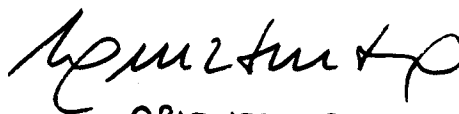


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

Este exemplar corresponde à redação final
da tese defendida por Eduardo Godoy de Souza
e aprovada pela comissão julgadora em 21/07/89


ORIENTADOR

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATORES
EM PISTA DE CONCRETO

30/89

Trabalho apresentado à Comissão de Pós-Graduação da
Faculdade de Engenharia de Campinas como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA

TESE DE DOUTORADO

TITULO DA TESE: SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATORES
EM PISTA DE CONCRETO

AUTOR: EDUARDO GODOY DE SOUZA

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ FERNANDO MILANEZ

Aprovado por:

PROF. DR. LUIZ FERNANDO MILANEZ (orientador)

PROF. DR. LUIZ ANTONIO BALASTREIRE

PROF. DR. OSCAR ANTONIO BRAUNBECK

PROF. DR. SERGIO VALDIR BAJAY

PROF. DR. JOSE TOMAS VIEIRA PEREIRA

Campinas, 21 de Julho de 1989.

Ao meu pai, Jefferson.

A minha mãe, Maria do Carmo.

A minha esposa, Tania.

As minhas filhas, Luana e Amanda.

E por último e principalmente, a DEUS.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Nacional de Engenharia Agrícola, CENEA/MA, em nome do seu diretor, Eng. Agro. Orlando Fontes Lima e do seu diretor substituto, Eng. Agro. Rui Fernandes de Almeida, pela oportunidade concedida.

Ao Prof. Dr. Luiz Fernando Milanez, pela ajuda e orientação nas diferentes etapas de execução e elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. J. Norberto W. Dachs, pela orientação e sugestões na análise estatística.

Aos Prof. Dr. Luiz Antônio Balastreire, Prof. Dr. Oscar Antônio Braunbeck e Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay, pelas sugestões dadas durante a execução deste trabalho.

As empresas VALMET DO BRASIL S.A. e GOODYEAR DO BRASIL, pela colaboração concedida.

A FINEP, pelo financiamento do projeto "Eficiência de Tração dos Tratores 4x2 com Tração Auxiliar e Padrão", do qual este trabalho é um de seus resultados.

Ao Eng. Agri. Elcio Moore Almeida, pela ajuda prestada durante os ensaios de desempenho dos tratores em pista de concreto.

Aos técnicos do CENEA/MA, Emanuel L. Almodóvar, Benedito L. Miranda, Luiz Cláudio O. Silva, João R. Batista, Benedito D. de Toledo, Possidônio V. dos Santos, Júlio C. de Oliveira e Francisco J. da Silva, pela ajuda prestada durante a fase experimental.

Ao funcionário do CENEA/MA, Carlos P. Brigati, pelos serviços reprográficos.

Ao funcionário do CENEA/MA, Wilson O. Lara, pelos serviços de desenho técnico.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

CONTEUDO

<u>LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURA</u>	viii
<u>RESUMO</u>	xi
<u>ABSTRACT</u>	xii
<u>1 INTRODUÇÃO</u>	1
<u>2 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO USO DE TRATORES NA AGRICULTURA</u>	4
2.1 INTRODUÇÃO	4
2.2 CARACTERISTICAS DO CONSUMO ENERGETICO DO SETOR AGROPECUARIO .	4
2.3 OBSTACULOS A MECANIZAÇÃO DA AGRICULTURA BRASILEIRA	6
2.3.1 Política Agrícola	6
2.3.2 Inadequação das Máquinas	6
2.3.3 Inexistência de Máquinas Agrícolas para Uso Diversos	7
2.3.4 Escassez de Mão-de-Obra Especializada	7
2.3.5 Assistência Técnica Deficiente	7
2.3.6 Mecanização Parcial	8
2.3.7 Os Resultados Da Modernização Agícola Dos Anos 70	8
2.4 AVALIAÇÃO TEORICA DAS EXIGENCIAS DE ENERGIA NA MECANIZAÇÃO AGRICOLA	9
2.4.1 Determinação das Intensidades Energéticas	9

2.4.2 Estimativa da Demanda de Energia na Produção Agrícola	11
2.5 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA MECANIZAÇÃO	13
2.6 POSSIBILIDADES DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO USO DE TRATORES	13
2.6.1 Possibilidades para Aumentar a Eficiência de Utilização do Combustível	14
2.6.1.1 Motor	14
2.6.1.2 Órgãos auxiliares	16
2.6.1.3 Transmissão	16
2.6.1.4 Sistema de tração	17
2.6.2 Possibilidades de Economia de Combustível Através da Redução da Necessidade de Energia Útil	18
2.7 CONCLUSÕES	19
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	20
<u>3 RENDIMENTO E ANALISE ECONOMICA DE MOTORES DIESEL</u>	28
3.1 INTRODUÇÃO	28
3.2 MATERIAIS E METODOS	29
3.2.1 Rendimento Indicado	29
3.2.2 Rendimento Efetivo	29
3.2.3 Curvas de Parâmetros Múltiplos	30
3.2.4 Rendimento Efetivo Médio	31
3.2.5 Região de Integração e Seus Coeficientes de Ponderação ...	32
3.2.6 Programa "CALCULO DO RENDIMENTO E POTENCIA MEDIOS DE UM MOTOR"	33
3.2.6.1 Dados de entrada	33
3.2.6.2 Dados de saída	34
3.2.7 Procedimento Experimental	34
3.2.8 Análise de Variância	36
3.2.9 Análise Econômica	36

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.3.1 Rendimento Efetivo Reduzido EFC	37
3.3.2 Rendimento e Potência Médias	39
3.3.3 Análise Econômica	39
3.4 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
<u>4 DESEMPENHO DE TRATORES EM CONCRETO</u>	50
4.1 INTRODUÇÃO	50
4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	50
4.2.1 Momento de Impulsão e Torque em Vazio	50
4.2.2 Forças Atuando em um Trator em Movimento	52
4.2.3 Balanço de Potências	54
4.2.4 Deslizamento das Rodas	54
4.2.5 Rendimento de Tração	54
4.2.6 Razão Dinâmica de Tração	56
4.2.7 Simulação de Desempenho	57
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS	58
4.3.1 Procedimento Experimental	58
4.3.2 Avaliação Indireta do Torque do Motor	59
4.3.3 Determinação da Força de Atrito ao Rolamento	59
4.3.4 Ensaio de Desempenho do Trator em Diferentes Marchas	61
4.3.5 Deslizamento das Rodas	62
4.3.6 Torque em Vazio	62
4.3.7 Simulação de Desempenho	64
4.3.7.1 Desempenho na barra de tração	64
4.3.7.2 Simulação de desempenho	64

4.3.8 Análise de Variância	66
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.4.1 Avaliação Indireta do Torque do Motor	66
4.4.2 Força de Resistência Total ao Rolamento	67
4.4.3 Correlação DESLIZAMENTO x TRAÇÃO	67
4.4.3.1 Método polinomial	67
4.4.3.2 Método de Wismer e Luth	68
4.4.3.3 Comparação dos métodos	68
4.4.4 Correlação TORQUE EM VAZIO x ROTAÇÃO	69
4.4.5 Simulação de Desempenho	69
4.5 CONCLUSÕES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	71
<u>5 CONCLUSÕES</u>	86
<u>ANEXO 1</u>	87
<u>ANEXO 2</u>	91
<u>ANEXO 3</u>	105

LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURA

A	=	área
AC	=	área colhida, ha
A\$	=	preço de aquisição, \$
B	=	largura da seção do pneu, m
BDT	=	barra de tração
BP	=	pressão barométrica total, mmHg
CA	=	custo anual por quilowatt fornecido, \$/kW
CCC	=	consumo de combustível de tratores por cultura, Mcal/ha/ciclo
CEC	=	consumo de energia por cultura, Mcal/ha/ciclo
C.G.	=	centro de gravidade
CPT	=	característica potencial de tração do trator
CTCC	=	consumo total de combustível de tratores por cultura, Mcal
CTEC	=	consumo total de energia por cultura, Mcal
D	=	massa injetada de combustível por cilindro e por ciclo, mg
DE	=	densidade do combustível, g/l
DFD	=	média aritmética dos módulos dos desvios de FD, kN
DFD _{MAX}	=	diferença entre a FD máxima medida e a simulada, %
DGH	=	média aritmética dos módulos dos desvios de GH, l/h
DI	=	diâmetro do pneu, m
DI\$	=	preço do diesel, \$/l
DPD	=	média aritmética dos módulos dos desvios de PD, kW
DPD _{MAX}	=	diferença entre a PD máxima medida e a simulada, %
DS	=	média aritmética dos módulos dos desvios de S, %
DT	=	determinante
DTR	=	razão dinâmica de tração
DVA	=	média aritmética dos módulos dos desvios de VA, km/h
EF	=	rendimento efetivo do motor
EFS	=	rendimento de tração (produto EFS*EFF)
EFC	=	rendimento efetivo reduzido do motor
EFCI	=	rendimento dos pares de engrenagens cilíndricas
EFCM	=	rendimento efetivo reduzido médio do motor
EFCO	=	rendimento dos pares de engrenagens cônicas
EFD	=	rendimento global de tração
EFF	=	rendimento que indica o quanto não se perdeu devido à resistência ao rolamento
EFI	=	rendimento indicado do motor
EFM	=	rendimento efetivo médio do motor
EFT	=	rendimento mecânico da transmissão
EFTD	=	rendimento mecânico da transmissão dianteira

- EFTT = rendimento mecânico da transmissão traseira
 EFS = rendimento que indica o quanto não se perdeu devido ao deslizamento
 F1 = tração no transdutor de força 1, kN
 F2 = tração no transdutor de força 2, kN
 FD = força de tração, kN
 FDM = força de tração nas rodas motrizes, kN
 FF = resistência total ao rolamento, kN
 FF1 = resistência ao rolamento nos pneus dianteiros, kN
 FF2 = resistência ao rolamento nos pneus traseiros, kN
 FRC(i,n) = fator de recuperação de capital para uma taxa de interesse i e vida de n anos
 FT = força tangencial de tração, kN
 G = peso do trator, kN
 GD = reação vertical dianteira, kN
 GE = consumo específico efetivo de combustível do motor, g/kWh
 GEC = consumo específico efetivo reduzido de combustível do motor, g/kWh
 GECH = consumo específico efetivo reduzido médio de combustível do motor, g/kWh
 GED = consumo específico de combustível na barra de tração, g/kWh
 GH = consumo de combustível, kg/h
 GM = massa injetada de combustível por ciclo, kg
 GT = reação vertical traseira, kN
 GTD = reação vertical dinâmica nas rodas traseiras, kN
 GVD = carga dinâmica vertical nas rodas motrizes, kN
 H = poder calorífico inferior do combustível, MJ/kg
 H1 = raio de rolamento das rodas dianteiras, m
 H2 = raio de rolamento das rodas traseiras, m
 H3 = altura da linha de tração do "simulador de cargas 2", m
 HD = altura da linha de tração, m
 HO = número de horas trabalhadas por ano, h
 J = número de cilindros do motor
 L = distância entre os eixos das rodas, m
 LT = transferência de peso das rodas dianteiras para as traseiras, kN
 N = rotação do motor, min^{-1}
 NCI = número de pares de engrenagens cilíndricas
 NCO = número de pares de engrenagens cônicas
 NP = rotação de potência máxima do motor, min^{-1}
 NM = rotação máxima livre do motor, min^{-1}
 P = potência efetiva do motor, kW
 PC = potência efetiva reduzida do motor, kW
 PCM = potência efetiva reduzida média do motor, kW
 PD = potência na barra de tração, kW
 PDmáx = potência máxima na barra de tração, kW
 PF = potência dissipada devido a resistência ao rolamento, kW
 PI = potência indicada do motor, kW
 PM = potência efetiva média do motor, kW
 PO = coeficiente de ponderação
 PP = potência dissipada em perdas mecânicas no motor, kW

PS = potência dissipada devido ao deslizamento das rodas motrizes, kW
 PT = potência necessária para vencer o atrito na transmissão, kW
 R = região de integração
 RA = raio de rolamento da roda em superfície rígida, m
 R² = coeficiente de determinação múltipla
 R² = aumento percentual no R²
 R_A² = R² para o modelo A
 R_B² = R² para o modelo B
 R1 = região de integração sem ponderação
 R2 = região de integração com ponderação
 S = deslizamento nas rodas motrizes
 Q = calor introduzido no motor através do combustível, J
 TC = torque efetivo reduzido do motor, Nm
 TCC = torque efetivo do motor disponível nas condições ambientais do ensaio, Nm
 TD = parcela de T aplicada a transmissão dianteira, Nm
 TDP = tomada de potência
 TE = tempo para percorrer o percurso de 21.25 metros, s
 TEA = temperatura do ar de admissão, °C
 TEC = temperatura do combustível (diesel), °C
 TED = temperatura de bulbo seco, °C
 TEO = temperatura do óleo da transmissão, °C
 TEW = temperatura de bulbo úmido, °C
 TI = torque de impulsão aplicado às rodas motrizes, Nm
 TID = torque de impulsão nas rodas dianteiras, Nm
 TIT = torque de impulsão nas rodas traseiras, Nm
 TM = taxa de mecanização, %
 TMO = número de tempos do motor (2 ou 4)
 TN = torque nominal do motor, Nm
 TPO = tempo gasto, s
 TT = parcela de T aplicada a transmissão traseira, Nm
 TV = torque em vazio, Nm
 V = volume consumido, ml
 VA = velocidade real de deslocamento, km/h
 VT = velocidade teórica da roda, km/h
 W = velocidade angular da roda, rd/s
 WI = trabalho indicado, J
 T = torque efetivo do motor, Nm
 x = fator de redução estabelecido pela Norma ISO 1585 (1982) (equivalente ao da Norma NBR 5484, 1984)
 X1 = distância da vertical que passa pelo eixo da roda dianteira ao ponto A1, m
 X2 = distância da vertical que passa pelo eixo da roda traseira ao ponto B1, m
 Y1 = distância vertical entre o ponto A1 e o ponto A, m
 Y2 = distância vertical entre o ponto B1 e o ponto B, m
 ZT = relação de transmissão

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATORES **EM PISTA DE CONCRETO**

RESUMO

A seleção e utilização criteriosa do trator, bem como a melhoria do seu desempenho, são fatores que contribuem para a redução dos custos do setor agropecuário. Os ensaios de desempenho, realizados por estações credenciadas, representam um dos instrumentos mais importantes no julgamento dos atributos de um trator e incluem, em geral, a determinação de desempenho na barra de tração (BDT) em pista de concreto. Devido este ensaio ser caro e lento, a sua eliminação é frequentemente proposta.

O objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia para simular o desempenho de tratores, com e sem tração dianteira auxiliar, em pista de concreto, a partir do ensaio do motor, das relações de transmissão, das características dimensionais e ponderais e do ensaio na BDT em duas marchas. O método possibilita a substituição dos ensaios normalizados, visto que proporcionou desvios no valor da tração e da potência na BDT menores que 2 % em relação ao medido. O método tem a vantagem de possibilitar a simulação à acelerações parciais e não perderia sua precisão caso o ensaio fosse realizado em somente uma marcha.

SIMULATION OF TRACTOR PERFORMANCE ON CONCRETE

ABSTRACT

The adequate selection and utilization of tractors, as well as improvements in its performance, contribute to reduce costs in agriculture. Performance tests, carried out in authorized institutions, are very important to characterize a tractor; usually they include the evaluation of the drawbar performance on concrete. Due to the fact that this test is expensive and time consuming, its elimination is frequently suggested.

The objective of this work is to propose a methodology to obtain the theoretical tractor traction characteristics as a function of its engine performance test, total transmission gear ratio, dimensional characteristics and drawbar performance on concrete on two gears. Tractors with and without front-wheel assist were used. The method allows the substitution of normalized tests, exhibiting deviations smaller than 2 % for values of the drawbar power and traction relative to the tests results. The method has the advantage to allow the simulation at partial acceleration and the accuracy would not be affected if tests were conducted in one gear only.

1 INTRODUÇÃO

A seleção e utilização criteriosa do trator, bem como a melhoria do seu desempenho, são fatores que contribuem para a redução dos custos do setor agropecuário. Os ensaios de desempenho, realizados por estações credenciadas, representam um dos instrumentos mais importantes no julgamento dos atributos de um trator e têm como principais objetivos:

1. Levantar informações e dados técnicos visando obter características verdadeiras e livres de interferência comercial ou erros de estimativa de projeto.
2. Atuar indiretamente como elemento de garantia mínima de qualidade.
3. Fornecer ao usuário dados que permitam a adoção de critérios racionais para a seleção de máquinas e implementos, através da interpretação das informações dos relatórios de ensaio.
4. Prover os fabricantes de dados que permitam aprimorar seus produtos, uma vez que nem todos têm condições de manter um laboratório completo de ensaios.

Os ensaios de máquinas agrícolas tiveram início no final do século passado em Uppsala (Suécia) e em Paris (França) e constituíam-se de demonstrações e experimentações. A primeira legislação sobre estes ensaios surgiu nos U.S.A. ao final da década de 20. Nessa época, apareceu no mercado norteamericano um grande número de marcas e modelos de tratores, muitos dos quais movidos à vapor e sem as condições mínimas de segurança. Um clima de desconfiança generalizou-se entre os fabricantes e usuários, até que em 1919 W.F.Crozier, deputado pelo Estado de Nebraska apresentou, pela primeira vez no mundo, um projeto de lei sobre a obrigatoriedade do ensaio de tratores. Os fabricantes que desejassem comercializar seus produtos nesse estado, deveriam passá-los por ensaios na Universidade Estadual de Nebraska. Apesar de restrita a um estado dos U.S.A., esta lei inspirou legisladores de outros países e contribuiu para a rápida evolução tecnológica dos tratores agrícolas.

No Brasil, os primeiros ensaios de tratores foram realizados na Fazenda Ipanema, ex-CENTRI (CENTRO NACIONAL DE ENSAIOS E TREINAMENTO RURAL DE IPANEMA), do Ministério da Agricultura (MA), em 1949. A partir de 1950, o Brasil passou a importar um número elevado de máquinas agrícolas, dos mais diversos países do mundo. A inexistência de uma indústria nacional, obrigou o MA a assumir a função de revendedor, criando uma rede de postos de revenda. Devido aos problemas de inadequação da maquinaria importada, surgiu, nessa ocasião, a "Relação de Material Agrícola aprovado pelo MA". Tratava-se de uma relação de máquinas e implementos que, após serem submetidos à ensaios no ex-CENTRI, haviam sido considerados autorizados para revenda aos agricultores. Posteriormente, essa "Relação" começou a ser utilizada pelo Banco do Brasil para concessão de financiamentos. Essa posição, vinculando a comercialização aos resultados de ensaios, foi legalmente estabelecida pelo Decreto Nº 49 944 de 13/01/61 e posteriormente ratificada pelo Decreto Nº 56 690 de 09/08/65. Com a transformação em 23/12/75 do ex-CENTRI no atual CENEA (CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRÍCOLA), o diretor passou a emitir o "Certificado de Homologação" da máquina ensaiada, baseando-se no parecer de uma "Comissão Técnica de Avaliação de Relatórios de Ensaios (COTARE)".

Os ensaios oficiais de tratores agrícolas no Brasil são realizados segundo a Norma NBR-10400. Através desta, os ensaios de desempenho na barra de tração (BDT) são efetuados em pista de concreto. Ela não prevê ensaios de desempenho em campo (solo agrícola). Ao nível internacional as Normas I.S.O. e O.E.C.D. são tidas como as mais importantes. Nestas também não está previsto o ensaio de campo. As modificações sucessivas destes métodos de ensaio, resultantes de experiências obtidas nas diversas estações, fortaleceram uma tendência mundial de simplificação, pautando-se por eliminar dados desnecessários. Dentre as diversas etapas de ensaio, o ensaio na BDT é o mais caro e lento. Por isto a sua eliminação é frequentemente proposta quando se analisam as possibilidades de simplificação do ensaio.

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para simular o desempenho de tratores, com e sem tração dianteira auxiliar, em pista de concreto, a partir do ensaio do motor, das relações de transmissão, das características dimensionais e ponderais e do ensaio na BDT em duas marchas. Em função da extensão do assunto e para facilitar a sua publicação, este trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

CAPÍTULO 2: CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO USO DE TRATORES NA AGRICULTURA: Avalia o consumo energético do setor agropecuário, o potencial de conservação de energia na mecanização e as possibilidades de conservação de energia no uso de tratores. Este capítulo constitui o trabalho, a ser apresentado no XVIII Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, de 24 a 28/07/89, em Recife, "Conservação De Energia No Uso De Tratores Na Agricultura".

CAPITULO 3: RENDIMENTO E ANALISE ECONOMICA DE MOTORES DIESEL: Propõe uma correlação para o rendimento efetivo de motores diesel em função da rotação e do torque e a utiliza na comparação dos resultados de desempenho de cinco motores de tratores agrícolas. A versão em inglês deste capítulo constitui o ASAE Paper Nº 88-1577, "Efficiency And Economical Analysis Of Diesel Engines".

CAPITULO 4: DESEMPENHO DE TRATORES EM CONCRETO: Propõe uma metodologia para simular o desempenho de um trator a partir do ensaio do seu motor, das relações de transmissão, das características dimensionais e ponderais e do seu ensaio na BDT em duas marchas. A versão em inglês deste capítulo constitui o ASAE Paper Nº 88-1514, "Prediction Of Tractor Performance On Concrete".

CAPITULO 5: CONCLUSOES.

2 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO USO DE TRATORES NA AGRICULTURA

2.1 INTRODUÇÃO

O propósito deste trabalho foi o de estudar as possibilidades de conservação de energia através do uso racional de tratores na agricultura. Para isto faz-se inicialmente uma avaliação do consumo energético do setor agropecuário e das características do processo de modernização brasileiro. Caracteriza-se então o potencial de conservação de energia na mecanização e por último estudam-se as possibilidades de conservação de energia no uso de tratores.

A denominação "conservação de energia" será aqui utilizada por ser uma terminologia de uso corrente, embora termodinamicamente irrelevante, pois a energia sempre se conserva. Na verdade, este termo deve significar "conservação de energia útil".

2.2 CARACTERÍSTICAS DO CONSUMO ENERGETICO DO SETOR AGROPECUARIO

O Balanço Energético Nacional (BEN) apresenta os fluxos energéticos das diversas fontes primárias e secundárias de energia até o consumo final, nos diversos e principais setores da economia brasileira. Por energia primária entende-se aquelas fontes de energia providas pela natureza na sua forma direta, tais como petróleo, gás natural, carvão mineral, lenha, urânio e cana de açúcar, e por energia secundária o resultado da transformação da energia primária em outra forma de energia.

Analisando-se o BEN de 1987 (Anexo 3) observa-se que o consumo total de energia primária do setor agropecuário teve uma ascendência gradual no período de 1971/86, enquanto o consumo total de energia secundária teve um crescimento marcante, chegando-se ao final do período a um consumo de proporções elevadas, comparadas com o início do período. Apesar disto, o consumo final das fontes primárias e secundárias permaneceu entre 4.6 (72, 74, 75, 85 e 86) e 5.3 % (81) do total. Este dado não representa que o setor agropecuário seja pouco importante, mas sim que o setor consome, proporcionalmente, menos energia.

A demanda direta de energia neste setor concentra-se basicamente nos requerimentos de combustível para a mecanização nos processos produtivos. Mas também é muito importante, por outro lado, a demanda indireta por derivados de petróleo e gás natural como matéria-prima para produção de insumos químicos como fertilizantes e defensivos.

Besnosik (1986), analisando a demanda de energia no setor agropecuário para o período de 1973/84 através de dados do BEN de 1985 (Tabela 2.1) cita que:

1. Houve predomínio do óleo diesel, que correspondia nos últimos anos a mais de dois terços do total.
2. Os valores absolutos para lenha e óleo combustível permaneceram praticamente constantes. No caso da lenha, o motivo foi o processo de modernização do lar e o êxodo rural. Quanto ao óleo, a proibição no início dos anos 80 de sua utilização para secagem.
3. O consumo de eletricidade cresce aceleradamente durante o período, embora os totais sejam inferiores ao do óleo diesel.

Na Tabela 2.2 visualiza-se a evolução do número dos tratores em funcionamento na agropecuária. O número cresce rapidamente a partir dos anos 50, mas, todavia, foi na década de 60 que o crescimento teve seu ritmo mais acelerado devido ao início da produção nacional e pelo estímulo da política de crédito. A produção teve, contudo, retração na década de 80 devido a crise econômica do país.

Da comparação das Tabelas 2.1 e 2.2 encontra-se uma estreita relação entre o consumo de óleo diesel e a difusão de máquinas agrícolas com motores diesel, representadas principalmente pelos tratores.

Os fertilizantes concentram grande parte da demanda indireta na agricultura. Analisando a evolução da produção nacional, importação e consumo aparente de fertilizantes no Brasil entre 1950 e 1981 (Tabela 2.3), Besnosik ressalta que:

1. O consumo aparente total cresceu lentamente até a segunda metade da década de 60 e aceleradamente a partir de então, comportando-se semelhantemente ao do ramo dos defensivos agrícolas, o que reflete o atrelamento dos mercados de insumos químicos ao processo de modernização da agricultura. A partir de 1974 a dinâmica do mercado modificada pela implementação do Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola e do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (1975), acarretou a substituição gradativa de importação destes insumos.

2. No Brasil a maior demanda é por fertilizantes fosfatados, vindo a seguir os potássicos e só então os nitrogenados. Isto amortece significativamente a dependência dos derivados de petróleo, visto que os fertilizantes nitrogenados são os mais intensivos em requerimentos energéticos. Já a nível internacional existe o predomínio dos nitrogenados na demanda, tornando a indústria estrangeira de fertilizantes bastante vulnerável à crise energética.

2.3 OBSTACULOS A MECANIZAÇÃO DA AGRICULTURA BRASILEIRA

2.3.1 Política Agrícola

Verifica-se atualmente no Brasil que o setor primário do processo econômico continua marginalizado nas grandes decisões do governo, tomadas nos altos escalões oficiais, sem a prévia e ampla discussão com os representantes de produtores rurais, geralmente desorganizados no seu sistema de representação classista e até político. Diante deste fato, nota-se claramente que este setor foi o mais penalizado pelas incertezas, erros e desacertos de políticas oficiais, que nortearam os programas de incentivo à agricultura nacional. Em consequência, este importante segmento da economia acabou politicamente enfraquecido, perdendo poder e espaço para os setores secundário e terciário.

2.3.2 Inadequação das Máquinas

O processo de produção agrícola pressupõe a execução eficiente, sucessiva e harmônica de diversas operações unitárias mecanizáveis, desde o preparo do solo até a colheita, armazenagem e pré-processamento, ao nível de fazenda. No que se refere à mecanização, depende, portanto, da maquinaria empregada para efetuar-las.

É importante identificar e erradicar as principais causas dos problemas que nem sempre estão na maquinaria utilizada. Algumas deficiências ligadas principalmente à qualidade, podem ser atribuídas às características do setor industrial e relacionadas aos processos de fabricação utilizados. Em algumas situações, tem-se um mau projeto de produto e excelente processo de fabricação; em outras o quadro se inverte. Há casos em que o produto e o processo estão otimizados, e há outros em que projetos deficientes são, também, mal executados.

Caberia como solução a esta questão agilizar-se o processo de normalização e certificação de conformidade, incluindo pesquisas e ensaios para estabelecimento de parâmetros técnicos, bem como introduzir-se gradativamente a obrigatoriedade de ensaios para homologação de máquinas agrícolas, para fins de concessão de crédito rural.

2.3.3 Inexistência de Máquinas Agrícolas para Usos Diversos

O agricultor brasileiro se ressentia da inexistência de máquinas compatíveis com os diversos sistemas de produção agrícola. Este fato se explica, entre outros fatores, pela diversidade de topografia e tipos de solo encontrados em todo território nacional. Há, portanto, para cada máquina, uma propriedade ideal e vice-versa. Não são somente as pequenas propriedades que apresentam problemas. As grandes propriedades exigem máquinas pesadas, com a desvantagem de provocarem a compactação do solo. Por outro lado, se é possível aumentar a área em operações como aração e gradagem, através do uso de tratores mais potentes e com isso aumentar a área da lavoura, não é possível fazer o mesmo com operações como plantio e cultivo, que continuam exigindo máquinas leves.

As máquinas são também específicas para cada cultura e para cada operação. As máquinas para preparo do solo não servem para plantio. O arado só serve para arar e a plantadora só para plantar. Estes dois implementos exigem, ainda, tratores diferentes: Um pesado e outro leve.

A análise do referido problema nos leva a concluir que se deve investir prioritariamente em pesquisa e desenvolvimento de máquinas agrícolas, bem como no melhoramento genético das culturas, adequando-as às condições brasileiras.

2.3.4 Escassez de Mão-de-Obra Especializada

Dentro dos aspectos ligados à mecanização agrícola, é importante ressaltar a necessidade de capacitação de recursos humanos. Para exemplificar este problema, verifica-se que em 1986 a frota de tratores do estado de São Paulo era aproximadamente de 220000 unidades (total brasileiro - 657424 unidades) e os operadores treinados no Estado perfaziam um total de 41000, portanto com deficit de 179000 operadores.

2.3.5 Assistência Técnica Deficiente

Segundo os dados da Associação Nacional Para Difusão Da Mecanização Agrícola (ANAGRI), em 1982 existiam 979 revendedores autorizados. O trator com maior rede de assistência técnica tinha 329 revendedores e a menor dispunha de 121 revendedores. Valores estes baixos quando comparados com 4007 municípios existentes no Brasil.

Esta falta de assistência técnica caracteriza que a aquisição de tratores é feita principalmente por empresários rurais.

A solução para tal problema se fundamenta na conscientização do produtor rural da importância da assistência técnica, para que assim, este serviço venha a ser cobrado mais intensamente, junto a revendedores e fabricantes de máquinas agrícolas.

2.3.6 Mecanização Parcial

Em 1980, segundo o IBGE, na região Sudeste existia 1 trator para cada 42 ha, na região Norte, 1 para 198 ha e na região Nordeste, 1 para 246 ha. Isto indica que apenas algumas regiões estão se mecanizando e não a agricultura brasileira como um todo e de forma homogênea. Nestas condições, era de se esperar que o mercado se esgotasse rapidamente. No Estado de São Paulo existia em 1980, 1 trator para cada 30 ha de lavouras temporárias. Reduzir esta relação, como ocorre na França e no Japão, significa tão somente aumentar a ociosidade dos tratores. Apesar disso, convém lembrar que nesse Estado, grande parcela dos agricultores não dispõe ainda de tratores.

Por outro lado a mecanização também é parcial por atingir mais intensamente algumas operações agrícolas. Enquanto as operações de preparo do solo foram se mecanizando, o plantio e a colheita continuam sendo feitos manualmente. Esta modernização desbalanceada traz como consequência inevitável a expulsão de trabalhadores no início do ano agrícola e a escassez dos mesmos no período de colheita, de tal forma que fomentava a criação do trabalho volante com todas as suas consequências sociais e econômicas.

2.3.7 Os Resultados Da Modernização Agrícola Dos Anos 70

Segundo Kageyama e Silva (1983) a recente modernização da agricultura brasileira acentua as marcas contraditórias do desenvolvimento capitalista ao produzir simultaneamente riqueza e miséria, ao conjugar uma grande capacidade de se modernizar com a manutenção de agudas desigualdades no nível tecnológico entre regiões e produtos e ao exhibir modernas relações de trabalho acopladas com à extensão ilegal da jornada de trabalho, em todas regiões do país.

2.4 AVALIAÇÃO TEÓRICA DAS EXIGÊNCIAS DE ENERGIA NA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA

2.4.1 Determinação das Intensidades Energéticas

Apesar da evolução do consumo de energia na agricultura ter acompanhado a produtividade agrícola ao longo da história, é importante notar que quanto mais desenvolvida é a agricultura menor é seu rendimento energético. Em outras palavras, o aumento do consumo de energia não é proporcional ao aumento de produtividade das diversas culturas. Segundo Serra et al. (1979), os Estados Unidos investem 15552 Mcal/ha na cultura de arroz obtendo uma produtividade de 5.8 t/ha, enquanto que as Filipinas, com tecnologia tradicional, investem 41 Mcal/ha, obtendo produtividade de 1,25 t/ha. A energia investida pelos Estados Unidos é 378 vezes maior para uma produção apenas 4.6 vezes maior. A razão deste excessivo aumento é decorrente da utilização de insumos (como fertilizantes, herbicidas e fungicidas) e do processo de mecanização, como pode ser constatado pela observação da Tabela 2.4.

A baixa produtividade agrícola é mais eficiente do que a alta produtividade, em termos energéticos. Isto significa que é necessária menor quantidade de energia para produzir a mesma quantidade de produto. Mas existe a limitação da área, como no caso da Europa, onde a alta densidade populacional impõe uma alta produtividade, fazendo a eficiência energética cair. No Brasil e Estados Unidos pode-se trabalhar com produtividades e eficiências médias, já que a limitação de área não é ainda problema.

Serra et al. (1979) quantificaram o conteúdo energético (direto e indireto) dos diversos componentes do processo produtivo para investigar o grau de mecanização e a forma de utilização dos energéticos na produção de diferentes culturas no Estado de São Paulo. O objetivo foi o de estimar as necessidades energéticas futuras em função da evolução das áreas mecanizadas e do aumento de produtividade decorrente, bem como os impactos de conservação de energia oriundos da utilização eficiente de equipamentos. Para isto utilizaram-se dos seguintes dados:

- mão-de-obra	525 kcal/h
- produção de trator	5.31 Gcal/t
- produção de colhedora	4.16 Gcal/t
- produção de equipamento de cultivo primário	3.23 Gcal/t
- produção de equipamento de cultivo secundário	2.58 Gcal/t

- reparo e manutenção para um período de 10 anos de vida útil:

.trator	3 412 Gcal
.colhedora combinada	12 934 Gcal
.arado	1 458 Gcal
.grade	1 464 Gcal
.plantadora	2 120 Gcal

- combustíveis:

.gasolina	11 100 kcal/kg
.óleo diesel	10 900 kcal/kg

- fertilizantes:

.nitrogenado	13 875 kcal/kg
.fosfatado	1 665 kcal/kg
.potássico	1 110 kcal/kg
.calcário	40 kcal/kg

- defensivos (herbicidas,
fungicidas e inseticidas)

73 260 kcal/kg

A Tabela 2.5 apresenta o consumo médio de energia para algumas culturas obtido por Serra et al. através de levantamentos efetuados junto a agricultores do Estado de São Paulo. Tendo em vista que a avaliação de todos os componentes energéticos que incidem, direta ou indiretamente, na exploração de uma cultura é tarefa complicada, o consumo energético médio foi obtido considerando-se que:

1. Mão-de-obra: Envolve todo trabalho manual, inclusive de tratoristas e motoristas.

2. Tratores, caminhões, máquinas e implementos: Considerou-se a energia direta embutida em sua montagem, a energia indireta não recuperável gasta em equipamentos e a energia de manutenção.

3. Combustíveis: Gasolina, diesel e lubrificantes utilizados nos tratores, colhedoras, caminhões e outras máquinas. Foi computado o transporte dos produtos colhidos, adotando-se uma distância padrão de 20 km, e o transporte de pessoal.

4. Fertilizantes: Fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, além do calcário. Foi considerada apenas a energia embutida em sua fabricação.

5. Defensivos: Herbicidas, inseticidas e fungicidas. Foi considerada apenas a energia embutida em sua fabricação.

6. Mudanças e Sementes: Foi considerada apenas a energia necessária para sua produção e seu transporte a uma distância padrão de 20 km.

2.4.2 Estimativa da Demanda de Energia na Produção Agrícola

Para se estimar a demanda de energia total da produção agrícola brasileira é necessário saber a área total, a taxa de mecanização e os consumos de energia para as condições mecanizada e não mecanizada, de cada lavoura. Como estas informações não foram encontradas, optou-se por estimar a demanda de energia de cinco lavouras, apresentadas na primeira coluna da Tabela 2.6, e então se fazer uma extrapolação. Com relação à referida tabela tem-se a observar que:

1. A escolha destas culturas foi devido a serem as únicas das quais se encontrou as taxas de mecanização (Besnosik, 1987), e os consumos de energia (Serra et al., 1979).

2. A área colhida foi extraída do Anuário Estatístico do Brasil, IBGE (1987) e se refere à soma das áreas mecanizadas e não mecanizadas para cada cultura em 1986.

O consumo total de energia por cultura CTEC [Mcal/ciclo] foi calculado por:

$$CTEC = \frac{CEC * AC * TM}{100} \quad (2.1)$$

onde: CEC = consumo de energia por cultura, Mcal/ha/ciclo

AC = área colhida, ha

TM = taxa de mecanização, %

e está apresentado na Tabela 2.6.

O consumo total de combustível de tratores CTCC [Mcal] por cultura foi calculado por:

$$CTCC = \frac{CCC * AC * TM}{100} \quad (2.2)$$

onde: CCC = consumo de combustível de tratores por cultura, Mcal/ha/ciclo

e está apresentado na Tabela 2.6.

Na mesma tabela foram computados os totais para as lavouras estudadas e pode-se observar que:

1. Estas culturas representam em área 31485139 ha, correspondendo a 60 % da área total colhida em 1986 no Brasil que foi de 52149358 ha.

2. Que o consumo total de energia estimado para estas culturas é de $38.4 * 10^7$ Mcal ou $3.56 * 10^6$ tEP, sendo que 40 % corresponde ao consumo de combustível.

3. Não foi computado o consumo de energia das frações não mecanizadas de cada lavoura por não se ter dados estimativos para o Brasil, do consumo energético médio destas lavouras quando não mecanizadas. Por outro lado, da observação da Tabela 2.4 pode-se verificar que, para o arroz, a agricultura tradicional consome entre 37 (agricultura intermediária) e 378 (agricultura moderna) vezes menos que a agricultura mecanizada. Portanto, a inclusão da parcela relativa às lavouras não mecanizadas não aumentaria significativamente o consumo total de energia das lavouras.

Na oitava e nona colunas da mesma tabela são apresentados os consumos projetados de energia e de combustível para cada cultura, caso a taxa de mecanização fosse 100 %. Chega-se a um valor de $69.9 * 10^7$ Mcal ($6.47 * 10^6$ tEP), para as cinco culturas estudadas, o que corresponde de um consumo médio de energia por cultura de 2219 Mcal/ha/ciclo e uma taxa média de mecanização de 55 %. O consumo de combustível correspondeu a 39 %.

Na última linha desta tabela faz-se um exercício de exploração para o total de todas as lavouras colhidas no Brasil em 1986 e chega-se aos seguintes resultados:

1. O consumo total de energia, ao nível médio de mecanização (55%), é de $63.6 * 10^7$ Mcal ($5.89 * 10^6$ tEP), sendo que 40 % corresponde ao consumo de combustível.

2. O consumo total projetado de energia, ao nível de 100% de mecanização é de $116 * 10^7$ Mcal ($10.7 * 10^6$ tEP), sendo que 39 % corresponde ao consumo de combustível.

Como a quantificação feita para o consumo total de energia na produção agrícola leva em consideração as demandas direta e indireta de energia, e os dados do BEN não, uma comparação direta entre eles não é possível. Por outro lado, da confrontação do consumo total de combustível de tratores para todas as lavouras do Brasil com os dados do BEN de 1987 verifica-se que ele representa 48 % do consumo final de combustível (óleo diesel, óleo combustível e gasolina) do setor agropecuário em 1986, mas somente 0.7 % do consumo final total do país.

2.5 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NA MECANIZAÇÃO

O U.S. Energy Research And Development Administration (ERDA), citado por Friedrich (1978) aponta os seguintes benefícios da conservação de energia:

1. Custa menos economizar um barril de petróleo do que produzi-lo com a utilização de novas tecnologias em desenvolvimento.
2. A conservação de energia causa um efeito benéfico sobre os equipamentos.
3. Os recursos de capital necessários para aumentar o uso de energéticos mais eficientes são geralmente menores do que os montantes necessários para produzir uma porção equivalente de energia de novos aproveitamentos, uma vez que a maioria das novas técnicas de suprimentos energéticos são altamente intensivas em capital.
4. As tecnologias de conservação podem ser implementadas com uma taxa de retorno mais rápida e com menos envolvimento governamental do que novas tecnologias de suprimento.
5. A melhoria da eficiência no uso dos energéticos pode reduzir a pressão sobre o processo acelerado de introdução de novas técnicas de suprimento energético.

A redução do consumo direto de energia no meio rural, somente com a utilização correta dos equipamentos, pode ser avaliada na Tabela 2.7. Cabe ressaltar que as porcentagens de redução são estimativas, baseadas no total de energia gasta. Reduções reais variarão dependendo da aplicação específica e não necessariamente aditivas.

2.6 POSSIBILIDADES DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO USO DE TRATORES

Segundo Steinkampf (1981) no máximo 20% da energia do combustível gasto é transformada em energia útil na utilização do trator para tração (Fig. 2.1). Isto é resultado de perdas no motor, na transmissão, na interação pneu-solo e do consumo de energia no acionamento dos órgãos auxiliares. Segundo ele existem duas possibilidades para redução do consumo de combustível no uso de tratores:

1. Aumentar a eficiência de utilização da energia do combustível.
2. Reduzir a necessidade de energia útil.

2.6.1 Possibilidades para Aumentar a Eficiência de Utilização do Combustível

2.6.1.1 Motor

O rendimento efetivo do motor é definido como a relação entre a energia útil no eixo do motor e a energia do combustível. Ele depende da taxa de compressão, do tipo de combustão e especialmente da taxa de utilização do motor e da sua rotação de trabalho. A influência deste último fator pode ser visto nas curvas de parâmetros múltiplos de um motor diesel, como, por exemplo, as da Fig. 2.2. Dependendo da taxa de utilização do motor, isto é, o percentual de potência máxima, e da sua rotação, o rendimento varia de zero a 40%.

As possibilidades de se economizar combustível utilizando-se as áreas favoráveis das referidas curvas são maiores que as de aumentar o rendimento do motor. Observa Lober (1981) que nos últimos 30 anos os novos métodos de combustão e os de maior taxa de compressão (turbocompressor, por exemplo) não resultaram em aumento expressivo do rendimento do motor. Em outras palavras, é necessário atualmente um grande dispêndio em recursos para aumentar poucos pontos percentuais no rendimento máximo do motor.

A medida que se aumenta a taxa de utilização do motor, mais difícil fica explorar as áreas favoráveis de rendimento e menor é o potencial de economia de combustível. Por outro lado, os seguintes pré-requisitos devem ser satisfeitos:

1. O trabalho a ser realizado deverá possibilitar a livre seleção da rotação do motor.
2. O trator deverá possuir transmissão com elevado número de marchas (16 ou mais).
3. Devido à grande possibilidade de escolha das marchas e da posição do acelerador, a maneira racional de dirigir não deverá ficar exclusivamente a critério da experiência e sensibilidade do operador.

O posicionamento do ponto de trabalho do motor na sua posição ideal implica na medição da sua rotação e do seu torque. A mensuração da rotação não apresenta maiores problemas, o mesmo não acontecendo com o torque. Schimmel e Hulla (1983) e Kirste (1985) são exemplos de pesquisadores que desenvolveram sistemas de informação eletrônica para otimização da utilização de tratores agrícolas.

Em algumas operações agrícolas a rotação do não motor pode ser livremente escolhida. É o caso da pulverização de pesticidas e da mobilização do solo com enxadas rotativas, que necessitam uma rotação constante da tomada de potência (TDP). Aqui o ideal é ter-se duas rotações nominais para TDP, 540 e 1000 rpm. A primeira para operações que necessitam baixas taxas de utilização do motor (pulverização, por exemplo) e a segunda para altas taxas (enxada rotativa, por exemplo). Outro caso são as operações de transporte com baixa necessidade de potência e alta velocidade, cuja rotação do motor só pode ser diminuída através da utilização de uma super marcha ("Overdrive").

Outra forma de se expressar o rendimento de um motor é através do seu consumo específico de combustível. Ele indica qual a massa de combustível necessária para produzir uma unidade de potência, na unidade de tempo. Um motor com consumo específico de diesel de 250 g/kWh, gasta 250 gramas de diesel para cada quilowatt fornecido durante uma hora. O consumo específico de combustível, como o rendimento, é função do torque e da rotação de trabalho do motor. Esta dependência pode ser visualizada nas curvas de parâmetros múltiplos, como as da Fig. 2.2.

Uma publicação da JOHN DEERE (1980) assinala que o ponto ideal de trabalho é aquele que, para um determinado nível de potência, apresenta o menor consumo específico de combustível. Se um determinado trabalho consome 60 % da potência nominal (como uma escarificação pesada), o motor, cujo desempenho está representado na Fig. 2.2, poderá trabalhar nos pontos A (1540 rpm, 120 Nm, 214 g/kWh), B (2025 rpm, 142 Nm, 220 g/kWh) e C (2370 rpm, 121 Nm, 240 g/kWh). O consumo específico aumentará até 12 % em relação ao ponto ideal A. Já em trabalhos de transporte, onde o nível de potência pode chegar aos 20 %, do ponto X (1035 rpm, 96 Nm, 233 g/kWh) ao ponto D (2440 rpm, 39 Nm, 417 g/kWh) ocorre um aumento de consumo específico de 79 %. Como em cada caso a potência oferecida pelo motor é a mesma, a variação percentual do consumo horário (por exemplo: l/h) é a mesma do consumo específico. Conclui-se então que o ponto ideal de trabalho para cada nível de potência é aquele que pertence à "linha ótima de operação" representada na Fig. 2.2 pela linha XY.

Schimmel e Hulla (1983) acrescentam que uma forma de se otimizar o consumo de combustível do motor é:

1. Identificar o ponto de trabalho momentâneo do motor, isto é, com qual rotação e torque opera o motor e, conseqüentemente, o nível de potência exigido.
2. Levar o ponto de trabalho do motor o mais perto do ponto de intersecção da curva de isopotência com a linha ótima de operação (XY), através da troca de marchas e do reposicionamento do acelerador.

Schimmel e Hulla (1983) testaram o acima proposto implantando em um trator a seguinte instrumentação:

1. Tacômetro eletrônico para medição da rotação.
2. Torquímetro instalado no eixo de manivelas para medição do torque do motor.
3. Tubo de raios catódicos como elemento de ligação entre o tratorista e a máquina.

Os autores não apresentaram resultados referentes à economia de combustível proporcionada pela utilização da referida instrumentação.

Mialhe (1985) ressalta que a disseminação do uso de microcomputadores abre amplas perspectivas à modelagem matemática, possibilitando simular condições operacionais específicas e obter os respectivos dados de desempenho previsto dos tratores agrícolas. Esta técnica possibilita uma avaliação prévia do comportamento dos tratores agrícolas, sob determinadas condições operacionais, já antes de se ter o espécime em operação.

Outra possibilidade para redução do consumo de combustível é utilizar motores cujas curvas de parâmetros múltiplos sejam mais compatíveis com suas utilizações principais. No caso de tratores operando com taxa elevada de utilização do motor é vantajoso ter-se motores com rendimento máximo próximo da potência nominal, como na Fig. 2.3 e não na Fig. 2.2.

2.6.1.2 Orgãos auxiliares

A energia dispendida no acionamento dos órgãos auxiliares representa de 1 a 4% (Fig. 2.1) da energia do combustível consumido, ou de 3 a 15% da energia no eixo do motor. Segundo Steinkampf (1981), nem todas as possibilidades de redução do consumo de combustível nesta área foram esgotadas.

2.6.1.3 Transmissão

Difícilmente as perdas em transmissões modernas poderão ser reduzidas. Isto se deve ao progressivo aumento do número de marchas e do conforto na troca das mesmas, necessário para uma melhor exploração das curvas de parâmetros múltiplos do motor.

2.6.1.4 Sistema de tração

As perdas no sistema de tração são representadas pela soma das perdas de rolamento (devido à força de resistência ao rolamento) com as de deslizamento (devido ao deslizamento das rodas ou esteiras). A razão entre as potências na barra de tração e a no(s) eixo(s) motriz(es) é chamada de rendimento de tração. Ele será tanto maior quanto menores forem as perdas no sistema de tração.

A Fig. 2.4 Mostra a curva de rendimento de tração como função do deslizamento das rodas traseiras de um trator. Como neste caso, sempre a curva de rendimento de tração cresce acentuadamente a partir de baixos deslizamentos, passa por máximo e decresce então progressivamente. O valor do máximo rendimento, bem como do deslizamento correspondente, depende do tipo de solo e das características dos pneus.

Os pré-requisitos importantes para ter-se o mínimo de perdas no sistema de tração são que:

1. Independentemente da quantidade de trabalho deve-se sempre fazê-lo na região de máximo rendimento de tração.
2. Para cada condição de solo deve ser usado o tipo de pneu que proporcione o máximo rendimento de tração.
3. Se pode evitar perdas adicionais no sistema de tração com a utilização de tração nas quatro rodas, do bloqueio do diferencial e de uma boa distribuição do peso do trator sobre os eixos.

Para se trabalhar com baixo deslizamento e na região de máximo rendimento de tração, o trator e o implemento devem estar ajustados um ao outro. Em outras palavras, o peso do trator e a demanda de potência devem estar adequadas. Isto corresponde, para condições favoráveis de solo, à força de tração solicitada pelo implemento estar na faixa de 30-40 % do peso do trator. Isto é contrário a grandes larguras de trabalho ou combinações de equipamentos, mas a favor de elevadas velocidades de deslocamento, a fim de se explorar a potência instalada no motor. Como desvantagens tem-se: Menores capacidades de campo, diminuição do conforto do operador (o limite de conforto está entre 8 e 9 km/h) e aumento da demanda de energia por volume de solo mobilizado. Por outro lado, quanto mais leve o trator, isto é, quanto menor a relação peso-potência, maior é a velocidade de trabalho que deve ser atingida para se utilizar a potência máxima do motor.

Cita Steinkampf (1981), que um trator com relação peso-potência de 55 daN/kW, trabalhando num solo seco e compactado, com deslizamento de 10 % (e com isto obtendo um máximo rendimento de tração de 83 %), necessita operar a uma velocidade de 10 km/h. Como alternativa à necessidade de se trabalhar a altas velocidades pode-se optar por técnicas agrônômicas que utilizem simultaneamente a barra de tração e a TDP do trator.

Os principais parâmetros que influenciam no valor do máximo rendimento de tração e no deslizamento em que ele ocorre são:

1. Solo: tipo, textura, umidade e porosidade.
2. Pneu: dimensões, relação carga-pressão, tipo de carcaça (radial ou diagonal) e forma, ângulo e altura da garra.

Um maior rendimento de tração é obtido quando:

1. O solo é mais seco e argiloso.
2. A relação diâmetro-largura do pneu é maior.
3. A relação carga-pressão do pneus é maior.
4. O solo é menos poroso e mais duro.
5. O pneu utilizado é radial.

Uma redução das perdas no sistema de tração e com isto uma redução no consumo de combustível pode, portanto, ser obtida utilizando-se o trator em solo mais seco e duro possível (desde que não se verifique consequências negativas sobre os requisitos agrônômicos) e através da seleção adequada do implemento.

2.6.2 Possibilidades de Economia de Combustível Através da Redução da Necessidade de Energia Útil

O contínuo aumento da potência dos motores dos tratores visando maiores produtividades tem provocado aumento do nível de mobilização do solo. Isto se dá a custa de quantidades adicionais de combustível. Esta quantidade pode ser reduzida pelo uso de outros implementos e de técnicas de menor demanda energética e pela mudança nos métodos de produção e, segundo Steinkampf (1981), sem afetar a qualidade e a produtividade das safras. Alguns exemplos são as práticas: plantio direto, cultivo mínimo, operações conjugadas e controle de tráfego.

2.7 CONCLUSÕES

1. A participação do setor agropecuário no consumo final total de energéticos no Brasil ainda é pequena, oscilando entre 4.6 % (72, 74, 75, 85 e 86) e 5.3 % (81). Este fato se deve principalmente à mecanização parcial, isto é: Apenas algumas regiões estão se mecanizando e a mecanização atinge mais intensamente determinadas operações agrícolas.
2. O consumo total de energia (direto e indireto) de todas as lavouras colhidas no Brasil em 1986, correspondente a um nível médio de mecanização de 55%, é estimado em $5.9 * 10^4$ tEP, sendo que 40 % corresponde ao consumo de combustível em tratores. Por outro lado, da confrontação deste consumo de combustível com os dados do BEN de 1987 verifica-se que ele representa 48 % do consumo final de combustível (óleo diesel, óleo combustível e gasolina) do setor agropecuário em 1986, mas somente 0.7 % do total do país.
3. Caso o país apresentasse um nível de 100 % de mecanização o consumo total de energia seria de $10.7 * 10^4$ tEP.
4. Apesar da participação do setor agropecuário no consumo total de energéticos ainda ser pequena é importante que se adotem tecnologias de conservação de energia. Elas podem ser implantadas com uma taxa de retorno maior que a adoção de novas tecnologias de suprimento ou desenvolvimento de máquinas energeticamente mais eficientes.
5. O uso racional de tratores apresenta-se como uma importante possibilidade de conservação de energia na mecanização agrícola.
6. Na utilização do trator em operação de tração, no máximo 20 % da energia do combustível é convertida em energia útil. As melhores alternativas para aumentar este rendimento são: Utilizar o motor na sua faixa econômica característica e diminuir as perdas no sistema de tração (através da operação do trator com baixo deslizamento das rodas, isto é, na região de máximo rendimento de tração).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BESNOSIK, R.I.. Evolução do consumo de energia no setor agrícola: aspectos macroeconômicos. AIE/COPPE/URFJ, Rio de Janeiro, 1986. 50p.
2. BRASIL. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Anuário estatístico do Brasil. Brasília, 1987, 532p.
3. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Balanço energético nacional. Brasília, 1985. 132p.
4. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Balanço energético nacional. Brasília, 1987. 132p.
5. FRIEDRICH, R.A. Energy conservation for american agriculture. Massachusetts, Ballinger Publishing Company, 1978. 173 p.
6. JOHN DEERE WERKE MANNHEIM. Tema: Kraftstoffverbrauch. Mannheim, 1980. 20p.
7. KAGEYAMA, A. e SILVA, J.G. da. Os resultados da modernização agrícola dos anos 70. Sep. Estudos Econômicos, 13(3):p.537-59, Set-Dez, 1983.
8. KIRSTE, T.. Kennfeldmonitor fuer Dieselmotoren. Sep. Landtechnik, Darmstadt, 40(10): p. 426-30, Ock, 1985.
9. LOBER, M. Leistung und Krafftstoffverbrauch bei Schleppermotoren. Palestra apresentada no Referententagung, Hohenheim, em 11/06/1981
10. MIALHE, L.G.. Análise das características e desempenho de tratores. Piracicaba, 1985. 145p.
11. SCHIMMEL, V.J. e HULLA, H.. Einsatzoptimierung von Ackerschleppern durch elektronische Fahrerinformation. Sep. Grundlagen Landtechnik, Duesseldorf, 33(1):p. 5-10, Jan-Feb, 1983.
12. SERRA, G.E., MOREIRA, J., GOLDEMBERG, J. e HEEZEN, A.M.. Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas. STI/MIC, 1979.
13. STEINKAMPF, H.. Possibilities of saving energy during tractor use. Federal Research Center of Agriculture, Braunschweig, 1981. 9p.

(a)
TABELA 2.1 - Demanda Direta De Energia No Setor Agropecuário (10³ tEP)

ANO	LENHA	OLEO DIESEL	OLEO COMBUSTIVEL	ELETRICIDADE	GASOLINA GLP QUEROSENE	TOTAL
1973	432	858	68	45	-	1403
1974	440	949	80	56	-	1525
1975	449	1054	85	64	-	1652
1976	533	1219	98	75	1	1926
1977	528	1385	99	90	1	2103
1978	531	1574	108	115	2	2330
1979	536	1789	112	137	2	2576
1980	539	2050	109	175	2	2875
1981	540	2224	94	214	2	3074
1982	540	2291	109	237	6	3183
1983	519	2141	81	277	2	3020
1984	507	2179	75	324	2	3087

(a) Dados adaptados por Besnosik (1986) a partir do BEN de 1985

(a)
TABELA 2.2 - Evolução Dos Tratores Na Agropecuária - Brasil

ANOS	No. DE TRATORES
1920	1 706
1940	3 377
1950	8 372
1960	61 324
1970	165 870
1975	323 113
1980	530 691

(a) Dados adaptados por Besnosik (1986) a partir do FIBGE

**TABELA 2.3 - Evolução Da Produção Nacional, Importação e Consumo
Aparente De Fertilizantes No Brasil .
Médias Trienais (em toneladas)**

ANOS	NITROGENADOS			FOSFATADOS			POTÁSSICOS	E NPK		
	Produção	Importação	Consumo Aparente	Produção	Importação	Consumo Aparente	Importação	Produção	Importação	Consumo Aparente
1950-52	780	13671	14451	6964	50145	57109	22526	7744	86342	94086
1953-55	1143	19288	20431	14818	62108	76926	36366	15961	117762	133723
1956-58	1720	31675	33395	30470	79062	118532	55634	41190	166371	207561
1959-61	13352	42110	55462	76096	48557	124653	78858	89448	169525	258973
1962-64	11202	44424	55626	95286	41177	136463	76655	106488	162256	268744
1965-67	9577	70785	80362	91973	55144	147117	110002	101550	235931	337481
1968-70	12196	182858	195054	139906	178338	318244	230426	152102	591622	743724
1971-73	90665	254680	345345	288439	449998	738437	446454	379104	1151132	1530236
1974-76	172799	258429	431228	609350	469419	1078769	600152	782149	1328000	2110149
1977-79	259650	467475	727125	1145966	441194	1587160	1018488	1405616	1927157	3332773
1980-81	365892	420808	786700	1364978	188886	1653864	1036610	1730870	1746304	3477174

(a) Dados adaptados por Besnosik (1986) a partir do IPEA/IEA

**TABELA 2.4 - Energia Requerida Para Produção De Arroz, Através De
Método Moderno, Intermediário E Tradicional**

	MODERNO U.S.A. (Mcal/ha)	INTERMEDIÁRIO FILIPINAS (Mcal/ha)	TRADICIONAL FILIPINAS (Mcal/ha)
MAQUINAS	1 004	80	41
COMBUSTIVEL	2 150	383	-
FERTILIZANTES	2 717	603	-
SEMENTES	804	395	-
IRRIGACAO	6 540	-	-
INSETICIDA	134	36	-
HERBICIDA	134	24	-
SECAGEM	1 100	-	-
ELETRICIDADE	766	-	-
TRANSPORTE	173	7	-
TOTAL	15 522	1 528	41
PRODUÇÃO (t/ha)	5.8	2.7	1.25
ENERGIA REQUERIDA POR TONELADA (Mcal/t)	2 676	566	33

(a) Dados extraídos de Serra et al. (1979)

(a)

TABELA 2.5 - Consumo Medio De Energia Para Algumas Culturas Em Mcal/ha/ciclo

ITEM	SUB-ITEM	ALGODAO	MILHO	SOJA	TRIGO	CANA-DE-ACUCAR
MAO-DE-OBRA		75	12	11	6	140
TRATORES		78	53	69	38	33
IMPLEMENTOS		16	9	13	10	4
CAMINHOS		5	3	2	1	56
COMBUSTIVEL		1386	987	1057	706	1940
	trator	1250	863	927	599	833
	caminhao	81	41	33	17	1107
	colhedora	55	83	97	90	0
FERTILIZANTES		1061	795	327	298	1195
	nitrogenado	787	579	85	133	988
	fosfatado	130	107	123	109	98
	potassico	63	27	31	32	80
	calcareo	81	82	88	24	29
DEFENSIVOS		815	69	335	205	408
	herbicida	329	58	170	32	359
	fungicida	482	11	161	77	0
	inseticida	4	0	4	96	49
MUDAS/SEMENTES		78	23	68	114	248
TOTAL [Mcal/ha/ciclo]		3514	1951	1882	1378	4024
PRODUCAO (kg/ha)		2000	2800	2100	1200	79000
ENERGIA REQUERIDA POR TONELADA (Mcal/t)		1757	697	896	1148	51

(a) Dados extraídos de Serra et al. (1979)

TABELA 2.6 - Consumo Energetico Estimativo Para Algumas Lavouras Em 1986

LAVOURAS	(a)	(b)	(c)		CONSUMO TOTAL DE ENERGIA [Mcal] [(tEP)]	CONSUMO TOTAL DE COMBUSTIVEL [Mcal] [(tEP)] [%](e)	CONSUMO PROJETADO DE ENERGIA [Mcal] [(tEP)]	CONSUMO PROJETADO DE COMBUSTIVEL [Mcal] [(tEP)]
	TAXA DE MECANIZACAO [%]	AREA COLHIDA [ha]	CONSUMO DE ENERGIA [Mcal/ha/ciclo]	CONSUMO DE COMBUSTIVEL [Mcal/ha/ciclo]				
IGD	87.7	3897719	1378	599	4.71E+09	2.05E+09 43.47%	5.37E+09	2.33E+09 43.47%
OJA	72.5	9185551	1882	927	1.25E+10	6.17E+09 49.26%	1.73E+10	8.52E+09 49.26%
ODAO	69.9	1995842	3514	1250	4.90E+09	1.74E+09 35.57%	7.01E+09	2.49E+09 35.57%
DE-ACUCAR	49.9	3945898	4024	833	7.92E+09	1.64E+09 20.70%	1.59E+10	3.29E+09 20.70%
LHO	34.3	12460129	1951	863	8.34E+09	3.69E+09 44.23%	2.43E+10	1.08E+10 44.23%
TOTAL DAS LAVOURAS	55.0	31485139	2219	870	3.84E+10 3.56E+06	1.53E+10 1.42E+06 39.82%	6.99E+10 6.47E+06	2.74E+10 2.54E+06 39.20%
TOTAL PARA LAVOURAS AS LAVOURAS BRASIL	55.0	52149358	2219	870	6.36E+10 5.89E+06	2.53E+10 2.35E+06 39.82%	1.16E+11 1.07E+07	4.54E+10 4.20E+06 39.20%

(a) Area colhida mecanizada/area colhida total da lavoura. Dados extraidos de Besnosik (1987).

(b) Dados extraidos do Anuario Estatistico do Brasil, IBGE (1987).

(c) Dados extraidos de Serra et al. (1979).

(d) 1 tEP = 10800 Mcal.

(e) Percentagem do consumo de diesel em relacao ao consumo total de energia.

(f) Utilizando-se uma taxa de mecanizacao de 100 %.

TABELA 2.7 - Percentagem De Redução Da Energia Total, Com A Utilização Correta De Equipamentos Mecânicos

Uso do equipamento adequado ao trabalho a ser realizado.	5-20%
Operação do trator dentro de sua capacidade nominal.	10-15%
Uso de tratores menores para serviços leves.	10-12%
Remoção de equipamentos grandes por caminhões ao invés de conduzi-los muitos quilômetros a baixa velocidade.	8-10%
Acionamento dos sistemas rotativos na rotação devida.	5-10%
Conservação dos equipamentos limpos e lubrificados corretamente.	5-8%
Utilização da manutenção preventiva.	4-6%
Conservação de todos os equipamentos regulados.	2-4%
Acionamento correto dos controles do equipamento.	2-4%
Acoplamento correto dos equipamentos para reduzir trepidações sobre o terreno.	2-4%
Manutenção programada dos mancais dos equipamentos.	2-3%
Manutenção dos mecanismos de corte (arado, grade, etc.) bem afiados.	1-3%
Limpeza ou troca regular dos filtros de ar.	1-2%

(a) Dados extraídos de Friedrich (1978).

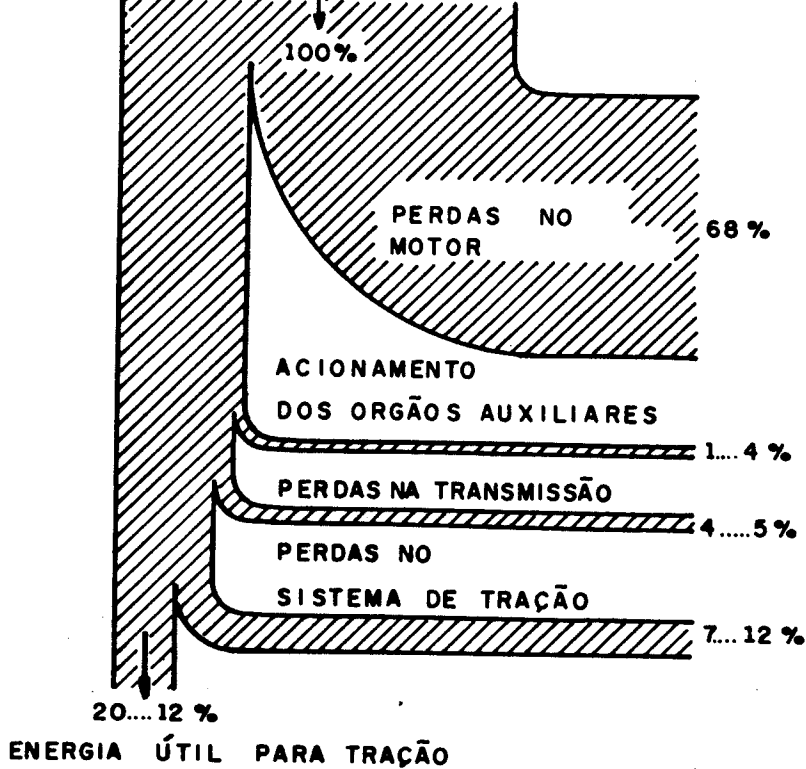


FIGURA 2.1 - Balanço De Energia De Um Trator Operando Em Trabalho De Tração (Fonte: Steinkampf, 1981)

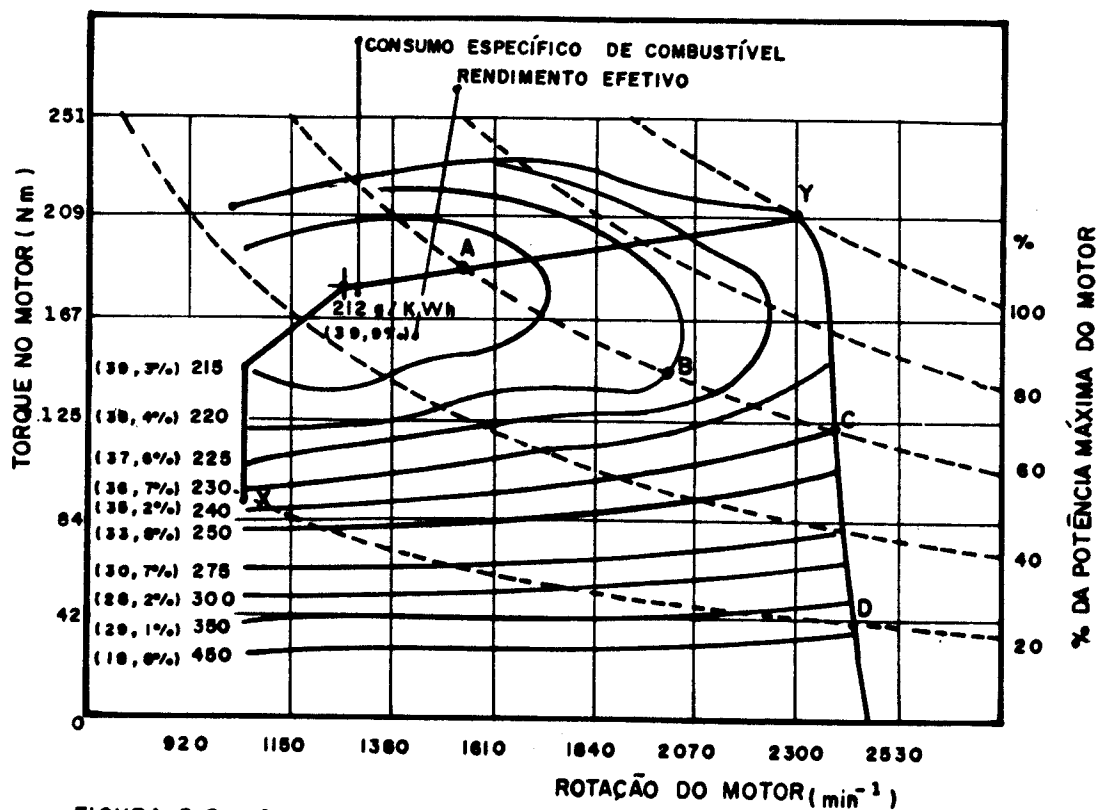


FIGURA 2.2 - Curvas De Parâmetros Múltiplos De Um Motor Diesel. (Fonte: JOHN DEERE, 1980)

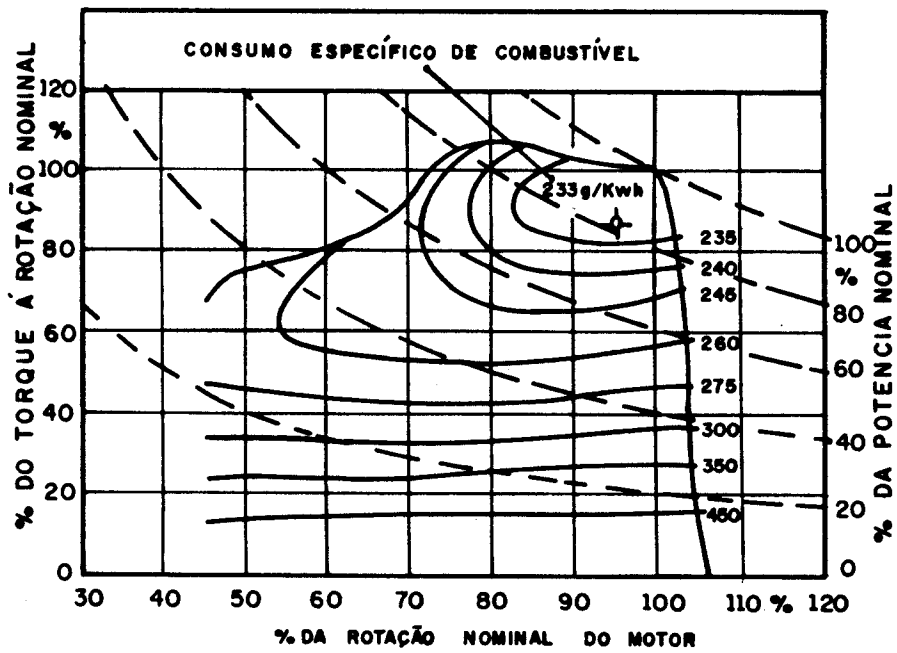


FIGURA 2.3— Curvas De Parâmetros Múltiplos De Um Motor Diesel
(Fonte: Relatório Da OECD, 1980)

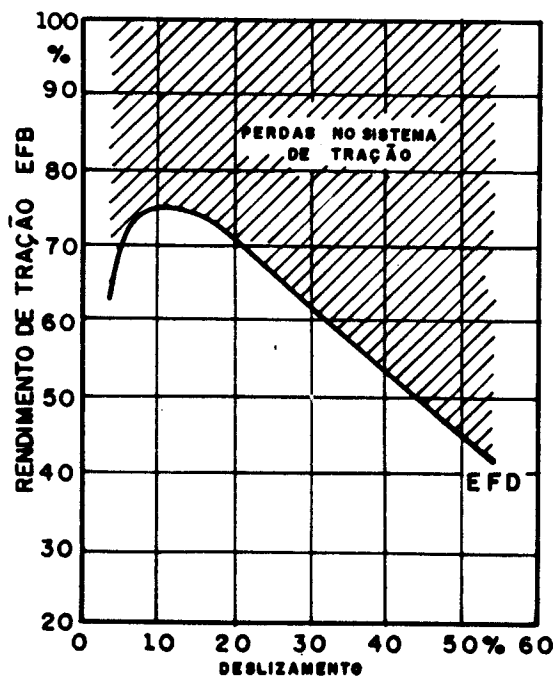


FIGURA 2.4— Rendimento De Tração De Um Trator Agrícola Em Função Do Deslizamento Das Rodas.

3 RENDIMENTO E ANALISE ECONOMICA DE MOTORES DIESEL

3.1 INTRODUÇÃO

A determinação do nível técnico de um motor de combustão interna é feita através da comparação dos valores de uma série de parâmetros com índices médios estatísticos levantados para um número representativo de motores modernos. Por conseguinte, este conceito de nível técnico é relativo e evolui a medida em que se desenvolve a tecnologia do setor.

Os principais parâmetros utilizados para determinar o nível técnico dos motores e, portanto, para comparação entre eles são: pressão média efetiva, rendimento efetivo, consumo específico efetivo de combustível, relação peso-potência e relação potência-cilindrada.

A oscilação dos preços dos derivados de petróleo nos últimos anos tem estimulado a utilização do consumo de combustível, e consequentemente do rendimento, como um parâmetro importante na escolha de um motor.

Testes de bancada mostram que o rendimento de um motor varia em função do ponto de trabalho, isto é, do torque e da rotação do motor. Deve-se portanto observar inicialmente as condições de trabalho em que se utilizará o motor para então procurar escolher aquele que apresente maior rendimento nestas condições. Todavia, inúmeras aplicações exigem a utilização do mesmo em diversos pontos de trabalho. Neste caso faz-se necessário avaliar o comportamento da variável rendimento em função das variáveis rotação e torque.

Segundo Hansen et al. (1986) um importante requerimento para a otimização do desempenho de um trator é a obtenção de dados confiáveis da distribuição do tempo de utilização dos diversos pontos de trabalho do motor. Os referidos autores apresentam dados da distribuição do tempo gasto em aração em função do consumo horário de combustível e da rotação do motor.

O objetivo deste trabalho é propor uma correlação para o rendimento efetivo de motores diesel em função da rotação e do torque e utilizá-la em um programa de cálculo do rendimento e potência médios de um motor. A correlação foi empregada para a comparação dos resultados de desempenho de cinco motores utilizados em tratores agrícolas. Foram feitas considerações sobre o custo anual dos motores.

3.2 MATERIAIS E METODOS

3.2.1 Rendimento Indicado

A Fig. 3.1 mostra o diagrama indicado de um motor diesel de quatro-tempos. A área A delimitada pelo contorno deste diagrama representa o trabalho indicado WI [J] fornecido pelo motor durante um ciclo.

A razão entre o calor convertido em trabalho mecânico WI durante um ciclo e todo calor Q [J] introduzido no motor através do combustível é chamado de rendimento indicado EFI :

$$EFI = \frac{WI}{Q} = \frac{WI}{10^6 * H * GM} \quad (3.1)$$

onde: H = poder calorífico inferior do combustível, MJ/kg
 GM = massa injetada de combustível por ciclo, kg

A potência indicada PI [kW] de um motor de J cilindros correspondente ao trabalho indicado WI de um cilindro é:

$$PI = \frac{WI * N * J}{30000 * TMO} \quad (3.2)$$

onde: N = rotação do motor, min^{-1}
 TMO = número de tempos do motor (2 ou 4)

3.2.2 Rendimento Efetivo

A potência do motor transmitida pelo virabrequim ao consumidor é conhecida como potência efetiva P [kW] e é menor que a potência indicada PI . A diferença entre PI e P corresponde à potência dissipada em perdas mecânicas, PP [kW], isto é:

$$PP = PI - P \quad (3.3)$$

A partir da potência efetiva P do motor e do consumo de combustível GH [kg/h], pode-se então calcular o consumo específico efetivo de combustível GE [g/kWh] através de :

$$GE = \frac{1000 * GH}{P} \quad (3.4)$$

O rendimento efetivo EF, que indica o grau de utilização do calor pelo motor, levando em conta todas as perdas térmicas e mecânicas, pode ser calculado por:

$$EF = \frac{3600}{H * GE} \quad (3.5)$$

Os limites de EFI, EF e GE encontrados em motores modernos em condições nominais são dados na Tabela 3.1.

3.2.3 Curvas de Parâmetros Múltiplos

Ensaaios de motores mostram que os rendimentos indicado e efetivo variam em função do ponto de trabalho, isto é, do torque e da rotação do motor. Por isto as curvas de parâmetros múltiplos são úteis na avaliação do comportamento de um motor. Elas consistem de uma família de curvas que mostra a dependência de um ou mais parâmetros constantes com dois outros parâmetros variáveis mostrados nos eixos coordenados. A Fig. 3.2 mostra um exemplo de curvas de parâmetros múltiplos para um motor diesel. No eixo das ordenadas temos a rotação e no das abscissas, o torque. As curvas topográficas indicam consumo específico de combustível constante e consequentemente, rendimento efetivo constante. As curvas tracejadas são linhas de potência efetiva constante. Para uma determinada rotação (ver corte A-A) o rendimento efetivo cresce de zero, para torque zero, até um valor máximo a um determinado torque e então decresce, com o aumento do torque. (ver Fig. 3.3).

Utilizando-se resultados de ensaios de motores à rotação constante verificou-se através de análise estatística que a variável rendimento efetivo pode ser adequadamente estimada pela equação:

$$EF = a_1 + a_2 * T + a_3 * T^2 + a_4 * T^3 + a_5 * T^4 \quad (3.6)$$

onde: T = torque efetivo do motor, Nm
 $a_1, \dots, a_5$ = constantes a serem determinadas em ensaios de desempenho

Na Fig. 3.4 observa-se o comportamento do motor para um determinado torque (ver corte B-B), resultando um rendimento efetivo máximo para determinada rotação, diminuindo progressivamente à medida que se afasta deste ponto.

Novamente verificou-se, através de análise estatística de resultados de ensaios de motores a torque constante, que a variável rendimento efetivo pode ser adequadamente estimada pela equação:

$$EF = b_1 + b_2 * N + b_3 * N^2 \quad (3.7)$$

onde: b_1 , b_2 e b_3 são constantes a serem determinadas em ensaios de desempenho.

Levando-se em conta as Eq. 3.6 e 3.7, para o rendimento efetivo, optou-se por propor a correlação:

$$EF = c_1 + c_2 * T + c_3 * N + c_4 * T^2 + c_5 * T^3 + c_6 * T^4 + c_7 * N^2 + c_8 * N * T \quad (3.8)$$

onde: $c_1, \dots, c_8$ = constantes a serem determinadas em ensaios de desempenho

Analisando a Eq. 3.8 verifica-se que:

1. O produto da rotação pelo torque ($N*T$), que não aparece nas Eq. 3.6 e 3.7, foi incluído. O motivo foi buscar uma interação entre estas variáveis na variável rendimento.
2. Valores constantes para a rotação ou para o torque reduzem a Eq. 3.8 à Eq. 3.6 ou 3.7, respectivamente.
3. O segundo membro da Eq. 3.8 se reduz à equação geral de uma cônica, caso os coeficientes c_5 e c_6 sejam nulos. Dependendo do determinante

$$DT = 4 * c_4 * c_7 - c_5^2 \quad (3.9)$$

ser positivo, negativo ou nulo a cônica será uma elipse, hipérbole ou parábola.

3.2.4 Rendimento Efetivo Médio

Frequentemente tem-se aplicações de um dado motor que exigem que ele opere em determinadas faixas de torque e de rotação. Neste caso é útil encontrar-se o rendimento efetivo médio EFM dentro desta zona de operação. Para este cálculo definiu-se:

$$EFM = \frac{\int_R \int EF(N,T) * PO(N,T) * dN * dT}{\int_R \int PO(N,T) * dN * dT} \quad (3.10)$$

onde : $PO(N,T)$ = coeficiente de ponderação
 R = região de integração

Analogamente definiu-se potência efetiva média PM [kW] como sendo:

$$PM = \frac{\int_R \int P(N,T) * PO(N,T) * dN * dT}{\int_R \int PO(N,T) * dN * dT} \quad (3.11)$$

Em cada caso as duas integrais foram resolvidas numericamente pelo método de Simpson.

O coeficiente de ponderação caracteriza a distribuição percentual de tempo em cada ponto de trabalho do motor. Por exemplo, a Fig. 3.5 mostra duas situações de operação de um dado motor diesel. Caso se calcule o rendimento efetivo médio para cada uma das situações, os valores deverão ser diferentes. No caso (a) cada rendimento dentro da região R1 tem o mesmo peso na integração. Já no caso (b) os diferentes coeficientes de ponderação definem o peso de cada rendimento.

3.2.5 Região de Integração e Seus Coeficientes de Ponderação

O rendimento médio efetivo EFM foi calculado para cada motor em duas regiões de integração, mostradas na Fig. 3.6:

1. A primeira região R1 (Fig. 3.6a) caracteriza a zona de operação de motores diesel de tratores. As rotações mínima e máxima foram adotadas como sendo 45% da rotação de potência máxima (conforme Norma OECD, 1981) e rotação máxima livre, respectivamente. Os torques mínimos e máximos são, respectivamente, zero e os correspondentes a curva de torque à aceleração máxima. Esta curva tem uma mudança de comportamento no ponto B e pode ser dividida em duas partes: AB - motor operando fora da zona de corte do regulador de rotação; BC - motor operando na zona de corte do regulador de rotação.

Souza e Milanez (1988) concluíram que para a referida parte AB, o torque do motor pode ser estimado através de equação polinomial de segunda ordem, para motores naturalmente aspirados, ou de terceira ordem, para motores turboalimentados, isto é:

$$T = t_1 + t_2 * N + t_3 * N^2 + t_4 * N^3 \quad (3.12)$$

onde: t_1 a t_4 são constantes a serem determinadas em ensaios de desempenho. Já para a parte BC, o torque do motor pode ser estimado por correlação linear encontrada a partir das rotações de potência máxima e máxima livre.

Como cada motor ensaiado possui curva de torque, rotação de potência máxima e rotação máxima livre distintas, terá, portanto, região de integração própria. O correspondente rendimento médio efetivo será um parâmetro útil na avaliação do:

- efeito de modificações efetuadas no motor sobre seu rendimento;
- desempenho global do motor.

2. A segunda região R2 (Fig. 3.6b) foi idealizada a partir dos resultados obtidos em campo, por Hansen et al. (1986), em um trator em operação de aração. Não existe uma equivalência entre os dados devido ao fato do referido trabalho apresentar a distribuição das percentagens de tempo em função da rotação do motor e do consumo horário de combustível. Entretanto o objetivo foi propor uma situação prática possível e não retratar fielmente os resultados obtidos por ele. O correspondente rendimento médio efetivo quantificará o rendimento do motor nesta aplicação. Os coeficientes de ponderação adotados podem ser visualizados na mesma Fig. 3.6b.

3.2.6 Programa "CALCULO DO RENDIMENTO E POTENCIA MEDIOS DE UM MOTOR"

No Anexo 1 é apresentada a listagem do programa "CALCULO DO RENDIMENTO E POTENCIA MEDIOS DE UM MOTOR", feito em linguagem PASCAL.

3.2.6.1 Dados de entrada:

1. IDENTIFICAÇÃO DO MOTOR.
2. DATA.
3. NUMERO DE DIVISÕES NO EIXO X (ROTAÇÃO): É o número de divisões da malha dos coeficientes de ponderação no eixo x. No caso da Fig. 3.6b é 6.
4. NUMERO DE DIVISÕES NO EIXO Y (TORQUE): análogo ao item 3.
5. ROTAÇÃO DE INICIO DE CORTE DO COMBUSTIVEL [min^{-1}]: É a rotação que o regulador de rotação inicia o corte do combustível.
6. ROTAÇÃO MÁXIMA LIVRE [min^{-1}]: É a máxima rotação de operação do motor.
7. ROTAÇÃO MÍNIMA DE CALCULO [min^{-1}]: É a mínima rotação da região R.

8. ROTAÇÃO MÁXIMA DE CÁLCULO [min^{-1}]: É a máxima rotação da região R.
9. TORQUE MÍNIMO DE CÁLCULO [Nm]: É o mínimo torque da região R.
10. TORQUE MÁXIMO DE CÁLCULO [Nm]: É o máximo torque da região R.
11. NÚMERO DE ITERAÇÕES NO EIXO X (ROTAÇÃO): É o número de iterações da integração numérica feita no eixo x.
12. NÚMERO DE ITERAÇÕES NO EIXO Y (TORQUE): É o número de iterações da integração numérica feita no eixo y.
13. COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DO RENDIMENTO:- são os coeficientes de c_1 a c_8 da Eq. 3.8.
14. COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DO TORQUE:- são os coeficientes de t_1 a t_4 da Eq. 3.12.
15. COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO:- conforme definido no item 3.2.5.

3.2.6.2 Dados de saída

1. RENDIMENTO EFETIVO MÉDIO EFM [%]:- conforme definido na Eq. 3.10.
2. POTÊNCIA EFETIVA MÉDIA PM [kW]:- conforme definida na Eq. 3.11.

3.2.7 Procedimento Experimental

Cinco motores diesel foram utilizados nos experimentos. As principais características destes motores são dadas na Tabela 3.2.

O óleo diesel utilizado tem poder calorífico inferior de 42.6 MJ/kg. A densidade do combustível a uma determinada temperatura foi obtida através de interpolação linear a partir dos valores a 25 e 40 °C.

A rotação do motor foi medida diretamente no seu volante onde foi colocado um disco com 60 dentes. O sinal fornecido por um transdutor óptico, constituído de um fotodiodo infravermelho e um fototransistor, é amplificado e transformado em indicação digital por um contador de impulsos.

O consumo de combustível foi obtido através de um medidor SEPPELER SVU 3-100/500 que permite leitura digital do tempo gasto para consumir um volume préfixado em 100 ou 500 ml. Na saída do medidor foi tomada a temperatura do combustível para que se pudesse posteriormente estimar a sua densidade. Calculou-se então o consumo de combustível GH [kg/h] através de:

$$GH = \frac{0.0036 * V * DE}{TPO} \quad (3.13)$$

onde: V = volume consumido, ml
DE = densidade do combustível, g/l
TPO = tempo gasto, s

Cada motor foi testado em um dinamômetro de corrente de Foucault equipado com transdutor de força à base de extensômetros elétricos de resistência e com leitura digital direta do torque medido. Devido ao desempenho do motor ser influenciado pelas condições ambientais (pressão, temperatura e umidade do ar) o fator de redução x estabelecido pela Norma ISO 1585 (1982) (equivalente ao da Norma NBR 5484 ,1984) foi utilizado para o cálculo do torque reduzido (ou corrigido) do motor TC [Nm]:

$$TC = x * T \quad (3.14)$$

O consumo específico efetivo reduzido de combustível GEC [g/kWh] foi calculado através de uma adaptação a partir da Eq. 3.4:

$$GEC = \frac{9549300 * GH}{TC * N} \quad (3.15)$$

O rendimento efetivo reduzido EFC foi calculado através de uma adaptação a partir da Eq. 3.5:

$$EFC = \frac{3600}{H * GEC} \quad (3.16)$$

Já a potência efetiva reduzida do motor PC [kW] foi calculada por:

$$PC = x * P \quad (3.17)$$

Na avaliação de desempenho dos motores optou-se pelo ensaio à rotação constante, no qual o motor é carregado pelo dinamômetro enquanto a alavanca de acionamento da bomba injetora é continuamente ajustada para proporcionar desde o torque nulo até o torque máximo a cada rotação. Os parâmetros de leitura foram os especificados pela Norma ISO 1585 (equivalente ao da Norma NBR 5484). O ensaio foi realizado após a estabilização das pressões e temperaturas do fluido de arrefecimento e do óleo lubrificante. Os dados foram levantados a cada um dos 11 intervalos iguais entre 100 e 0 % do torque máximo a cada rotação. As rotações adotadas foram 100, 95, 85, 75, 65, 55 e 45 % da rotação nominal, e a rotação obtida da média aritmética entre as rotações de potência máxima e máxima livre.

A precisão dos instrumentos e equipamentos utilizados satisfaz o previsto pela Norma ISO 1585 (equivalente ao da Norma NBR 5484).

3.2.8 Análise de Variância

O grau de ajuste dos resultados obtidos dos ensaios dos cinco motores à correlação proposta (Eq. 3.8) foi avaliado através do coeficiente de determinação múltipla R^2 e do teste F. A determinação dos estimadores das constantes da correlação foi feita utilizando-se o método dos mínimos quadrados.

Utilizou-se o seguinte parâmetro para se avaliar o ganho em explicação da variação total da variável rendimento ao se passar de um modelo A para um modelo B:

$$\Delta R^2 = \frac{R_B^2 - R_A^2}{R_A^2} * 100 \quad (3.18)$$

onde: ΔR^2 = aumento percentual no R^2

R_A^2 = R^2 para o modelo A

R_B^2 = R^2 para o modelo B

3.2.9 Análise Econômica

Uma análise econômica completa dos motores selecionados deveria levar em conta os seguintes itens:

- Custos de investimento.
- Custos de operação: Combustíveis, lubrificantes, manutenção e consertos.
- Custos com seguro.

Para fins de simplificação optou-se por agrupar os custos com lubrificantes, manutenção e consertos em um único item doravante denominado manutenção, e estimado para um período de 1 ano em 10 % do valor de investimento. Por ser medida pouco utilizada com motores, as despesas com seguro não foram computadas. A vida dos motores foi assumida como de 10 anos e a taxa de interesse em 10 % ao ano.

Calcula-se então o custo anual por quilowatt fornecido CA [\$/kW] através de:

$$CA = \frac{A\$}{PCM} * FRC(i,n) + \frac{GECM * HO * DI\$}{DE} + 0.1 * \frac{A\$}{PCM} \quad (3.19)$$

onde:

- A\$ = preço de aquisição, \$
- FRC(i,n) = fator de recuperação de capital para uma taxa de interesse i e vida de n anos
- HO = número de horas trabalhadas por ano, h
- DI\$ = preço do diesel, \$/l

O consumo específico efetivo reduzido médio de diesel GECM [g/kWh] e a potência efetiva reduzida média PCM [kW] correspondem aos valores médios obtidos na região de integração, definida no item 3.2.5. Outros valores adotados foram:

- densidade do diesel = 840 g/l (ISO 1585).
- preço do diesel = 0.2642 \$/l (11/88).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Rendimento Efetivo Reduzido EFC

Os estimadores dos coeficientes da Eq. 3.8 encontrados para o EFC nos ensaios de desempenho dos cinco motores estão apresentados na Tabela 3.3. Verifica-se que:

1. Para cada motor, a restrição $c_0 = c_1 = 0$ reduz o segundo membro da referida equação a uma elipse, pois o determinante DT (Eq. 3.9) é positivo. O lugar geométrico gerado pelos pontos que satisfazem a Eq. 3.9, sujeita a esta restrição, é chamado de parabolóide elíptico.

2. A precisão da correlação "parabolóide-elíptica" é boa, considerando que o R^2 ficou entre 0.960 e 0.989. Por outro lado em todos os casos somente os estimadores de c_2 e c_4 foram significativos ao nível de 5 % de probabilidade. Em outras palavras, somente os estimadores de c_2 e c_4 foram significativamente diferentes de zero com 95 % de probabilidade, em todos os casos.

3. A precisão da correlação "completa" é muito boa, considerando que o R^2 obtido em cada caso foi maior que 0.996. O ganho percentual em explicação da variação total do rendimento ficou entre 0.9 e 3.9 % ao se passar da correlação "parabolóide-elíptica" para a "completa".

4. Todos os estimadores da correlação "completa", a menos dos estimadores de c_1 e c_0 e com exceção do caso do motor 4, foram significativos ao nível de 0.1 % de probabilidade. Por outro lado, os estimadores c_1 e c_0 foram significativos ao nível de 10 % de probabilidade, em todos os casos, justificando, portanto, não serem eliminados da correlação.

A Fig. 3.7 apresenta o rendimento EFC em função do torque efetivo reduzido e da rotação do motor, para os motores 2 e 3. As superfícies foram geradas a partir da correlação "completa". Na referida figura observa-se que:

1. Para um determinado torque, o rendimento varia pouco com a rotação, podendo ser estimado por uma equação polinomial de segunda ordem (termos em N e N^2).

2. Para uma determinada rotação, o rendimento aumenta bruscamente para torques crescentes e próximos de zero, sendo que essa tendência diminui com o aumento do torque. Devido a este fato foi necessário uma equação polinomial de quarta ordem (termos em T , T^2 , T^3 e T^4) para uma simulação adequada.

3. O motor 2 possui um rendimento efetivo reduzido máximo maior que o motor 3.

4. Não houve diferença visual entre o comportamento do motor aspirado (motor 2) e o motor turboalimentado (motor 3).

Para o caso da correlação "parabolóide-elíptica" a análise gráfica dos resíduos mostrou que a variância da variável dependente é muito grande para valores de torque próximos de zero, isto é, que o modelo não é adequado nesta faixa.

A Tabela 3.4 apresenta os estimadores dos coeficientes da correlação "parabolóide-elíptica" após a retirada dos pontos de torque nulo dos resultados dos ensaios. Esta restrição aumentou o R^2 entre 1.6 e 1.9 %. Os valores absolutos de R^2 ficaram entre 0.975 e 0.989.

O interesse pela correlação "parabolóide-elíptica" se justifica por ela ser parametrizável e, portanto, favorecer a elaboração das curvas de parâmetros múltiplos (ver Fig. 3.2), mais úteis em comparações visuais que as superfícies tridimensionais (ver Fig. 3.7). A Fig. 3.8 apresenta o rendimento EFC em função do torque efetivo reduzido e da rotação do motor para os motores 2 e 3, utilizando a técnica acima citada. Foram utilizados os estimadores apresentados na Tabela 3.4. Observa-se que:

1. O motor 2 possui um rendimento efetivo máximo à percentagens de rotação e torque de potência máxima menores que as referidas percentagens do motor 3.

2. Para torques baixos os comportamentos não apresentam diferenças visuais significativas.

Os resultados originais de desempenho à rotação constante do motor 2 estão apresentados no Anexo 2.

3.3.2 Rendimento e Potência Médias

A Tabela 3.5 apresenta os valores de rendimento e potência efetivos reduzidos médios (EFCM e PCM) obtidos para cada motor, em cada uma das regiões de integração R. A correlação utilizada na integração numérica foi a "completa". Observa-se que:

1. Os motores 1, 2 e 5 não apresentaram diferenças significativas em EFCM na região R1. Obtiveram o melhor resultado em desempenho com EFCM = 29 %.

2. Piores desempenhos globais foram verificados para os motores 3 e 4 com EFCM de 27 e 26 %, respectivamente.

3. Para a região R2, idealizada como uma situação prática possível para qual se quer escolher o motor mais eficiente, o melhor resultado foi obtido pelo motor 5 com EFCM = 37 %. Os resultados obtidos pelos motores 1, 2, 3 e 4 foram 35, 36, 33 e 33 %, respectivamente.

4. Os motores 1, 2, 3, 4 e 5 apresentaram, na região R1, PCM igual a 38, 30, 41, 30 e 30 kW, respectivamente. Já na região R2, como era esperado, todos os motores apresentaram a mesma PCM (41 kW).

3.3.3 Análise Econômica

A Tabela 3.6 apresenta os dados utilizados na análise econômica, bem como os custos anuais CA para os cinco motores. Foram adotadas duas frequências de utilização: a primeira, considerada baixa, de 500 h/ano; a segunda, considerada alta, de 1000 h/ano (Krause, 1985). Observa-se que:

1. Os motores 2 e 5 apresentam os menores CA (não se verificando diferenças significativas), para qualquer frequência de utilização.

2. Devido ao preço de aquisição do motor 1 ser maior que o do 4, mas seu consumo específico de combustível ser menor, para a condição de 500 horas trabalhadas ele tem um correspondente CA maior que o do motor 4. Já para condição de 1000 horas os dois motores apresentam o mesmo CA.

3. O motor 3 alcançou o maior CA em ambas as situações (possui o maior preço de aquisição e o maior consumo específico de combustível).

E importante ressaltar que qualquer um dos motores satisfaz a solicitação de trabalho caracterizada pela região R2 (Fig. 3.6b).

3.4 CONCLUSÕES

1. As duas correlações propostas para o rendimento de motores diesel em função da sua rotação e do seu torque, denominadas de "completa" e de "parabolóide-elíptica", são precisas (R^2 maior que 0.96).

2. Por ser mais precisa (R^2 maior que 0.996), a correlação "completa" mostrou-se adequada para cálculos, bem como para gerar superfícies tridimensionais na representação do rendimento em função do torque e da rotação do motor.

3. Por ser parametrizável a correlação "parabolóide-elíptica" provou ser mais indicada para a construção de curvas de parâmetros múltiplos, que permitem apresentar o rendimento, em função do torque e da rotação, em gráfico bidimensional.

4. O cálculo do rendimento médio através da integração numérica da correlação "completa" via computador possibilitou que através de uma análise econômica se estimasse o custo anual (\$/kW) de cinco motores diesel utilizados em tratores agrícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. HANSEN, A.C., WALKER, A.J., LYNE, P.W.L. e MEIRING, P. Power demand mapping of tractor operations. Sep. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 29(3): p. 656-60, May-jun, 1986.
2. KHOVAKH, M., ARKHANGELSKY, V., STEPANOV, Y., TRUSOV, V., VIKHERT, M., VOINOV, A.. Motor vehicle engines. Moscow, Mir Publishers, 1979. 615 p.
3. KRAUSE, R. Brasilianische Alkolschlepper in der pruefung. Sep. Grundlagen Landtechnik, Braunschweig, 35(01): 19-24, Jan, 1985
4. SOUZA, E.G. e MILANEZ, L.F. Indirect evaluation of the torque of diesel engines. Sep. Transactions of the ASAE, ST. Joseph, 31 (5): p. 1350-54, Sep-Oct, 1988.

TABELA 3.1 - Consumo Específico De Combustível E Rendimento De Motores De Combustão Interna (a)

MOTOR	RENDIMENTO INDICADO [%]	RENDIMENTO EFETIVO [%]	CONSUMO EFETIVO DE COMBUSTIVEL [g/kWh]
OTTO	28 - 35	25 - 29	300 - 325
DIESEL RAPIDO	42 - 48	35 - 40	217 - 238
A GAS	28 - 33	23 - 28	---

(a) Dados extraídos de Khovakh (1979)

TABELA 3.2 - Principais Características Dos Motores Diesel Ensaçados

	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4	MOTOR 5
Bomba Injetora	BOSCH (pistão)	BOSCH (pistão)	BOSCH (pistão)	CAV (rotativa)	BOSCH (pistão)
Admissão	Turboaspirado	Aspir.natural	Turboaspirado	Aspir.natural	Aspir.natural
Potência à Rotação Nominal (a)	105kW a 2500 min ⁻¹	79.6kW a 2300 min ⁻¹	102kW a 2500 min ⁻¹	80.8kW a 2400 min ⁻¹	79.0kW a 2300 min ⁻¹
Cilindrada (l)	5.675	5.883	6.580	5.883	5.883
Taxa de Compressão	16	16.6	16.7	15.5	16.6

(a) Potência efetiva reduzida medida para cada motor ensaiado, segundo ISO 1585 (NBR 5484).

TABELA 3.3 - Estimadores Dos Coeficientes Da Equação De Regressão - Rendimento Efetivo De Um Motor Diesel

MOTOR	TIPO DE CORRELAÇÃO (a)	3 c1x10	3 c2x10	6 c3x10	6 c4x10	8 c5x10	11 c6x10	9 c7x10	8 c8x10	2 R	2 △ R
1	P	N.S. - 1.830	*	****	*	---	---	*** - 25.60	N.S. 2.907	0.965	---
	C	*** -24.21	*	*	*	*	*	*	**** 1.895	0.997	3.3%
2	P	N.S. - 13.35	*	***	*	---	---	*** - 27.81	**** - 7.854	0.962	---
	C	* - 44.62	*	*	*	*	*	*	*	0.998	3.7%
3	P	N.S. - 47.86	*	***	*	---	---	*** - 38.24	N.S. 2.006	0.967	---
	C	*** - 51.94	*	*	*	*	*	*	*** 2.891	0.996	3.0%
4	P	* 116.9	*	N.S. 2.758	*	---	---	**** - 10.93	* 6.304	0.973	---
	C	* 80.72	*	N.S. - 15.09	*	*	**** - 3.497	* - 5.134	* 5.437	0.998	0.9%
5	P	N.S. - 5.846	*	****	*	---	---	*** - 28.22	*** - 8.724	0.960	---
	C	* - 40.89	*	*	*	*	*	*	** - 4.399	0.997	3.9%

- (a) C = Completa, P = Parabolóide-elíptica
 * = Significativo, pelo teste F, a 0.1 % de probabilidade
 ** = Significativo, pelo teste F, a 1 % de probabilidade
 *** = Significativo, pelo teste F, a 5 % de probabilidade
 **** = Significativo, pelo teste F, a 10 % de probabilidade
 N.S. = Não significativo, pelo teste F, a 10 % de probabilidade

TABELA 3.4 - Estimadores Dos Coeficientes Da Equação De Regressão Do Rendimento Efetivo De Um Motor Diesel Com A Correlação Parabolóide-Eliptica, Quando Todos Os Pontos Referentes Ao Torque Nulo Foram Eliminados.

43

MOTOR	2 c1x10	3 c2x10	6 c3x10	6 c4x10	8 c7x10	10 c8x10	2 R	2 Δ R
1	* 9.260	* 1.481	** 51.79	* - 2.336	* - 2.381	* 774.3	0.983	1.9%
2	** 5.302	* 2.097	* 74.71	* - 3.743	* - 2.767	N.S. - 288.8	0.978	1.7%
3	N.S. 1.029	* 1.314	* 140.0	* - 2.048	* - 4.793	* 764.8	0.983	1.7%
4	* 11.68	* 1.846	N.S. 2.830	* - 3.803	*** - 1.095	** 631.2	0.989	1.6%
5	* 7.119	* 2.089	* 74.41	* - 3.900	* - 3.169	N.S. 6.129	0.975	1.6%

* = Significativo, pelo teste F, a 0.1 % de probabilidade
 ** = Significativo, pelo teste F, a 1 % de probabilidade
 *** = Significativo, pelo teste F, a 5 % de probabilidade
 N.S. = Não significativo, pelo teste F, 10 % de probabilidade

TABELA 3.5 - Rendimentos E Potências Efetivos Reduzidos Médios Dos Motores Ensaaiados.

	REGIÃO DE INTEGRAÇÃO(a)	MOTOR 1	MOTOR 2	MOTOR 3	MOTOR 4	MOTOR 5
RENDIMENTO EFETIVO	R1	28.74	28.65	27.38	25.88	28.87
	(b)					
REDUZIDO MEDIO	(%)	(99.5)	(99.2)	(94.8)	(89.6)	(100)
EFCM [%]	R2	35.25	36.13	32.93	32.89	36.71
	(b)					
	(%)	(96.0)	(98.4)	(89.7)	(89.6)	(100)
POTENCIA EFETIVA	R1	38.10	30.44	40.87	29.64	29.88
	(b)					
REDUZIDA MEDIA	(%)	(93.2)	(74.5)	(100)	(72.5)	(73.1)
PCM [kW]	R2	41.43	41.43	41.43	41.43	41.43

(a) Definidas no Item 3.2.6.

(b) Valores percentuais de redução de potência

TABELA 3.6 - Dados E Resultados Da Análise Econômica.

MOTOR		1	2	3	4	5
PREÇO DE AQUISIÇÃO DO MOTOR [\$]	(a)	4290	3300	4620	3400	3300
	(b)	(130%)	(100%)	(140%)	(103%)	(100%)
CONSUMO ESPECÍFICO EFETIVO REDUZIDO MÉDIO [g/kWh]	(c)	242.3	236.4	259.4	259.7	232.7
	(b)	(104%)	(102%)	(111%)	(111%)	(100%)
POTÊNCIA EFETIVA REDUZIDA MÉDIA [kW]	(c)	41.43	41.43	41.43	41.43	41.43
CUSTO ANUAL [\$/kW]	P/ 500 h Trabalhadas	65.31	58.11	70.09	62.40	57.52
	(b)	(114%)	(101%)	(122%)	(108%)	(100%)
	P/ 1000 h Trabalhadas	103.4	95.28	110.9	103.2	94.12
	(b)	(110%)	(101%)	(118%)	(110%)	(100%)

OBS: (a) Preços referentes a 11/88: 1\$ = CZ\$ 477.00.

(b) Valores percentuais em relação ao menor valor.

(c) Referente a região de integração R2 definida no item 3.2.6.

(d) FCR (0.1,10) = 0.16275.

(e) Preço do diesel = 0.2642 \$/l (11/88).

(f) Densidade média do diesel = 840 g/l (segundo ISO 1585).

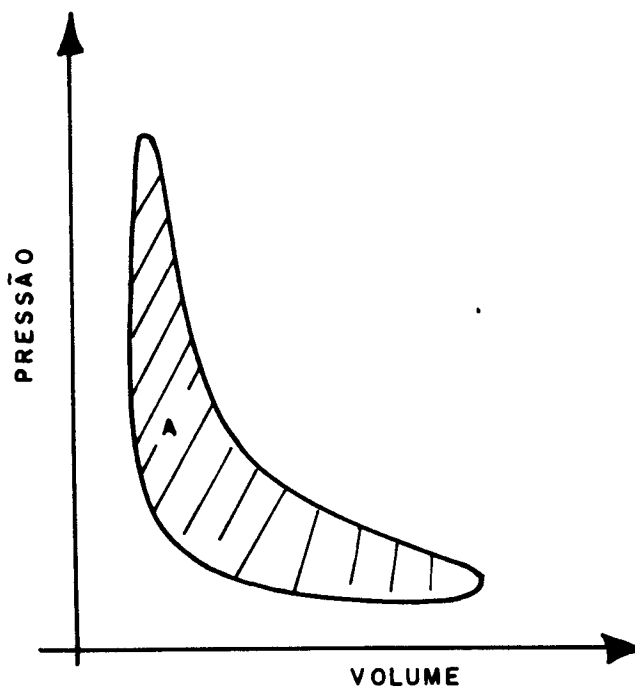


FIGURA 3.1- Diagrama Indicador De Um Motor Diesel De Quatro-tempos.

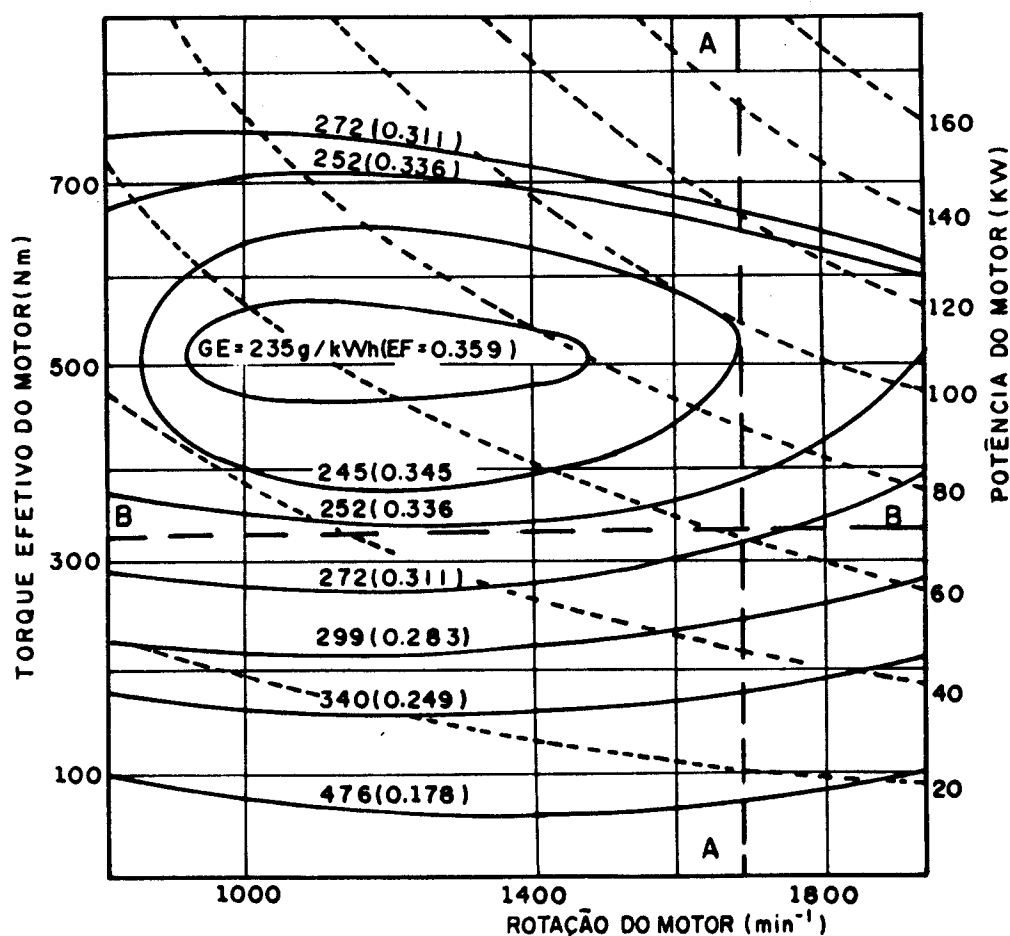


FIGURA 3.2- Curvas De Parâmetros Múltiplos Para Um Motor Diesel. As Curvas Topográficas Indicam Consumo Específico Efetivo De Combustível (GE) E Rendimento Efetivo Constantes (EF).

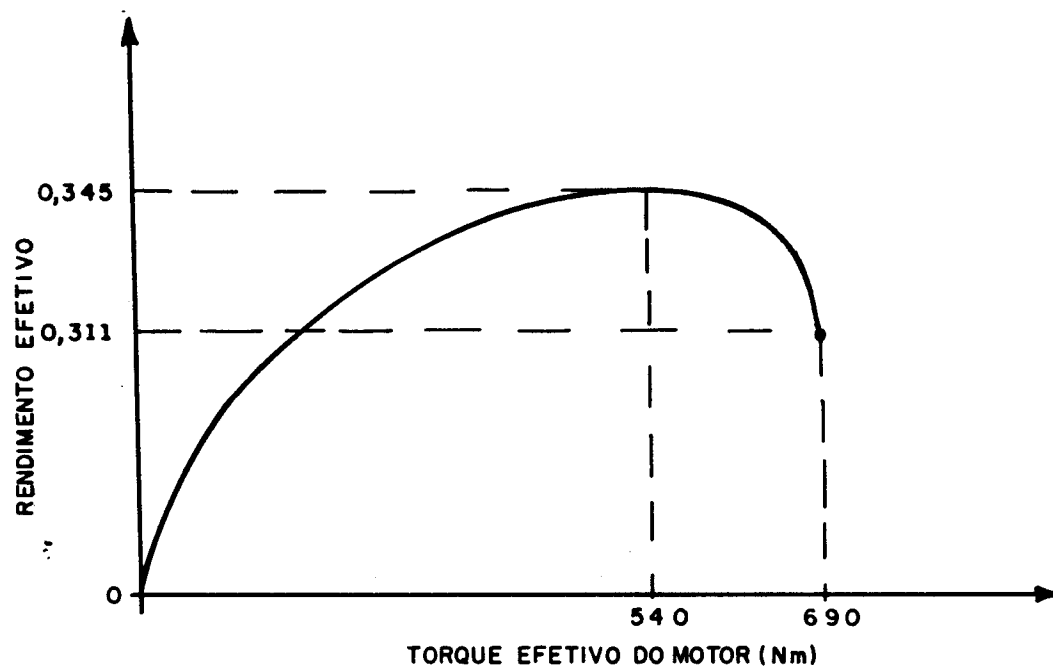


FIGURA 3.3- Desempenho De Um Motor Diesel À Rotação Constante De 1680 min⁻¹ (Corte A-A Da Fig.3.2)

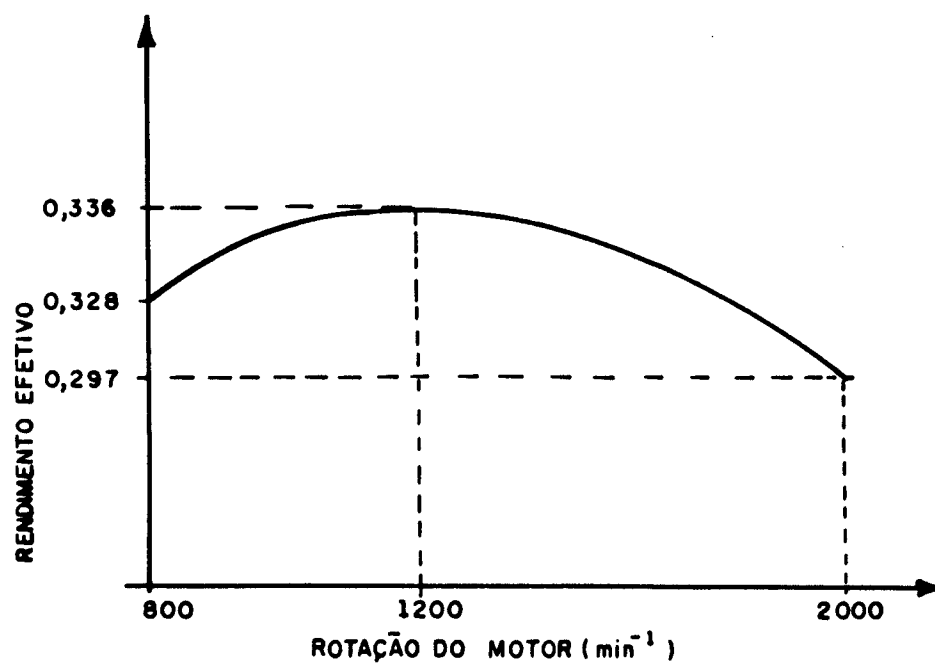


FIGURA 3.4- Desempenho De Um Motor À Torque Constante De 350 Nm (Corte B-B Da Fig.3.2)

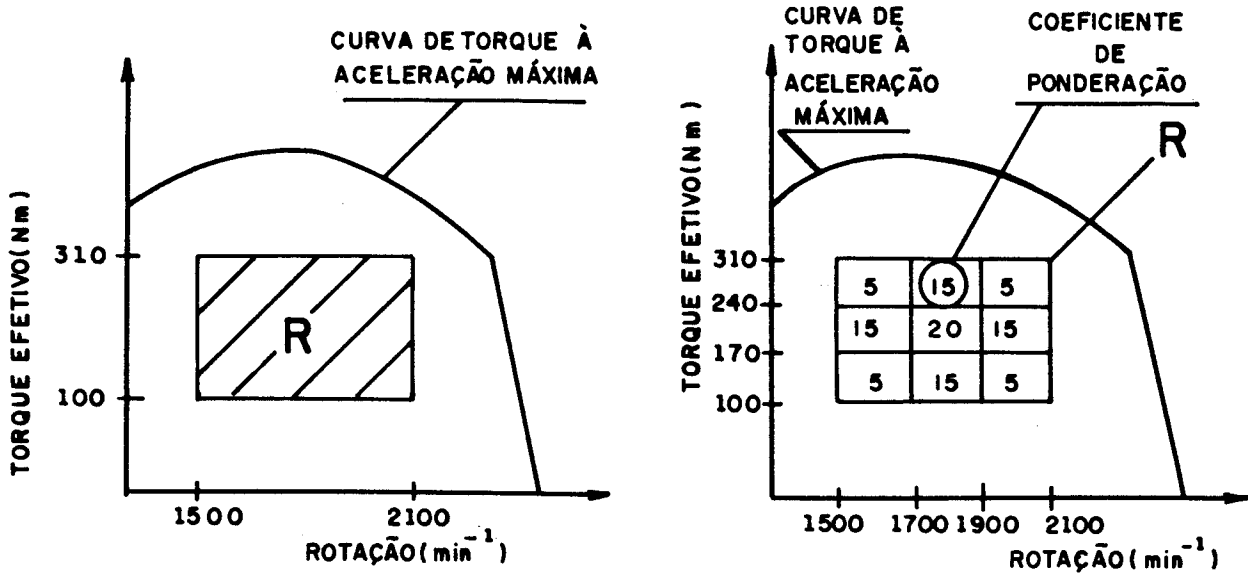


FIGURA 3.5- Duas Situações De Operação De Um Motor Diesel: a) O Motor Opera O Mesmo Tempo Em Todo Ponto De Trabalho Da Região De Integração R. b) O Tempo Que O Motor Opera Em Cada Ponto De Trabalho De R Depende Dos Diferentes Coeficientes De Ponderação.

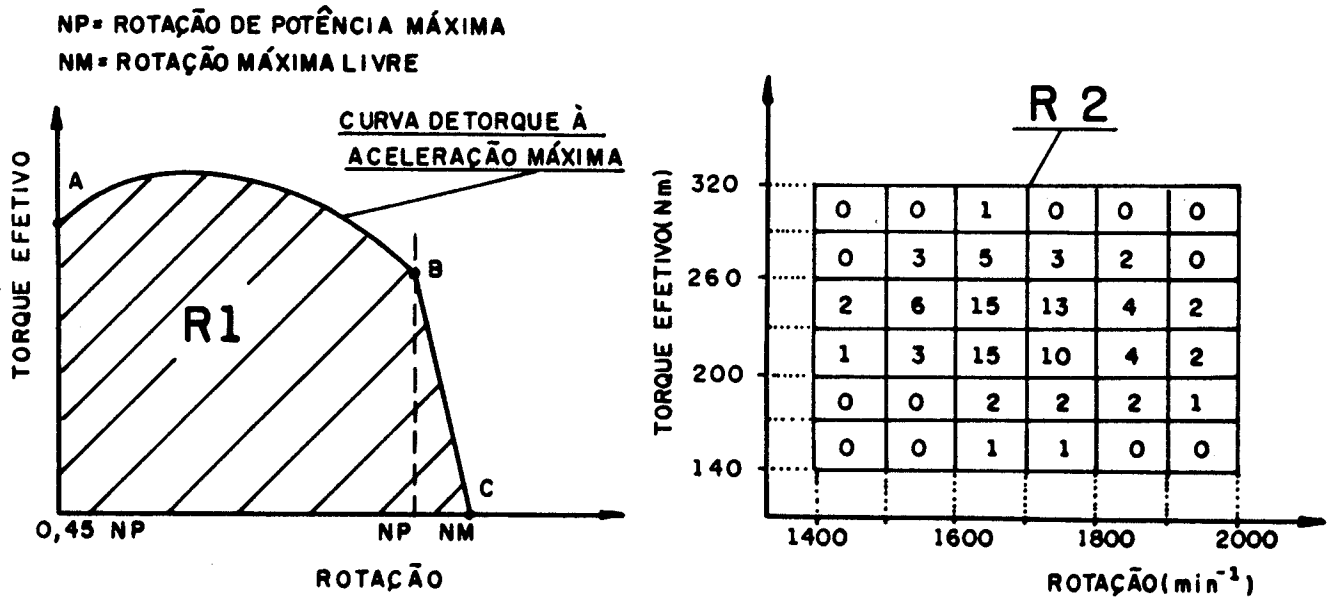


FIGURA 3.6- Regiões De Integração Seleccionadas: a) Sem Ponderação (R1) b) Com Ponderação (R2)

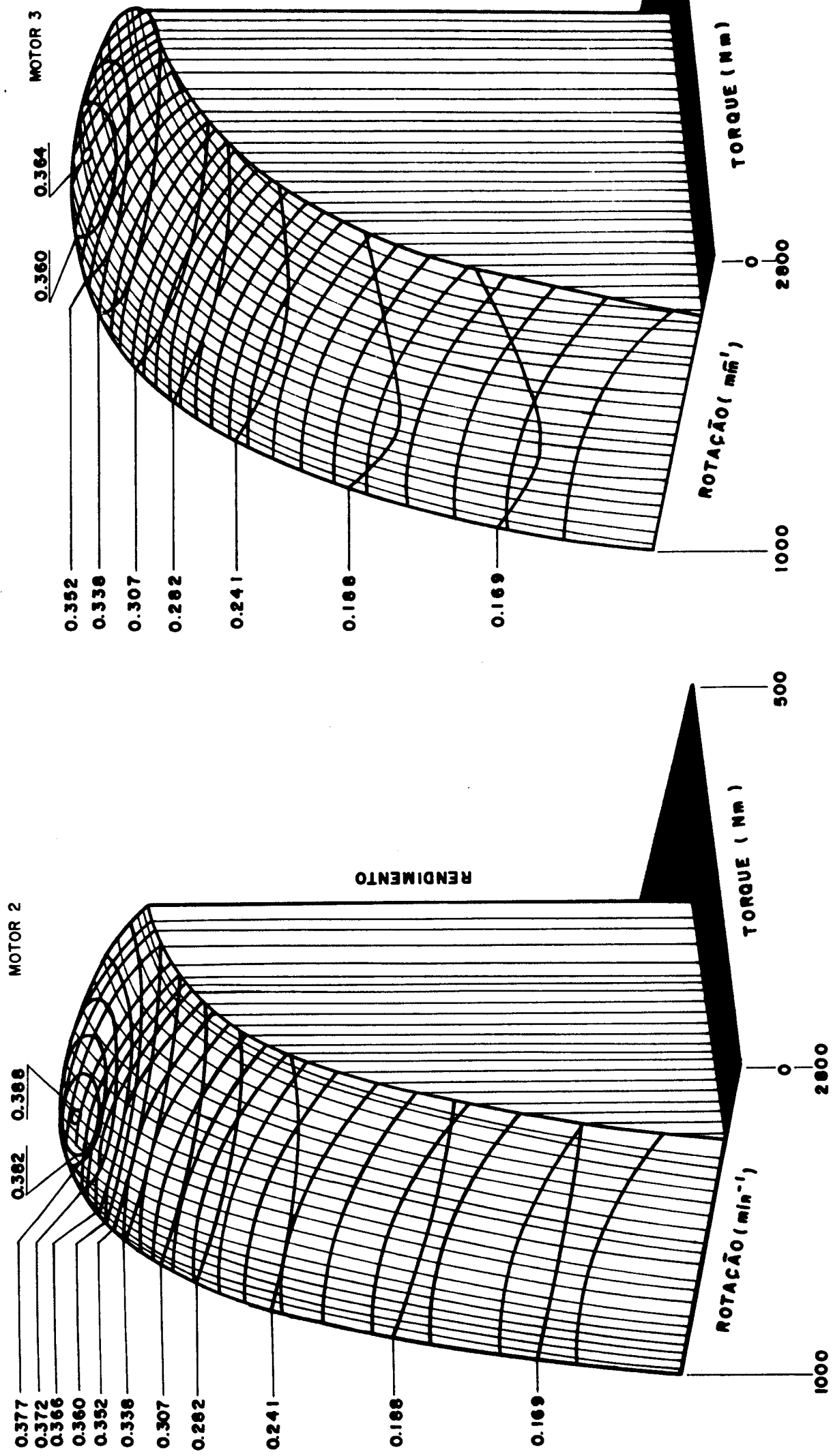


FIGURA 3.7 - Rendimento Efetivo Reduzido Para Os Motores 2 e 3

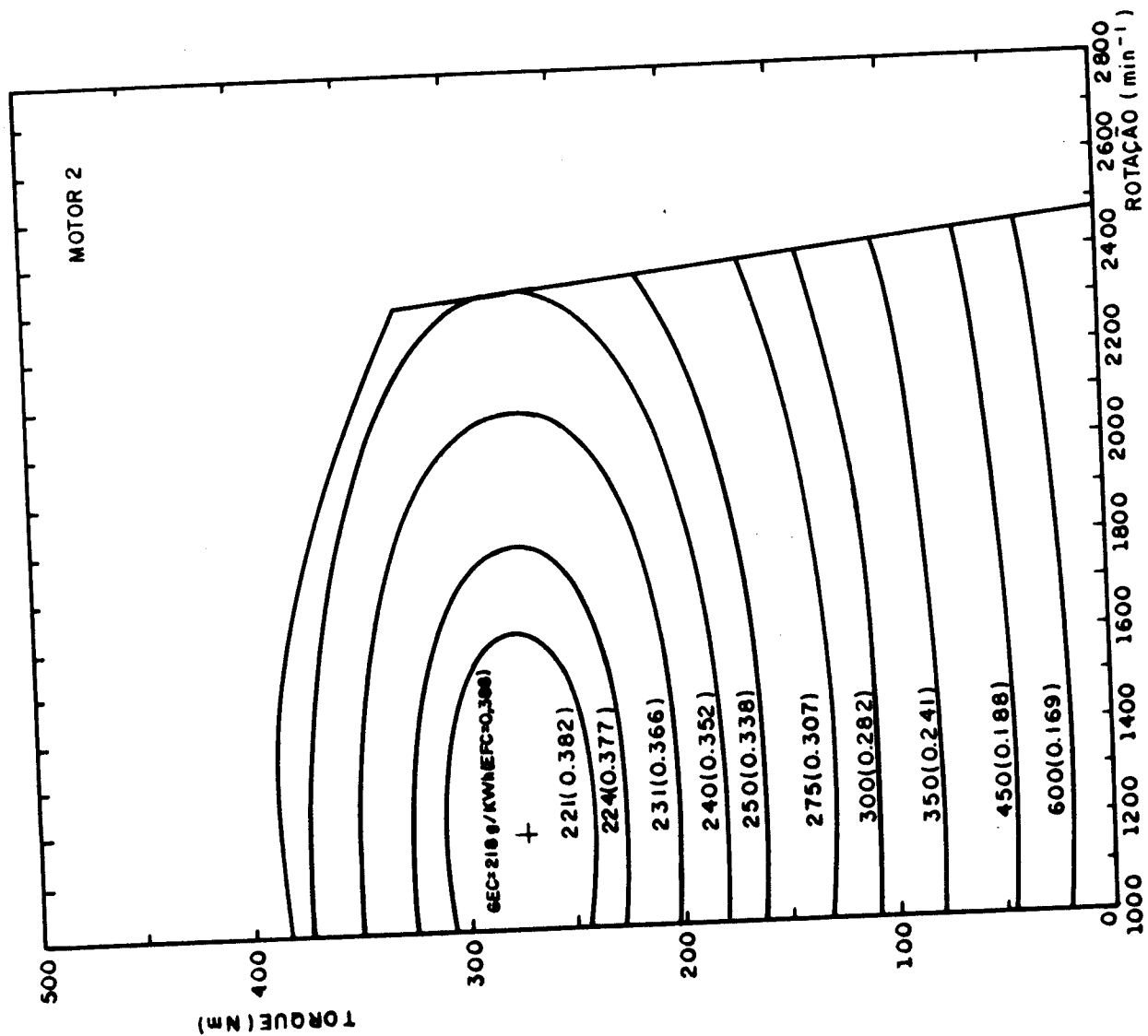
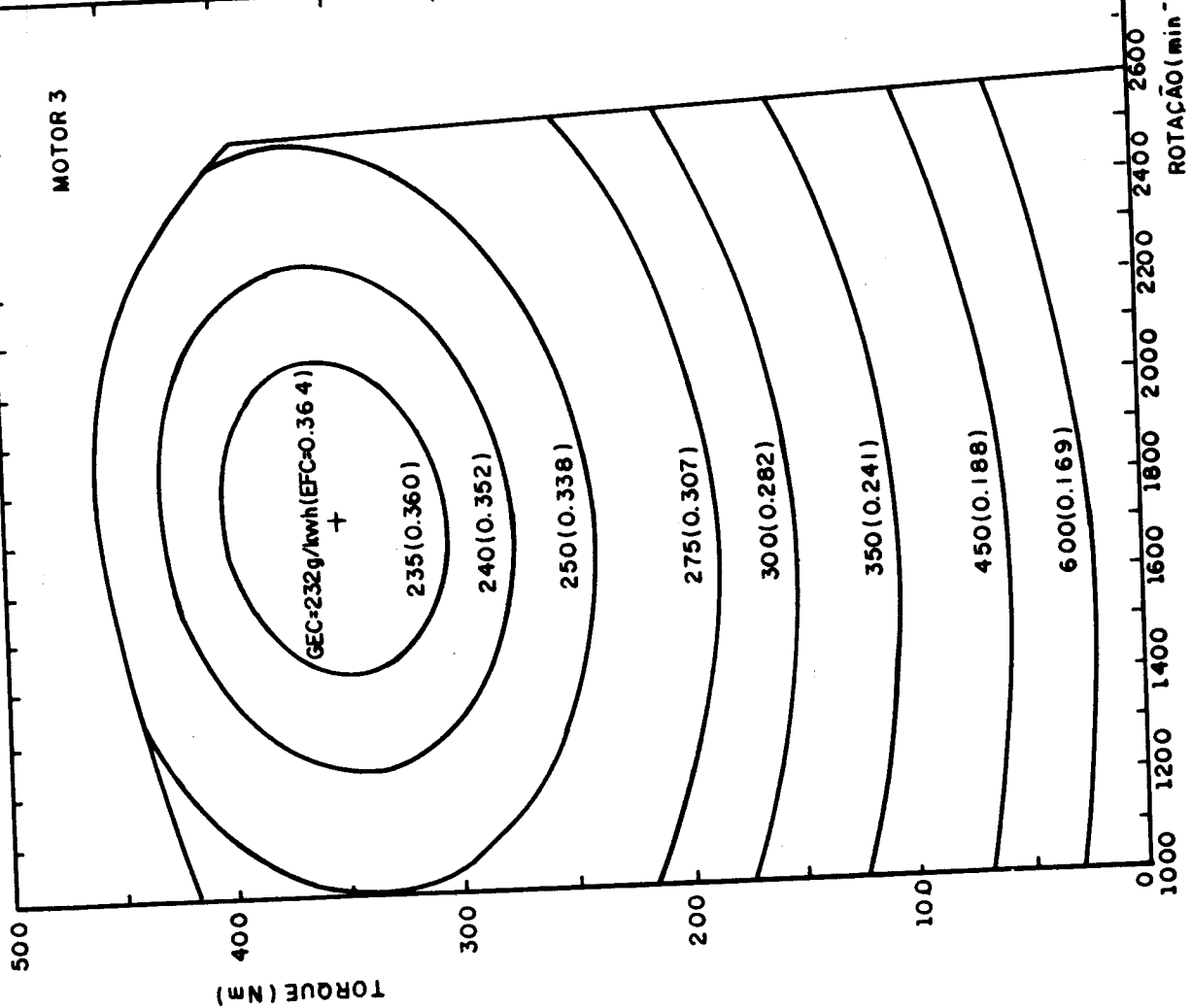


FIGURA 3.8- Rendimento Efetivo Reduzido (EFC) E Consumo Específico Reduzido (GEC) Para Os Motores 2 e 3.

4 DESEMPENHO DE TRATORES EM CONCRETO

4.1 INTRODUÇÃO

Ensaaios normalizados de tratores agrícolas incluem, em geral, a determinação de desempenho na barra de tração (BDT) em pista de concreto.

Muitos pesquisadores já propuseram equações matemáticas que permitem estimar o desempenho de tração em função do desempenho do motor em dinamômetro. Por outro lado, em função destas técnicas não incluírem características construtivas do espécime a ser estudado, invariavelmente, levam a resultados pouco precisos.

A importância de se estudar este assunto fundamenta-se na tendência mundial de simplificação do ensaio na barra, caro e lento e na necessidade de se decidir sobre pneus, pesos, dimensões, etc.

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para simular o desempenho de tratores, com e sem tração dianteira auxiliar, em pista de concreto, a partir do ensaio do motor, das relações de transmissão, das características dimensionais e ponderais e do ensaio na barra de tração.

Optou-se por simular o desempenho do trator em função do ensaio do motor através do seu volante e não através da tomada de potência, TDP, (como prevêem as normas de ensaio) porque desta forma pode-se estudar melhor o comportamento do rendimento da transmissão e porque Delgado (1980) mostrou que, se um método de predição de comportamento de um trator na BDT a partir do ensaio do motor no volante for preciso, ele também o será, se o motor for ensaiado na TDP.

4.2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

4.2.1 Momento de Impulsão e Torque em Vazio

Em regime estável de trabalho, existe a seguinte dependência entre o torque de impulsão T [Nm], aplicado às rodas motrizes e o torque do motor T [Nm] :

$$T_I = T * ZT * EFT \quad (4.1)$$

onde: ZT = relação de transmissão

EFT = rendimento mecânico da transmissão

O torque do motor T é função do seu regime de trabalho. A Fig. 4.1 mostra o desempenho de um motor diesel à diversas posições da alavanca de acionamento da bomba injetora. Segundo Souza e Milanez (1988a) o torque está correlacionado com a rotação máxima livre NM [min⁻¹] e a rotação de trabalho N [min⁻¹] do motor, sendo necessárias duas correlações para descrever o fenômeno:

a. Correlação para fora da zona de corte do regulador de rotações:

$$T = a_1 + a_2 * N + a_3 * N^2 + a_4 * N^3 \quad (4.2)$$

onde: a₁, ..., a₄ = constantes a serem determinadas em ensaios de desempenho

a₄ = 0, para motores naturalmente aspirados

b. Correlação para a zona de corte do regulador de rotações:

$$T = b_1 + b_2 * N + b_3 * NM + b_4 * NM^2 \quad (4.3)$$

onde: b₁, ..., b₄ = constantes a serem determinadas em ensaios de desempenho

b₄ = 0, para motores naturalmente aspirados

Concluíram ainda Souza e Milanez (1988a) que o torque do motor também está correlacionado com a massa injetada de combustível por cilindro e por ciclo D [mg] :

$$T = c_1 + c_2 * D + c_3 * D^2 + c_4 * N + c_5 * N^2 \quad (4.4)$$

onde: c₁, ..., c₅ = constantes a serem determinadas em ensaios de desempenho

Voltando-se à Eq. 4.1, pode-se apreciar que o segundo fator que influi no torque de impulsão é a relação de transmissão. O terceiro fator é o rendimento mecânico da transmissão EFT, influenciado principalmente pelas perdas por atrito. Segundo Gurevich e Sorokin (1967):

$$EFT = d_1 * (1 - d_2 * T_N / T) \quad (4.5)$$

onde: T_N = torque nominal do motor, Nm

T = torque transmitido, Nm

d₁ = coeficiente que leva em conta as perdas de potência na transmissão a um dado torque

d_2 = coeficiente que leva em conta as perdas de potência quando o torque transmitido é nulo

Segundo Chudakov (1977) o produto $d_2 * T_N$, que representa o torque T_V necessário para movimentar a transmissão, fica aproximadamente constante para uma rotação pré-fixada da transmissão, independentemente do torque transmitido. O valor de T_V cresce com a rotação do motor e com a diminuição da relação de transmissão. E também influenciado pela temperatura do óleo da transmissão, crescendo acentuadamente com o decréscimo desta. Em outras palavras:

$$EFT = d_1 * (1 - T_V / T) \quad (4.6)$$

e

$$T_V = f(N, ZT, TEO) \quad (4.7)$$

onde:

T_V = torque em vazio, Nm

TEO = temperatura do óleo da transmissão, °C

$f(N, ZT, TEO)$ = função das variáveis independentes N , ZT e TEO

4.2.2 Forças Atuando em um Trator em Movimento

Na Fig. 4.2 tem-se as forças atuando em um trator em regime estável de trabalho e em uma superfície horizontal. O peso G [kN] do trator é aplicado a seu centro de gravidade C.G. e é compensado pelas reações verticais dianteira G_D [kN] e traseira G_T [kN] aplicadas, respectivamente, às distâncias X_1 [m] e X_2 [m] das verticais que passam pelos eixos das rodas.

A força de tração F_D [kN] foi considerada horizontal e atua na barra de tração a uma altura H_D [m]. A força FF [kN] é a resistência total ao rolamento devido ao atrito no sistema de tração e à resistência do solo. Ela atua no sentido contrário ao movimento, subdividindo-se em força de resistência ao rolamento nos pneus dianteiros FF_1 [kN] e nos pneus traseiros FF_2 [kN].

A força tangencial de tração F_T [kN] corresponde à reação do solo devido à transmissão do momento de impulsão pelas rodas motrizes. Ela atua no sentido do movimento e pode ser calculada por:

$$F_T = \frac{TI}{1000 * (H_2 - Y_2)} \quad (4.8)$$

onde: H_2 = raio de rolamento das rodas traseiras, m

Y_2 = distância vertical entre o ponto B_1 (de aplicação de FF_2) e o ponto B (onde passa a vertical que corta o eixo traseiro), m

O balanço de forças no plano horizontal leva a:

$$F_T = F_D + F_F \quad (4.9)$$

Caso o trator tenha tração nas quatro rodas:

$$F_T = \frac{T_{ID}}{1000 * (H_1 - Y_1)} + \frac{T_{IT}}{1000 * (H_2 - Y_2)} \quad (4.10)$$

onde: T_{ID} = torque de impulsão nas rodas dianteiras, Nm

T_{IT} = torque de impulsão nas rodas traseiras, Nm

H_1 = raio de rolamento das rodas dianteiras, m

Y_1 = distância vertical entre o ponto A1 (de aplicação de F_{F1}) e o ponto A (onde passa a vertical que corta o eixo dianteiro), m

Na prática desprezam-se os valores de Y_1 e Y_2 .

A força de resistência total ao rolamento F_F de um trator depende de seu peso, da localização do centro de gravidade, das características do sistema de tração e das propriedades e condições da superfície de apoio. Ela pode ser determinada experimentalmente ou pela equação:

$$F_F = f * G \quad (4.11)$$

onde: f = coeficiente total de aderência pneu-apoio do trator

Na prática, verifica-se que F_F é função de F_D e, portanto, de F_T . Sendo o coeficiente de aderência das rodas dianteiras diferente do das traseiras, qualquer alteração na distribuição de peso do trator entre os eixos levará a uma variação em F_F . De fato, a reação vertical dinâmica nas rodas traseiras G_{TD} [kN] aumenta com F_D e pode ser calculada por:

$$G_{TD} = G_T + F_D * H_D / L \quad (4.12)$$

onde: L = projeção horizontal da distância entre os eixos das rodas, m

A força tangencial de tração F_T é encontrada medindo-se o torque T_I , através da colocação de transdutores de torque à base de extensômetros elétricos de resistência (strain-gauge) no eixo das rodas motrizes, e substituindo-o na Eq. 4.8. Outra forma é através do torque do motor, utilizando-se a Eq. 4.1 e, posteriormente, a Eq. 4.8. Já a força de tração F_D pode ser medida colocando-se um transdutor de força hidráulico, ou à base de extensômetros elétricos de resistência, entre a barra de tração e o dispositivo que aplica a resistência ao movimento.

4.2.3 Balanço de Potências

Considerando-se novamente um trator em regime estável de trabalho, em uma superfície horizontal e sem utilizar a tomada de potência, a potência P [kW] desenvolvida pelo motor em um dado momento, pode ser expressa por:

$$P = P_T + P_S + P_F + P_D \quad (4.13)$$

onde: P_T = potência necessária para vencer o atrito na transmissão, kW
 P_S = potência dissipada devido ao deslizamento das rodas motrizes, kW
 P_F = potência dissipada devido à resistência ao rolamento, kW
 P_D = potência na barra de tração, kW

4.2.4 Deslizamento das Rodas

O deslizamento S é definido como o movimento relativo na direção do movimento entre a superfície de contato do sistema de tração e a que apoia. É calculado por:

$$S = 1 - \frac{V_A}{V_T} = 1 - \frac{V_A}{3.6 * R_A * W} \quad (4.14)$$

onde: V_A = velocidade real de deslocamento, km/h
 V_T = velocidade teórica da roda, km/h
 R_A = raio de rolamento da roda em superfície rígida, m
 W = velocidade angular da roda, rd/s

4.2.5 Rendimento de Tração

A partir da Eq. 4.13 define-se o rendimento global de tração, E_{FD} , como sendo:

$$E_{FD} = \frac{P_D}{P} = E_{FT} * E_{FS} * E_{FF} \quad (4.15)$$

onde: E_{FT} = rendimento mecânico da transmissão
 E_{FS} = rendimento que indica o quanto não se perdeu devido ao deslizamento
 E_{FF} = rendimento que indica o quanto não se perdeu devido à resistência ao rolamento

Ao produto $E_{FS} * E_{FF}$ denomina-se rendimento de tração E_{FB} .

Cada um dos rendimentos enumerados na Eq. 4.15 pode ser determinado nas formas teórica ou experimental, bastando-se estimar ou determinar os parâmetros que aparecem no segundo membro das equações abaixo:

$$EFT = \frac{TI}{T * ZT} \quad (4.16)$$

$$EFS = 1 - S \quad (4.17)$$

$$EFF = \frac{FD}{FT} \quad (4.18)$$

Todos os cálculos e ensaios realizados na determinação de EFD são feitos com o trator nas condições do item 4.2.3. Para uma apreciação do balanço de potência do trator, Chudakov propõe um gráfico reproduzido na Fig. 4.3. Ele adotou um trator com transmissão progressiva, a qual permite carregar continuamente o motor com a potência nominal PN [kW], variando-se automaticamente as velocidades de movimento com o aumento da força de tração FD. Adotou ainda que a transmissão tem um rendimento constante. A curva obtida PD=f(FD), potência na barra de tração em função da tração, denomina-se característica potencial de tração do trator (CPT), já que só pode ser obtida nas condições ótimas definidas. Como PN foi considerada constante, as curvas PD=f(FD) e EFD=f(FD) coincidem.

Da curva CPT se deduz que o trator pode trabalhar com altos valores de rendimento de tração em uma determinada faixa de força de tração.

A Fig. 4.4 apresenta as curvas de potência de tração PD de um trator de quatro marchas, com transmissão escalonada. Para cada marcha obtém-se uma potência máxima de tração, PDmáx, quando PD = P * EFT * EFS * EFF é máximo. Nas marchas rápidas (III e IV) isto ocorre à rotação de potência máxima e este ponto está disposto sobre a curva CPT. Já para a marcha II, a PDmáx ocorreu a uma rotação maior devido ao aumento exponencial das perdas por deslizamento (PS), mas ainda se atingiu a curva CPT, quando o motor atingiu a rotação de potência máxima. Verifica-se finalmente que para a marcha I a curva PD=f(FD) não encontra a curva CPT, devido a toda potência disponível ser dissipada nos diversos tipos de perdas, antes do motor atingir a potência máxima. Nesta marcha a PDmáx ocorreu na mais alta rotação, dentre as das quatro marchas.

Acrescenta ainda Chudakov, que geralmente as características de tração são apresentadas conforme Fig. 4.5. Nela tem-se a potência de tração PD, a velocidade real de movimento VA, os consumos horário e específico de combustível GH e GED e o deslizamento S em função da força de tração FD. Estas características de tração são consideradas como o principal documento técnico do trator e são amplamente utilizadas.

O consumo específico de combustível na barra de tração, GED [g/kWh], é um indicador da eficiência de conversão da energia química do combustível em energia mecânica na forma de potência de tração. Seu valor é determinado pela fórmula:

$$GED = \frac{1000 * GH}{PD} \quad (4.19)$$

onde: GH = consumo horário de combustível, kg/h

De forma análoga tem-se:

$$GE = \frac{1000 * GH}{P} = \frac{9549300 * GH}{T * N} \quad (4.20)$$

onde: GE = consumo específico efetivo de combustível do motor, g/kWh

A partir do consumo específico GE pode-se calcular o rendimento efetivo EF, que indica o grau de utilização do calor pelo motor, levando-se em conta todas as perdas térmicas e mecânicas, através de:

$$EF = \frac{3600}{H * GE} \quad (4.21)$$

onde: H = poder calorífico inferior do combustível, MJ/kg

Souza e Milanez (1988b) propuseram a seguinte correlação para o rendimento efetivo em função da rotação e do torque do motor (Ver capítulo anterior, Eq. 3.8):

$$EF = e_1 + e_2 * T + e_3 * N + e_4 * T^2 + e_5 * T^3 + e_6 * T^4 + e_7 * N^2 + e_8 * N * T \quad (4.22)$$

onde: $e_1, \dots, e_8$ = constantes a serem determinadas em ensaios de desempenho

4.2.6 Razão Dinâmica de Tração

A razão dinâmica de tração DTR é definida como o quociente entre a força de tração nas rodas motrizes FDM [kN] e a carga dinâmica vertical nas rodas motrizes, GVD [kN]. Segundo Wismer e Luth (1972), Zoz e Brixius (1979) e Leviticus e Reyes (1985) a DTR para uma roda sobre superfície plana de concreto, pode ser genericamente expressa por:

$$DTR = \frac{FDM}{GVD} = g_1 * (1 - EXP(-g_2 * \frac{B * DI}{GVD} * S)) \quad (4.23)$$

onde: B = largura da seção do pneu, m

DI = diâmetro do pneu, m

g_1 = constante equivalente à máxima DTR

g_2 = constante relacionada com a dureza e elasticidade do pneu em concreto, kN/m^2

Zoz e Brixius sugeriram valores de 1.02 e 400 para g_1 e g_2 respectivamente, em função da análise dos resultados de ensaios de tratores em Nebraska nos anos de 1967 e 1968. Entretanto, Leviticus e Brixius, utilizando dados do período de 1978 a 1982, mostraram que g_1 e g_2 não são constantes e dependem de características dos pneus do trator.

Por outro lado, a OECD (1987) sugere a seguinte simplificação para tratores com tração somente traseira:

$$DTR = \frac{FDM}{GVD} = h_1 * (1 - EXP (- h_2 * S)) \quad (4.24)$$

onde : h_1 e h_2 têm significados análogos a g_1 e g_2

A Tabela 4.1 apresenta médios divulgados pela OECD.

4.2.7 Simulação de Desempenho

Delgado (1980) propôs um método de predição do comportamento de um trator com tração somente nas rodas traseiras em pista de concreto utilizando as curvas características do motor, ensaiado a partir da tomada de potência (TDP). No equacionamento foram consideradas as perdas na transmissão, as perdas por resistência ao rolamento e a carga dinâmica sobre o eixo traseiro. O deslizamento S foi avaliado em função da relação carga dinâmica/força de tração. Na comparação entre os resultados de ensaio e os calculados utilizou 15 ensaios de tratores de 3 estações de provas: NIAE (Inglaterra), CNEEMA (França) e DLG (Alemanha Ocidental). Adotando o coeficiente de aderência f igual a 0.02 do peso do veículo e perdas na transmissão entre 0.95 e 0.98 da proporcionada na TDP, a predição se manteve a ± 5 % de desvio. Com ensaio prévio, que permita definir o comportamento da variável deslizamento, o desvio se mantém a ± 2 %, valor considerado aceitável em homologação de "Tipo" para motores. Em qualquer caso, a precisão obtida possibilita a substituição dos ensaios normalizados em pista de concreto pela simulação. De qualquer forma, o método é um instrumento auxiliar adequado a acelerar os referidos ensaios.

4.3 MATERIAIS E METODOS

4.3.1 Procedimento Experimental

Dois tratores com motores diesel foram utilizados nos experimentos: Um com tração somente nas rodas traseiras, com rodados dianteiro 9.00-16, diagonal, 10 lonas, tipo F-2 e traseiro 18.4-34, diagonal, 8 lonas, tipo R-1; Outro com tração dianteira auxiliar, com rodados dianteiro 14.9-26, diagonal, 6 lonas, tipo R-1 e traseiro 18.4-34, diagonal, 8 lonas, tipo R-1. Doravante serão denominados de trator 4x2 e trator 4x2 Auxiliar, respectivamente. As suas principais características são dadas na Tabela 4.2.

O óleo diesel utilizado tem poder calorífico inferior igual a 42.6 MJ/kg. A densidade do combustível a uma determinada temperatura foi obtida através de interpolação linear a partir dos valores a 25 e 45 graus Celsius.

A rotação do motor foi medida diretamente no seu volante onde foi colocado um disco com 60 dentes. O sinal fornecido por um transdutor óptico, constituído de um fotodiodo infravermelho e um fototransistor, é amplificado e transformado em indicação digital por um contador de impulsos

Na medição do consumo de combustível foi utilizada a técnica volumétrica, fixando o volume de combustível a consumir e medindo-se o tempo gasto.

O motor de cada trator foi testado em um dinamômetro de corrente de Foucault. Os motores são do mesmo modelo e correspondem aos motores 2 (trator 4x2 Auxiliar) e 5 (trator 4x2) do trabalho ASAE Paper 88-1557, de Souza e Milanez (1988b) (Ver capítulo anterior, item 3.2.7).

Na determinação da força de tração utilizaram-se transdutores de força a base de extensômetros elétricos de resistência. Optou-se por trabalhar com valores médios resultantes da integração da força instantânea de tração em percursos variáveis que proporcionem um tempo de medição maior que 15 segundos. O percurso foi medido com o auxílio de uma quinta roda na qual foram adaptados um disco com 60 dentes e um transdutor óptico. A mesma técnica foi utilizada para se medir o deslizamento das rodas motrizes, com a colocação de discos com 30 dentes nas mesmas.

As temperaturas do combustível, do ar de admissão, de bulbo úmido e bulbo seco e as de monitoração foram medidas com termômetros de resistência de platina.

A precisão dos equipamentos utilizados satisfaz o previsto na Norma ISO 789/1 (equivalente ao da Norma NBR 10400).

4.3.2 Avaliação Indireta do Torque do Motor

A partir dos dados de desempenho dos dois motores em dinamometria e utilizando-se a metodologia proposta por Souza e Milanez (1988a) foram obtidas para cada motor as correlações $T=f(N, NM)$ (Eq. 4.2 e 4.3): Elas serão utilizadas na simulação das características de tração. Sua escolha se deve ao fato destas correlações poderem ser simplificadas para $T=f(N)$ para uma determinada aceleração, visto que NM permanecerá constante (Souza e Milanez, 1988a). Todavia estes pesquisadores encontraram um coeficiente de determinação múltipla médio de 0.954, caracterizando que esta correlação não é muito precisa. Visando aumentar a precisão foi encontrada uma correlação para cada NM adotada na simulação (ver Tabela 4.4).

4.3.3 Determinação da Força de Resistência Total ao Rolamento

A Fig. 4.6 esquematiza como foi realizado o ensaio para levantar a dependência da força de resistência total ao rolamento FF, em função da força de tração na barra FD. Fazendo-se um balanço de momentos para o ponto I obtém-se que a transferência de peso LT [kN] é:

$$LT = \frac{F1 * HD - F2 * H3}{L} \quad (4.25)$$

onde: F1 = tração no transdutor de força 1, kN

F2 = tração no transdutor de força 2, kN

H3 = altura da linha de tração do "simulador de cargas 2", m

Desprezando-se os valores das variáveis X1, X2, Y1 e Y2, o mesmo balanço de momentos para o caso da Fig. 4.2 (trator exercendo determinada força de tração FD) conduz a:

$$LT = \frac{FD * HD}{L} \quad (4.26)$$

e igualando-se as duas últimas equações, temos:

$$FD = \frac{F1 * HD - F2 * H3}{HD} \quad (4.27)$$

A Eq. 4.27 calcula para cada par de valor F1 e F2 a força FD que proporciona a mesma LT. Por outro lado para cada par de F1 e F2 tem-se:

$$FF = F2 - F1 \quad (4.28)$$

Para avaliar-se a dependência de FF com FD utilizou-se o modelo polinomial de 3º grau:

$$FF = i_1 + i_2 * FD + i_3 * FD^2 + i_4 * FD^3 \quad (4.29)$$

onde: i_1 a i_4 = constantes a serem determinadas no ensaio de força de resistência ao rolamento

As determinações foram realizadas mantendo-se constante a velocidade de deslocamento do trator entre 2.5 e 3.0 km/h. O "Simulador de cargas 2" tracionou o espécime ensaiado com cargas crescentes de 5 em 5 kN, proporcionando valores de FD entre zero e o equivalente à situação de máxima tração normalizada pela ISO 789/1 (1981), equivalente ao da Norma NBR 10400(1987), isto é, deslizamento de 15%. Para cada condição de carga foram tomados os seguintes parâmetros de leitura:

- tração F1
- tração F2
- tempo TE [s] para percorrer os 21.25 m pré-fixados.

A velocidade real de deslocamento VA [km/h] foi calculada, em cada caso, por:

$$VA = \frac{3.6 * 21.25}{TE} \quad (4.30)$$

O trator de ensaio foi mantido durante a referida determinação desembreado e na mesma condição de lastragem, pressão e desgaste dos pneus, do ensaio de determinação de desempenho de tração (Ver Tabela 4.3). Outras condições, específicas deste ensaio, são mostradas na Tabela 4.2.

Para a simulação do desempenho de tração a partir do torque do motor é necessário que a força FF seja estimada em função de FT e não de FD. Para isto foram determinados os estimadores das constantes da equação abaixo, para as mesmas condições da Tabela 4.1.

$$FF = j_1 + j_2 * FT + j_3 * FT^2 + j_4 * FT^3 \quad (4.31)$$

onde: j_1 a j_4 = constantes a serem determinadas no ensaio de força de resistência ao rolamento

4.3.4 Ensaio de Desempenho do Trator em Diferentes Marchas

Com o objetivo de se obter resultados experimentais para diversas condições de operação dos tratores 4x4 e 4x2 Auxiliar foram executados 8 ensaios, conforme mostra a Tabela 4.3. Em cada ensaio foi determinado o desempenho em cinco marchas, divididas em 3 grupos:

1. Marcha de definição da correlação DESLIZAMENTO x TRAÇÃO: Foi escolhida a 5ª marcha pois nessa se atinge o deslizamento máximo definido na Norma ISO 789/1 (NBR 10400). Esta será a 1ª marcha padrão.
2. Marcha de definição da correlação TORQUE EM VAZIO x ROTAÇÃO: Foi escolhida a 7ª marcha pois nessa se atinge a rotação mínima de operação do motor, definida pela Norma OECD (1981) como sendo 45% da rotação de potência máxima, antes de se ter um deslizamento de 15%. Esta será a 2ª marcha padrão.
3. Marchas de validação da simulação: Foram escolhidas a 3ª, 6ª e 9ª marchas para a validação da correlação de simulação de desempenho do trator a partir da 1ª e 2ª marchas padrões.

Visando minimizar os efeitos desfavoráveis, que podem afetar o desempenho do trator, tais como as condições ambientais e o desgaste dos pneus:

1. Reduziu-se ao máximo o número de medições a realizar-se em cada marcha, desde que não se comprometesse a significância estatística. Com isto foram feitas 10 medições nas marchas padrões e 6 nas de validação.
2. Converteu-se o torque efetivo reduzido TC, no motor, que corresponde as condições ambientais padrão e que é fornecido pelas Eq. 4.2 e 4.3, para as condições do ensaio, através de :

$$TCC = \frac{TC}{x} \quad (4.32)$$

onde: TCC = torque efetivo no motor disponível nas condições ambientais do ensaio, Nm

x = fator de redução segundo Norma ISO 1585 (1982) (NBR 5484)

Em cada medição foram determinados os seguintes parâmetros:

- rotação do motor [min^{-1}] - N
- força de tração [kN] - FD
- temperatura do combustível (diesel) [$^{\circ}\text{C}$] - TEC
- temperatura do ar de admissão [$^{\circ}\text{C}$] - TEA
- deslizamento das rodas motrizes [%] - S
- consumo horário de combustível [kg/h] - GN
- velocidade real de deslocamento [km/h] - VA

- potência de tração [kW] - PD
- consumo específico de combustível [g/kWh] - GED

4.3.5 Deslizamento das Rodas

A dependência entre o deslizamento S nas rodas motrizes e a força tangencial de tração foi investigada utilizando-se dois métodos distintos:

1. Método polinomial:

$$S = k_1 + k_2 * FD + k_3 * FD^2 + k_4 * FD^3 + k_5 * FD^4 \quad (4.33)$$

onde: $k_1, \dots, k_5$ - constantes a serem determinadas no ensaio de desempenho na 1ª marcha padrão

2. Método de Wismer e Luth: Para aplicar-se a Eq. 4.24 em tratores 4x2 é necessário estimar-se a força $FF1$ e somá-la a FD para obter-se FDM . Devido a metodologia proposta prever a medição de FF e não de $FF1$, a variável FDM foi substituída por FT na referida equação. Isolando-se a variável deslizamento :

$$S = \frac{LN(h_1) - LN(h_1 - \frac{FT}{GVD})}{h_2} \quad (4.34)$$

ou ainda:

$$S = l_1 + l_2 * LN(EXP(- \frac{l_1}{l_2}) - \frac{FT}{GVD}) \quad (4.35)$$

onde: l_1 e l_2 = constantes a serem determinadas no ensaio de desempenho na 1ª marcha padrão

$GVD = GTD$ para o trator 4x2,

G para o trator 4x2 Auxiliar

4.3.6 Torque em Vazio

Na determinação do torque em vazio TV foram utilizadas as Eq. 4.6 e 4.7. O coeficiente d_1 , que avalia as perdas de potência na transmissão a um dado torque, normalmente entre 0.90 e 0.95, depende do número e do tipo das engrenagens em contato. Já o valor de TV cresce com a rotação do motor e com a diminuição da relação de transmissão. Em função disto adotou-se a seguinte correlação:

$$EFT = EFCINCI * EFCONCO * \left(1 - \frac{m_1 + m_2 * N + m_3 * N^2}{T} \right) =$$

$$= \frac{PD + PF}{P * (1 - S)} \quad (4.36)$$

onde:

- EFCI = rendimento dos pares de engrenagens cilíndricas
- EFCO = rendimento dos pares de engrenagens cônicas
- NCI = número de pares de engrenagens cilíndricas
- NCO = número de pares de engrenagens cônicas
- T = torque estimado através das Eq. 4.2 e 4.3
- P = potência no motor estimada em função de N e T
- PD = potência de tração calculada em função de FD e VA
- PF = potência dissipada em resistência ao rolamento, calculada em função de FF e VA. FF é estimada através da Eq. 4.29
- $m_1, \dots, m_3$ = constantes a serem determinadas no ensaio de desempenho na 2ª marcha padrão

A equação acima não leva em conta o efeito da relação de transmissão e da temperatura do óleo da transmissão, visando simplificar a análise estatística e presumindo-se que ela tenha pouca influência, visto que Delgado (1980) obteve bons resultados, em simulação de desempenho de tratores em concreto, utilizando:

$$EFT = d_1 = EFCINCI * EFCONCO \quad (4.37)$$

A partir dos resultados do ensaio de desempenho na 2ª marcha padrão estimou-se o valor dos coeficientes de m_1 a m_3 utilizando-se a Eq. 4.36 reorganizada na forma:

$$TV = m_1 + m_2 * N + m_3 * N^2 = \frac{T}{d_1} (d_1 - EFT) \quad (4.38)$$

Adotando-se os valores de 0.99 e 0.98 (Delgado, 1980) para EFCI e EFCO, respectivamente, obteve-se o valor de 0.951 para a constante d_1 , igual para todas as marchas, visto que na operação do trator em cada uma das marchas selecionadas, engrenam-se três pares cilíndricos e um cônico. Para o caso do trator 4x2 Auxiliar a EFT encontrada é equivalente ao valor médio ponderado definido por:

$$EFT = \frac{TD * EFTD + TT * EFTT}{T} \quad (4.39)$$

onde: TD = parcela de T aplicada à transmissão dianteira, Nm

EFTD = rendimento mecânico da transmissão dianteira
 TT = parcela de T aplicada à transmissão traseira, Nm
 EFTT = rendimento mecânico da transmissão traseira

Desta forma, mesmo para o trator 4x2 Auxiliar, a força tangencial FT é calculada pelas Eq. 4.1 e 4.8.

4.3.7 Simulação de Desempenho

Foi elaborada uma planilha eletrônica em LOTUS 1-2-3 para computadores da linha IBM PC que possibilita simular o desempenho na barra de tração de um trator a partir do ensaio do seu motor e de alguns parâmetros básicos do trator. A referida planilha está dividida nas seguintes partes:

4.3.7.1 Desempenho na barra de tração

Esta parte processa os resultados obtidos em cada marcha do ensaio definido no item 4.3.4. Os dados que devem ser fornecidos estão marcados com o símbolo $\square$. Já as variáveis calculadas receberam o símbolo $\square$. A Fig. 4.7 mostra os resultados obtidos pelo trator 4x2 na 4ª marcha no ensaio DES42CA (ver Tabela 4.2).

4.3.7.2 Simulação de desempenho

Esta parte calcula teóricamente o desempenho do trator para cada uma das medições apresentadas na 1ª parte da planilha (ver Fig. 4.8).

Os dados necessários para a simulação são:

1. Coeficientes da equação do torque no motor: São os coeficientes de a_1 a a_4 da Eq. 4.2 e de b_1 a b_4 da Eq. 4.3.
2. Coeficientes da equação do rendimento: São os coeficientes de e_1 a e_6 da Eq. 4.22.
3. Coeficientes da equação da resistência ao rolamento: São os coeficientes i_1 e i_2 da Eq. 4.29 e j_1 e j_2 da Eq. 4.31.
4. Coeficientes da equação do deslizamento das rodas: São os coeficientes de k_1 a k_6 da Eq. 4.33.
5. Coeficientes da equação do momento em Vazio: São os coeficientes de m_1 a m_3 da Eq. 4.38.

6. Outros:

- raio de rolamento das rodas traseiras [m] - H2
- poder calorífico inferior do combustível [MJ/kg] - H
- constante da transmissão - d₁
- rotação máxima livre [min⁻¹] - NM
- temperatura de bulbo úmido [°C] - TEW
- temperatura de bulbo seco [°C] - TED
- pressão barométrica total [mmHg] - BP

Para cada uma das medições apresentadas na 1ª parte da planilha é simulado o desempenho do trator na seguinte sequência:

1. $TC = \min [TC1 \text{ (Eq. 4.2)}, TC2 \text{ (Eq. 4.3)}]$
2. $EF = f (TC, N) \text{ (Eq. 4.22)}$
3. $GE = f (EF, H) \text{ (Eq. 4.21)}$
4. $GH = f (GE, TC, N) \text{ (Eq. 4.20)}$
5. $x = f (GH, TEW, TED, BP, \dots) \text{ (ISO 1585)}$
6. $TCC = f (x, TC) \text{ (Eq. 4.32)}$
7. $TV = f (N) \text{ (Eq. 4.38)}$
8. $EFT = f (d_1, TV, TCC) \text{ (Eq. 4.6)}$
9. $TI = f (TC, ZT, EFT) \text{ (Eq. 4.1)}$
10. $FT = f (TI, H2) \text{ (Eq. 4.8)}$
11. $FF = f (FT) \text{ (Eq. 4.30)}$
12. $FD = f (FT, FF) \text{ (Eq. 4.9)}$
13. $S = f (DTR) \text{ (Eq. 4.33)}$

$$14. \quad VA = \frac{0.37699 * (1 - S) * H2 * N}{ZT} \quad (4.40)$$

$$15. \quad PD = FD * VA / 3.6 \quad (4.41)$$

São ainda calculadas as diferenças entre o valor medido e o valor simulado para as variáveis GH, FD, S, VA e PD. Para as mesmas variáveis é também avaliada a média aritmética dos módulos das diferenças, denominado de desvio médio: DGH [l/h], DFD [kN], DS [%], DVA [km/h] e DPD [kW], respectivamente. Por último, são determinadas as diferenças entre a FD máxima medida e a simulada, DFDMAX [%], e entre a PD máxima medida e a simulada, DPDMAX [%].

Segundo a resolução nº 205 do grupo de trabalho ISO/TC 22/SC5, citada por Delgado, é permitida uma variação de ± 2.0 % entre os resultados obtidos e o declarado para APROVAÇÃO EM ENSAIO DE TIPO de tratores. Este referencial foi utilizado por ele na avaliação de seu método de simulação de desempenho de trator e também será adotado neste trabalho.

4.3.8 Análise de Variância

O grau de ajuste dos resultados obtidos às correlações propostas foi avaliado através do coeficiente de determinação múltipla R^2 e do teste de significância F. A determinação dos estimadores das constantes das correlações foi feita utilizando-se o método dos mínimos quadrados.

Utilizou-se o seguinte parâmetro para avaliar-se o ganho em explicação da variação total da variável dependente ao se passar de um modelo A para um modelo B:

$$\Delta R^2 = \frac{R_B^2 - R_A^2}{R_A^2} * 100 \quad (4.42)$$

onde: ΔR^2 = aumento percentual no R^2

R_A^2 = R^2 para o modelo A

R_B^2 = R^2 para o modelo B

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Avaliação Indireta do Torque do Motor

Os estimadores dos coeficientes das Eq. 4.2 e 4.3 encontrados para o torque T estão apresentados na Tabela 4.4. Da sua observação verifica-se que a precisão é boa, visto que o R^2 ficou entre 0.972 e 0.999.

4.4.2 Força de Resistência Total ao Rolamento

Os estimadores dos coeficientes das Eq. 4.29 e 4.30 encontrados para FF, nas condições de ensaio definidas no item 4.3.3 e mostradas na Tabela 4.2, estão apresentados na Tabela 4.5. Verifica-se que:

1. Os valores dos estimadores dos coeficientes i_3 e i_4 da Eq. 4.29, e j_3 e j_4 da Eq. 4.30, não são apresentados por ter-se optado por considerá-los iguais a zero. O motivo foi que mesmo a inclusão do termo de 2º grau proporciona ganho percentual médio em explicação da variação da variável FF menor que 0.4 %.
2. A precisão da correlação $FF=f(FD)$ é boa considerando-se que o R^2 ficou entre 0.975 e 0.987.
3. A precisão da correlação $FF=f(FT)$ também é boa, considerando-se que o R^2 ficou entre 0.976 e 0.988. Não se verificou diferença significativa entre as duas correlações.

A Fig. 4.9 apresenta a força de resistência total ao rolamento em função da força de tração para cada um dos ensaios realizados. Pode-se observar que:

1. Para uma determinada condição de tração, o trator 4x2 Auxiliar sem lastro está sujeito a uma força FF maior que o trator 4x2 com lastro. Em outras palavras, sob qualquer condição de lastragem o trator com tração auxiliar tem uma força FF maior que o trator com tração padrão.
2. A lastragem do trator acarreta um significativo aumento de FF, como poder-se-ia pressupor analisando a Eq. 4.11.
3. As diferenças entre os quatro tratamentos aumenta com a força de tração.

4.4.3 Correlação DESLIZAMENTO x TRAÇÃO

4.4.3.1 Método polinomial

Os estimadores dos coeficientes da Eq. 4.33 encontrados para o deslizamento S, nas condições de ensaio definidas no item 4.3.4 e mostradas na Tabela 4.2, estão apresentados na Tabela 4.6, para o trator 4x2 e na Tabela 4.7, para o trator 4x2 Auxiliar. Verifica-se que:

1. A inclusão do termo de 4º grau não proporcionou aumento no R^2 maior que 0.2 %.
2. A precisão da correlação polinomial de 3º grau é boa, considerando-se que o R^2 ficou entre 0.987 e 0.998.

3. Em todos os casos, com exceção do ensaio DES44CA, o estimador de k_1 (valor do deslizamento para a tração igual a zero) não foi significativo ao nível de 10 % de probabilidade, para a correlação de 3º grau.

Portanto, a correlação proposta para avaliar o deslizamento neste método é:

$$S = k_2 * FD + k_3 * FD^2 + k_4 * FD^3 \quad (4.33a)$$

4.4.3.2 Método de Wismer e Luth

Os estimadores dos coeficientes das Eq. 4.24 e 4.35 encontrados para DTR e S, respectivamente, nas condições de ensaio definidas no item 4.3.4 e mostradas na Tabela 4.2, estão apresentados na Tabela 4.8. Verifica-se que:

1. Para cada ensaio existe somente um R^2 correspondente. Isto é devido às Eq. 4.24 e 4.35 serem a mesma equação, mas apresentadas de forma inversa (a variável independente em uma é variável dependente na outra, e vice-versa). Optou-se por apresentar-se os estimadores para as duas equações devido ter-se dados comparativos apresentados pela OECD para a Eq. 4.24, mas nos interessarmos pela Eq. 4.35, para a simulação.
2. A precisão da correlação " Wismer e Luth " é boa, considerando-se que o R^2 ficou entre 0.987 e 0.998.
3. Os valores médios encontrados de 1.02 para h_1 e de 11.30 para h_2 são menores que a média apresentada pela OECD (ver Tabela 4.1), mas se aproximam dos resultados encontrados nos U.S.A..

4.4.3.3 Comparação dos métodos

Os resultados apresentados mostram que não se observou diferença significativa de precisão entre os métodos. Considerando-se que o método de Wismer e Luth tem solução linear somente através da utilização de processo iterativo, optou-se por utilizar, no restante do trabalho, a correlação abaixo:

$$S = k_1 + k_2 * FD + k_3 * FD^2 + k_4 * FD^3 \quad (4.33b)$$

O coeficiente k_1 não foi eliminado devido a maioria dos pacotes estatísticos não o permitir.

4.4.4 Correlação TORQUE EM VAZIO x ROTAÇÃO

A análise estatística dos resultados mostrou que em todos os casos a Eq. 4.38 pode ser simplificada para:

$$TV = m_1 \quad (4.38a)$$

isto é, não foi confirmada a dependência de TV com N. O estimador do coeficiente m_1 para os 8 ensaios é apresentado na Tabela 4.9. Verifica-se que:

1. O trator 4x2 Auxiliar teve menor TV.
2. Cada ensaio realizado propiciou um valor diferente para TV.

Para justificar o acima exposto seria necessária uma análise mais detalhada do fenômeno, como a sugerida pela Eq. 4.7 (ver itens 4.2.1 e 3.6).

Pode-se, portanto, concluir a partir da Eq. 4.38a, que para a simulação do desempenho do trator em diferentes marchas é desnecessário o ensaio para a definição da correlação TORQUE EM VAZIO x ROTAÇÃO, conforme proposto no item 4.3.4.. É suficiente o ensaio em uma marcha, que definirá a correlação DESLIZAMENTO x TRAÇÃO. O valor do coeficiente m_1 é encontrado a partir da média aritmética dos valores encontrados para TV (Eq. 4.38) nesta marcha.

4.4.5 Simulação de Desempenho

O comportamento dos desvios DGH, DS, DVA, DFD, DFDMAX, DP e DPDMAX nas 20 marchas ensaiadas por trator, está apresentado na Tabela 4.10 para o trator 4x2, e na Tabela 4.11 para o trator 4x2 Auxiliar. Verifica-se que:

1. Em todos os casos a mediana está mais próxima do valor mínimo do que do máximo, indicando a existência de uma assimetria para valores grandes e mostrando-se mais útil que a média aritmética na análise do comportamento do conjunto de dados.
2. As médias (medianas) dos desvios DS, DVA, DFD e DFDMAX foram menores para o trator 4x2 Auxiliar. Já as médias de DGH e DPDMAX foram menores para o trator 4x2. Não se verificou diferença significativa entre as medianas de DPDMAX.

3. Para ambos os tratores, os maiores desvios corresponderam às variáveis consumo de combustível e deslizamento. Este fato já era esperado devido às medições de volume, para o primeiro caso, e de diferenças percentuais de distâncias, para o segundo caso, serem intrinsecamente menos precisas que as outras.

4. Os desvios médios das outras variáveis podem ser considerados como aceitáveis, visto que permaneceram abaixo de 2.0 %.

5. Em qualquer caso, os máximos desvios na tração (DFD_{MAX}) e na potência máximas (DPD_{MAX}) se mantiveram a ± 2 % em relação ao valor medido, satisfazendo a precisão sugerida por Delgado.

4.5 CONCLUSÕES

1. O método proposto para simular o desempenho de tratores com e sem tração dianteira auxiliar, em pista de concreto a partir do ensaio do motor, das relações de transmissão, das características dimensionais e ponderais e do ensaio na barra de tração em duas marchas, proporcionou desvios no valor da tração e da potência na barra menores que 2 % em relação ao medido.

2. A precisão obtida possibilita a substituição dos ensaios normalizados em pista de concreto pela simulação.

3. O método não perderia sua precisão caso fosse realizado o ensaio em somente uma marcha, ao invés de em duas, como previa a metodologia.

4. O método tem a vantagem de possibilitar a simulação a qualquer posição da alavanca de acionamento da bomba injetora, isto é, à acelerações parciais.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CHUDAKOV, D.A. Fundamentos de la teoria y el cálculo de tractores y automóviles. Moscow, Mir Publishers, 1977. 435p.
2. DELGADO, L.M. Predicción del comportamiento de un tractor a la barra a partir del ensayo de su motor en banco. Madrid, Universidade Politécnica de Madrid, 1980. 453p. (tese de doutorado)
3. GUREVICH, A. e SOROKIN, E. Tractor. Moskow, Mir Publishers, 1977. 516p.
4. JROBOSTOV, S.N. Explotación del parque de tractores y máquinas Moscow, Mir Publishers, 1977. 552p.
5. LEVITICUS, L.I. e REYES, J.F. Tractor performance on concrete. Transactions of the ASAE, ST. Joseph, 28 (5): 1425-29, Sep-Oct, 1988.
6. OECD. Prediction of drawbar test performance (Note by the Secretariat- Code AGR/TS(87)22). Paris, OECD, 1987. 11p.
7. SOUZA, E.G. e MILANEZ, L.F. Indirect evaluation of the torque of diesel engines. Transactions of the ASAE, ST. Joseph, 31 (5): 1350-54, Sep-Oct, 1988a.
8. SOUZA, E.G. e MILANEZ, L.F. Efficiency and economical analysis of diesel engines. ASAE Paper 88-1577, ST. Joseph, 1988b.
9. WISMER, R.D. e LUTH, H.J. Off-Road traction prediction of wheeled vehicles. ASAE Paper 72-619, ST. Joseph, 1972.
10. ZOZ, F.M., BRIXIUS, W.W. Tractor prediction for agricultural tires on concrete. ASAE Paper 79-1046, ST. Joseph, 1979.

(a)

TABELA 4.1 - Medias E Desvios Padrao Dos Coeficientes h1 E h2 Da Eq. 24

PAIS	NUMERO DE ENSAIOS	h1		h2	
		MEDIA	DESVIO PADRAO	MEDIA	DESVIO PADRAO
FRANCA	24	0.963	0.070	22.34	7.34
ALEMANHA OCIDENTAL	24	1.241	0.148	14.95	4.97
INGLATERRA	24	1.107	0.082	23.33	5.92
U.S.A.	27	1.073	0.089	12.56	3.13
MEDIA	99	1.094	-----	17.45	-----

(a) Dados extraídos de OECD (1987)

TABELA 4.2 - Condições Gerais Dos Tratores Durante A Determinação
Da Força Total De Atrito Ao Rolamento.

TRATOR	CONDICAO DE LASTRAGEM	CODIGO DO ENSAIO	ALTURA DA LINHA DE TRACAO	ALTURA DA LINHA DE TRACAO
			DIANTEIRA (H3) [mm]	TRASEIRA (H0) [mm]
4 x 2	SEM LASTRO	ROL42S	170	490
4 x 2	COM LASTRO	ROL42C	150	470
4 x 2 AUXILIAR	SEM LASTRO	ROL44S	240	560
4 x 2 AUXILIAR	COM LASTRO	ROL44C	220	540

TABELA 4.3 - Condições Gerais Dos Tratores Durante Os Ensaios De Desempenho Na Barra De Tracão

TRATOR	CONDICAO DE LASTRAGEM	ACELE- RACAO	CODIGO DO ENSAIO	ROTACAO MAXIMA LIVRE [min-1]	MASSA DIANTEIRA [kg]	MASSA TRASEIRA [kg]	MASSA TOTAL [kg]	ALTURA DA LINHA DE TRACAO [mm]	DISTANCIA ENTRE EIXOS [mm]	RAIO ESTATICO DIANTEIRO [mm]	RAIO ESTATICO TRASEIRO [mm]
4 x 2	S/ LASTRO	TOTAL	DES42SA	2490	1580	3490	5070	485	2805	385	790
4 x 2	S/ LASTRO	PARCIAL	DES42SP	1900	1580	3490	5070	485	2805	385	790
4 x 2	C/ LASTRO	TOTAL	DES42CA	2490	2060	4680	6740	465	2805	380	766
4 x 2	C/ LASTRO	PARCIAL	DES42CP	1900	2060	4680	6740	465	2805	380	766
4 x 2 AUXILIAR	S/ LASTRO	TOTAL	DES44SA	2500	2010	3370	5380	560	2670	590	786
4 x 2 AUXILIAR	S/ LASTRO	PARCIAL	DES44SP	1910	2010	3370	5380	560	2670	590	786
4 x 2 AUXILIAR	C/ LASTRO	TOTAL	DES44CA	2500	2660	4210	6870	545	2670	580	773
4 x 2 AUXILIAR	C/ LASTRO	PARCIAL	DES44CP	1910	2660	4210	6870	545	2670	580	773

TABELA 4.4 - Estimadores Dos Coeficientes Das Equacoes $T=f(N)$ (Eq. 4.2) E $T=F(N,NM)$ (Eq. 4.3)

TRATOR	ROTACAO MAXIMA LIVRE [min-1]	-1 a1x10	4 a2x10	8 a3x10	2 a4x10	2 R	-1 b1x10	2 b2	2 b3	2 R
4 x 2	2494	N.S. 9.123	*** 4.823	*** -2.514	**** 3.753	0.972	N.S. -5.824	* -2.745	* 2.745	0.991
	1950	N.S. 9.123	*** 4.823	*** -2.514	**** 3.753	0.972	* -16.70	* -3.879	* 3.879	0.999
	2472	** 26.16	**** 2.198	**** -1.096	N.S. 1.133	0.981	N.S. 1.802	* -1.882	* 1.882	0.972
4 x 2 Auxiliar	1950	** 26.16	**** 2.198	**** -1.096	N.S. 1.133	0.981	N.S. 1.654	* -2.414	* 2.414	0.996

* = significativo, pelo teste F, a 0.1 % de probabilidade
 ** = significativo, pelo teste F, a 1 % de probabilidade
 *** = significativo, pelo teste F, a 5 % de probabilidade
 **** = significativo, pelo teste F, a 10 % de probabilidade
 N.S. = nao significativo, pelo teste F, a 10 % de probabilidade

TABELA 4.5 - Estimadores Dos Coeficientes Das Equacoes $FF=f(FD)$ (Eq. 29) E $FF=f(FT)$ (Eq. 30)

CODIGO DO ENSAIO	11x10	2 i2x10	2 R	j1x10	2 j2x10	2 R
ROL42S	6.874	2.298	0.983	6.718	2.247	0.984
ROL42C	8.338	2.987	0.975	8.092	2.902	0.976
ROL44S	13.05	4.290	0.987	12.52	4.116	0.988
ROL44C	14.80	4.703	0.986	14.13	4.495	0.988

TABELA 4.6 - Estimadores Dos Coeficientes Da Equacao $S=f(FD)$ (Eq. 33) Para O Trator 4x2

CODIGO DO ENSAIO	GRAU DO POLINOMIO	4 k1x10	4 k2x10	5 k3x10	6 k4x10	8 k5x10	2 R	2 Δ R
DES42SA	3	N.S. -41.47	* 38.33	N.S. -5.619	** 3.100	-----	0.996	-----
	4	**** -81.07	** 58.66	N.S. -30.82	N.S. 14.33	N.S. -16.45	0.996	0.0 %
DES42SP	3	N.S. -42.26	* 46.45	*** -12.80	* 4.114	-----	0.995	-----
	4	N.S. 11.25	N.S. 22.13	N.S. 15.75	N.S. -8.072	N.S. 17.13	0.996	0.1 %
DES42CA	3	N.S. -48.34	* 30.51	N.S. -4.692	** 1.445	-----	0.989	-----
	4	N.S. 30.22	N.S. -2.208	**** 27.10	*** -9.547	*** 12.37	0.991	0.2 %
DES42CP	3	N.S. -6.227	* 28.90	N.S. -5.482	** 1.689	-----	0.987	-----
	4	N.S. 46.76	N.S. 7.410	N.S. 15.12	N.S. -5.382	N.S. 7.940	0.988	0.1 %

TABELA 4.7 - Estimadores Dos Coeficientes Da Equacao $S=f(FD)$ (Eq. 33) Para O Trator 4x2 Auxiliar

CODIGO DO ENSAIO	GRAU DO POLINOMIO	5 k1x10	4 k2x10	7 k3x10	8 k4x10	8 k5x10	2 R	 2 R
DES44SA	3	N.S. -265.7	* 28.78	** -642.5	* 217.3	-----	0.998	-----
	4	N.S. -125.5	*** 22.87	N.S. -56.36	N.S. 9.410	N.S. 2.410	0.998	0.0 %
DES44SP	3	N.S. 94.20	* 23.29	N.S. -227.0	* 118.4	-----	0.997	-----
	4	**** 430.0	N.S. 8.920	N.S. 1199	N.S. -381.3	*** 5.678	0.998	0.1 %
DES44CA	3	** -442.3	* 24.51	* -444.7	* 98.65	-----	0.995	-----
	4	N.S. -5.456	**** 9.238	**** 822.6	*** -271.4	** 3.472	0.996	0.1 %
DES44CP	3	N.S. 34.98	* 17.89	N.S. -124.4	* 58.53	-----	0.996	-----
	4	N.S. 252.1	N.S. 10.22	N.S. 503.2	N.S. -121.6	N.S. 1.661	0.996	0.0 %

TABELA 4.8 -- Estimadores Dos Coeficientes Das Equacoes $S=f(DTR)$ (Eq. 35)
 E $DTR=f(S)$ (Eq. 24)

CODIGO DO ENSAIO	4 11x10	2 12x10	h1x10	h2	2 R
DES42SA	*** -35.97	* -8.377	*** 9.514	* 11.85	0.993
DES42SP	* 46.18	* -9.375	* 10.46	* 10.62	0.995
DES42CA	N.S. -17.23	* -8.089	**** 9.699	* 12.21	0.988
DES42CP	N.S. 9.649	* -8.622	N.S. 10.02	* 11.45	0.987
DES44SA	* -27.48	* -8.101	* 9.641	* 12.30	0.997
DES44SP	* 113.4	* -10.16	* 11.16	* 9.814	0.998
DES44CA	N.S. 6.937	* -8.260	N.S. 10.05	* 12.04	0.995
DES44CP	* 75.04	* -9.819	* 10.77	* 10.14	0.996

* = significativo, pelo teste F, a 0.1 % de probabilidade
 ** = significativo, pelo teste F, a 1 % de probabilidade
 *** = significativo, pelo teste F, a 5 % de probabilidade
 **** = significativo, pelo teste F, a 10 % de probabilidade
 N.S. = nao significativo, pelo teste F, a 10 % de probabilidade

TABELA 4.9 - Estimadores Dos Coeficientes Da Equacao
TV=ml (Eq. 38a)

78

CODIGO DO ENSAIO	ml	CODIGO DO ENSAIO	ml
DES42SA	19.47	DES44SA	3.80
DES42SP	18.63	DES44SP	7.07
DES42CA	27.34	DES44CA	10.86
DES42CP	28.90	DES44CP	18.04

TABELA 4.10 - Comportamento Dos Desvios DGH, DS, DVA, DFD, DFDMAX, DP e DPDMAX Nas 20 Marchas Ensaaiadas
No Trator 4x2

TRATOR 4 x 2	DESVIO NO CONSUMO DE COMBUSTIVEL DGH [l/h]	DESVIO NO DESLIZAMENTO DS [%]	DESVIO NA VELOCIDADE DVA [km/h]	DESVIO NA TRACAO NA BARRA DFD [kN]	DESVIO NA TRACAO MAXIMA NA BARRA DFD MAX [%]	DESVIO NA POTENCIA NA BARRA DPD [kW]	DESVIO NA POTENCIA MAXIMA NA BARRA DPD MAX [%]
MINIMO	0.189	0.112	0.007	0.064	0.013	0.206	0.025
QUARTIL 1	0.272	0.284	0.021	0.246	0.270	0.556	0.384
MEDIANA	0.508 (2.12 %)(a)	0.410 (2.73 %)(a)	0.028 (0.20 %)(a)	0.582 (1.10 %)(a)	0.665	0.864 (1.39 %)(a)	0.520
QUARTIL 3	1.042	0.595	0.039	0.879	0.924	1.150	0.699
MAXIMO	1.552	1.013	0.253	1.589	1.493	2.779	1.382
MEDIA ARITMETICA	0.666	0.465	0.041	0.653	0.656	1.003	0.697

(a) Valores percentuais em relacao ao maior valor medido nos ensaios de ambos os tratores, a saber,

TABELA 4.11 - Comportamento Dos Desvios DGH, DS, DVA, DFD, DFDMAX, DP e DPDMAX Nas 20 Marchas Ensaadas No Trator 4x2 Auxiliar

TRATOR 4 x 2 Auxiliar	DESVIO NO CONSUMO DE COMBUSTIVEL DGH (l/h)	DESVIO NO DESLIZAMENTO DS (%)	DESVIO NA VELOCIDADE DVA (km/h)	DESVIO NA TRACAO NA BARRA DFD (kN)	DESVIO NA TRACAO MAXIMA NA BARRA DFDMAX (%)	DESVIO NA POTENCIA NA BARRA DPD (kW)	DESVIO NA POTENCIA MAXIMA NA BARRA DPDMAX (%)
MINIMO	0.171	0.118	0.010	0.200	0.080	0.391	0.026
QUARTIL 1	0.452	0.172	0.016	0.306	0.165	0.550	0.286
MEDIANA	0.644 (2.68 %)(a)	0.221 (1.47 %)(a)	0.022 (0.16 %)(a)	0.514 (0.97 %)(a)	0.368	0.863 (1.39 %)(a)	0.686
QUARTIL 3	0.835	0.350	0.028	0.871	1.051	1.066	1.213
MAXIMO	1.226	0.755	0.041	1.169	1.529	1.819	1.994
MEDIA ARITMETICA	0.681	0.295	0.022	0.578	0.603	0.876	0.791

(a) Valores percentuais em relacao ao maior valor medido nos ensaios de ambos os tratores, a saber, 24.0 l/h, 15.0 %, 13.8 km/h, 53.1 kN e 62.0 kW

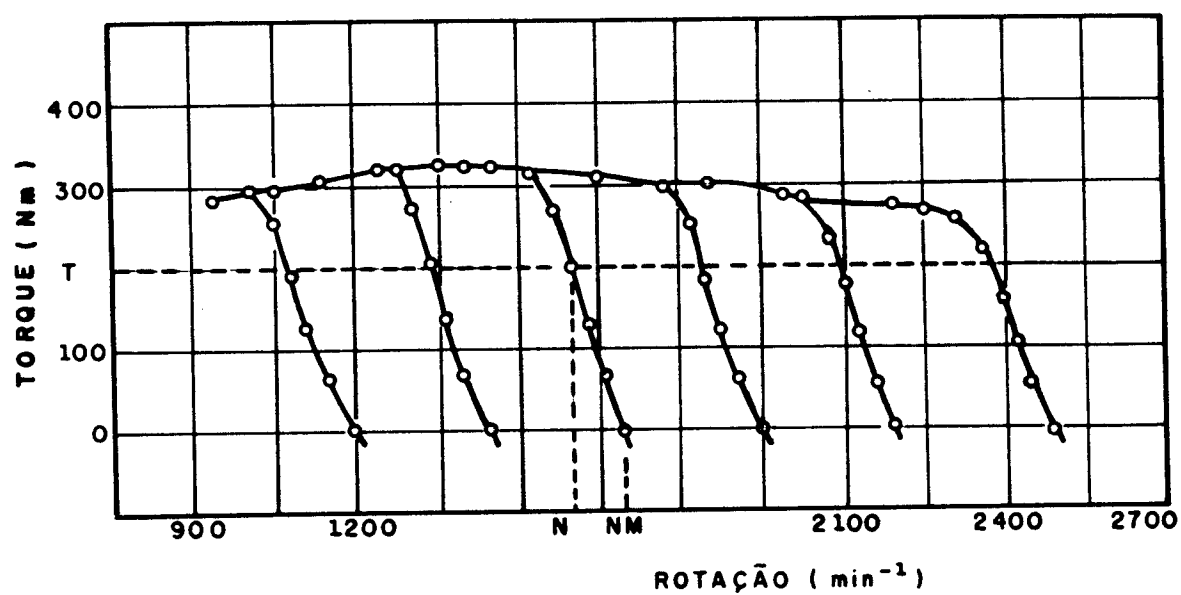


FIGURA 4.1- Desempenho De Um Motor Diesel À Diversas Posições Da Alavanca De Acionamento Da Bomba Injetora.

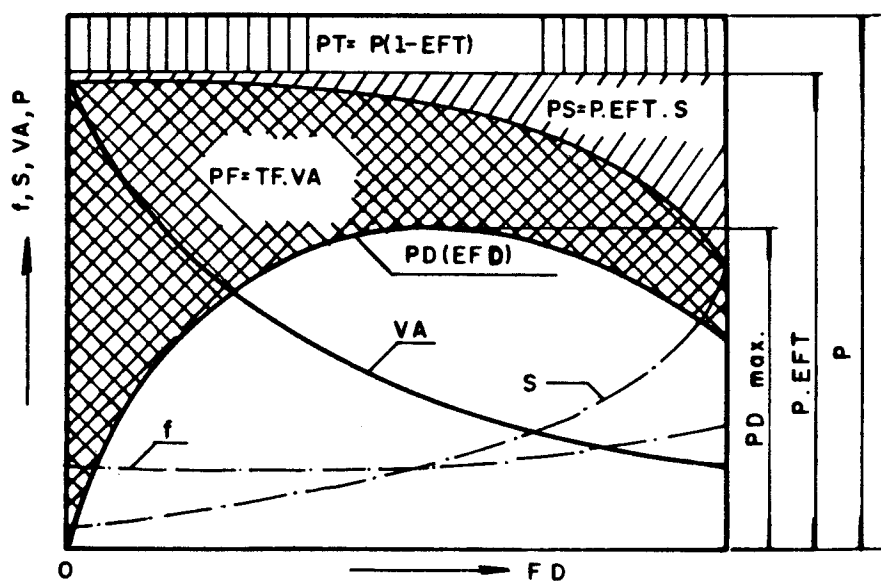
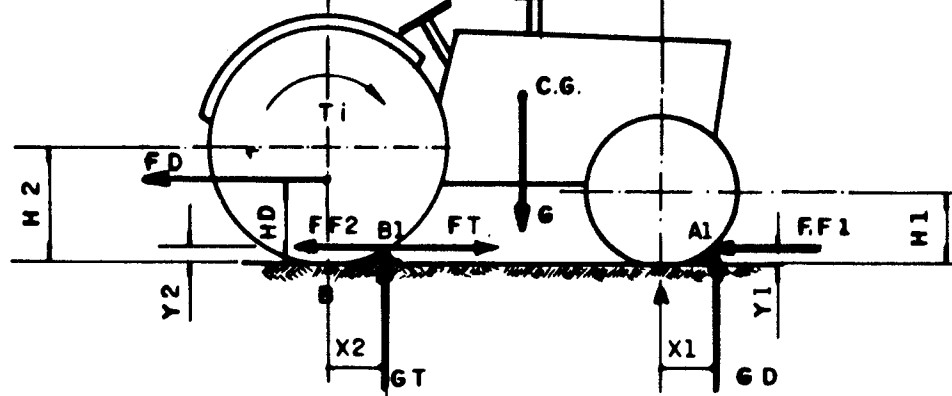


FIGURA 4.3- Balanço De Potências É Característica Potencial De Tração De Um Trator Com Transmissão Progressiva.

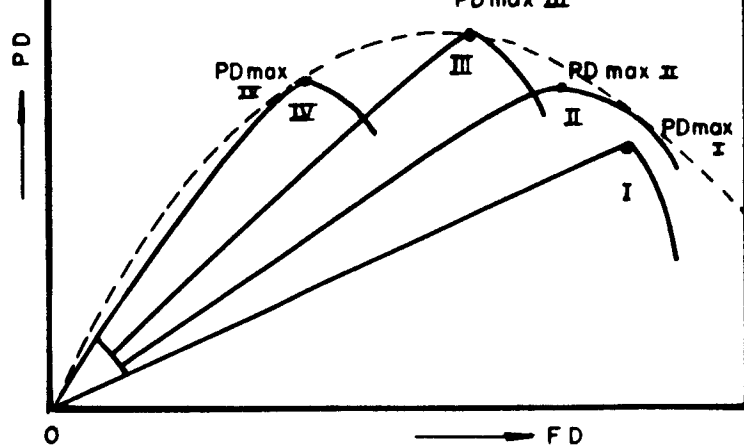


FIGURA 4.4- Curvas De Potências De Tração Para Um Trator Com Quatro Marchas.

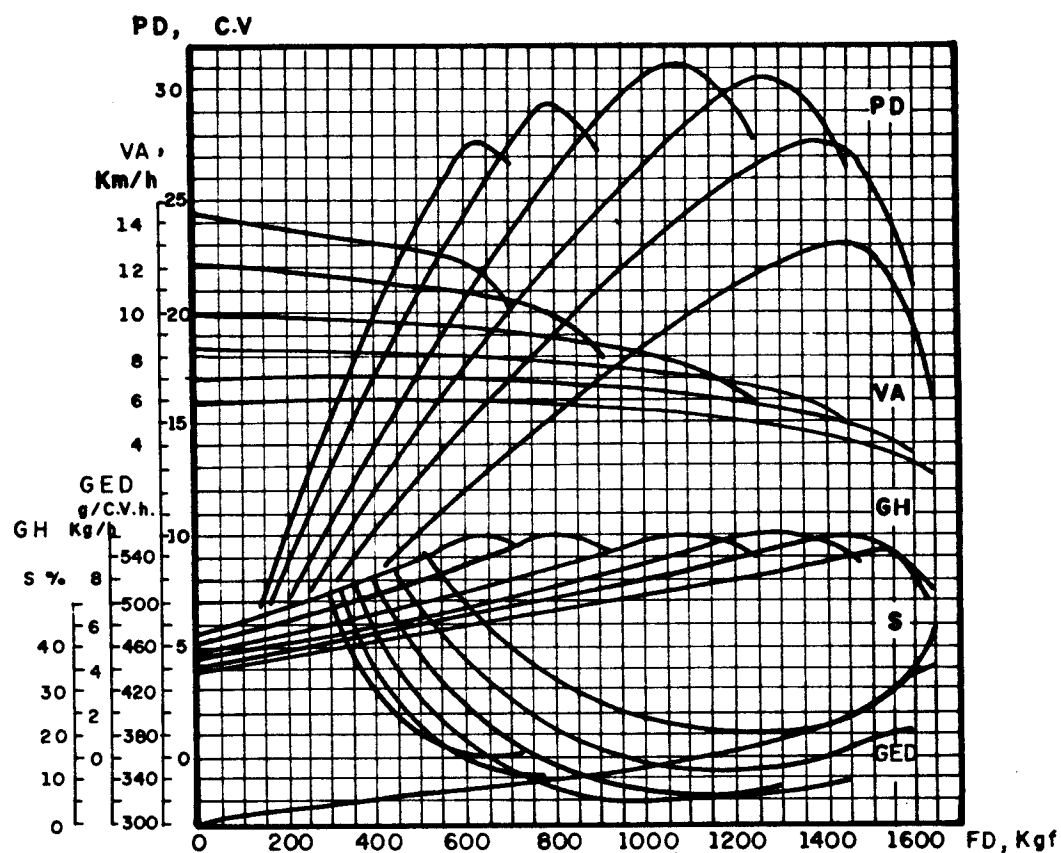


FIGURA 4.5- Características De Tração Do Trator MTZ-50 Em Solo Argiloso. Fonte: Jróbstov (1977)

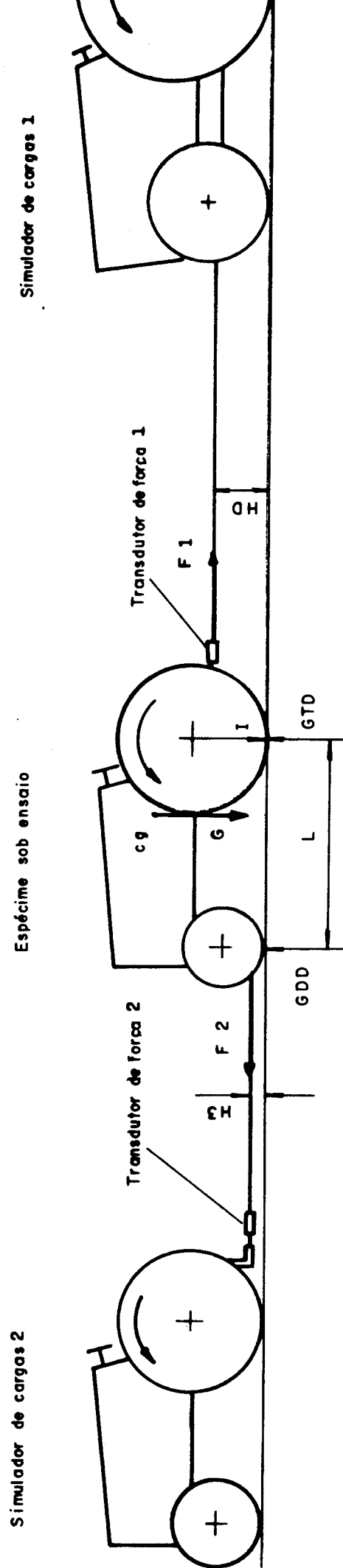


FIGURA 4.6— Disposição Do Trator De Ensaio E Dos Tratores Simuladores De Carga Durante o Ensaio De Determinação Da Força Total De Atrito ao Roloamento.

DATA: 05/04/89

ANALISE DO DESEMPENHO EM PISTA DE CONCRETO DO TRATOR 4 x 2 AUXILIAR

TRACAO	DENS. COMB. (g/l)	FUROS NO SENSOR	CONDICOES DE ENSAIO		CILIND. (l)	BATIDAS LIVRES
4	A = -0.76	DIANT. = 30	5a.MARCHA	REL.DE TRANSM. = 103.040	5.883	RD = 259
	B = 1854.00	TRAS. = 30	S/LASTRO	PER.ROD.ODOM.(m)= 1.706		RT = 204
		ODOM. = 60	PARC.ACEL.	CTE DE INTEGR. = 5.000		RO = 1171

No	VOL.INT.	TEMPERATURAS		RDM	RTM	DIES.	TEMPO	RPM	TRACAO	VELOC.	POTENC.	DESL.	C.HOR.	C.ESP.
		DIES.	ADM.						(kN)	(km/h)	(kW)	(%)	(l/h)	(g/kWh)
1	4329.30	37.80	26.50	264.5	209.0	2.60	22.87	1868	9.29	5.24	13.52	2.24	7.40	451.67
2	7683.60	37.10	24.50	269.0	210.0	3.60	23.47	1852	16.06	5.11	22.78	3.29	9.69	351.09
3	11756.50	36.30	24.40	276.0	216.5	4.60	24.31	1828	23.72	4.93	32.49	5.97	11.75	298.86
4	15351.70	35.60	24.70	282.0	221.0	6.00	25.18	1804	29.90	4.76	39.54	7.92	14.58	304.80
5	22123.30	36.80	26.60	297.0	232.5	8.90	27.43	1746	39.56	4.37	48.02	12.53	19.54	336.11
6	21612.70	38.20	24.80	297.0	232.5	8.50	27.44	1750	38.63	4.37	46.88	12.53	18.69	328.96
7	29854.60	40.10	25.10	301.0	235.0	9.40	36.05	1348	40.62	3.32	37.52	13.57	15.87	348.34
8	30510.60	39.60	24.00	300.0	238.0	9.40	36.24	1346	41.30	3.31	37.94	13.98	15.79	342.90
9														
10														
11														
12														

FIGURA 4.7 - PLANILHA EM LOTUS 1-2-3 - PARTE 1: Analise Do Desempenho De Um Trator Na Barra De Tracao Em Uma Marcha

DADOS GERAIS PARA SIMULACAO DE DESEMPENHO

85

TORQUE NO MOTOR [Nm]	RENDIMENTO EFETIVO [%]	RAIO DA RODA TRASEIRA [m]	P.C.I. [MJ/kg]	CONST. TRANSM.	ROT. MAXIMA LIVRE [min ⁻¹]
a1 = 2.62E+02 a2 = 2.20E-01 a3 = -1.1E-04 a4 = 1.13E-08	e1 = -4.5E-02 e2 = 4.9E-03 e3 = 7.7E-05 e4 = -2.7E-05 e5 = 7.1E-08	0.786	42.60	0.951	1910
b1 = 16.540 b2 = -2.414 b3 = 2.414	e6 = -7.4E-11 e7 = -2.7E-08 e8 = -4.4E-08	MOMENTO EM VAZIO [Nm] a1 = 7.07 a2 = 0.00 a3 = 0.00		ATRITO AO ROLAMENTO [kN] i1 = 1.30500 i2 = 0.04290	j1 = 1.25200 j2 = 0.04116

SIMULACAO DE DESEMPENHO

MARCHA No. : 5

DESGLIZAMENTO [%]	MASSA [kg]	TEMPERATURA [C]	PRESSAO BAROMETRICA [mmHg]
k1 = 9.4E-02 k2 = 2.3E-01 k3 = -2.3E-03 k4 = 1.2E-04	DIANTEIRA 2010 TRASEIRA 3370	BULB. UMIDO 21.60 BULB. SECO 28.40	712.00

No	TC1 [Nm]	TC2 [Nm]	TC [Nm]	GH [1/h]	DGH [1/h]	TCC [Nm]	TV [Nm]	EFT	FT [kN]	FF [kN]	FD [kN]	DFD [kN]	S [%]	DS [%]
1	363.41	117.93	117.93	7.84	0.44	115.53	7.07	0.893	13.52	1.81	11.71	2.43	2.70	0.47
2	364.54	156.55	156.55	9.39	-0.30	153.59	7.07	0.907	18.27	2.00	16.26	0.20	3.79	0.50
3	366.19	214.49	214.49	11.86	0.11	210.44	7.07	0.919	25.35	2.30	23.06	-0.66	5.71	-0.26
4	367.78	272.42	272.42	14.31	-0.26	267.23	7.07	0.926	32.43	2.59	29.85	-0.06	8.17	0.25
5	371.39	412.44	371.39	19.61	0.08	352.68	7.07	0.932	43.09	3.03	40.06	0.50	13.39	0.87
6	371.15	402.78	371.15	19.67	0.98	353.61	7.07	0.932	43.20	3.03	40.17	1.54	13.46	0.94
7	386.36	1373.21	386.36	15.94	0.07	365.65	7.07	0.933	44.70	3.09	41.61	0.99	14.39	0.81
8	386.38	1378.04	386.38	15.91	0.12	366.47	7.07	0.933	44.81	3.10	41.71	0.42	14.45	0.47
9														
10														
11														
12														

DESVIO MEDIO = 0.292 1/h

DESVIO MEDIO = 0.850 kN 0.571

No	VA [km/h]	DVA [km/h]	PD [kW]	DPD [kW]	
1	5.23	-0.01	17.01	3.49	
2	5.12	0.02	23.15	0.37	DFD MAX [%] = 1.0050
3	4.96	0.03	31.75	-0.74	
4	4.76	0.00	39.50	-0.05	
5	4.35	-0.02	48.39	0.37	DPD MAX [%] = 1.2037
6	4.35	-0.01	48.60	1.72	
7	3.32	-0.01	38.36	0.84	
8	3.31	0.00	38.37	0.43	
9					
10					
11					
12					

DESV. MEDIO = 0.013 km/h 1.001 kW

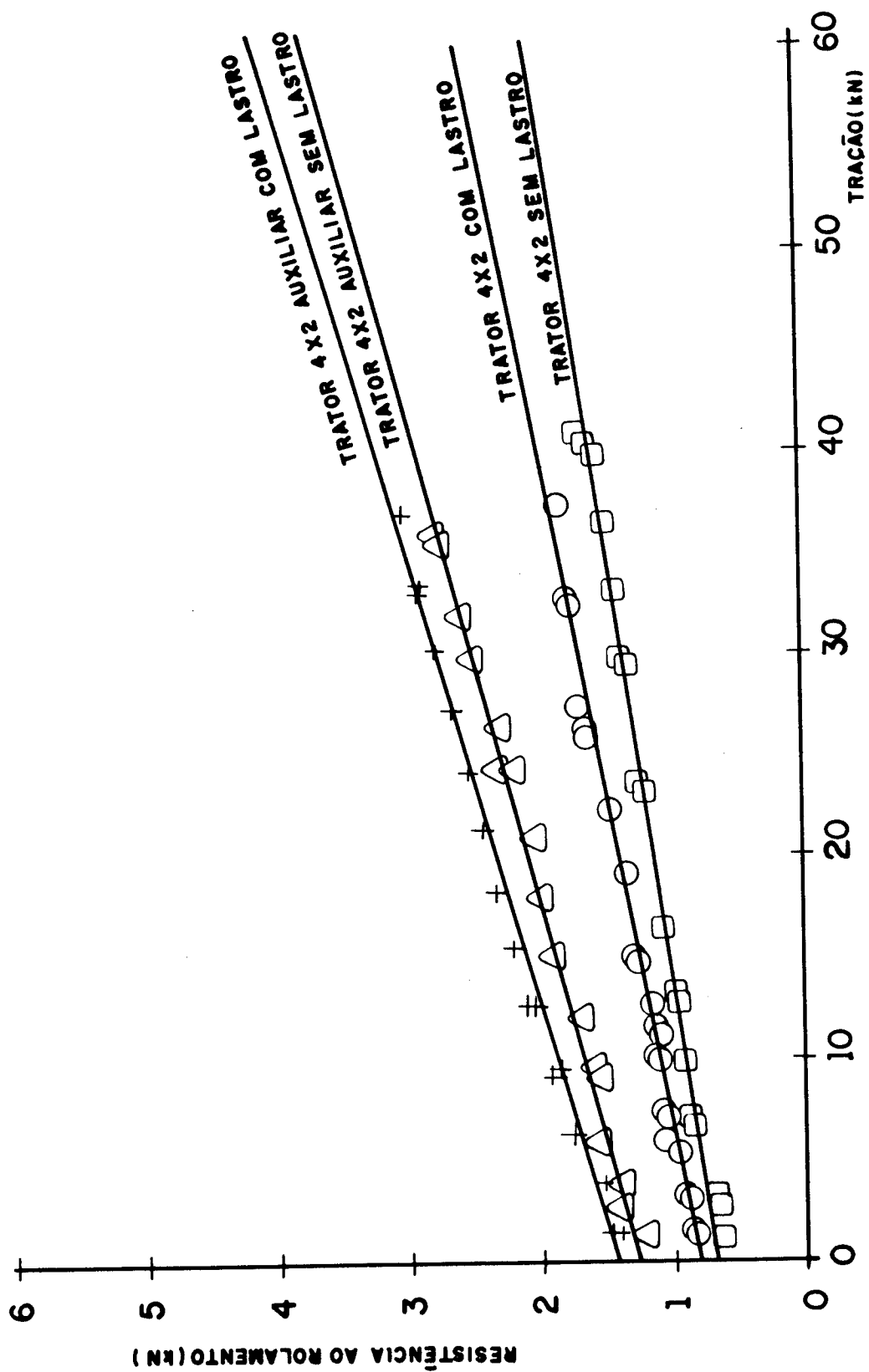


FIG 4.9 – Força De Resistência Total Ao Rolamento Em Função Da Força Na Barra De Tração
Para Cada Um Dos Ensaio Realizados.

5 CONCLUSÕES

1. Apesar da participação do setor agropecuário no consumo de energéticos ser ainda pequena é importante que se adotem tecnologias de conservação de energia. A seleção e utilização criteriosa do trator apresenta-se como uma alternativa importante de redução de custos e de energéticos neste setor. Os ensaios de desempenho do trator representam um dos instrumentos mais importantes no julgamento de seus atributos, e incluem, em geral, a determinação de desempenho na barra de tração (BDT) em pista de concreto. E, portanto, relevante estudar metodologias para simular o desempenho na BDT, devido fortalecer-se a tendência mundial de simplificação do ensaio na BDT, caro e lento.

2. As duas correlações propostas para o rendimento de motores diesel em função de sua rotação e de seu torque são precisas: A correlação "completa" mostrou-se adequada para cálculos e para geração de superfícies tridimensionais que representem o rendimento em função do torque e da rotação. A correlação "parabolóide-elíptica" provou ser indicada para a construção de curvas de parâmetros múltiplos, que permitem apresentar o rendimento em função do torque e da rotação em gráfico bidimensional.

3. O método proposto para simular o desempenho de tratores, com e sem tração dianteira auxiliar, a partir do ensaio do motor e do ensaio na BDT em duas marchas, possibilita a substituição dos ensaios normalizados, visto que proporcionou desvios no valor da tração e da potência na BDT menores que 2 % em relação ao medido. O método tem a vantagem de possibilitar a simulação à acelerações parciais e não perderia sua precisão caso fosse realizado o ensaio em somente uma marcha.

ANEXO 1

**-PROGRAMA "CÁLCULO DO RENDIMENTO E POTÊNCIAS MÉDIAS DE UM
MOTOR" FEITO EM LINGUAGEM PASCAL -**

```

PROGRAM EFMEDIA;
VAR I,I1,IL,J,J1,JL,K,N7,NL,P,T7,TL,U1,U2           : INTEGER;
    EM,FF,N,N1,N2,N5,N6,N8,N9,P1,PM,TO,T5,T6,T8,T9,TA,TB,TC,TT,X1,X2,X9,
    Y1,Y2,Y9                                         : REAL;
    F                                                 : ARRAY[1..8] OF REAL;
    G                                                 : ARRAY[1..6] OF REAL;
    T                                                 : ARRAY[1..4] OF REAL;
    PP                                               : ARRAY [1..100,1..100] OF INTEGER;
    NOME,DATA                                         : STRING [25];
BEGIN
  CLRSCR;
  WRITELN ('          PROGRAMA "CALCULO DA EFICIENCIA E POTENCIA MEDIAS DE UM MOTOR "');
  WRITELN (' ');
  WRITELN (' ');
  WRITELN (' ');
  WRITE ('NOME DO MOTOR = ');
  READLN (NOME);
  WRITE ('DATA = ');
  READLN (DATA);
  WRITE ('NUMERO DE SUB-DIVISOES NO EIXO X (ROTACAO) = ');
  READLN (N7);
  WRITE ('NUMERO DE SUB-DIVISOES NO EIXO Y (TORQUE) = ');
  READLN (T7);
  WRITE ('ROTACAO DE INICIO DE CORTE DO COMBUSTIVEL [min^-1] = ');
  READLN (N1);
  WRITE ('ROTACAO MAXIMA LIVRE [min^-1] = ');
  READLN (N2);
  WRITE ('ROTACAO MINIMA DE CALCULO [min^-1] = ');
  READLN (N8);
  WRITE ('ROTACAO MAXIMA DE CALCULO [min^-1] = ');
  READLN (N9);
  WRITE ('TORQUE MINIMO DE CALCULO [Nm] = ');
  READLN (T8);
  WRITE ('TORQUE MAXIMO DE CALCULO [Nm] = ');
  READLN (T9);
  WRITE ('NUMERO DE INTERACOES NO EIXO X (ROTACAO) = ');
  READLN (U1);
  WRITE ('NUMERO DE INTERACOES NO EIXO Y (TORQUE) = ');
  READLN (U2);
  WRITELN (' ');
  WRITELN ('COEFICIENTES DA EQUACAO DA EFICIENCIA (EF) :');
  WRITELN (' ');
  WRITELN ('EF=c1 +c2*T +c3*N +c4*T^2 +c5*T^3 +c6*T^4 +c7*N^2 +c8*N*T');
  WRITELN (LST,'          PROGRAMA "CALCULO DA EFICIENCIA E POTENCIA MEDIAS DE UM MOTOR "');
  WRITELN (LST,' ');
  WRITELN (LST,' ');
  WRITELN (LST,' ');
  WRITELN (LST,'NOME DO MOTOR = ',NOME);
  WRITELN (LST,'DATA = ',DATA);
  WRITELN (LST,'NUMERO DE SUB-DIVISOES NO EIXO X (ROTACAO) = ',N7);
  WRITELN (LST,'NUMERO DE SUB-DIVISOES NO EIXO Y (TORQUE) = ',T7);
  WRITELN (LST,'ROTACAO DE INCIO DE CORTE DO COMBUSTIVEL [min^-1] = ',N1:6:1);
  WRITELN (LST,'ROTACAO MAXIMA LIVRE [min^-1] = ',N2:6:1);
  WRITELN (LST,'ROTACAO MINIMA DE CALCULO [min^-1] = ',N8:6:1);
  WRITELN (LST,'ROTACAO MAXIMA DE CALCULO [min^-1] = ',N9:6:1);
  WRITELN (LST,'TORQUE MINIMO DE CALCULO [Nm] = ',T8:5:1);

```

```

WRITELN (LST,'TORQUE MAXIMO DE CALCULO (Nm) = ',T9:5:1);
WRITELN (LST,'NUMERO DE INTERACOES NO EIXO X (ROTACAO) = ',U1);
WRITELN (LST,'NUMERO DE INTERACOES NO EIXO Y (TORQUE) = ',U2);
WRITELN (LST,' ');
WRITELN (LST,'COEFICIENTES DA EQUACAO DA EFICIENCIA (EF) :');
WRITELN (LST,' ');
WRITELN (LST,'EF=c1 +c2*T +c3*N +c4*T*N +c5*T^2 +c6*N^2 +c7*T^3 +c8*T^4');
FOR I:=1 TO 8 DO
  BEGIN
    WRITE ('c(',I,') = ');
    READLN (F[I]);
    WRITELN (LST,'c(',I,') = ',F[I]);
  END;
WRITELN (' ');
WRITELN ('COEFICIENTES DA EQUACAO DO TORQUE (T) :');
WRITELN (' ');
WRITELN ('T=t1 +t2*N +t3*N^2 +t4*N^3');
WRITELN (LST,' ');
WRITELN (LST,'COEFICIENTES DA EQUACAO DO TORQUE (T) :');
WRITELN (LST,' ');
WRITELN (LST,'T=t1 +t2*N +t3*N^2 +t4*N^3');
WRITELN (LST,' ');
FOR I:=1 TO 4 DO
  BEGIN
    WRITE ('t(',I,') = ');
    READLN (T[I]);
    WRITELN (LST,'t(',I,') = ',T[I]);
  END;
WRITELN (LST,' ');
WRITELN (LST,'COEFICIENTES DE PONDERACAO :');
WRITELN (LST,' ');
WRITELN (' ');
WRITELN ('COEFICIENTES DE PONDERACAO :');
WRITELN (' ');
FOR I:=1 TO 6 DO
  G[I]:=0;
  FOR I1:=1 TO N7 DO
    FOR J1:=1 TO T7 DO
      BEGIN
        N5:=(N9-N8) / N7 * (I1-1) + N8;
        T5:=(T9-T8) / T7 * (J1-1) + T8;
        WRITE ('PESOS(',N5:6:1,' min^-1, ',T5:5:1,' Nm)= ');
        READLN (PP[I1,J1]);
        WRITELN (LST,'PESOS(',N5:6:1,' min^-1, ',T5:5:1,' Nm)= ',PP[I1,J1]);
      END;
    NL:=N7+1;
    TL:=T7+1;
    FOR I1:=1 TO NL DO
      PP[I1,TL]:=PP[I1,T7];
    FOR J1:=1 TO TL DO
      PP[NL,J1]:=PP[N7,J1];
    TA:=(T[I1]+T[I2]*N1+T[I3]*N1*N1+T[I4]*N1*N1*N1;
    TC:=TA/(N1-N2);
    TB:=-TC*N2;
    IF (N9<=N2)
      THEN X9:=N9
      ELSE X9:=N2;
    N6:=(N9-N8)/N7;
    T6:=(T9-T8)/T7;

```


ANEXO 2

- DESEMPENHO A ROTAÇÃO CONSTANTE DO MOTOR 2 -

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - M.A.
CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CENEA
DIVISÃO DE ENSAIOS - DIVEN
Caixa Postal, 568
18.100 - Sorocaba - SP

RELATÓRIO Nº 1096/88

ENSAIO DO TRATOR MARCA MODELO 4x2 AUX.

PERÍODO DE ENSAIO: 01/02/88 à 04/02/88

FABRICANTE:

ENDEREÇO:

INSCRIÇÃO ESTADUAL:

C.G.C.:

DATA	RELATÓRIO			FOLHA
11/08/88	1096/88	TRATOR	4x2 AUX.	92

1.1. DESEMPENHO DO MOTOR

(Ver Tabelas 02,03,04,05,06,07,08,09,10 e Figura 01).

O ensaio foi realizado com volante do motor acoplado a um dinamômetro Schenck, modelo W 400.

Os dados referentes à massa específica do combustível utilizado no ensaio são apresentados na Tabela 01.

TABELA 01

Combustível	Poder Calorífico Inferior (MJ/Kg)	Temperatura (°C)	Massa Específica (g/l)
Diesel	42,6	25	832
		40	820

Os dados meteorológico foram obtidos através do Posto Agro-Climatológico do CENEA - Iperó/SP.

CENEA/MA		TABELA 02				DESEMPENHO DO MOTOR				RELATÓRIO Nº: 1096/88																			
DIVEN		TRATOR (marca/modelo): TRATOR 4x2 AUX.		MOTOR (marca/modelo): 2		LOCAL DO ENSAIO: CENEA/MA		DATA: 02/02/88																					
DESEMPENHO DO MOTOR NA CONDIÇÃO DE MÁXIMA ACELERAÇÃO																													
No.		TORQUE		POTENCIA		ROTAÇÃO		CONSUMO		TEMPERATURAS																			
		Nm		kW		RPM		HORARIO		ADM		ARR		COMB.		B.U		PRESSAO											
		Nm*		kW*				l/h		g/kWh		g/kWh		g/kWh		g/kWh		mmHg											
1		314 330		75.0 79.6		2300		0		24.0		263 250		3.16 3.32		29.3		76.7		73.4		28.6		27.5		23.0		947 710	
2		301 314		73.1 76.4		2320		0		22.8		259 248		3.20 3.34		29.3		76.4		73.3		28.6		27.5		23.1		947 710	
3		315 332		75.2 79.2		2360		0		23.6		260 247		3.19 3.36		30.5		76.2		74.1		28.7		27.6		23.2		947 710	
4		319 336		73.5 77.4		2200		0		22.9		258 245		3.22 3.38		29.5		76.9		73.7		28.8		27.7		23.3		947 710	
5		332 350		69.5 73.3		2000		0		20.9		249 236		3.32 3.51		30.2		77.1		73.7		28.9		27.8		23.3		947 710	
6		346 366		65.2 69.1		1800		0		19.7		250 236		3.32 3.51		28.7		77.9		75.0		28.9		27.8		23.4		947 710	
7		358 392		60.0 64.0		1600		0		18.1		250 234		3.32 3.54		29.8		79.3		75.7		29.0		27.9		23.4		947 710	
8		361 385		54.8 58.5		1450		0		16.5		249 234		3.32 3.55		29.5		79.8		75.8		29.1		28.0		23.4		947 710	
9		362 396		53.1 56.5		1400		0		16.0		249 234		3.32 3.54		28.4		80.3		75.7		29.2		28.0		23.4		947 710	
10		363 388		51.3 54.8		1350		0		15.6		251 235		3.30 3.52		28.8		81.2		75.6		29.3		28.0		23.4		947 710	
11		361 385		49.1 52.4		1300		0		14.9		251 235		3.31 3.52		28.2		81.6		75.1		29.3		28.0		23.4		947 710	
12		361 384		41.6 44.2		1100		0		12.4		248 233		3.35 3.56		28.3		82.7		75.1		29.3		28.0		23.5		947 710	
13		356 380		33.6 35.8		900		0		10.5		258 242		3.21 3.42		27.3		84.3		75.1		29.4		28.0		23.5		947 710	

(*) VALORES REDUZIDOS SEGUNDO NBR 5484.

CENEA/MA		TABELA 02 (Cont.)		DESEMPENHO DO MOTOR		RELATÓRIO Nº: 1096/88	
DIVEN		TRATOR (marca/modelo): 4x2 AUX.		MOTOR (marca/modelo): 2		LOCAL DO ENSAIO: CENEA/MA	
		DATA: 11/08/88				DATA: 02/02/88	

DESEMPENHO DO MOTOR NA CONDIÇÃO DE MÁXIMA ACELERAÇÃO

No.	TORQUE		POTENCIA		ROTACAO		CONSUMO		TRABALHO		TEMPERATURAS				PRESSAO BAROMET. mmHg	
	Nm	Nm*	kW	kW*	rpm	TDP rpm	HORARIO h/h	ESPEC g/kWh	ESPEC g/kWh*	ADM oC	ONR oC	MOT oC	COMB. oC	E.S oC		B.U oC
14	267		65.6		2345	0	20.3	256	3.23	28.5	73.2	74.6	29.4	28.2	23.6	947
15	274		67.3		2472	0	5.5	250	3.32	29.1	69.2	70.1	29.5	28.1	23.6	710
	0	0	0.0	0.0				---	0.00							947
16	134		33.9		2415	0	12.4	302	2.74	28.4	73.5	73.6	29.8	28.2	23.6	710
	137		34.7					295	2.81							947
17	314		76.0		2312	0	23.9	261	3.18	29.7	73.7	73.0	29.7	28.2	23.6	710
	330		80.0					248	3.34							947
18	67		17.1		2440	0	9.0	433	1.91	28.6	69.2	71.2	29.7	28.3	23.7	710
	69		17.5					423	1.96							947
19	200		50.0		2388	0	16.0	265	3.13	27.5	70.9	73.3	29.9	28.5	23.7	710
	205		51.2					259	3.20							947

CENEA/MA		TABELA 03				DESEMPENHO DO MOTOR				RELATÓRIO Nº: 1096/88				
DIVEN		TRATOR		TRATOR(marca/modelo): 4x2 AUX.		MOTOR (marca/modelo): 2		LOCAL DO ENSAIO: CENEA/MA		DATA: 02/02/88				
DESEMPENHO DO MOTOR A ROTAÇÃO CONSTANTE DE 2386 RPM														
No.	TORQUE Nm Nm*	POTENCIA kW kW*	ROTACAO MOTOR rpm	TDP rpm	HORARIO h/h	CONSUMO		TRABALHO		TEMPERATURAS			PRESSAO BARIOMET. mbar mmHg	
						ESPEC g/kWh	ESPEC g/kWh*	ESPEC g/kWh	ADM gC	ARR gC	MOT gC	COMB. gC		B.S gC
1	194 199	48.5 49.8	2386	0	15.8	269 262	3.08 3.16	30.9 30.4	71.9 71.5	72.6 74.5	30.6 31.2	29.2 29.7	24.9 24.9	945 709
2	188 193	47.0 48.3	2386	0	15.3	269 262	3.07 3.16	30.4 30.1	71.5 71.9	74.5 75.1	31.2 31.2	29.7 29.6	24.9 24.9	945 709
3	173 178	43.2 44.4	2386	0	14.2	272 265	3.04 3.12	30.4 30.4	71.9 71.6	75.1 74.8	31.2 31.2	29.6 29.6	24.9 24.9	945 709
4	157 161	39.2 40.3	2386	0	13.5	284 277	2.91 2.99	30.4 30.6	71.6 70.7	74.8 74.0	31.2 31.3	29.6 29.7	24.9 24.9	945 709
5	141 145	35.2 36.2	2386	0	12.3	290 282	2.85 2.93	30.6 30.7	70.7 69.5	74.0 73.8	31.3 31.4	29.7 29.7	24.9 24.9	945 709
6	126 129	31.5 32.3	2386	0	11.8	309 301	2.67 2.75	29.6 29.6	68.8 68.8	74.4 74.4	31.4 31.4	29.7 29.7	24.9 24.9	945 709
7	94 97	23.5 24.1	2386	0	9.9	349 340	2.37 2.43	30.2 30.2	67.7 67.7	74.3 74.3	31.5 31.5	29.7 29.7	24.9 24.9	945 709
8	63 65	15.7 16.2	2386	0	8.2	433 422	1.91 1.96	28.3 28.3	66.3 66.3	74.1 74.1	31.5 31.5	29.7 29.7	24.9 24.9	945 709
9	31 32	7.7 7.9	2386	0	6.7	711 694	1.16 1.19	29.3 29.3	65.8 65.8	73.3 73.3	31.6 31.6	29.7 29.7	24.8 24.8	945 709
10	0 0	0.0 0.0	2386	0	5.3	— —	0.00 0.00							

(*) VALORES REDUZIDOS SEGUNDO NBR 5484.

CENEA/MA		TABELA 04				DESEMPENHO DO MOTOR				RELATÓRIO Nº: 1096/88				
DIVEN	TRATOR (marca/modelo):		MOTOR (marca/modelo):		LOCAL DO ENSAIO:		DATA:		02/02/88					
	4x2 AUX.		2		CENEA/MA									
DESEMPENHO DO MOTOR A ROTAÇÃO CONSTANTE DE 2300 RPM														
No.	TORQUE NM NMx	POTENCIA kW kWx	ROTAÇÃO		CONSUMO		TRABALHO ESPEC g/kWh g/kWhx	T E M P E R A T U R A S				PRESSAO BAROMET. mbar mmHg		
			MOTOR rpm	TIP rpm	HONARIO l/h	ESPEC g/kWh		ADM uC	ARR uC	MOT uC	COMB. uC		B.S uC	B.U uC
1	313 330	75.4 79.3	2300	0	23.7	260 247	3.18 3.35	29.8	76.9	72.9	31.5	29.7	24.9	945 709
2	283 293	68.2 70.7	2300	0	21.0	255 246	3.25 3.37	30.9	75.0	74.5	31.2	29.7	24.9	945 709
3	251 258	60.5 62.1	2300	0	18.5	253 247	3.27 3.36	29.9	74.4	76.2	31.0	29.7	24.9	945 709
4	220 226	53.0 54.4	2300	0	16.4	256 249	3.23 3.32	29.2	73.2	76.7	31.1	29.7	24.9	945 709
5	188 193	45.3 46.5	2300	0	14.5	265 259	3.12 3.20	28.4	71.5	77.7	31.0	29.6	25.0	945 709
6	157 161	37.8 38.8	2300	0	12.6	276 269	3.00 3.07	28.5	70.5	78.3	31.0	29.6	25.0	945 709
7	126 129	30.3 31.1	2300	0	11.0	300 292	2.76 2.83	28.5	69.5	77.8	31.0	29.6	25.0	945 709
8	94 96	22.6 23.2	2300	0	9.4	344 335	2.41 2.47	28.6	68.4	77.3	31.1	29.6	25.0	945 709
9	63 65	15.2 15.6	2300	0	7.8	423 413	1.95 2.00	27.6	67.1	77.3	31.1	29.6	24.9	945 709
10	31 32	7.5 7.7	2300	0	6.4	706 689	1.17 1.20	27.4	66.3	76.7	31.1	29.5	24.9	945 709
11	0 0	0.0 0.0	2300	0	4.9	— —	0.00 0.00	28.0	65.5	74.1	31.3	29.5	24.8	945 709

(B) VALORES REDUZIDOS SEGUNDO NBR 5484.

DATA: 11/08/88

RELATÓRIO: 1096/88

TRATOR 4x2 AUX.

FOLHA: 97

CENEA/MA		TABELA 05		DESEMPENHO DO MOTOR		RELATÓRIO Nº: 1096/88	
DIVEN		TRATOR (marca/modelo): 4x2 AUX.		MOTOR (marca/modelo): 2		LOCAL DO ENSAIO: CENEA/MA	
						DATA: 02/02/88	

DESEMPENHO DO MOTOR A ROTAÇÃO CONSTANTE DE 2185 RPM

No.	TORQUE	POTENCIA		ROTAÇÃO		CONSUMO		TRABALHO		TEMPERATURAS				PRESSÃO		
		Nm	kW	MOTOR rpm	TDP rpm	HORARIO l/h	ESPEC g/kWh	ESPEC g/kWh	ADM oC	ARR oC	MOT oC	COMB. oC	B.S oC	B.U oC	BAROMET. mbar	mmHg
1	321 339	73.4 77.5		2185	0	22.8	257 244	3.22 3.39	28.9	76.6	71.7	30.9	29.5	24.8	945 709	
2	283 291	64.8 66.7		2185	0	19.2	246 238	3.37 3.47	28.9	76.7	72.7	30.7	29.4	24.8	945 709	
3	251 258	57.4 58.9		2185	0	17.2	247 241	3.35 3.44	29.4	74.2	72.9	30.5	29.3	24.7	945 709	
4	220 226	50.3 51.6		2185	0	15.2	250 244	3.31 3.40	28.9	72.5	73.5	30.5	29.3	24.7	945 709	
5	188 193	43.0 44.1		2185	0	13.6	261 255	3.17 3.25	29.3	71.4	73.7	30.6	29.4	24.7	945 709	
6	157 161	35.9 36.8		2185	0	11.9	275 268	3.01 3.09	28.0	69.8	74.2	30.6	29.3	24.7	945 709	
7	126 129	28.8 29.6		2185	0	10.1	291 283	2.85 2.92	29.1	68.5	73.7	30.7	29.3	24.7	945 709	
8	94 96	21.5 22.1		2185	0	8.8	337 329	2.45 2.52	29.3	67.8	73.4	30.8	29.3	24.7	945 709	
9	63 65	14.4 14.8		2185	0	7.5	428 417	1.93 1.98	29.1	66.9	73.3	30.9	29.3	24.7	945 709	
10	31 32	7.1 7.3		2185	0	5.8	676 659	1.22 1.25	28.4	66.0	72.7	31.0	29.3	24.7	945 709	
11	0 0	0.0 0.0		2185	0	4.5	— —	0.00 0.00	27.8	64.8	72.0	31.2	29.3	24.7	945 709	

CENEA/MA		TABELA 06				DESEMPENHO DO MOTOR										RELATÓRIO Nº: 1096/88	
DIVEN		TRATOR(marca/modelo): 4x2 AUX.				MOTOR (marca/modelo): 2				LOCAL DO ENSAIO: CENEA/MA				DATA: 03/02/88			
DESEMPENHO DO MOTOR A ROTAÇÃO CONSTANTE DE 1955 RPM																	
No.	TORQUE Nm Nm*	POTENCIA kW kW*	ROTACAO MOTOR rpm	TDP rpm	HORARIO L/h	CONSUMO ESPEC g/kWh	TRABALHO ESPEC g/kWh	ADM oC	TEMPERATURAS				PRESSAO BARMET. mbar mmHg				
									ARR oC	MOT oC	COMB. oC	B.U oC					
1	334 351	68.4 71.8	1955	0	20.4	247 235	3.36 3.53	27.7	76.7	71.5	27.0	26.3	22.8	947 710			
2	301 310	61.6 63.5	1955	0	17.5	236 229	3.52 3.62	27.8	75.2	71.9	27.2	26.5	22.9	947 710			
3	267 273	54.7 55.9	1955	0	15.6	237 232	3.50 3.59	27.2	73.1	72.1	27.5	26.6	23.0	947 710			
4	234 239	47.9 49.0	1955	0	14.1	244 238	3.41 3.48	26.6	71.9	72.1	27.5	26.6	23.0	947 710			
5	200 205	40.9 41.9	1955	0	12.4	251 245	3.31 3.39	26.9	70.7	71.8	27.7	26.6	23.0	947 710			
6	167 171	34.2 35.0	1955	0	10.7	261 255	3.18 3.26	26.5	69.0	71.6	27.9	26.7	23.1	947 710			
7	134 137	27.4 28.1	1955	0	9.3	282 275	2.95 3.01	26.8	68.0	71.6	28.0	26.7	23.1	947 710			
8	31 32	6.3 6.5	1955	0	7.7	984	0.82 0.84	26.6	66.7	71.0	28.2	26.8	23.1	947 710			
9	67 69	13.7 14.0	1955	0	6.2	377 368	2.20 2.25	26.6	65.1	70.0	28.3	26.8	23.1	947 710			
10	33 34	6.8 6.9	1955	0	5.0	617 603	1.34 1.37	26.2	64.7	69.9	28.5	26.8	23.1	947 710			
11	0 0	0.0 0.0	1955	0	3.5	— —	0.00 0.00	25.9	63.7	69.3	28.7	26.8	23.2	947 710			

18 VALORES REDUZIDOS SEGUNDO NBR 5484.

DATA: 11/08/88	RELATÓRIO: 1096/88	TRATOR 4x2 AUX.	FOLHA: 99
-------------------	-----------------------	--------------------	--------------

(*) VALORES REDUZIDOS SEGUNDO NBR 5484.

CENEA/MA		DESEMPENHO DO MOTOR				RELATÓRIO Nº: 1096/88								
DATA: 11/08/88		TABELA 07		MOTOR (marca /modelo): 4x2 AUX.		LOCAL DO ENSAIO: CENEA/MA								
DIVEN		TRATOR		TRATOR (marca /modelo): 4x2 AUX.		DATA: 03/02/88								
DESEMPENHO DO MOTOR A ROTAÇÃO CONSTANTE DE 1725 RPM														
Nº.	TORQUE Nm Nm*	POTENCIA kW kW*	ROTAÇÃO MOTOR rpm	TMP rpm	HORARIO l/h	CONSUMO		TRABALHO ESPEC g/kWh g/kWh*	TEMPERATURAS				PRESSAO BAROMET. mbar mmHg	
						ESPEC g/kWh	g/kWh*		ADM uC	ARR uC	MOT uC	COMB. uC		B.S uC
1	346 368	62.5 66.4	1725	0	19.0	251 236	3.30 3.50	29.6	79.0	68.5	29.8	28.3	24.2	947 710
2	283 290	51.1 52.5	1725	0	14.5	235 229	3.52 3.61	29.9	76.3	69.5	30.0	28.4	24.2	947 710
3	251 257	45.3 46.5	1725	0	12.9	235 229	3.52 3.62	29.5	74.4	70.0	30.0	28.4	24.3	947 710
4	220 226	39.7 40.8	1725	0	11.4	238 232	3.48 3.57	29.7	73.4	70.4	30.1	28.5	24.4	947 710
5	188 193	34.0 34.8	1725	0	9.9	241 235	3.44 3.53	29.7	72.1	70.5	30.2	28.5	24.4	947 710
6	157 161	28.4 29.1	1725	0	8.8	257 251	3.22 3.30	29.5	70.0	70.2	30.3	28.6	24.4	947 710
7	126 129	22.8 23.3	1725	0	7.6	276 270	3.00 3.07	28.5	68.8	69.7	30.4	28.7	24.5	947 710
8	94 96	17.0 17.4	1725	0	6.4	314 306	2.64 2.71	28.5	67.4	69.7	30.6	28.7	24.5	947 710
9	63 65	11.4 11.7	1725	0	5.3	384 375	2.16 2.21	28.1	66.3	69.3	30.7	28.7	24.5	947 710
10	31 32	5.6 5.7	1725	0	4.3	641 625	1.29 1.32	28.4	65.3	69.5	31.0	28.8	24.5	947 710
11	0 0	0.0 0.0	1725	0	3.0	— —	0.00 0.00	28.4	64.8	69.2	31.2	28.8	24.5	947 710

CENEA/MA		TABELA 08		DESEMPENHO DO MOTOR				RELATÓRIO Nº:						
TRATOR		TRATOR(marca/modelo): 4x2 AUX.		MOTOR (marca/modelo): 2		LOCAL DO ENSAIO: CENEA/VS		1096/88						
DIVEN		TRATOR		MOTOR		CENEA/VS		DATA: 03/02/88						
DESEMPENHO DO MOTOR A ROTAÇÃO CONSTANTE DE 1495 RPM														
No.	TORQUE NM NM*	POTENCIA KW LW*	ROTACAO MOTOR RPM	TDP RPM	HORARIO L/h	CONSUMO		TRABALHO ESPEC g/kWh	TEMPERATURAS				PRESSAO BAROMET. mmHg	
						ESPEC g/kWh	g/kWh*		ADM oC	AKR oC	MOT oC	COMB. oC		B.S oC
1	351 378	55.0 59.1	1495	0	16.7	252 234	3.28 3.53	34.1	82.5	73.5	32.9	31.1	26.0	947 710
2	314 327	49.2 51.3	1495	0	14.0	235 225	3.52 3.67	33.1	81.8	73.4	33.0	31.1	26.1	947 710
3	283 291	44.3 45.6	1495	0	12.3	230 223	3.59 3.70	32.7	79.5	73.0	33.1	31.1	26.1	947 710
4	251 258	39.3 40.4	1495	0	11.0	232 226	3.56 3.66	33.0	75.9	73.8	33.1	31.2	26.1	947 710
5	220 226	34.4 35.4	1495	0	9.9	236 230	3.49 3.59	31.6	72.8	73.9	33.0	31.2	26.1	947 710
6	188 193	29.4 30.3	1495	0	8.6	241 234	3.42 3.52	32.0	71.9	73.6	33.2	31.2	26.2	947 710
7	157 162	24.6 25.3	1495	0	7.6	255 248	3.23 3.33	32.2	71.5	73.7	33.2	31.2	26.2	947 710
8	126 130	19.7 20.3	1495	0	6.4	270 262	3.06 3.15	32.1	70.5	73.5	33.4	31.1	26.1	947 710
9	94 97	14.7 15.1	1495	0	5.5	308 300	2.68 2.75	32.1	69.0	72.9	33.6	31.1	26.1	947 710
10	63 65	9.9 10.1	1495	0	4.6	301 371	2.17 2.23	29.9	66.8	71.5	33.6	31.1	26.1	947 710
11	31 32	4.9 5.0	1495	0	2.6	610 594	1.35 1.39	30.3	65.1	70.7	33.7	31.0	26.1	947 710
12	0 0	0.0 0.0	1495	0	2.4	— —	0.00 0.00	31.1	64.5	69.8	33.8	31.0	26.2	947 710

(8) VALORES REDUZIDOS SEGUNDO NBR 5484.

CENEA/MA		TABELA 09		DESEMPENHO DO MOTOR		RELATÓRIO Nº: 1096/88	
DIVEN		TRATOR		MOTOR (marca/modelo): 4x2 AUX.		LOCAL DO ENSAIO: CENEA/MA	
				MOTOR (marca/modelo): 2		DATA: 03/02/88	

DESEMPENHO DO MOTOR A ROTAÇÃO CONSTANTE DE 1265 RPM

No.	TORQUE		POTENCIA		ROTAÇÃO		CONSUMO		TRABALHO		TEMPERATURAS					PRESSÃO	
	Nm	Nm*	kW	kW*	MOTOR	RPM	HORARIO	L/h	ESPEC	ESPEC	ADM	ARR	MOI	COMB.	B.S	B.U	BAROMET.
																	mmHg
1	352		46.6			1265	0	14.4	256	3.23	32.2	83.0	68.7	33.0	31.6	26.5	944
	380		50.4						237	3.49							708
2	314		41.6			1265	0	12.1	240	3.44	32.7	82.8	69.0	33.1	31.6	26.6	944
	329		43.6						229	3.60							708
3	283		37.5			1265	0	10.4	230	3.60	33.6	80.4	69.2	33.2	31.6	26.7	944
	292		38.7						223	3.71							708
4	251		33.3			1265	0	9.2	228	3.62	32.0	78.4	69.5	33.3	31.6	26.4	944
	258		34.2						222	3.73							708
5	220		29.1			1265	0	8.2	234	3.53	32.6	75.7	69.9	33.3	31.5	26.4	944
	227		30.0						227	3.64							708
6	188		24.9			1265	0	7.3	241	3.42	31.8	73.3	70.2	33.3	31.4	26.4	944
	194		25.6						235	3.52							708
7	157		20.8			1265	0	6.3	251	3.29	31.7	71.2	70.4	33.5	31.5	26.4	944
	162		21.4						243	3.39							708
8	126		16.7			1265	0	5.5	272	3.04	31.7	70.6	70.4	33.5	31.5	26.3	944
	130		17.2						264	3.13							708
9	94		12.6			1265	0	4.6	308	2.68	30.8	69.7	70.1	33.7	31.4	26.1	944
	97		12.8						299	2.76							708
10	63		8.3			1265	0	3.8	379	2.18	31.2	68.4	69.9	33.9	31.4	26.1	944
	65		8.6						368	2.24							708
11	31		4.1			1265	0	3.0	603	1.37	31.3	67.1	69.2	34.0	31.4	26.2	944
	32		4.2						586	1.41							708
12	0		0.0			1265	0	2.0	—	0.00	31.2	65.8	68.3	34.4	31.4	26.2	944
	0		0.0						—	0.00							708

(8) VALORES REDUZIDOS SEGUNDO NBR 5484.

CENEA/MA		TABELA 10				DESEMPENHO DO MOTOR				RELATÓRIO Nº: 1096/88				
DIVEN		TRATOR (marca/modelo): 4x2 AUX.		MOTOR (marca/modelo): 2		LOCAL DO ENSAIO: CENEA/MA				DATA: 04/02/88				
DESEMPENHO DO MOTOR A ROTAÇÃO CONSTANTE DE 1035 RPM														
No.	FORÇA Nm Nm*	POTÊNCIA kW kW*	RUFACHO		CONSUMO		INABALHO ESPEC g/kWh g/kWh*	TEMPERATURAS				PRESSÃO BORNET. mbar mmHg		
			MOTOR rpm	TDP rpm	HORARIO 1/h	ESPEC g/kWh g/kWh*		ADM oC	ARR oC	NOT oC	COMB. oC		B.S oC	
1	357 378	38,7 41,0	1035	0	11,8	234 239	3,27 3,47	24,9	80,9	71,1	27,0	26,6	23,1	947 710
2	314 324	34,0 35,1	1035	0	9,6	233 226	3,56 3,67	24,9	80,7	71,3	27,2	26,5	23,0	947 710
3	283 289	30,7 31,3	1035	0	8,6	232 227	3,58 3,65	24,8	75,6	72,2	27,3	26,5	23,0	947 710
4	251 257	27,2 27,8	1035	0	7,6	232 227	3,57 3,65	25,2	74,1	72,7	27,3	26,5	23,1	947 710
5	220 225	23,8 24,4	1035	0	6,8	238 232	3,49 3,57	25,5	73,2	71,9	27,5	26,5	23,1	947 710
6	188 192	20,4 20,8	1035	0	6,0	243 238	3,41 3,48	24,6	71,4	70,3	27,7	26,6	23,1	947 710
7	157 160	17,0 17,4	1035	0	5,2	252 246	3,30 3,37	25,2	69,8	70,1	27,8	26,6	23,1	947 710
8	126 129	13,7 14,0	1035	0	4,5	272 265	3,05 3,12	25,4	68,2	69,2	28,1	26,6	23,1	947 710
9	94 96	10,2 10,4	1035	0	3,9	320 313	2,60 2,65	23,5	66,7	68,0	28,3	26,7	23,1	947 710
10	63 64	6,8 7,0	1035	0	3,0	368 360	2,25 2,30	24,3	65,0	67,2	28,3	26,7	23,2	947 710
11	31 32	3,4 3,4	1035	0	2,4	597 584	1,39 1,42	24,4	63,8	65,6	28,4	26,6	23,2	947 710
12	0 0	0,0 0,0	1035	0	1,3	— —	0,00 0,00	24,7	63,6	63,3	28,9	26,7	23,1	947 710

(8) VALORES REDUZIDOS SEGUNDO NBR 5484.

DATA:
11/08/88

RELATÓRIO:
1096/88

TRATOR
4x2 AUX.

FOLHA:
103

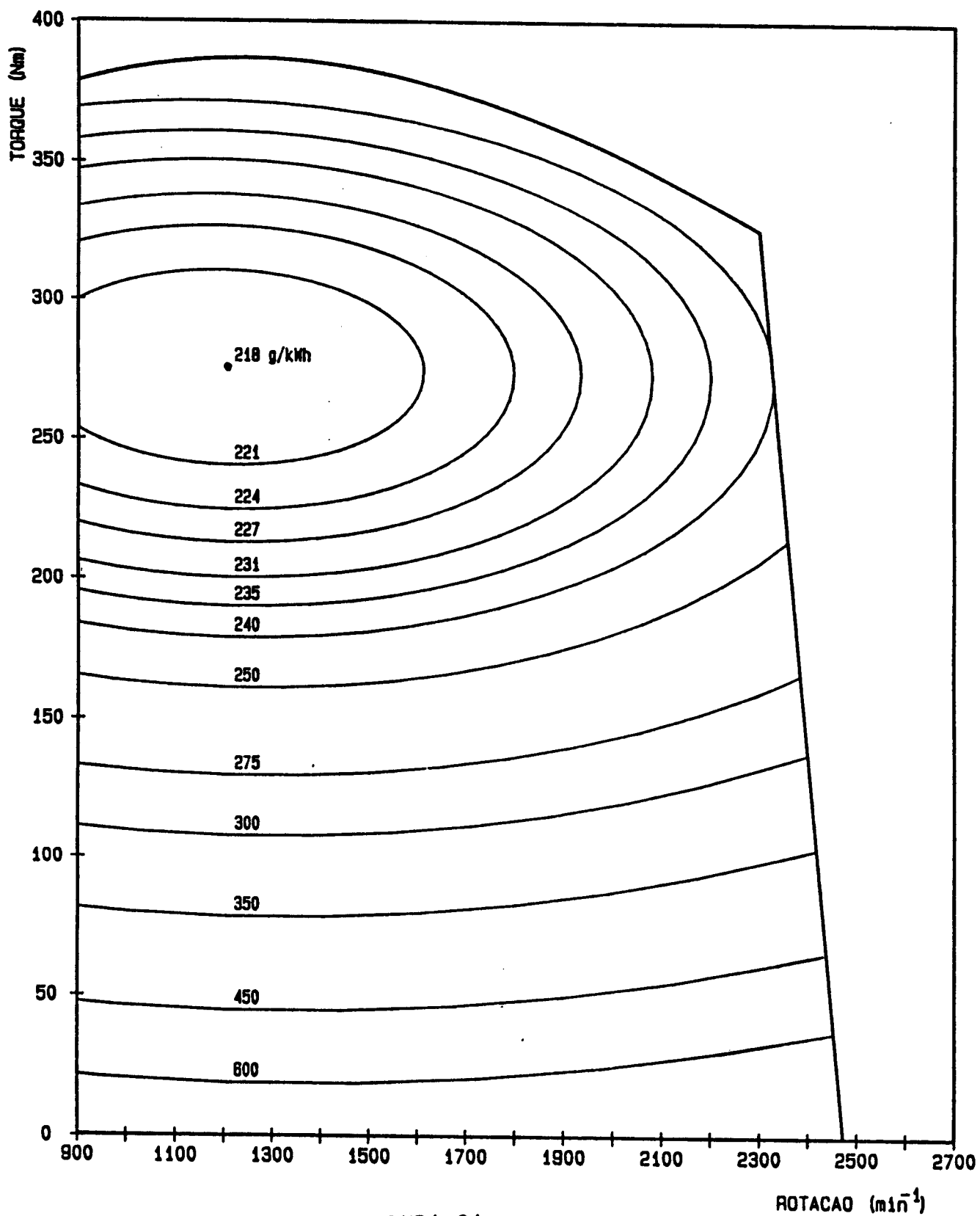


FIGURA 01

DATA	RELATÓRIO	TRATOR	4x2 AUX.	FOLHA
11/08/88	1096/88			104

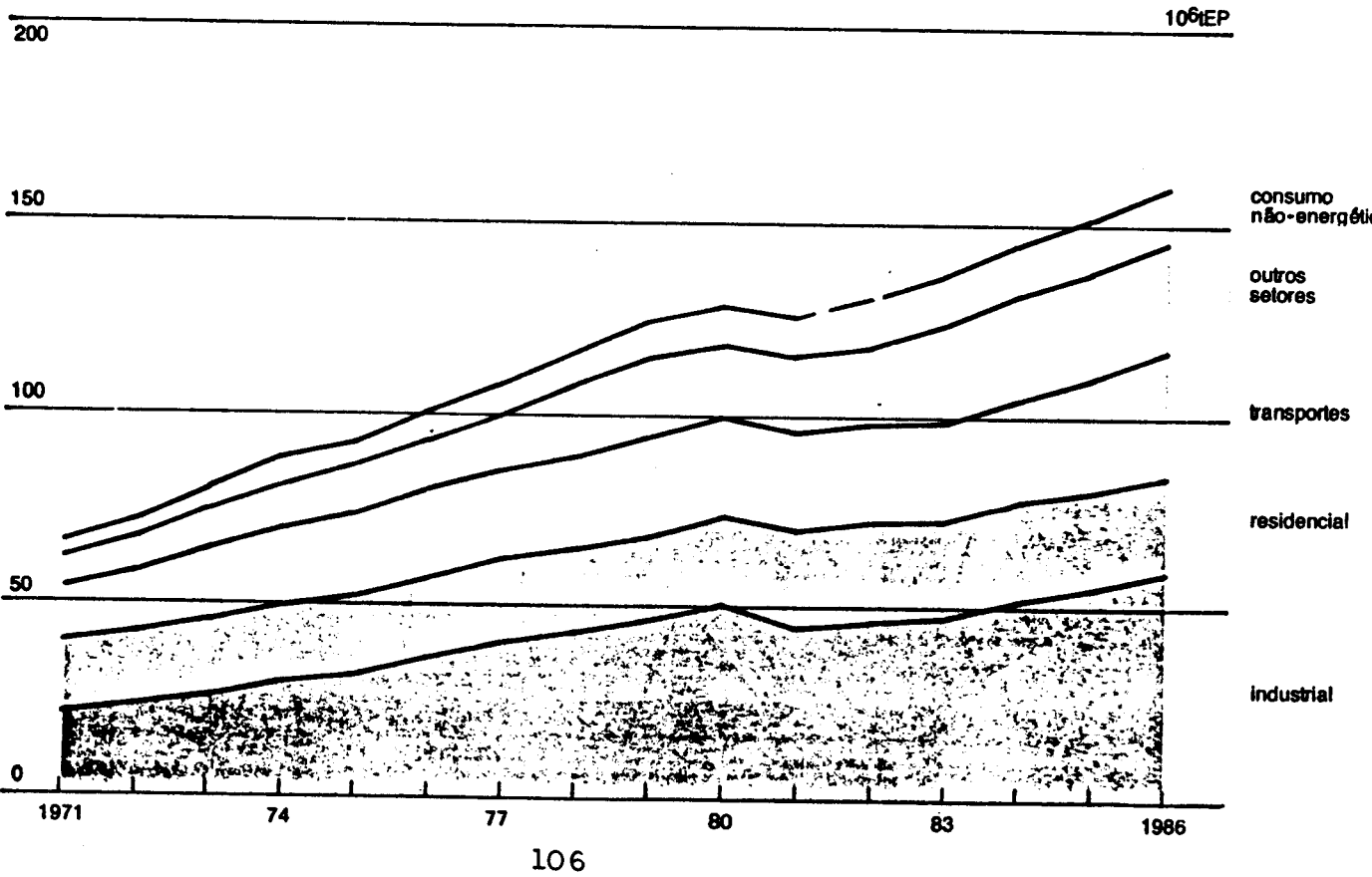
ANEXO 3

**- EVOLUÇÃO DO CONSUMO FINAL DAS FONTES DE ENERGIAS PRIMARIAS
E SECUNDÁRIAS DO BRASIL NO PERÍODO DE 1971/86 (BEN-87) -**

Evolução do consumo final por setor

10 ⁶ EP																
SETOR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Consumo final	66.161	72.689	81.440	87.981	92.790	101.558	107.945	118.528	124.206	128.836	125.471	130.108	134.456	142.895	150.943	160.286
Cons. final não energ.	3.551	4.402	5.576	5.942	5.793	6.404	7.929	8.391	8.983	9.883	10.181	11.040	12.060	12.936	13.970	14.524
Cons. final energ.	62.610	68.287	75.864	82.039	86.997	95.154	100.316	107.137	114.223	118.953	115.290	119.068	122.396	129.959	136.973	145.762
Setor energético	2.314	2.450	2.843	3.319	3.491	3.817	4.098	4.894	5.713	5.916	6.088	7.010	7.977	8.985	10.804	10.052
Residencial	18.480	18.966	19.482	20.042	20.598	21.451	21.844	22.268	22.787	23.406	23.932	24.679	25.412	25.703	25.025	25.268
Comercial	2.176	2.428	2.701	3.001	3.299	3.617	3.812	4.147	4.496	4.881	4.975	5.293	5.689	5.817	5.914	6.394
Público	1.330	1.491	1.614	1.798	2.031	2.178	2.429	2.644	2.885	3.179	3.361	3.679	4.092	4.251	4.405	4.524
Agropecuário	3.215	3.330	3.845	4.044	4.242	4.994	5.192	5.507	5.844	6.272	6.577	6.743	6.553	6.861	6.875	7.441
Transportes	14.076	15.980	18.452	20.071	21.236	22.520	22.292	24.124	25.574	24.872	24.537	25.493	25.119	25.800	27.905	31.679
Rodoviário	12.364	14.075	15.792	16.491	17.539	18.488	18.666	20.183	21.050	20.842	19.968	20.928	20.824	21.451	23.048	26.874
Ferrovário	600	596	623	696	715	754	728	733	795	845	836	855	880	899	917	929
Aéreo	744	841	1.067	1.217	1.293	1.431	1.460	1.498	1.716	1.703	1.899	1.929	1.807	1.712	1.803	2.214
Hidroviário	368	448	970	1.667	1.689	1.847	1.438	1.730	2.013	1.482	1.834	1.783	1.608	1.738	2.137	1.662
Industrial	21.039	23.662	26.927	29.756	32.077	36.577	40.621	43.511	46.923	50.427	45.820	46.125	47.512	52.635	56.194	60.359
Cimento	1.616	1.831	2.055	2.294	2.469	2.875	3.109	3.349	3.339	3.470	3.400	3.371	2.492	2.308	2.566	2.974
Ferro-gusa e aço	4.040	4.607	4.876	5.822	6.866	7.220	8.121	8.458	9.668	10.246	8.831	8.954	9.893	12.659	13.712	14.460
Ferro-ligas	280	311	355	410	496	560	652	720	785	1.046	1.122	1.276	1.319	1.510	1.646	1.720
Mineração pelotiz.	446	508	851	1.022	1.175	1.250	1.455	1.905	2.073	2.351	2.313	2.273	2.401	2.549	2.456	2.255
Não fer./out. metal	1.065	1.322	1.823	1.900	2.194	2.546	2.922	3.198	3.780	3.927	3.353	3.557	4.204	5.010	5.917	7.265
Química	1.975	2.292	2.504	2.810	2.950	3.446	4.086	4.507	5.389	5.813	5.041	4.941	5.382	5.817	6.633	6.892
Alimentos e beb.	5.159	5.744	6.346	6.641	6.621	7.411	8.501	8.305	8.063	8.802	8.709	8.613	8.785	9.081	9.034	8.994
Têxtil	1.203	1.317	1.437	1.555	1.636	1.816	1.860	1.924	2.048	2.193	1.992	2.067	1.892	2.015	2.062	2.282
Papel e celulose	1.076	1.154	1.386	1.552	1.702	2.412	2.576	2.526	2.710	2.844	2.759	2.794	2.895	2.907	3.190	3.434
Cerâmica	1.405	1.456	1.516	1.668	1.715	2.052	2.159	2.172	2.345	2.557	2.458	2.327	2.231	2.145	2.187	2.426
Outros	2.774	3.120	3.778	4.082	4.253	4.987	5.180	6.447	6.743	7.178	5.842	5.552	6.018	6.634	6.791	7.657
Consumo não-ident.	-	-	-	8	23	-	28	42	1	-	-	46	42	107	51	45

Evolução do consumo final por setor



Evolução do consumo final por setor

SECTOR	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Consumo final	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Cons. final não energ.	5,4	6,1	6,9	6,8	6,3	6,3	7,1	7,3	8,1	7,7	8,1	8,5	9,0	9,1	9,3	9,1
Cons. final energ.	94,6	93,9	93,1	93,2	93,7	93,7	92,9	92,7	91,9	92,3	91,9	91,5	91,0	90,9	90,7	90,9
Sector energético	3,5	3,4	3,5	3,7	3,7	3,8	3,8	4,2	4,6	4,6	4,9	5,4	5,9	6,3	7,0	6,3
Residencial	27,9	28,0	23,9	22,8	22,1	21,1	20,2	19,3	18,3	18,2	19,1	19,1	18,9	18,0	18,6	15,8
Comercial	3,3	3,3	3,3	3,4	3,6	3,6	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	4,0	4,1	4,2	3,9	4,0
Público	2,0	2,1	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,5	2,7	2,8	3,0	2,0	2,9	2,8
Agropecuário	4,9	4,6	4,6	4,6	4,6	4,9	4,8	4,8	4,7	4,9	5,3	5,1	4,9	4,7	4,6	4,6
Transportes	21,3	22,0	22,6	22,8	23,0	22,1	20,7	20,9	20,6	19,2	19,5	19,6	18,7	18,0	18,5	19,7
Rodoviário	18,7	19,4	19,3	18,7	18,0	18,2	17,3	17,4	17,0	16,1	15,8	16,0	15,5	15,0	15,3	16,7
Ferrovário	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,6
Aéreo	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,5	1,5	1,3	1,2	1,2	1,4
Hidroviário	0,6	0,6	1,2	1,9	1,8	1,8	1,3	1,6	1,6	1,2	1,5	1,4	1,2	1,2	1,4	1,0
Industrial	31,7	32,5	33,0	33,8	34,5	36,0	37,6	37,6	37,8	39,1	36,5	35,4	35,4	26,7	37,2	37,7
Cimento	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,8	2,9	2,9	2,7	2,7	2,7	2,6	1,9	1,6	1,7	1,9
Ferro-gusa e aço	6,1	6,3	5,9	6,6	7,3	7,1	7,5	7,3	7,7	7,9	7,0	6,8	7,3	8,8	9,1	9,1
Ferro-ligas	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
Mineração/petrol.	0,7	0,7	1,1	1,2	1,3	1,2	1,4	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,4
Não fer./out. metal	1,6	1,8	2,3	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	3,1	3,1	2,7	2,7	3,1	2,5	3,9	4,5
Química	3,0	3,2	3,1	3,1	3,2	3,4	3,8	3,9	4,4	4,5	4,0	3,8	4,0	4,1	4,4	4,3
Alimentos e bebidas	7,8	7,9	7,7	7,5	7,2	7,3	7,8	7,1	6,5	6,8	7,0	6,6	6,6	6,4	6,0	5,6
Têxtil	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4
Papel e celulose	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	2,4	2,4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	2,1	2,1
Cerâmica	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	1,9	1,9	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,5
Outros	4,2	4,3	4,6	4,6	4,5	4,9	4,8	5,5	5,3	5,6	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,8
Consumo não-ident.	-	-	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0

Evolução do consumo final por setor — %

