11.1	92	4	46	46.0	-92.0	-56.61	-56.61	-92.0	46.0	46.0	-46.0	1.63	2.0	-0.81	9.7	44	44.0	9.7	44.7	0.51
10	100	10.6	91	3.8	45	45.0	-91.0	-56.12	-56.12	-91.0	45.0	45.0	-45.0	1.63	2.03	-0.8	9.8	41	41.0	9.81	42.12	0.51
11	100	9.7	91	3.6	37	37.0	-91.0	-58.17	-58.17	-91.0	37.0	37.0	-37.0	1.57	2.46	-0.63	9.8	36	36.0	9.81	36.99	0.48
12	100	9.1	90	3.3	34	34.0	-90.0	-58.2	-58.2	-90.0	34.0	34.0	-34.0	1.55	2.65	-0.58	9.8	31	31.0	9.81	31.85	0.44
13	100	8.9	88	3.2	31	31.0	-88.0	-57.48	-57.48	-88.0	31.0	31.0	-31.0	1.54	2.84	-0.53	9.8	32	32.0	9.81	32.88	0.46

Varição	Mo'	No'	No	Xmt	Xvt	Net	Nft	Nomt	Nemt	Mft	Momt	Mf	Mom	Mem	Nf	Nom	Nem	Xm	Xv	Ne	No	n
1	-11.5	114.41	114.41	-40.77	140.78	114.41	161.07	-46.84	114.43	-13.49	-4.88	-26.6	-9.8	-34.78	317.56	-97.49	220.07	-44.29	144.3	220.07	114.41	0.52
2	-11.5	102.37	102.37	-39.74	139.75	102.37	143.07	-40.68	102.39	-13.13	-4.57	-21.6	-7.9	-28.36	235.25	-70.31	164.94	-42.62	142.63	164.94	102.37	0.63
3	-11.5	101.16	101.16	-38.44	138.45	101.16	140.06	-38.88	101.18	-12.73	-4.41	-17.09	-6.8	-23.88	201.22	-59.81	141.41	-42.29	142.3	141.41	101.16	0.72
4	-11.5	95.14	95.14	-34.8	134.81	95.14	128.26	-33.1	95.16	-11.55	-4.0	-15.51	-6.1	-21.27	180.94	-50.46	130.48	-38.67	138.68	130.48	95.14	0.73
5	-11.5	84.3	84.3	-31.68	131.69	84.3	111.02	-26.7	84.32	-10.49	-3.64	-14.08	-5.6	-20.18	161.83	-41.05	120.79	-33.98	133.98	120.79	84.3	0.7
6	-11.5	73.47	73.47	-27.53	127.54	73.47	93.71	-20.22	73.49	-9.13	-3.16	-12.26	-5.2	-18.43	143.68	-33.21	110.47	-30.06	130.07	110.47	73.47	0.67
7	-11.5	66.24	66.24	-24.93	124.94	66.24	82.77	-16.51	66.26	-8.23	-2.86	-11.04	-4.8	-17.01	129.69	-27.64	102.05	-27.08	127.09	102.05	66.24	0.65
8	-11.5	61.42	61.42	-23.11	123.12	61.42	75.63	-14.19	61.44	-7.68	-2.65	-10.32	-4.2	-15.58	115.18	-22.43	92.75	-24.18	124.19	92.75	61.42	0.67
9	-11.5	55.4	55.4	-21.03	121.04	55.4	67.06	-11.65	55.41	-6.96	-2.41	-9.34	-4.0	-14.79	106.94	-19.26	87.68	-21.96	121.97	87.68	55.4	0.64
10	-11.5	54.2	54.2	-20.77	120.78	54.2	65.47	-11.25	54.22	-6.87	-2.38	-9.22	-3.8	-14.14	101.02	-17.9	83.12	-21.53	121.54	83.12	54.2	0.66
11	-11.5	44.56	44.56	-16.36	116.37	44.56	51.86	-7.29	44.57	-5.44	-1.88	-7.31	-3.6	-12.87	92.35	-13.94	78.41	-17.77	117.78	78.41	44.56	0.57
12	-11.5	40.95	40.95	-15.06	115.07	40.95	47.13	-6.16	40.97	-5.0	-1.73	-6.72	-3.3	-12.14	85.77	-11.74	74.03	-15.95	115.86	74.03	40.95	0.56
13	-11.5	37.34	37.34	-13.76	113.77	37.34	42.49	-5.13	37.36	-4.61	-1.58	-6.2	-3.2	-11.9	82.02	-10.38	71.64	-14.48	114.49	71.64	37.34	0.53

Figura 89. Relatório gerado para a disposição planetário divisor com inversor à direita.

7.6.2 Validação da simulação de dados através do simulador

Para realizar a validação dos dados gerados através do simulador foi realizado um ensaio com o simulador nas mesmas condições descritas na Tabela 6 (Llorente, 2009), com o objetivo de comparar os resultados brutos gerados pela MTDC com os dados brutos gerados pelo simulador. Os dados brutos gerados pelo simulador são baseados na inversão das equações de cálculos teóricos de potência.

Os cálculos utilizados para o processamento dos dados brutos são os mesmos utilizados para ensaios com a MTDC e para o simulador de forma que estes cálculos foram validados no subitem anterior.

Nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 são apresentadas as comparações dos dados brutos gerados pela MDTC (maquete real) e pelo simulador.

Conforme apresentado nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 os dados brutos gerados pelo simulador foram dados coerentes e quase iguais com os gerados pela MDTC. Alguns valores apresentaram a variação de no máximo 0,1 para cima ou para baixo, sendo essa variação devido as imperfeições mecânicas e perdas ocorridas durante o ensaio na MDTC.

Nas Figura 90, 91, 92 e 93 são apresentados os relatórios gerados pelo aplicativo para as 4 (quatro) disposições ensaiadas através do simulador.

Tabela 11. Dados brutos obtidos pela MDTC e pelo simulador para a disposição planetário somador com inversor à esquerda.

Relação do variador	MDTC						Simulador					
	Sensor Torque 3	Sensor rpm 3	Sensor Torque 2	Sensor rpm 2	Sensor Torque 1	Sensor rpm 1	Torque 3	rpm 3	Torque 2	rpm 2	Torque 1	rpm 1
0,63	4,8	-36	2,2	58	6,1	58	4,8	-36	2,2	58	6,1	58
0,65	4,9	-37	2,3	57	6,1	58	4,8	-37	2,2	58	6,1	58
0,74	4,8	-42	2,2	57	6,2	58	4,8	-42	2,2	58	6,2	58
0,79	4,7	-45	2,3	57	6,4	57	4,7	-45	2,3	58	6,4	58
0,88	4,7	-51	2,3	58	6,8	58	4,7	-51	2,4	58	6,8	58
1,00	4,7	-58	2,1	58	7,2	58	4,7	-58	2,2	58	7,2	58
1,07	5,1	-62	1,7	58	7,8	58	5,1	-62	1,8	58	7,8	58
1,14	5,1	-66	1,8	58	8,3	58	5,1	-66	1,8	58	8,3	58
1,19	5,1	-69	1,7	58	9,2	57	5,1	-69	1,8	58	9,2	58
1,44	5,1	-82	1,7	57	10,2	57	5,1	-82	1,8	58	10,2	58
1,65	5,1	-94	1,7	57	11,9	57	5,1	-94	1,8	58	11,9	58
1,68	5,2	-97	1,7	58	13,3	58	5,2	-97	1,8	58	13,3	58
1,73	5,2	-100	1,7	58	14,7	58	5,2	-100	1,8	58	14,7	58

Tabela 12. Dados brutos obtidos pela MDTC e pelo simulador para a disposição planetário somador com inversor à direita.

Relação do variador	MDTC						Simulador					
	Sensor		Sensor		Sensor		Sensor		Sensor		Sensor	
	Torque 3	rpm 3	Torque 2	rpm 2	Torque 1	rpm 1	Torque 3	rpm 3	Torque 2	rpm 2	Torque 1	rpm 1
0,59	3,6	34	2,1	58	3,1	58	3,6	34	2,1	58	3,1	58
0,63	3,4	36	1,2	58	3,2	58	3,6	36	1,2	58	3,2	58
0,72	3,7	41	1,8	57	3,4	58	3,7	41	1,8	58	3,4	58
0,79	3,8	45	1,9	57	3,6	58	3,8	45	1,9	58	3,6	58
0,86	4,2	49	1,8	57	3,8	58	4,2	49	1,8	58	3,9	58
0,97	4,4	55	1,7	57	4,3	58	4,4	55	1,7	58	4,5	58
1,04	4,6	60	1,4	58	5,4	58	4,6	60	1,4	58	5,5	58
1,18	4,8	68	1,4	58	6,3	57	4,8	68	1,4	58	6,4	58
1,34	4,8	76	1,3	57	7,2	57	4,8	76	1,4	58	7,5	58
1,36	4,7	77	1,4	57	7,8	57	4,8	77	1,4	58	7,9	58
1,44	4,7	83	1,4	58	8,3	58	4,8	83	1,4	58	8,4	58
1,58	4,8	90	1,4	57	9,4	58	4,8	90	1,4	58	9,4	58
1,58	4,8	91	1,5	58	10,0	57	4,8	90	1,4	58	9,4	58

Tabela 13. Dados brutos obtidos pela MDTC e pelo simulador para a disposição planetário divisor com inversor à esquerda.

Relação do variador	MDTC						Simulador					
	Sensor Torque 3	Sensor rpm 3	Sensor Torque 2	Sensor rpm 2	Sensor Torque 1	Sensor rpm 1	Torque 3	rpm 3	Torque 2	rpm 2	Torque 1	rpm 1
0,84	12,3	54	2,9	-65	-9,5	-64	12,3	54	2,9	-65	-9,5	-64
0,89	11,5	56	2,7	-63	-9,5	-65	11,5	56	2,7	-63	-9,5	-65
0,99	10,2	58	2,7	-59	-9,7	-56	10,2	58	2,7	-59	-9,7	-56
1,08	9,1	59	2,7	-55	-9,7	-53	9,1	59	2,7	-55	-9,7	-53
1,22	8,5	61	2,5	-50	-9,8	-48	8,5	61	2,5	-50	-9,8	-48
1,40	8,1	63	2,3	-45	-9,8	-44	8,1	63	2,3	-45	-9,8	-44
1,54	7,6	63	2,2	-41	-9,9	-41	7,6	63	2,2	-41	-9,9	-41
1,65	7,3	64	2,1	-39	-9,9	-39	7,3	64	2,1	-39	-9,9	-39
1,72	7,1	65	2,1	-38	-10,0	-37	7,1	65	2,1	-38	-10	-37
1,83	6,7	64	1,9	-35	-10,1	-34	6,7	64	1,9	-35	-10,1	-34
2,13	6,6	66	1,8	-31	-10,1	-32	6,6	66	1,8	-31	-10,1	-32
2,24	6,1	67	1,7	-30	-10,1	-28	6,1	67	1,7	-30	-10,1	-28
2,66	5,8	69	1,5	-26	-10,2	-25	5,8	69	1,5	-26	-10,2	-25

Tabela 14. Dados brutos obtidos pela MDTC e pelo simulador para a disposição planetário divisor com inversor à direita.

Relação do variador	MDTC						Simulador					
	Sensor Torque 3	Sensor rpm 3	Sensor Torque 2	Sensor rpm 2	Sensor Torque 1	Sensor rpm 1	Torque 3	rpm 3	Torque 2	rpm 2	Torque 1	rpm 1
1,20	26,6	114	9,8	95	9,6	93	26,6	114	9,8	95	9,6	93
1,23	21,6	104	7,9	85	9,5	82	21,6	104	7,9	85	9,5	92
1,25	18,3	105	6,8	84	9,5	79	18,3	105	6,8	84	9,5	79
1,35	16,3	106	6,1	79	9,4	75	16,3	106	6,1	79	9,4	75
1,45	15,3	101	5,6	70	9,6	66	15,3	101	5,6	70	9,6	66
1,61	14,0	98	5,2	61	9,7	60	14,0	98	5,2	61	9,7	60
1,75	12,9	96	4,8	55	9,6	56	12,9	96	4,8	55	9,6	56
1,85	11,7	94	4,2	51	9,7	49	11,7	94	4,2	51	9,7	49
2,00	11,1	92	4,0	46	9,7	44	11,1	92	4,0	46	9,7	44
2,03	10,6	91	3,8	45	9,8	41	10,6	91	3,8	45	9,8	41
2,46	9,7	91	3,6	37	9,8	36	9,7	91	3,6	37	9,8	36
2,65	9,1	90	3,3	34	9,8	31	9,1	90	3,3	34	9,8	31
2,84	8,9	88	3,2	31	9,8	32	8,9	88	3,2	31	9,8	32

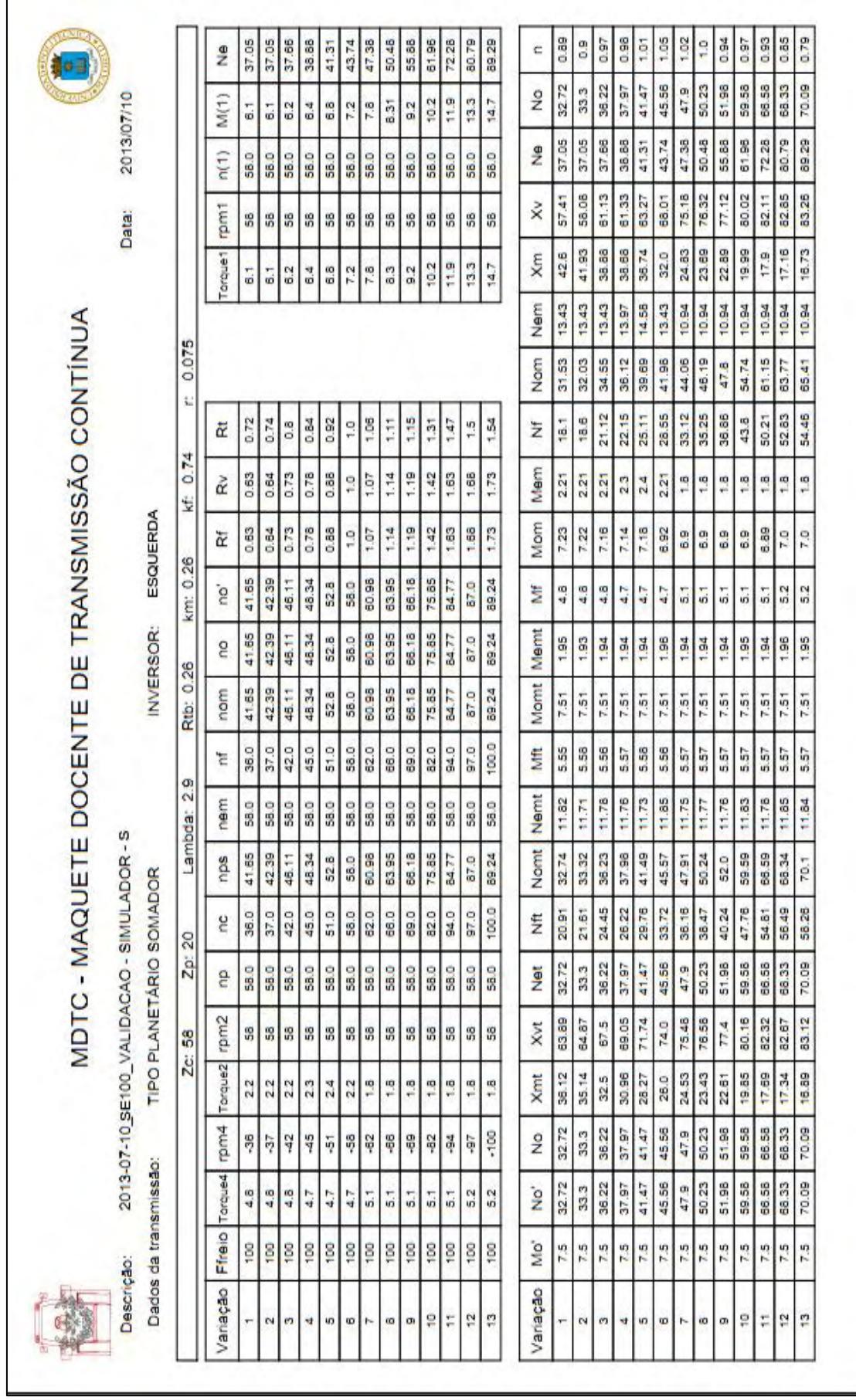


Figura 90. Relatório gerado através dos dados do simulador para a disposição planetário somador com inversor à esquerda.

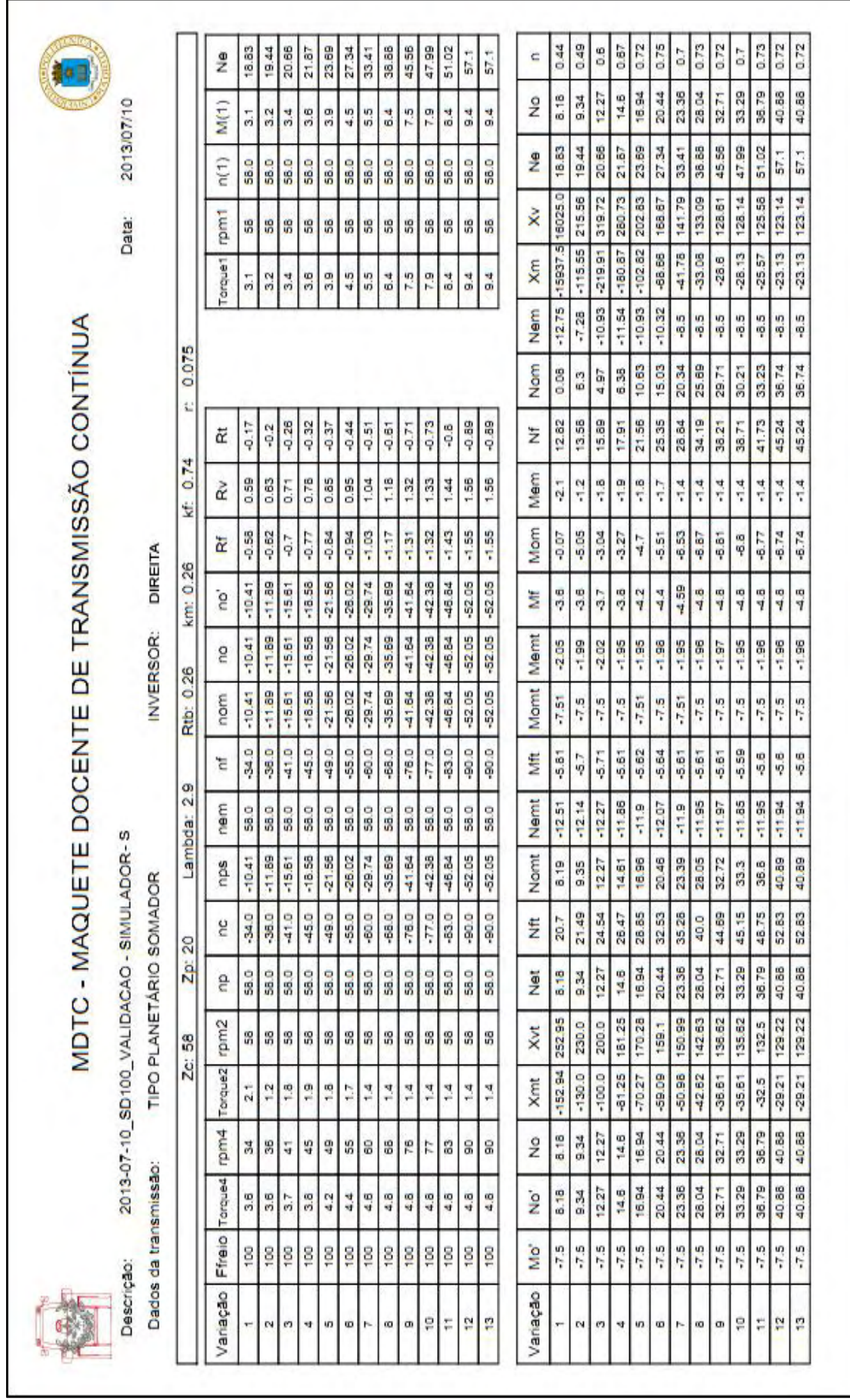


Figura 91. Relatório gerado através dos dados do simulador para a disposição planetário somador com inversor à direita

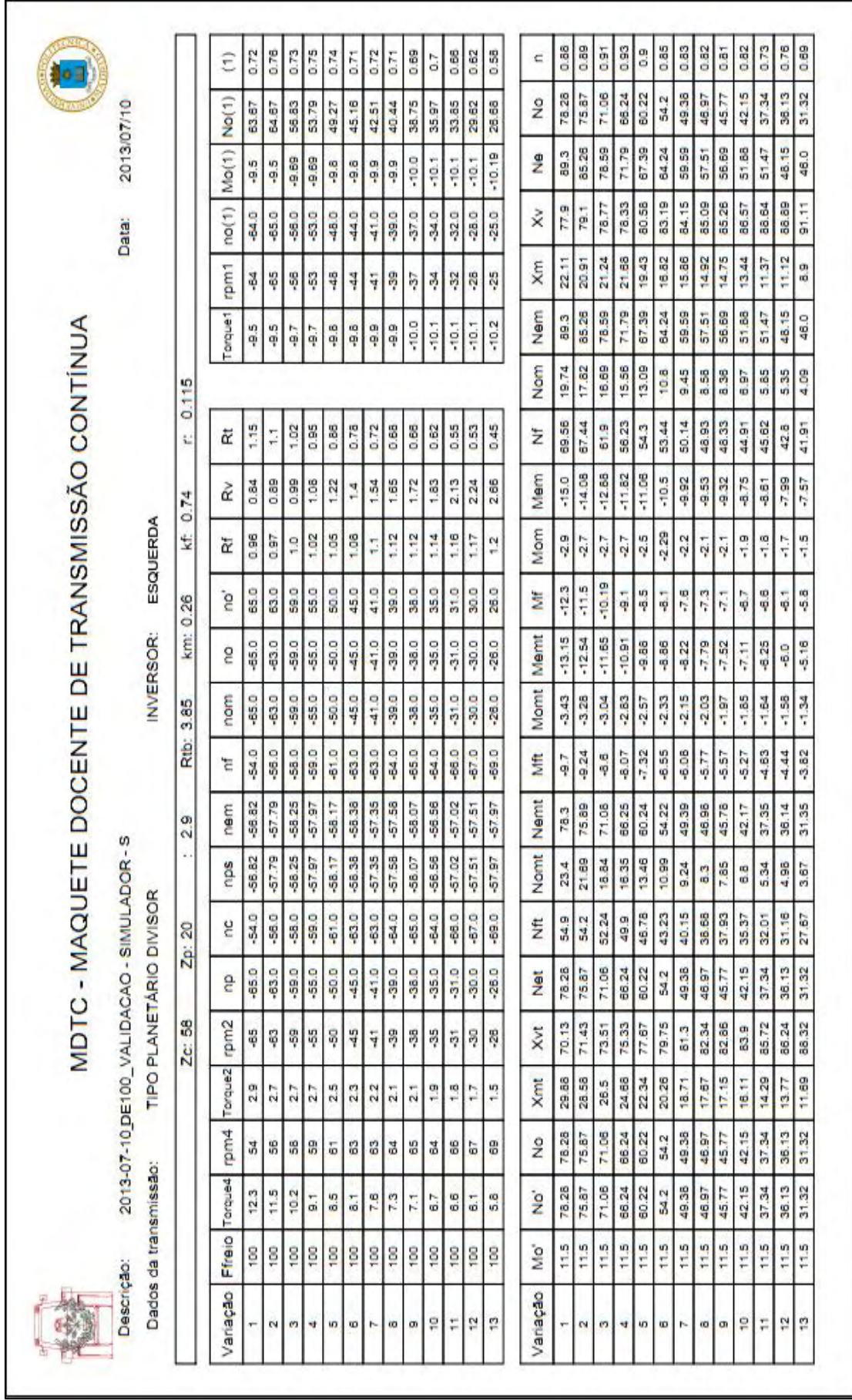
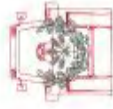


Figura 92. Relatório gerado através dos dados do simulador para a disposição planetário divisor com inversor à esquerda.



MDTC - MAQUETE DOCENTE DE TRANSMISSÃO CONTÍNUA

Descrição: 2013-07-10_DD100_VALIDACAO - SIMULADOR S

Data: 2013/07/10

Dados da transmissão: TIPO PLANETÁRIO DIVISOR

INVERSOR: DIREITA

Zc: 58 Zp: 20 : 2.9 Rtb: 3.85 km: 0.26 kf: 0.74 r: 0.115

Varição	Ffrel	Torque4	rpm4	Torque2	rpm2	np	nc	nps	nem	nf	nom	no	no'	Rf	Rv	Rt	Torque1	rpm1	no(1)	Mo(1)	No(1)	(1)
1	100	28.6	114	9.8	95	95.0	-114.0	-60.41	-60.41	-114.0	95.0	95.0	-95.0	1.89	1.2	-1.57	9.8	93	93.0	9.8	93.5	0.43
2	100	21.6	104	7.9	85	85.0	-104.0	-55.53	-55.53	-104.0	85.0	85.0	-85.0	1.88	1.23	-1.53	9.5	92	92.0	9.5	91.53	0.56
3	100	18.3	105	6.8	84	84.0	-105.0	-56.53	-56.53	-105.0	84.0	84.0	-84.0	1.86	1.25	-1.48	9.5	79	79.0	9.5	78.6	0.58
4	100	16.3	106	6.1	79	79.0	-106.0	-58.58	-58.58	-106.0	79.0	79.0	-79.0	1.82	1.35	-1.34	9.4	75	75.0	9.4	73.83	0.57
5	100	15.3	101	5.8	70	70.0	-101.0	-57.15	-57.15	-101.0	70.0	70.0	-70.0	1.77	1.45	-1.22	9.8	68	68.0	9.8	68.38	0.55
6	100	14.0	98	5.2	61	61.0	-98.0	-57.23	-57.23	-98.0	61.0	61.0	-61.0	1.72	1.61	-1.06	9.7	60	60.0	9.7	60.95	0.58
7	100	12.9	96	4.8	55	55.0	-96.0	-57.28	-57.28	-96.0	55.0	55.0	-55.0	1.68	1.75	-0.96	9.8	56	56.0	9.8	56.3	0.56
8	100	11.7	94	4.2	51	51.0	-94.0	-56.82	-56.82	-94.0	51.0	51.0	-51.0	1.66	1.85	-0.89	9.7	49	49.0	9.7	49.78	0.54
9	100	11.1	92	4.0	46	46.0	-92.0	-56.61	-56.61	-92.0	46.0	46.0	-46.0	1.63	2.0	-0.81	9.7	44	44.0	9.7	44.7	0.51
10	100	10.6	91	3.8	45	45.0	-91.0	-56.12	-56.12	-91.0	45.0	45.0	-45.0	1.63	2.03	-0.6	9.8	41	41.0	9.81	42.12	0.51
11	100	9.7	91	3.6	37	37.0	-91.0	-56.17	-56.17	-91.0	37.0	37.0	-37.0	1.57	2.46	-0.63	9.8	36	36.0	9.81	36.99	0.48
12	100	9.1	90	3.3	34	34.0	-90.0	-56.2	-56.2	-90.0	34.0	34.0	-34.0	1.55	2.65	-0.58	9.8	31	31.0	9.81	31.85	0.44
13	100	8.9	88	3.2	31	31.0	-88.0	-57.48	-57.48	-88.0	31.0	31.0	-31.0	1.54	2.84	-0.53	9.8	32	32.0	9.81	32.88	0.46

Varição	Mo'	No'	No	Xnt	Xvt	Net	Nft	Nomt	Nemt	Mft	Nomt	Memt	Mf	Mom	Mem	Nf	Nom	Nem	Xm	Xv	Ne	No	n
1	-11.5	114.41	114.41	-40.77	140.78	114.41	161.07	-46.84	114.43	-13.49	-4.68	-18.08	-26.6	-9.8	-34.76	317.56	-97.49	220.07	-44.29	144.3	220.07	114.41	0.52
2	-11.5	102.37	102.37	-39.74	139.75	102.37	143.07	-40.68	102.39	-13.13	-4.57	-17.6	-21.6	-7.9	-26.36	235.25	-70.31	164.94	-42.82	142.63	164.94	102.37	0.63
3	-11.5	101.16	101.16	-38.44	138.45	101.16	140.06	-38.68	101.18	-12.73	-4.41	-17.09	-18.3	-8.8	-23.88	201.22	-59.81	141.41	-42.29	142.3	141.41	101.16	0.72
4	-11.5	95.14	95.14	-34.8	134.81	95.14	126.26	-33.1	95.16	-11.55	-4.0	-15.51	-16.3	-8.1	-21.27	180.94	-50.46	130.46	-36.67	138.66	130.46	95.14	0.73
5	-11.5	84.3	84.3	-31.68	131.69	84.3	111.02	-26.7	84.32	-10.49	-3.84	-14.06	-15.3	-5.6	-20.16	161.83	-41.05	120.79	-33.98	133.96	120.79	84.3	0.7
6	-11.5	73.47	73.47	-27.53	127.54	73.47	93.71	-20.22	73.49	-9.13	-3.16	-12.28	-14.0	-5.2	-18.43	143.66	-33.21	110.47	-30.08	130.07	110.47	73.47	0.87
7	-11.5	66.24	66.24	-24.93	124.94	66.24	82.77	-16.51	66.26	-8.23	-2.68	-11.04	-12.9	-4.8	-17.01	129.69	-27.64	102.05	-27.08	127.09	102.05	66.24	0.85
8	-11.5	61.42	61.42	-23.11	123.12	61.42	75.63	-14.19	61.44	-7.68	-2.65	-10.32	-11.7	-4.2	-15.58	115.18	-22.43	92.75	-24.18	124.19	92.75	61.42	0.67
9	-11.5	55.4	55.4	-21.03	121.04	55.4	67.08	-11.65	55.41	-6.96	-2.41	-9.34	-11.1	-4.0	-14.79	106.94	-19.26	87.68	-21.98	121.97	87.68	55.4	0.64
10	-11.5	54.2	54.2	-20.77	120.75	54.2	65.47	-11.25	54.22	-6.87	-2.38	-9.22	-10.6	-3.8	-14.14	101.02	-17.9	83.12	-21.53	121.54	83.12	54.2	0.66
11	-11.5	44.56	44.56	-16.36	116.37	44.56	51.66	-7.29	44.57	-5.44	-1.88	-7.31	-9.69	-3.6	-12.87	92.35	-13.94	78.41	-17.77	117.76	78.41	44.56	0.57
12	-11.5	40.95	40.95	-15.06	115.07	40.95	47.13	-6.16	40.97	-5.0	-1.73	-6.72	-8.1	-3.3	-12.14	85.77	-11.74	74.03	-15.65	115.68	74.03	40.95	0.58
13	-11.5	37.34	37.34	-13.76	113.77	37.34	42.49	-5.13	37.36	-4.61	-1.58	-6.2	-6.9	-3.2	-11.9	82.02	-10.36	71.64	-14.46	114.49	71.64	37.34	0.53

Figura 93. Relatório gerado através dos dados do simulador para a disposição planetário divisor com inversor à direita

8 CONCLUSÕES

O aplicativo desenvolvido atingiu os objetivos propostos gerando dados confiáveis na simulação do comportamento cinemático e dinâmico das quatro configurações de transmissão de variação contínua com divisão de potência e também realizou efetivamente o processamento e armazenamento dos dados gerados através do ensaio de bancada com a MDTC.

A representação precisa do simulador preparou devidamente o usuário para os contatos iniciais com a MDTC e proporcionou aos usuários que não puderam ter contato com a MDTC a possibilidade de realizar ensaios através do simulador e compreender o funcionamento das diferentes configurações de transmissão CVT com ramificação de potência.

O aplicativo proporcionou aos alunos e pesquisadores usuários da MDTC maior organização e facilidade no registro dos dados obtidos durante o ensaio além de simplificar a realização dos cálculos e geração de relatórios para a posterior análise dos resultados obtidos.

Através da análise e comparação dos relatórios gerados pelo aplicativo tanto para o ensaio através do simulador quanto para o ensaio de bancada realizado com a MDTC foi possível identificar precisamente as diferenças entre os comportamentos cinemáticos e desempenhos operacionais de cada tipo de transmissão CVT ensaiada.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMARZA DE JUAN, A. **Construcción y puesta a punto de una maqueta CVT con ramificación mecánica-mecánica de la potencia**. 2006. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2006.

ALMEIDA, M. L. **Elementos finitos paramétricos implementados em Java**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ALVES, W. P. **Delphi 2005: aplicações de banco de dados com InterBase 7.5 e MySQL 4.0.23**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2005. 544 p.

ASAE - American Society of Agricultural Engineer. **Definitions of powered lawn and garden equipment**. St. Joseph: ASAE, 1995. 826 p.

BARUCKI, T. Experiences with a Test-Bench for a Diesel-Electric Tractor Drive Train. In: AG. ENG. 2000 WARWICK, 2000, Warwick. **Warwick Abstracts: 2000**. v. 2. p. 162-163.

BEACHLEY, N. H.; FRANK, A. A. **Continuously Variable Transmissions**. College of Engineering: University of Wisconsin, Madison, 1979. 44 p. (Technical Report).

BECCARI, A.; CAMMALLERI, M. Implicit Regulation for Automotive Variators. **Proc. Instn. Mech. Engr**, v. 215, n. D, p. 697-708, 2001.

BIRCH, S. Audi Takes CVT From 15th Century to 21st Century. Automotive Engineering International Online, 2000. Disponível em: <http://www.aei-online.sae.org/automag/techbriefs_01-00/03.htm> Acesso em: 2 abril 2012.

BITENCOURT, T. Conceitos de programação Orientada a Objetos. Grupo de Usuários Java, 2007. Disponível em <<http://www.guj.com.br>> Acessado em 15 mar. 2012.

BROGE, J. L. **GM Powertrain's Evolving Transmissions**. Automotive Engineering International, 1999.

BUENO, J. M. **Suporte de recuperação a imagens médicas baseada em conteúdo através de histogramas métricos**. 2001. 141 f. Tese (Doutorado em Ciências da Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

CAMARGO, W. P. **Desenvolvimento de um ambiente web para a interação entre participantes de projetos de agricultura de precisão**. 2005. 70 f. Dissertação (Mestre em Agricultura) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CANCIAN, P. C. **Proposta de um sistema de prontuário eletrônico de paciente**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado engenharia biomédica) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. **Java How to program**. 8. ed. Prentice Hall, 2010. 1114 p.

DOHERTY, D.; MANNING, M. M. **Sams teach yourself JBuilder 2 in 21 days**. 1. ed. Sams, 1998. 816 p.

DZIUBA, F.; HONZEK, R. Neues stufenloses leistungsverzweigtes Traktorgetriebe. (A new power-split transmission). **Agrartechnische Forschung**, v. 3 n. 1, p. 19-27, 1997.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistemas de banco de dados**. 6. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011. 808 p.

FENTON, J. **Handbook of Vehicle Design Analysis**. Society of Automotive Engineers, v. 19, 1996.

FOX, A. **Design and Analysis of a Modified Power Split Continuously Variable Transmission**. 2003. 100 f. Dissertação (Master of Science in Mechanical Engineering) – Faculty of the College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, Morgantown, 2003.

FURUMOTO, M. et al. Hydraulically operated continuously variable transmission. **US Patent n. 4.939.900**, 1990.

GE, D. W.; ARIYONO, S.; MON, D. T. T. A review on continuously variable transmissions control. In.: NATIONAL CONFERENCE IN MECHANICAL ENGINEERING RESEARCH AND POSTGRADUATES STUDENTS (1st NCMER 2010), 1., 2010, Kuantan, Pahang, Malaysia. **Abstracts books**: University Malaysia Pahang, 2010.

GIBBS, J. H. **Actuated continuously variable transmission for small vehicles**. 2009. 42 f. Dissertação (Master of Science) – Faculty of the University of Akron, Akron, 2009.

GOES, E. G. **Reconstrução tri-dimensional de imagens obstétricas de ultra-som utilizando linguagem computacional Java e OpenGL**. 2007. 137 f. Tese (Doutorado em Processamento de Sinais e Instrumentação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GONZALEZ, D. **Evaluación y análisis de la maqueta de transmisión docente (M.T.D) del departamento de ingeniería rural de la UPM**. 2009. 85 f. Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2009.

GULBRANSEN, D.; RAWLINGS, K. **Creating web applets with Java**. 1 ed., Pearson Sams Publishing, 1996. 336 p.

HERRANZ, G. G. **Diseño del prototipo de una transmisión CVT con ramificación mecánica-mecánica de la potencia**. 2005. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2005.

HAMILTON, M.A. Java and the Shift to Net-Centric Computing. **Computer**, v. 29, n. 8, p. 31-39, 1996.

HIBI, T. Friction roller type continuously variable transmissions. **US Patent n. 5.230.670**, 1993 e **US Patent n. 5.267.920**, 1993.

INOUE, K. Hydrostatically operated continuously variable transmission. **US Patent n. 4.967.556**, 1990.

JARCHOW, F. 1964. Leistungsverzweigte Getriebe (Power split transmissions). **VDI-Z**, v. 106, n. 6, p. 196-205, 1964.

KAWAHARA, E. et al. Hydraulically operated continuously variable transmission. **US Patent n. 4.944.154**, 1990.

KILLMANN, G. TOYOTA Prius - Development and market experiences. In: VDI-BERICHTE 1459, 1999, Düsseldorf. **Abstracts books**: Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999. p. 109-121.

KIUCHI, T.; OGATA, M.; IIZAWA, M.; YANESE, T.; SUSUKI, Y.; TAKEDA, N.; KUMAGAI, N. A Report on Advantage of a Heavy-Duty Hybrid Electric Vehicle. **SAE Technical Paper n. 2001-01-2777**. 2001.

KRESS, J. H. Hydrostatic power splitting transmissions for wheeled vehicles - Classification and theory of operation. **SAE Technical Paper n. 680549**. 1968.

KUMM, E. L. Continuously variable transmission using planetary gearing with regenerative torque transfer and employing belt slip to measure and control pulley torque. **US Patent n. 5.011.458**, 1991.

LINARES, P.; MÉNDEZ, V.; CATALÁN, H. Design parameters for continuously variable power-split transmissions using planetary with 3 active shafts. **Journal of Terramechanics**, v. 47, p. 323-335, 2010.

LINS, H. W. C. **Especificação e Implementação de uma Linguagem para Transformação de Modelos MOF em Repositórios dMOF**. 2006. 71 f. Dissertação (Mestrado em telemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

LLORENTE, J. A. G. **Evaluación y análisis de la maqueta de transmisión docente (M.T.D) del departamento de ingeniería rural de la UPM**. 2009. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agrônômia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2009.

LU, Z. **Acceleration Simulation of a Vehicle with a Continuously Variable Power Split Transmission**. 1998. 100 f. Dissertação (Master of Science in Mechanical Engineering) – Faculty of the College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, Morgantown, 1998.

MACHADO, F. N. R.; ABREU, M. P. **Projeto de banco de dados: Uma visão prática**. 16. ed. São Paulo: Érica, 2009. 320 p.

MÁRQUEZ, L. Innovaciones para una mecanización agrícola sostenible: tractores agrícolas. **Agrotécnica**, Madrid, n. 1, p. 42-48, 2010.

MÁRQUEZ, L. Las transmisiones: el escalonamiento de las marchas. **Agrotécnica**, Madrid, n. 10, p. 55-62, 2004.(a)

MÁRQUEZ, L. Las transmisiones – El secreto de las cajas sin escalones (CVT). **Agrotécnica**, Madrid, n. 12, p. 35-41, 2004.(b)

MÁRQUEZ, L. Luces y sombras de las transmisiones CVT. **Agrotécnica**, Madrid, n. 9, p. 51-59, 2002.

MITSUYA, H.; OTANI, K.; ISHINO, T.; MARUTAMA, R.; AKASAKA, T. Development of Hydromechanical Transmission (HMT) for Bulldozers. **SAE Technical Paper n. 941722**. 1994.

MOLLY, H. Hydrostatische Fahrzeugantriebe - ihre Schaltung und konstruktive Gestaltung. Teil I und II. (Hydrostatic vehicle drives - their control and engineering. Part I and II). **ATZ Automobiltechnische Zeitschrift**, v. 68, n. 4, p. 103-110, 1966.

MONIKA, I. Power split drive technology – trends e requirements. In: International Scientific Forum in Fluid Power Control of Machinery and Manipulators, 2., 2000, Cracow, Poland, 2000.

MORAZ, E. **Treinamento avançado em PHP 5.0**. 1. ed. São Paulo: Digirati Books, 2005. 189 p.

MORI, H.; YAMAZAKI, T.; KOBAYASHI, K.; HIBI, T. A Study on the Layout and Ratio Change Characteristics of Dual-Cavity Half-Toridal CVT. **Society of Automotive Engineers of Japan**, v. 22, p. 299-303, 2001.

MYSQL. Mysql 5.5 Reference Manual. 2012. Disponível em: <<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.5/en/>> Acesso em: 25 mar. 2012.

NIEDERAUER, J. **Desenvolvimento de websites com PHP**: aprenda a criar Websites dinâmicos e interativos com PHP e bancos de dados. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2011. 304 p.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas**. 2. ed. São Paulo : Editora Edgard Blücher Ltda, 2002, 207 p.

NIKISHKOV, G. P. Java performance in finite element computations. **University of Aizu** : Aizu-Wakamatsu, Fukushima, Japan, 8 f. 2003. (Technical Report).

NIKISHKOV, G. P.; NIKISHKOV, Y. G.; SAVCHENKO, V. V. Comparison of C and Java performance in finite elements computations. **Computers and Structures**, v. 81, p. 2401-2408, 2003.

ORACLE. The Java[™] Tutorial. 2012. Disponível em <<http://java.sun.com/docs/books/tutorial/index.html>> Acesso em 6 jun. 2012.

PORTO, L. F. A.; LOPES, M. A; ZAMBALDE, A. L. Desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade aplicado à cadeia de produção do vinho. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1310-1319, 2007.

REITER, H. Verluste und Wirkungsgrade bei Traktorgetrieben (Energy losses and efficiencies of tractor transmissions). **Fortschritt-Berichte VDI**, Düsseldorf (Germany), v. 14, n. 46, 1990.

RENIUS, K. T.; RESCH, R. Continuously variable tractor transmissions. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 2005, Louisville, Kentucky, USA. **Abstracts books: ASAE Distinguished Lecture**, 2005. v. 29. p. 1-37.

RENIUS, K. T.; RESCH, R.; LINARES, P. Transmisiones: Em mejora continua. **Agrotécnica**, Madrid, n. 2, p. 146-152, 2006.

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; NIETIEDT, G. H. Transmissões presentes em tratores agrícolas no Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2206-2209, 2010.

SCHLOSSER, J. F. **Máquinas agrícolas**. Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, 1997. 220 p. (Caderno Técnico).

SCHUELLER, J. K.; KHAN, N. Some conceptual designs of heavy vehicle continuously-variable transmissions. **SAE Technical Paper n. 952134**. 1995.

SEBESTA, R. W. **Conceitos de linguagens de programação**. 9. ed. Artmed Editora, 2011. 792 p.

SIERRA, K.; BATES, B. **Head First Java**. 5. ed. O'Reilly, 2005. 688 p.

SILVA, V. F.; OLIVEIRA, J. L.; FONSECA, J. A. **Ambiente de execução de Aplicações Java para sistemas com recursos limitados**. Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco. Universidade de Aveiro, Departamento de Eletrônica e Telecomunicações. 2001.

SINGH, T.; NAIR, S. A Mathematical Review and Comparison of Continuously Variable Transmissions. **SAE Technical Paper n. 922107**. 1992.

SUN, C. **Hydrostatic-Mechanical Power Split CVT**. 2010. 58 f. Dissertação (Master's Degree Program in machine automation) – Tampere University of Technology, Tampere, 2011.

ULLMAN, L. **PHP and MySQL for dynamic web sites**. 1. ed. Berkeley: Peachpit Press, 2003. 592 p.

VAHABZADEH, H.; MACEY, J.; DITTRICH, O. A Split-Torque, Geared-Neutral Infinitely Variable Transmission Mechanism. **SAE Technical Paper n. 905089**. 1990.

VENNERS, B. **Inside the Java 2 Virtual Machine**. 2. ed. McGraw-Hill Companies, 2000. 703 p.

VITI, A. **Modellistica e controllo di um cambio CVT per motoveicolo**. 2007. 65 f. Conclusão de curso (Licenciatura) – Facoltà di Ingegneria, Università di Pisa, Pisa, 2007.

YAMAGUCHI, J. Nissan's Extroid CVT. **Automotive Engineering International Online**. 2000.

ZHOU, Y. L. **Modeling and Simulation of Hybrid Electric Vehicles**. University of Science and Technology Beijing. 2007. 131 f. Dissertação (Master of applied science) University of Victoria, Victoria, 2007.