


Parecer

Este exemplar corresponde a redação final
da Dissertação de Mestrado defendida por
Nelson Luis Cappelli e aprovada pela Co-
missão julgadora em 22 de junho de 1990
Campinas, 31 de julho de 1990


Cláudio Bianchi Sverzut
Presidente da Comissão

SISTEMA DE INFORMAÇÃO AO OPERADOR


DO TRATOR AGRÍCOLA - SITA

CAPPELLI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS AGRICOLAS

SISTEMA DE INFORMAÇÃO AO OPERADOR
DO TRATOR AGRÍCOLA (SITA).

por

Nelson Luis Cappelli 

ORIENTADOR : Prof. Dr. Cláudio Bianor Sverzut 

Dissertação apresentada à Comissão
de Pós-Graduação da Faculdade de
Engenharia Agrícola como requisito
parcial para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola.

Campinas - São Paulo - Brasil

(ABRIL/90)

Ao meu pai, Nelson (in memoriam).

À minha mãe, Vera.

À minha esposa, Regina.

Aos meus filhos, Rafael e Ana Paula.

AGRADECIMENTOS

À Companhia Brasileira de Tratores - CBT,
pelo empréstimo do trator.

À Massey-Perkins S.A., pelo empréstimo do
motor do trator.

Ao Centro Nacional de Engenharia Agrícola -
CENEA, por ter permitido a utilização de sua sala
dinamométrica.

Ao Prof. Dr. Claudio Bianor Sverzut pela
orientação deste trabalho.

Ao Prof. Antonio José da Silva Maciel pela
ajuda e incentivo.

Ao engenheiro agrícola Paulo Renato Hermann,
pelo apoio e incentivo.

Ao técnico eletrônico Marcos Aurélio Miguel,
pelo auxílio no projeto, construção e testes do SITA.

Ao técnico do CENEA, Sr. Benedito L. Miranda,
pela ajuda prestada na fase de aquisição de dados.

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

RESUMO

Um sistema de informação ao operador do trator agrícola, equipado com motor Diesel, foi projetado, construído e testado em laboratório.

Foi utilizado o método da medição da diferença de temperatura entre os gases de escape e de admissão do motor para a determinação indireta do torque, da potência e do consumo horário de combustível.

As curvas de isoconsumo do motor foram levantadas através da TDP e, com isto, obteve-se as equações de regressão do torque, da potência e do consumo horário em função da diferença de temperatura, da rotação do motor, do quadrado da diferença de temperatura, do quadrado da rotação do motor e do produto da diferença de temperatura pela rotação do motor. Em todos os casos foram observados coeficientes de determinação superiores a 0,99. O consumo específico de combustível foi calculado com base nos resultados das equações acima citadas.

Um sistema de aquisição, processamento e apresentação de dados foi desenvolvido baseado no microprocessador Z-80A e testado com o trator acoplado a um dinamômetro. Os dados apresentados ao operador são ; nível de rotação, nível de potência, consumo horário de combustível e nível de consumo específico acima do mínimo.

ABSTRACT

A tractor Diesel engine information system was developed, built, and laboratory tested at the Department of Power and Machinery in State University of Campinas.

Temperature difference between engine exhaustion and admission gases and engine speed were used to indirectly estimate torque, power and diesel consumption.

The speed and power range of a Diesel engine were taken from the PTO shaft. Based on these curves data, regression equations on torque, power, and fuel consumption were written as a function of temperature difference, engine speed, squared temperature difference, squared engine speed, and engine speed times temperature difference. For these three variables, the determination coefficients were above 0.99. Based on the equation cited above the specific fuel consumption was calculated.

A data acquisition system, processing, and display unit were developed based on a Z-80A microprocessor and tested with a Eddy current dynamometer attached to the PTO shaft. Engine speed level, power level, fuel consumption per hour and specific fuel consumption above the minimum value are showed to the operator through the display unit.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
SUMÁRIO.....	vi
SÍMBOLOS UTILIZADOS.....	ix
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - OBJETIVOS.....	4
3 - REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA.....	5
3.1 - Perspectiva de desenvolvimento dos motores	
Diesel.....	5
3.2 - Curvas de isoconsumo e sua utilização.....	22
3.3 - Fatores de influência sôbre a capacidade de campo e o consumo de energia na utilização de tratores agrícolas de rodas.....	28
3.4 - Sistemas de aquisição de dados em tratores agrícolas.....	63
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	77
4.1 - Trator Agrícola.....	77
4.2 - Método de determinação da curva de potência efetiva líquida observada na TDP.....	80
4.3 - Método de determinação das curvas de desempenho à rotações constantes.....	83

4.4 - Método de determinação das curvas de parâmetros múltiplos ou de isoconsumo e de iso-diferença de temperatura.....	84
4.5 - Método de determinação indireta do torque, do consumo horário e da potência do motor....	86
4.6 - Sistema de informação ao operador do trator agrícola.....	87
4.7 - Verificação do funcionamento do SITA.....	91
5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	93
5.1 - Curva de potência efetiva líquida observada, torque e consumo específico de combustível na TDP do trator.....	93
5.2 - Curvas de desempenho à rotações constantes...	96
5.3 - Curvas de isoconsumo e de iso-diferença de temperatura.....	103
5.4 - Ajustagem do torque em função da diferença de temperatura e da rotação.....	107
5.5 - Ajustagem do consumo horário em função da diferença de temperatura e da rotação.....	117
5.6 - Ajustagem da potência em função da diferença de temperatura e da rotação.....	127
5.7 - Curvas de consumo específico de combustível em função da diferença de temperatura e da rotação.....	137

5.8 - Curvas de torque em função do consumo horário de combustível e da rotação.....	138
5.9 - Curva de percentual de economia de combustível.....	140
5.10 - Projeto eletrônico.....	142
5.10.1 - Transdutor de temperatura.....	142
5.10.2 - Transdutor de rotação.....	142
5.10.3 - Interfaces de entrada e saída.....	145
5.10.4 - Fonte de alimentação.....	148
5.10.5 - Montagem do SITA.....	149
5.10.6 - Programa monitor.....	153
5.10.7 - Resultados dos testes dinamométricos.....	155
<hr/>	
6 - CONCLUSÕES.....	170
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	174
8 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	179
9 - APÊNDICES.....	182
9.1 - Dados do ensaio da TDP.....	182
9.2 - Fluxograma do programa monitor.....	196
9.3 - Programa monitor.....	197
9.4 - Dados do teste de verificação.....	223
9.5 - Lista de materiais.....	225

SÍMBOLOS UTILIZADOS

CE = Consumo específico de combustível na TDP, [g/kW.h];

CED = Consumo específico de combustível indicado pelo
dinamômetro, [g/kW.h];

CES = Consumo específico de combustível indicado pelo
SITA, [g/kW.h];

CE_r = Consumo específico relativo de combustível na TDP,
[%];

CH = Consumo horário de combustível, [l/h];

CHD = Consumo horário de combustível indicado pelo
dinamômetro, [g/kW.h];

CHS = Consumo horário de combustível indicado pelo SITA,
[g/kW.h];

CH_r = Consumo horário relativo de combustível, [%];

C_e = Consumo específico de combustível, [g/kW.h];

$C_{e_{mim}}$ = Consumo específico mínimo de combustível, [g/kW.h];

C_t = Coeficiente de tração, [%];

C_0 a C_5 = Constantes das equações de regressão;

D = Densidade do óleo Diesel, [g/l];

DT = Diferença de temperatura entre os gases de escape e
de admissão do motor, [°C];

DT^2 = Diferença de temperatura ao quadrado, [°C];

d = Deslizamento da roda motora, [%];

FL = Consumo horário de combustível, [l/h];

F_t = Força de tração, [N];

kW = Potência na tomada de potência, [kW];

l = Largura de trabalho, [m];

NF = Consumo líquido de combustível, [cm³/1000rotações];

P = Potência na TDP, [kW];

PA₀ a PA₇ = Barramento de entrada de dados da interface paralela 8255-A;

PC₀ a PC₅ = Linhas de seleção de dados da interface paralela 8255-A;

PD = Potência na TDP indicada pelo dinamômetro, [kW];

PS = Potência na TDP indicada pelo SITA, [kW];

P_n = Potência nominal do motor, [kW];

P_r = Potência relativa na TDP, [%];

p = Profundidade de corte, [m].

R = Rotação do motor, [min⁻¹];

R² = Rotação do motor ao quadrado, [min⁻¹];

RD = Rotação indicada pelo dinamômetro, [min⁻¹];

RS = Rotação indicada pelo SITA, [min⁻¹];

R_r = Resistência ao rolamento;

R_r = Rotação relativa do motor, [%];

r² = Coeficiente de determinação;

I = Torque no eixo do motor, [Nm];

TDP = Tomada de Potência;

TQ = Torque no eixo da TDP, [Nm];

T_a = Temperatura do ar de admissão do motor, [$^{\circ}$ C];
 T_{ar} = Temperatura do fluido de arrefecimento, [$^{\circ}$ C];
 T_{bs} = Temperatura de bulbo seco, [$^{\circ}$ C];
 T_{bu} = Temperatura de bulbo úmido, [$^{\circ}$ C];
 T_c = Temperatura do óleo Diesel, [$^{\circ}$ C];
 T_e = Temperatura dos gases de escape do motor, [$^{\circ}$ C];
 T_{om} = Temperatura do óleo lubrificante, [$^{\circ}$ C];
 T_r = Torque relativo na TDP, [%];
 t = Tempo de consumo de combustível, [s];
 v = Velocidade de deslocamento, [km/h];
 λ = Nível de utilização da potência nominal do motor, [%];
 η_m = Eficiência global do motor, [%];
 β = Razão entre a carga no pneu e sua capacidade nominal;

η_{mt} = Eficiência de transmissão motor-TDP, [%];
 η = Eficiência de transmissão motor-roda, [%];
 η_t = Eficiência de tração, [%];
 γ = Razão peso-potência, [kgf/kW];

1. INTRODUÇÃO

Na medida em que a receita líquida dos produtores agrícolas se comprime, por um lado pressionada pelos altos custos da produção, e por outro pela baixa remuneração obtida na venda dos produtos, a utilização eficiente dos meios de produção torna-se cada vez mais importante.

O momento econômico nacional, a exemplo do mundial, exige maior eficiência dos meios de produção, não só para se conseguir a colocação de um produto competitivo no mercado, mas também para garantir uma margem de lucro compatível com a atividade e possibilitar novos investimentos no setor.

Uma parcela considerável dos custos de produção agrícola refere-se à utilização de máquinas e equipamentos, especialmente no que diz respeito à unidade de potência da agricultura - o trator agrícola. A otimização de seu desempenho global, e mais especificamente, a melhor utilização do potencial de seu motor, diminuindo-se assim o consumo de óleo Diesel, que por ser um dos fatores na queda dos custos de produção, torna-se um requisito fundamental.

Isto, aliado ao fato de que a quase totalidade dos transportes coletivos e de produtos nacionais, bem como o processo produtivo agrícola e algumas unidades termo-elétricas suportam-se no consumo de óleo Diesel, gerando assim um problema nacional quanto ao seu subsídio por parte do governo, e com o conseqüente excedente de gasolina gerado, exige ações no sentido de diminuir seu consumo.

Um considerável esforço, por parte dos pesquisadores, tem sido feito no sentido de se desenvolver novas tecnologias, no que se refere a novos combustíveis e motores, que venham a fazer, entre outros, o trator agrícola menos dependente do tradicional óleo Diesel. Apesar desta ser uma importante área da pesquisa, há ainda um vasto potencial a ser explorado afim de se reduzir o consumo de óleo Diesel, necessário ao processo produtivo agrícola, através da otimização das práticas de cultivo e da utilização dos equipamentos disponíveis.

Notadamente, no que diz respeito à utilização do trator agrícola, sabe-se que com o entendimento, por parte do operador, das características de desempenho do motor é possível selecionar adequadamente o tamanho do implemento a ser utilizado, bem como, a combinação correta da rotação do motor e da relação de transmissão da caixa de mudanças minimizando assim, o consumo específico de combustível.

Apesar disto, nota-se que os operadores brasileiros, na realização de suas tarefas, baseiam-se em suas experiências individuais e nas poucas informações obtidas no painel de instrumentos do trator, sendo necessário, portanto, não só fornecer-lhes um treinamento adequado, mas também informações suplementares que lhes possibilitem a escolha do modo otimizado de operação do trator agrícola.

Tais informações podem ser oferecidas através de um sistema eletrônico de informação que apresente dados quanto ao ponto de funcionamento do motor, de maneira clara e de fácil entendimento por parte do operador.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho visa :

- Projetar, construir e colocar à disposição dos operadores, um equipamento (Sistema de Informação ao Operador do Trator Agrícola - SITA) capaz de auxiliar a otimização na utilização dos tratores agrícolas, equipados com motores de ciclo Diesel;

- ~~Levantar as curvas de isoconsumo do motor do trator, através de sua Tomada de Potência (TDP);~~

- Verificar o desempenho do SITA através de testes de laboratório.

3 - REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

3.1 - Perspectiva de desenvolvimento dos motores Diesel.

MILLAR (1985), vice-presidente da Deere & Company, comentando o desenvolvimento dos motores Diesel e sua perspectiva para o futuro, menciona que:

Os motores de ciclo Diesel tem tido um enorme progresso desde que o primeiro motor de baixa rotação, foi introduzido na virada do século. Até meados dos anos 30, o motor Diesel, ou mais precisamente, o motor de ignição por compressão de ciclo híbrido, destinou-se a unidades de potência estacionárias, plantas de refrigeração, grandes geradores, e alguns barcos. Na metade dos anos 30, diversos motores Diesel de alta velocidade começaram a ter aplicações em transporte sendo que um motor particularmente único apareceu para o uso na aviação.

Neste período, provavelmente o mais importante desenvolvimento foi no campo dos equipamentos de injeção de combustível. O sistema pioneiro, bomba em linha e bicos, de Robert Bosch, mostrou suficiente pressão e capacidade de controle que tornaram possíveis os motores com câmara aberta. Sob a gerência de C. F. Kettering a General Motors lançou a série 71 com o pioneirismo de usar unidades injetoras, compressores do tipo ROOTS e um conceito modular de projeto, utilizada como padrão de motor para pequenas unidades da maninha norte americana.

Neste mesmo período, Clessie Cummins introduziu uma versão do motor Diesel com a utilização de dosadores de baixa pressão com unidades injetoras acionadas por cames. Esta combinação permitiu que os motores alcançassem rotações acima de qualquer uma obtida por seus predecessores.

A contínua introdução de equipamentos de injeção de combustível de maiores velocidades, pressão e capacidade de dosagem, após a Segunda Grande Guerra, possibilitou aos projetistas de motores introduzir novos desenvolvimentos. O eventual domínio dos motores Diesel de câmara aberta, na maioria das aplicações comerciais, foi um resultado direto do baixo consumo de combustível que o projeto deste tipo de câmara permite, devido em parte à razão superfície/volume substancialmente maior da câmara de combustão, quando comparado com os mais tradicionais motores

de injeção indireta ou de pré-câmara.

O segundo salto no desenvolvimento dos motores Diesel deu-se na década de 50, com a introdução dos turbo-compressores. Desde seu aparecimento o turbo-compressor tem sofrido um constante progresso e hoje operam em maiores pressões, maiores eficiências e estão progressivamente disponíveis a custos reais menores.

A terceira maior inovação tecnológica apareceu nos anos 60, com a introdução comercial do trocador de calor do ar de admissão (Intercooling). Deere & Company foi o primeiro a introduzir o "intercooling" em sua série 404 de motores de tratores industriais e agrícolas. O resfriamento do ar de admissão foi conseguido pelo uso de um trocador de calor ar-água usando o lado frio de um circuito relativamente comum de arrefecimento do motor.

A maior realização na ampliação das aplicações dos motores Diesel, foi a introdução nos anos 50, da bomba injetora distribuidora tipo ROOSA-MASTER inventada por Vernon Roosa. A bomba distribuidora foi uma inusitada e imaginativa aproximação do sistema de injeção com bomba em linha, e tornou disponíveis sistemas de injeção com custos bastante reduzido aos projetistas de motores de baixa potência. Estes motores, embora modestos em desempenho para os padrões atuais, tornaram-se disponíveis em uma larga faixa de aplicações agrícolas e industriais, constituindo-se na primeira legítima substituição dos motores de ignição por

centelha acionados à gasolina.

Novos materiais começaram a surgir, o que possibilitou aos fabricantes de motores satisfazer a demanda dos usuários pela confiabilidade do produto. O ferro nodular tornou-se disponível, bem como outras ligas de aço para uso nos componentes de motores, que demandavam altas resistências e melhorias na fadiga térmica.

As áreas tradicionais dos equipamentos de injeção, equipamentos de tratamento do ar e aplicação de materiais, terão um desenvolvimento substancialmente maior do que tem tradicionalmente tido nesta indústria. Parece definitivo que as unidades injetoras controladas por microprocessadores e acionadas mecânicamente, hidráulicamente ou eletricamente serão, antes do fim da década, equipamentos padrão nos motores Diesel comerciais. A baixa sensibilidade da unidade injetora às grandes variações da velocidade do motor somada a capacidade lógica do microprocessador dará aos projetistas um novo espectro de capacidade de ar, combustível, velocidade e torque, desconhecido e indisponível aos seus predecessores. A chave do sucesso das aplicações destas tecnologias reside no completo reprojeto do motor, e aplicações que evitem a atividade quase primitiva de simplesmente informatizar ou redesenhar os sistemas tradicionais.

A década dos anos 80 certamente terá novos materiais na forma de componentes de aço nodular de baixo

custo, a introdução do aço grafite compacto para cabeçotes e componentes, e num futuro não tão distante, a introdução de materiais quasi-plásticos, com os quais se permitirá uma expressiva redução do peso, aumento da densidade de potência do motor e redução do custo de investimento por parte dos usuários.

Contudo o único critério universal para avaliação destes desenvolvimentos baseia-se em como eles satisfazem as necessidades dos usuários. Melhorias continuadas na economia de combustível, baixo peso instalado, intervalos de manutenção prolongados e longa vida útil continuarão sendo os parâmetros contra os quais os usuários medem o valor dos motores.

O desenvolvimento esperado dos motores nesta década e na próxima deverá ser expressivamente acelerado. Definitivamente parece que no final deste século, os motores de ciclo Diesel e de ciclo Otto, provavelmente se tornarão mais parecidos, considerando-se que o motor Diesel não se utiliza de um ciclo Diesel de pressão constante, mais do que o motor de ciclo Otto se utiliza de um ciclo de volume constante. O diagrama indicador de um moderno motor de ignição por compressão, e um motor de alta potência de ignição por centelha, tendem a ser mais assemelhados, com ambos diagramas mostrando uma combinação de volume e pressão constante, o que se pode chamar de ciclo híbrido.

Dentro desta realidade, pode-se especular em relação a qual combinação dos processos se tornará uma solução genérica para os motores do futuro. Não há dúvida que, dada a característica dos combustíveis líquidos não renováveis, derivado do petróleo, a preservação dos processos de refino que produzem combustíveis com alto número de cetanos ou octanos, sem o uso de aditivos, é uma solução relativamente anti-econômica para o equacionamento do problema do combustível dos motores. Apesar da tecnologia ainda não estar disponível, a injeção de um combustível para suplementar a ignição, sistemas de combustão estratificado e projetos de sistemas " onívoros " (multi-combustível) podem ser visualizados como uma solução monolítica para o processo de combustão. Este sistema de combustão poderia operar a altas taxas de compressão, em câmaras de combustão de razão relativamente baixa entre a superfície e o volume. Devidamente projetado, um sistema de combustão deste tipo poderia ser independente do número de cetanos ou de octanos, e sob controle de microprocessadores resultaria em excepcional controlabilidade do motor, afim de alcançar alto desempenho e baixo consumo de combustível.

Um dos campos de maior potencial, no desenvolvimento do projeto dos motores, continua sendo na área dos materiais. Em toda pesquisa feita com cerâmica, há ainda questões relativas à soldabilidade dos componentes cerâmicos com o ferro fundido. Contudo existe possibilidade

de se combinar componentes cerâmicos com materiais tais como, o TORLON, que pode ser moldado em forma entrelaçada e que tem o coeficiente de dilatação aproximadamente igual ao da cerâmica, e ao mesmo tempo, uma resiliência que não impõe aos componentes cerâmicos adjacentes a enorme tensão que normalmente se impõe aos materiais ferrosos, resultando, no mínimo, lascas e quebras dos elementos cerâmicos. Imaginando-se um motor moldado com material entrelaçado que tenha essencialmente a mesma resistência das ligas de alumínio, e componentes mais leves que o do motor tradicional, e ainda, com o qual possa ser moldados câmaras de combustão, válvulas de escape e assentos de válvulas cerâmicos, ter-se-ia uma estrutura do motor substancialmente mais leve, custos de fabricação extremamente baixo, boa capacidade de isolamento e um acréscimo no amortecimento afim de reduzir a transmissão de ruído e vibração.

Não é absurdo se crer que, a estrutura idealizada poderia ser usada com todos os outros aprimoramentos desenvolvidos pelos projetistas. Microprocessadores controlando o combustível, fluxo de ar e nível de torque e uma câmara de combustão de carga estratificada poderia resultar em alta densidade de potência e baixo consumo de combustível em motores comerciais.

Dentro deste cenário do futuro, deve-se especular se há lugar no mundo dos motores comerciais, para as diferenças tradicionais entre os motores Diesel de ignição

por compressão, e os motores à gasolina de ignição por centelha. Com menor exceção entre os extremos inferior e superior da escala de potência há provavelmente pouca justificativa para se ter duas famílias básica de motores. Soluções ótimas de engenharia tendem a ser monolíticas; isto não sugere, contudo, que os motores do final do século serão genéricos, mas sim, terão mais similaridade do que diferenças.

Nenhuma discussão sobre o futuro dos motores poderia ser completa, sem no mínimo ser tocado brevemente na configuração e geometria do motor. Tem-se convivido com o arranjo dos pistões conectados ao eixo das manivelas através de bielas e, para a maioria das aplicações, esta configuração mecânica geral será preservada; contudo, novas pesquisas com motores rotativos permitem crer que a demanda de aplicação de motores de geometria compacta, com baixa vibração e silenciosos, podem encontrar sua solução nestes motores.

LIST (1985), fazendo a mesma análise, concorda em muitos pontos com o autor anterior e afirma que: Nos motores Diesel, até os anos 20, a pulverização e injeção do combustível era obtida através da utilização do ar comprimido. Isto produzia uma excelente mistura aliada a uma exaustão limpa com uma combustão próxima da condição de pressão constante. Contudo, a potência extra necessária para acionar o compressor de ar limitava a velocidade e a economia de combustível. Este sistema de injeção assistida a

ar foi posteriormente substituído pelo sistema de injeção do combustível a alta pressão, sem ar. Isto resultou em eficiências mais altas, mas também maiores índices de fumaça e um aumento da pressão durante a combustão, acompanhado de um aumento do ruído. Mesmo com um extensivo desenvolvimento, os sistemas de injeção a alta pressão não alcançaram ainda a suavidade obtida pelo método de combustão anterior. Todavia, ele foi adequado para motores rápidos utilizados em caminhões, ônibus e, finalmente, aos carros de passageiros.

Nos anos 30, métodos de cálculos similares ao atual Método dos Elementos Finitos foram usados para prever o comportamento do fluxo nas tubulações e no sistema de injeção, bem como as tensões e temperaturas nas diversas partes do motor.

Estes métodos consumiam muito tempo, mas com o advento do computador, suas aplicações se tornaram rapidamente difundidas, trazendo uma grande contribuição para o contínuo desenvolvimento dos motores Diesel. Além disso, através de considerações termodinâmicas associadas a cuidadosas análises de perdas térmicas e de perdas devidas à fricção pôde-se incrementar a potência e a eficiência dos motores. Os sofisticados aprimoramentos nas técnicas de medição de precisão, por exemplo, para a indicação de pressão conjugado a um rápido processamento de dados, tornaram-se ferramentas importantes para o desenvolvimento dos motores.

A tendência do desenvolvimento dos motores Diesel rápidos foi ditada pela demanda, no que se refere ao consumo de combustível, confiabilidade e vida útil, peso e tamanho, custo de produção, dentre outras, e, mais recentemente, por uma legislação específica com respeito ao ruído, índices de fumaça (partículas) e emissão dos gases de exaustão. As prioridades dentro desta demanda às vezes mudam, e ainda dependem da aplicação a que se destinam os motores. Para veículos comerciais, navais e outras aplicações pesadas, a economia e a confiabilidade teve, e ainda tem hoje, a mais alta prioridade, permitindo consequentemente o desenvolvimento de motores Diesel de injeção direta de alta eficiência. Os motores Diesel para carros de passageiros e outras aplicações leves foram principalmente desenvolvidos a partir de motores a gasolina, e usado sistemas de combustão de injeção indireta, tal como as que se utilizavam de pré-câmaras e câmaras de turbilhamento.

As crises de abastecimento de combustível empurraram para o topo da lista de prioridades a economia de combustível, especialmente no setor de aplicações leves, o que levou a um extensivo esforço de desenvolvimento por todo o mundo, no sentido de se promover o aprimoramento de motores mais econômicos. Isto levou ao desenvolvimento de motores Diesel leves de injeção direta, com alto potencial de velocidade, e emissão dos gases de exaustão dentro dos limites legais. Alguns destes motores já estão em produção.

Isto tem se tornado possível devido a numerosos aprimoramentos tecnológicos no sistema de injeção direta, tanto para serviço leve, quanto para pesado. Alguns deles são:

- aperfeiçoamento no projeto das válvulas de admissão para altas taxas de fluxo, e geração de turbilhonamento em conjunto com uma melhor eficiência volumétrica,

- desenvolvimento de novas formas de câmara de combustão para melhorar a mistura combustível-ar,

- novos sistemas de injeção de combustível com capacidade de injeção a altas pressões,

- aperfeiçoamentos no bico injetor,

- utilização da energia dos gases de exaustão pelo uso de turbo-compressores,

- melhora na eficiência dos turbo-compressores,

- utilização de trocadores de calor ar-ar (intercooling) em motores turbo-comprimidos.

Em geral estas conquistas da tecnologia dos sistemas de combustão produziram níveis de potência mais elevados, e consumo específico de combustível mais reduzido, devido à queima mais rápida. Contudo o nível de consumo específico de combustível relativamente baixo dos motores atuais, é também devido à redução das perdas mecânicas por atrito, conseguida com a melhora do projeto, e distribuição

dos componentes do motor: pistões mais leves, redução do número de anéis no pistão, rolamentos menores e por um balanceamento mais preciso do eixo de manivelas. Deve-se reconhecer que estes aperfeiçoamentos tem sido obtido sob um conceito de motor, que já tem mais de meio século de desenvolvimento.

Espera-se que nas etapas futuras de desenvolvimento, a economia de combustível mantenha sua eminente posição na lista de critérios de desenvolvimento; por ora a redução dos gases de escape, e especialmente a emissão de partículas já se posicionaram no tópo das prioridades, onde se manterão por algum tempo. Além disso, teremos a qualidade do combustível deteriorada, requerendo modificações no sistema de combustão.

Para vencer estes desafios, o sistema de injeção é um dos elementos mais importantes. Os desenvolvimentos atuais já se baseiam na configuração da injeção e em contróles eletrônicos. Este tipo de contróle deve oferecer total flexibilidade sobre toda a curva de desempenho do motor e, mais adiante se estenderá à linha de transmissão de potência.

O projeto dos futuros motores também necessitará de uma melhora sistemática nas perdas por fricção. Aperfeiçoamentos na tecnologia utilizada nos pistões e seus anéis, novos materiais, tais como os cerâmicos com reforço de fibras, ou materiais compostos; melhora na

lubrificação e nas perdas "parasitas", como as devido ao acionamento das válvulas, são somente alguns poucos pontos importantes no desenvolvimento dos motores

O turbo-carregamento terá ênfase crescente. Os desenvolvimentos desta área estão concentrados ainda no aumento da eficiência, na turbina com geometria variável, no turbo-carregamento de duplo estágio e no trocador de calor intermediário.

A redução do ruído, de especial importância nas aplicações veiculares, será alcançada principalmente através de aperfeiçoamentos na combustão, com uma tendência no sentido da combustão à pressão constante, obtida pelo desenvolvimento de sistemas de injeção, e pelo cuidadoso projeto das câmaras de combustão. Cálculos utilizando-se do Método dos Elementos Finitos permitirão aos projetistas minimizar a transferência de ruído da câmara de combustão e pistão, para a superfície do motor. Finalmente, técnicas de confinamento e proteção, serão aplicadas para a redução do ruído irradiado.

Mesmo tendo-se conseguido baixos índices de emissão de partículas com o aprimoramento dos sistemas de combustão, o desenvolvimento de filtros de partículas e técnicas de regeneração parecem deter grande parte da capacidade de desenvolvimento, no mínimo temporariamente, para se atingir os índices exigido por alguns países.

Os desafios na economia de combustível,

emissão, ruído e qualidade do combustível requerem cada vez mais equipamentos e projetos sofisticados, ainda que o custo de produção seja um fator de importância crescente no competitivo mercado mundial. Os motores do futuro terão que ter seus custos de produção diminuído apenas pelo aprimoramento do projeto, pois será requerido um alto grau de padronização e automatização da produção (robótica).

O autor ainda concluiu que os desafios para os desenvolvimentos futuros são consideráveis e, novamente as técnicas aperfeiçoadas de cálculo, medição e análise serão ferramentas indispensáveis.

RONZI (1985), engenheiro chefe da Ford Tractor Operation - USA, comenta a introdução dos motores Diesel nos tratores agrícolas da Ford Company norte americana e discute as perspectivas de desenvolvimento destes motores, neste tipo de aplicação, mencionando que atualmente o Diesel aciona a grande maioria dos tratores agrícolas, e que este é um mercado que apesar da queda presente das taxas de venda, ainda consome uma significativa parcela da produção de motores Diesel na faixa de 10 a 200 hp. Embora um dos primeiros tratores agrícolas produzidos em série ter sido introduzido, no mercado norte-americano, por FORD em 1917, somente no final da década de 40 e início de 50, o motor Diesel começou a aparecer nas fazendas da Europa e da América do Norte.

O mercado até 1980 sofreu uma grande demanda por tratores de alta potência afim de aumentar a eficiência

operacional e a produtividade. Esta tendência teve origem nas grandes fazendas e na necessidade de se reduzir custos operacionais tendo-se como base a unidade de área.

O motor Diesel, introduzido nos tratores agrícolas da década de 50, foi para os padrões atuais, antes de tudo lento e de baixa potência. O motor que equipava o trator Fordson Major de 1952, por exemplo, era um de 220 polegadas cúbicas de deslocamento, 4 cilindros e com uma potência nominal de 38,5 hp a 1600 rpm.

O motor foi projetado para operar com um dos três seguintes combustíveis: querosene, gasolina ou Diesel, quando equipado com componentes especiais conforme o caso. O departamento de planejamento do produto previu uma demanda muito pequena para a versão Diesel, da ordem de 5% a 10%, mas estava totalmente errado. Até o fim daquele ano a versão Diesel cobria 75% da produção de motores.

Desde aquele tempo o projeto do trator Diesel tem sido aprimorado constantemente, afim de se obter maior economia de combustível e maiores níveis de potência. Os fatores que contribuíram tem sido: melhores materiais, novos processos de fabricação e aperfeiçoamentos no projeto dos pistões, anéis, equipamentos de injeção de combustível, tubulações de admissão e configuração das câmaras de combustão.

Na década de 60, a demanda pelo Diesel estabeleceu-se firmemente, e prevaleceu a tecnologia dos

sistemas de combustão com alto turbilhonamento. Os fabricantes de motores esforçaram-se em tirar vantagem das técnicas de manufatura de alta produção, com um projeto modular, através de toda a faixa de potência. Famílias de motores foram projetadas com componentes em comum, contribuindo para a alta eficiência de produção e alto valor de revenda.

Vários anos após, os níveis de potência, foram marcadamente aumentados através do uso de turbo-compressores, com posterior resfriamento do ar de admissão. No trator Ford com motor de 6 cilindros e 401 polegadas cúbicas, por exemplo, a adição de um turbo-compressor em 1969 aumentou a potência na Tomada de Potência (TDP) em 23%, e com a utilização de baixa temperatura obtida com um trocador de calor ar-ar intermediário (Intercooling) em 1979, a potência na TDP aumentou outros 20%.

Desde 1980, contudo, a demanda por motores menores tem aumentado. Ganhos de produtividade tem sido obtidos através da utilização de tração dianteira, transmissões aperfeiçoadas e melhor desempenho dos sistemas de controle de força. Tratores menores e mais eficientes com menores perdas de potência tem tido recentemente uma maior demanda. Isto resulta das pressões financeiras dos produtores rurais afim de obter maiores lucros com um capital operacional mais reduzido.

São ainda esperados substanciais avanços na próxima década, com mais alta eficiência na utilização do combustível, emissões mais reduzidas, menores índices de ruído e melhor qualidade do produto. Para acompanhar estes avanços, os engenheiros concentram-se em: melhores sistemas de carregamento (incluindo-se os turbo-compressores); redução do peso; sistemas aprimorados de combustão utilizando-se novos materiais tais como os cerâmicos; redução das perdas por fricção e sistemas de injeção de combustível mais avançados que se utilizem de controles eletrônicos.

No futuro, a questão dos combustíveis forçará um aumento na ênfase sobre os combustíveis alternativos.

Correntemente, os combustíveis alternativos mais promissores para os produtores rurais dos Estados Unidos da América são o metanol e o etanol. Estes não trarão ganhos significativos, contudo, não deverão sofrer quanto às suas reservas e quanto ao crescente aumento dos preços do petróleo. O Brasil é o primeiro exemplo onde estas mudanças já tem ocorrido, mas mesmo aqui, os tratores Diesel continuam a dominar o mercado, mesmo com a disponibilidade de modelos de motores, acionados com o combustível alternativo, oferecido por vários fabricantes.

3.2 - Curvas de isoconsumo e sua utilização.

As características de desempenho de um motor de combustão interna podem, claramente, ser representadas pelas chamadas curvas de "isoconsumo", "diagrama de conchas", ou ainda, "curva de parâmetros múltiplos".

Estas curvas apresentam o consumo específico de combustível de um determinado motor em função de diferentes percentagens do valor nominal de sua rotação e torque (ou pressão média efetiva). Indica ainda as linhas de potência constante, conforme mostra o exemplo da Figura 3.2.1.

Segundo JOHN DEERE (1980), as curvas de isoconsumo podem ser melhor entendidas observando-se a Figura 3.2.2, onde nota-se claramente que a curva de torque máximo limita a potência, iniciando-se na máxima rotação livre, dirigindo-se até o ponto de corte da injeção com 100% de torque (correspondente a 100% da potência e 100% da rotação) e, em seguida, para o ponto de torque máximo. Um ponto de utilização situado abaixo desta curva representa uma operação com carga parcial e, desde que, conhecido o torque e a rotação correspondente, tem-se determinado a respectiva potência, consumo específico e horário de combustível.

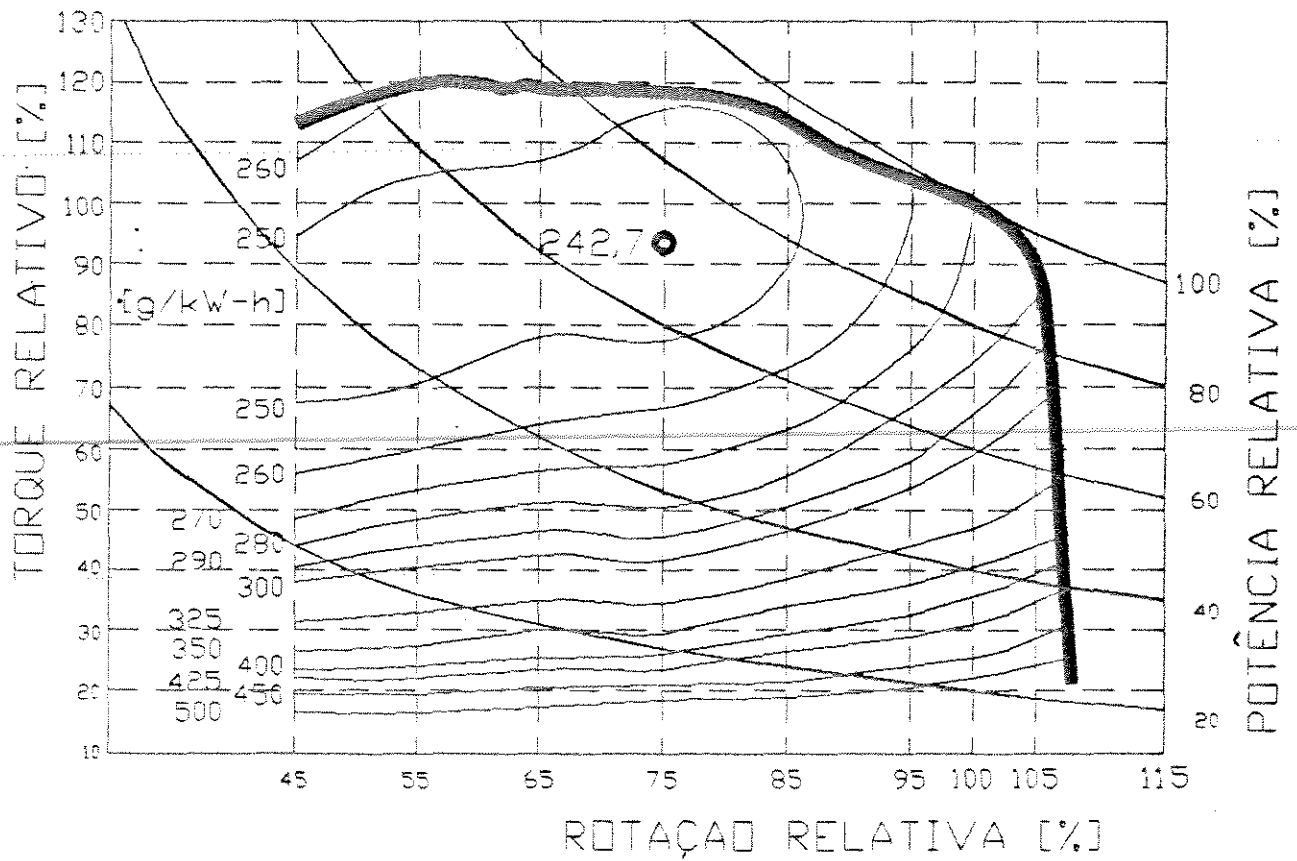


FIG. 3.2.1 - Curva típica de isoconsumo de um motor Diesel.

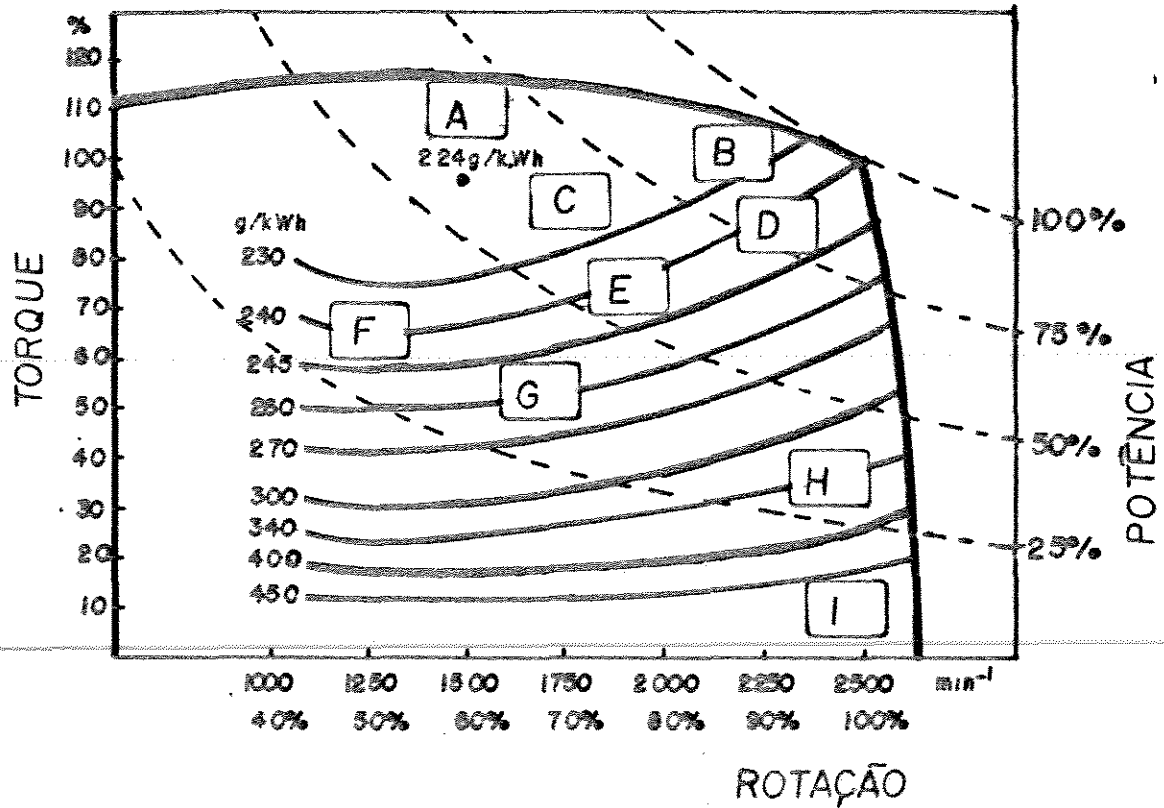


FIG. 3.2.2 - Curva de isoconsumo de um motor Diesel com os níveis de potência requerido por diferentes operações agrícolas (A - Subsolagem, B - Aração, C - Transporte carregado, D - Rotavação, E - Gradagem pesada, F - Gradagem leve, G - Sulcagem/Adubação, H - Pulverização, I - Transporte vazio).

Ainda na mesma Figura, pode-se observar não só o ponto de potência nominal ($\lambda = 100\%$) mas também as linhas que representam os níveis constantes de potência de 75%, 50% e 25% da nominal. Nota-se que, com exceção da potência nominal, qualquer outro nível de potência pode ser obtido com mais de uma combinação de rotação e torque, o que implica em diferentes consumos específicos de combustível para um mesmo nível de potência desenvolvido.

Nas operações mais pesadas, como o preparo do solo com arado ou com enxada rotativa, o motor do trator agrícola pode alcançar níveis de utilização de 85% da potência nominal, devendo apenas em curtos períodos de tempo alcançar picos acima deste valor; nas operações leves, como as de transporte, alcança apenas 15% a 20% da potência nominal.

Para um perfeito entendimento da utilização prática das referidas curvas, JOHN DEERE (1980) apresentou, como exemplo, o caso de uma semeadora de 3 metros de largura, acoplada a um trator de 51 kW e com velocidade real de operação de 10 km/h. Nesta condição de operação o motor foi exigido com 22 kW ($\lambda = 43\%$). A fim de alcançar a velocidade de 10 km/h, não se alterando, contudo, a capacidade de campo, o trator pode ser operado em uma das cinco relações de transmissão observada na Figura 3.2.3. Os extremos são representados pelo ponto A (5 HI, 2500 min^{-1}) e pelo ponto B (7 HI, 1300 min^{-1}).

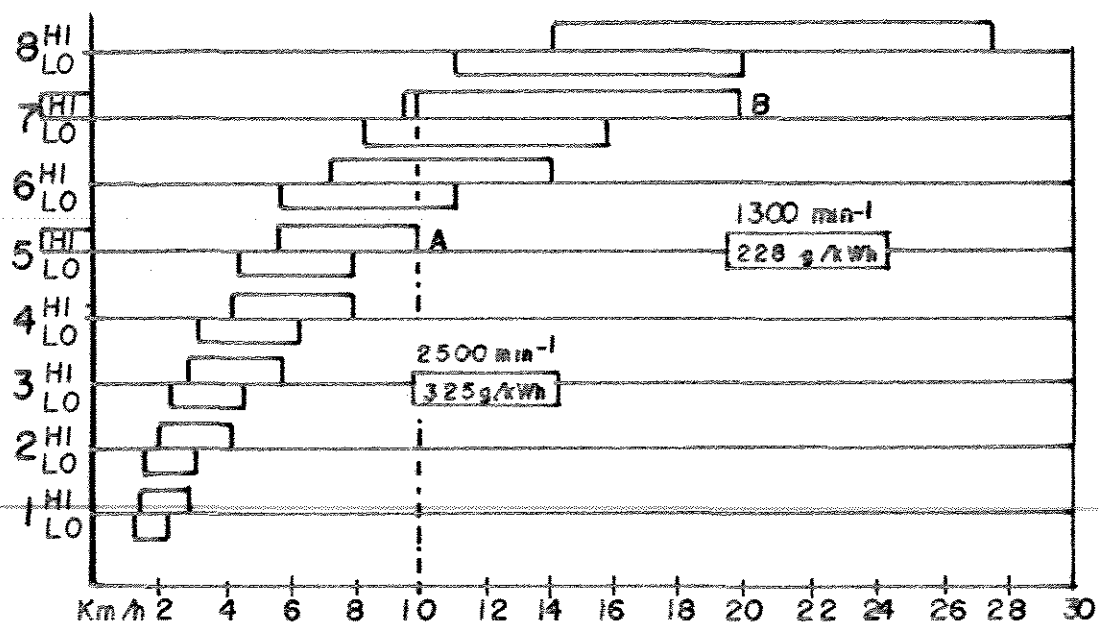


FIG. 3.2.3 - Escalonamento de marchas de um trator agrícola.

Transferindo-se estas cinco possibilidades de operação para a curva de isoconsumo do motor (Figura 3.2.4), a um nível de 43% de potência nominal, percebe-se que o consumo específico no ponto A alcança o valor de 325 g/kW.h, contra 228 g/kW.h ponto B, ou seja, somente com uma adequada seleção da relação de transmissão pode-se, neste caso, economizar cerca de 30% no consumo de combustível.

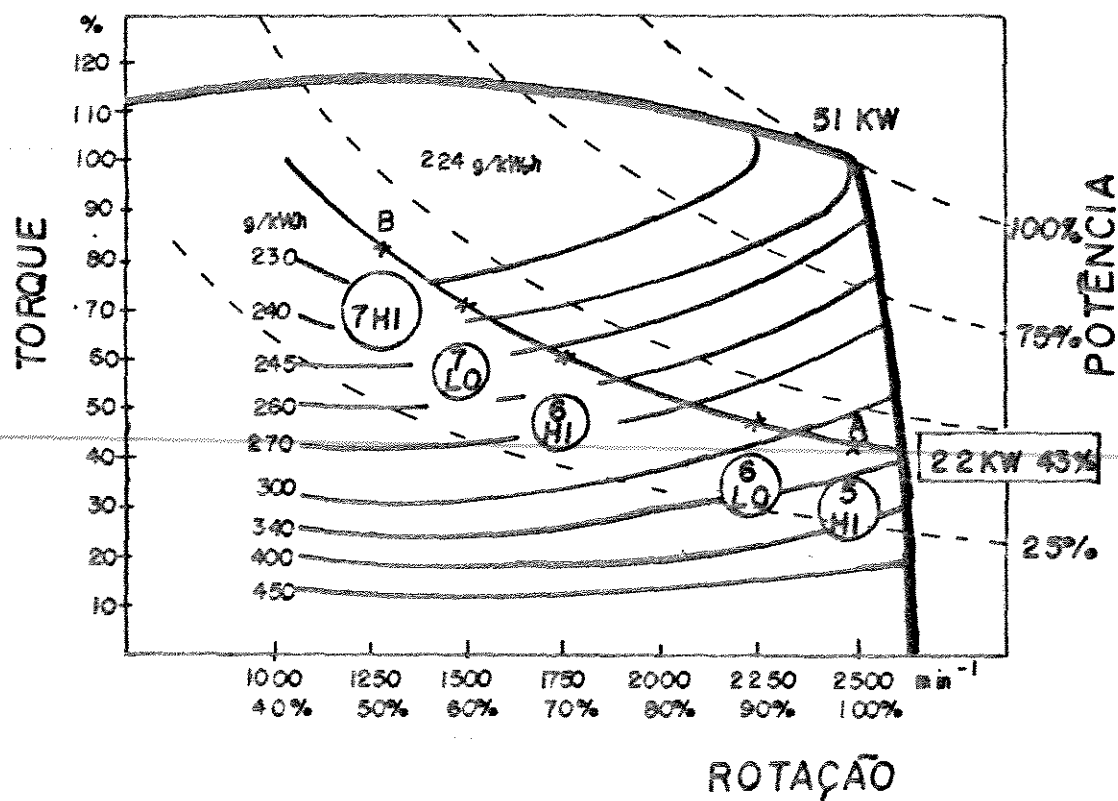


FIG. 3.2.4 - Curva de isoconsumo de um trator com os possíveis pontos de utilização numa operação de semeadura.

3.3 - Fatores de influência sobre a capacidade de campo e o consumo de energia na utilização de tratores agrícolas de rodas.

STEINKAMPF (1980) identificou as causas da baixa eficiência de utilização da energia do combustível consumido, e as possibilidades da redução do consumo na utilização do trator agrícola, sendo que esta baixa eficiência deve-se às perdas no motor, na transmissão, entre o dispositivo de tração e o solo, e no consumo de energia para acionar os acessórios auxiliares, conforme mostra a

Figura 3.3.1.

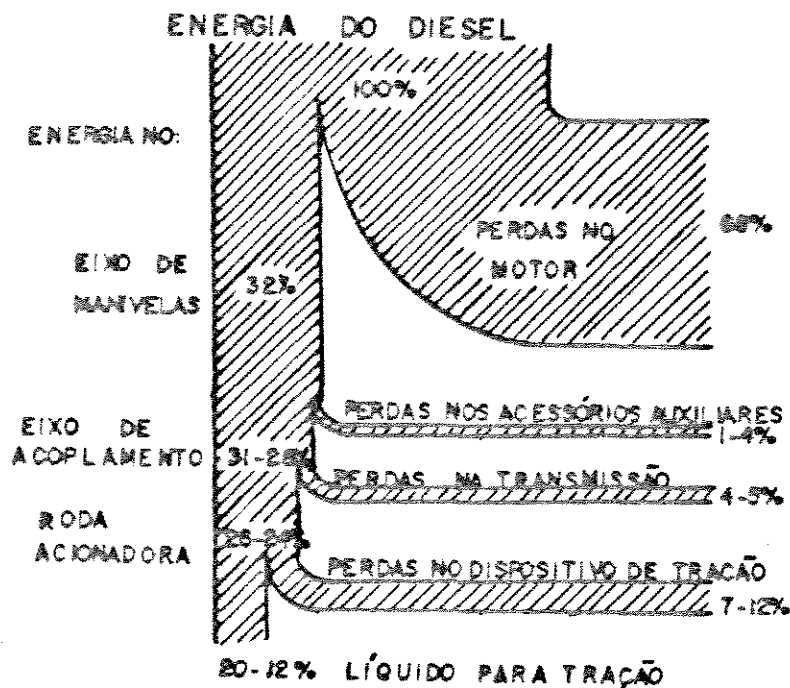


FIG. 3.3.1 - Balanço energético do trator agrícola em trabalho de tração.

Segundo o mesmo autor, existem duas possibilidades de se reduzir o consumo de combustível:

a - reduzindo-se as perdas pela conversão da energia do combustível em energia efetiva;

b - reduzindo-se a quantidade de trabalho.

Para o primeiro caso, discutiu o seguinte:

-MOTOR: Os motores Diesel podem ser claramente caracterizados pelas curvas de isoconsumo. Dependendo do nível de potência desenvolvido e da rotação, a eficiência pode estar entre 18% e 37% como no exemplo da Figura 3.3.2.

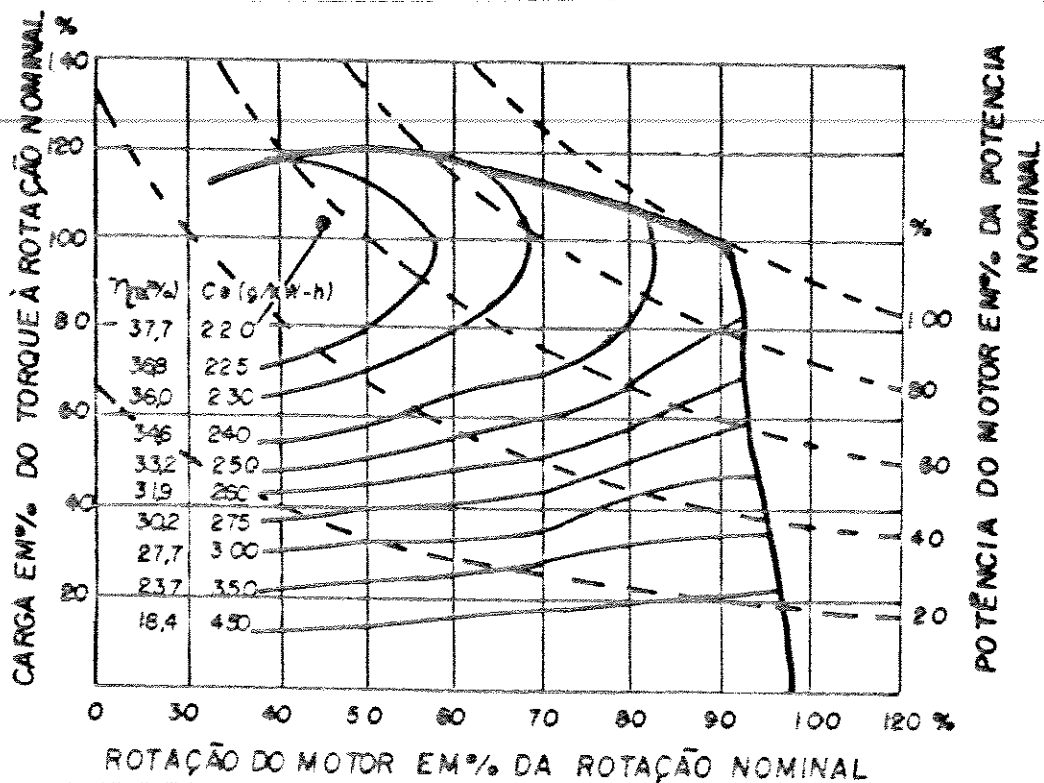


FIG. 3.3.2 - Curvas de isoconsumo (teste conforme normas da Organization for Economic Co-operation and Development-OECD 1980).

As possibilidades de se economizar combustível utilizando-se as áreas favoráveis das curvas do motor são maiores do que aquelas que reduzem o seu consumo específico. No atual estágio de desenvolvimento dos motores são necessárias novas tecnologias, de alto custo, para se conseguir uma mínima redução no consumo específico.

Com a utilização do motor em altos níveis de potência é mais difícil a exploração das áreas econômicas da curva de isoconsumo e, com isso, a economia do combustível é relativamente menor. Paralelamente devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

-
- livre seleção da rotação do motor;
 - escalonamento e intercambiabilidade das relações de transmissão, especialmente nos altos níveis de utilização de potência e a baixa velocidade de deslocamento;
 - dispositivos que forneçam ao operador informações sobre a otimização do consumo de combustível, especialmente nos altos níveis de utilização de potência.

A rotação do motor não pode ser livremente selecionada em algumas operações da tomada de potência, ou quando em operações de transporte com baixo requerimento de potência. Para minimizar este problema seria necessário ter-se relações de transmissão adicionais para a tomada de potência, e no mínimo uma relação de transmissão

desmultiplicada para operações de transporte, pois a economia de combustível é sensivelmente dependente do escalonamento das marchas, da intercambiabilidade das engrenagens, e do respectivo nível de potência de tração ou acionamento dos implementos. Neste campo, a economia de combustível é frequentemente feita em detrimento da capacidade de trabalho. Especialmente aqui, são desejáveis os dispositivos técnicos que forneçam dados para a otimização da operação.

Outra possibilidade de se economizar combustível seria uma melhor adaptação das principais utilizações do trator às curvas de isoconsumo do motor.

-ACESSÓRIOS AUXILIARES: O gasto de energia pode estar entre 1% e 4% da energia do combustível consumido ou entre 13% a 15% na saída do eixo do motor. Nesta área, as possibilidades para se reduzir o consumo ainda não foram esgotadas.

-TRANSMISSÃO: As perdas na transmissão são difíceis de se reduzir, pois para um melhor aproveitamento da região de mínimo consumo de combustível do motor é necessário um maior número de marchas, e maior facilidade para se proceder as mudanças, o que contribui para o aumento das perdas.

-DISPOSITIVO DE TRAÇÃO: As perdas nos dispositivos de tração do trator são dadas pela somatória das perdas que ocorrem devido à resistência ao rolamento, e ao deslizamento; somente 50% a 80% da energia que chega nas

rodas motoras são convertidas em energia efetiva. Esta última é dada, no caso de implementos tracionados, pela eficiência de tração que é mostrada, para uma única roda, em função do deslizamento, na Figura 3.3.3 e em função do coeficiente de tração na Figura 3.3.4.

Os pré-requisitos mais importantes para esta conversão de energia são:

- que o trabalho requerido possa ser feito na região de máxima eficiência de tração, independentemente de sua grandeza;

- que os pneus usados alcancem a máxima eficiência de tração nas condições de solo em que o trator deverá operar;

- que as demais perdas possam ser evitadas pelo uso de tração total, bloqueio do diferencial e/ou por uma distribuição adequada de pesos nos eixos.

Afim de que o trabalho seja feito com um deslizamento na região de máxima eficiência de tração, o peso do trator e a demanda de potência de tração devem ser ajustados um ao outro. Em condições favoráveis de solo, somente 30% a 40% do peso do trator pode ser convertido em tração, conforme pode ser observado na Figura 3.3.4. Desta forma, são necessárias velocidades de deslocamento maiores para a utilização de toda a potência do motor. Isto causa

vantagens nos efeitos da operação, porém desvantagens no que diz respeito à fadiga do operador e ao aumento da demanda de tração, acarretando desta forma, um aumento da quantidade de energia necessária por unidade de área trabalhada. Para um melhor aproveitamento da potência do motor, a velocidade de deslocamento deve ser tanto maior quanto menor for a razão peso/potência do trator.

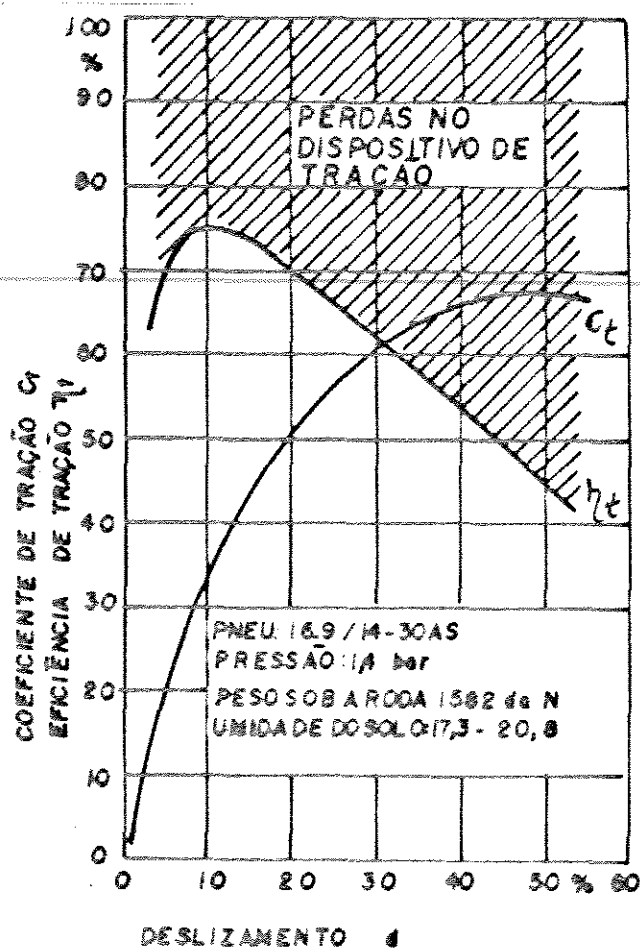


FIG. 3.3.3 - Coeficiente de tração e eficiência de tração em função do deslizamento.

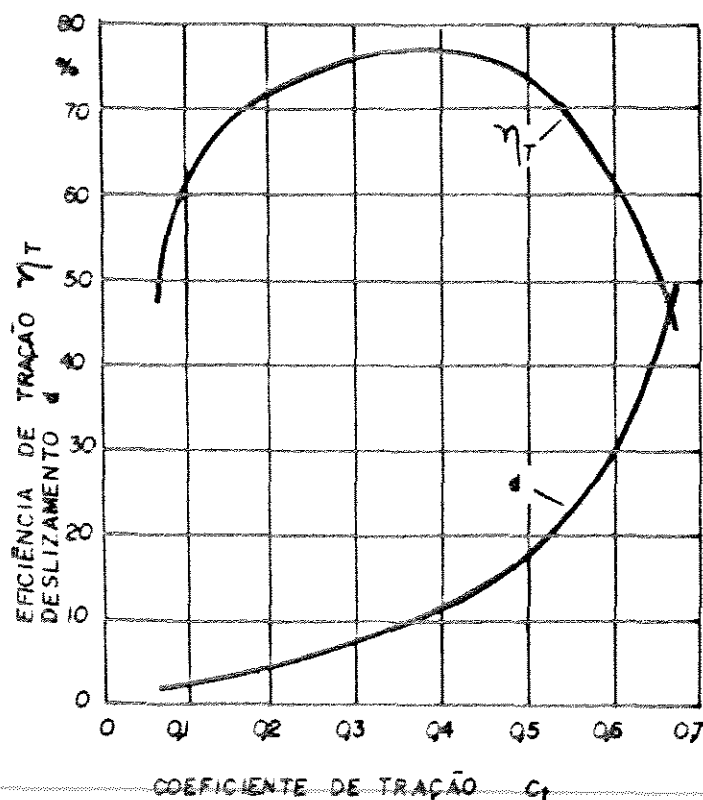


FIG. 3.3.4 - Eficiência de tração e deslizamento em função do coeficiente de tração.

Uma alternativa para se melhorar esta conversão de energia seria fazê-la através da tomada de potência do trator, onde as perdas são menores.

A máxima eficiência de tração alcançável e sua posição no eixo de referência (Figura 3.2.3) depende dos seguintes parâmetros de solo e pneu: tipo de solo, umidade, volume dos poros, dimensão do pneu, tipo de carcaça, altura das garras e nível de utilização da capacidade de carga do pneu.

A máxima eficiência de tração é obtida quando:

- o conteúdo de umidade do solo for menor ,
conforme mostra a Figura 3.3.5.

- o volume dos poros do solo for menor ,
conforme mostra a Figura 3.3.6.

- o pneu for maior e mais estreito e a área
que toca o solo for comprida e estreita, aproximando-se desta
forma, de uma esteira;

- a capacidade de carga do pneu estiver sendo
largamente explorada (maior β), conforme mostra a Figura
3.3.7.

- as garras tiverem perfil profundo caso a
umidade do solo for alta (garras com perfil extremamente
profundos são desvantajosas em solos secos e duros), conforme
mostra a Figura 3.3.8.

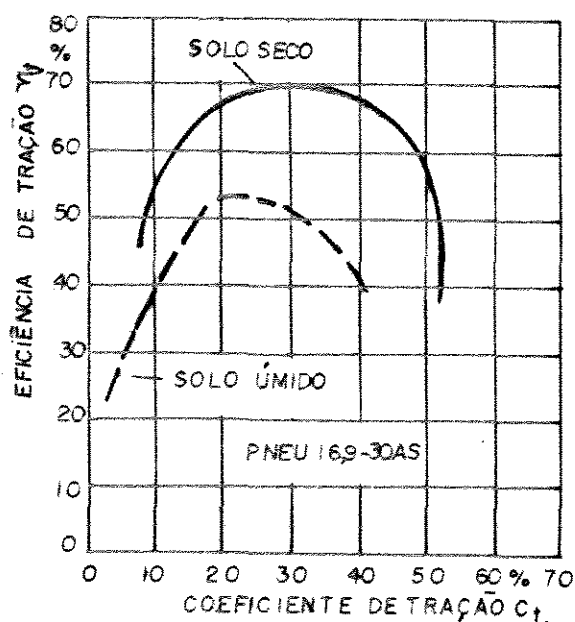


FIG. 3.3.5 - Eficiência de tração em função do coeficiente de tração para diferentes conteúdos de umidade do solo.

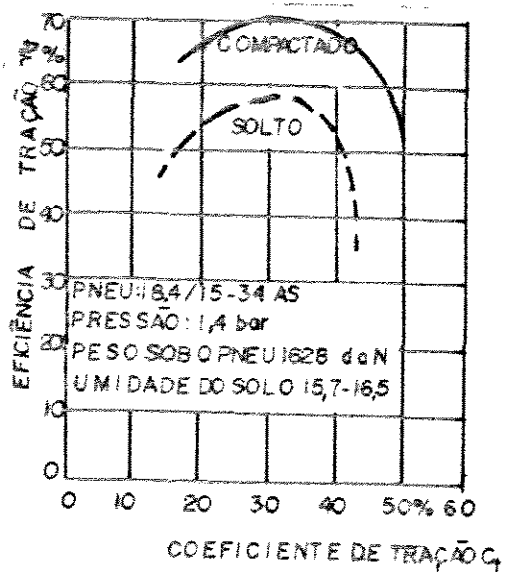


FIG. 3.3.6 - Eficiência de tração em função do coeficiente de tração para diferentes volumes dos poros do solo.

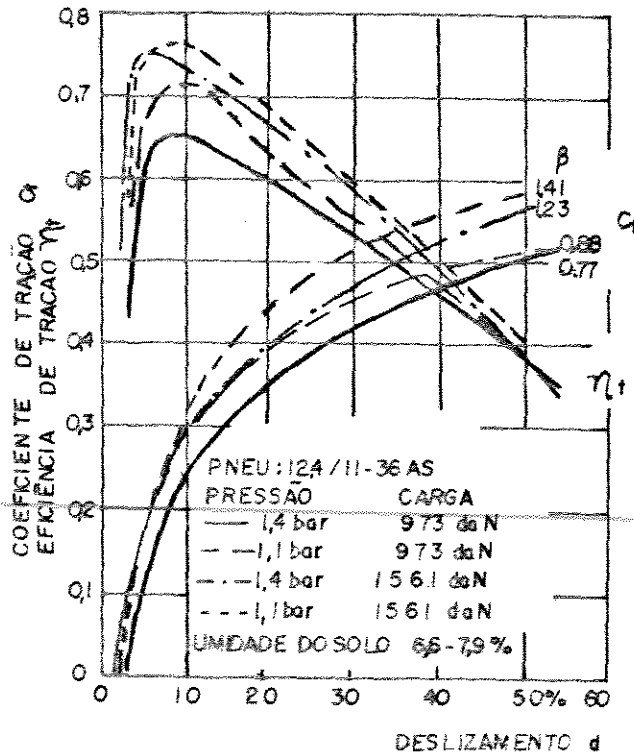


FIG. 3.3.7 - Coeficiente de tração e eficiência de tração em função do deslizamento para diferentes níveis de utilização do pneu (β - carga sobre o pneu/carga nominal).

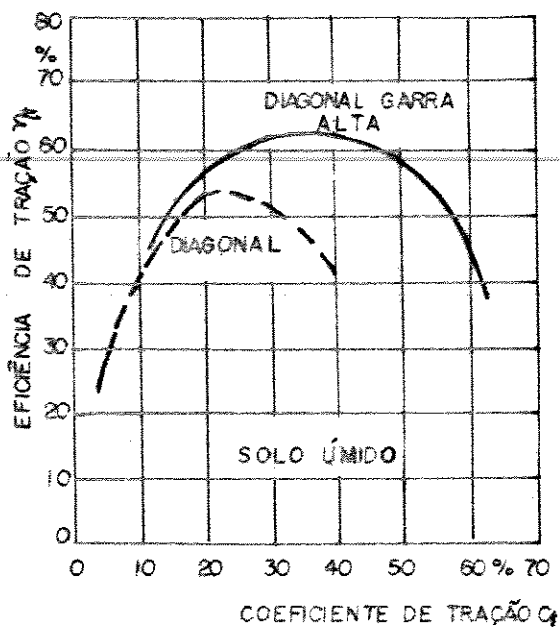
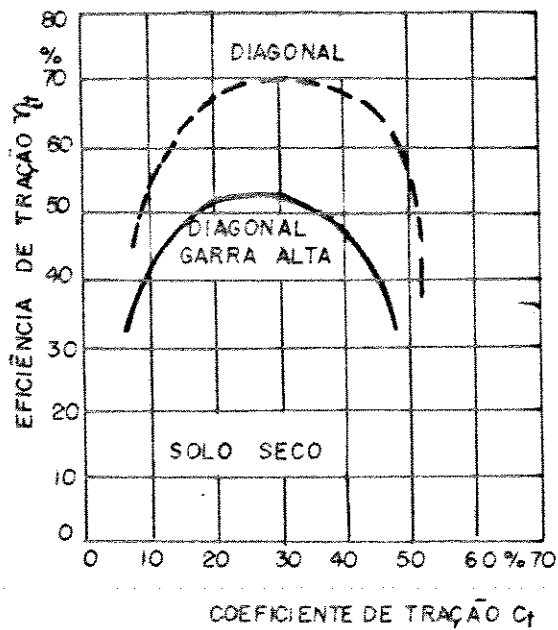


FIG. 3.3.8 - Eficiência de tração de pneus diagonais com diferentes alturas das garras em função do coeficiente de tração para diferentes umidades do solo.

Como segunda possibilidade de redução de consumo, o autor discutiu a redução da quantidade de trabalho utilizada no processo produtivo.

Um volume não desprezível de combustível é gasto nas operações de cultivo do solo. Este montante poderia ser reduzido pelo uso de outros implementos, pelo cultivo menos intensivo e pela mudança nos métodos de produção.

Quanto a este aspecto, o autor ressaltou que deveria ser comparada a energia consumida em vários métodos de trabalho, durante uma rotação de culturas, e não apenas a energia gasta em uma só operação ou em um único ano.

GAMERO et alii (1986) estudando o consumo de combustível e a capacidade de campo, de diferentes sistemas de preparo periódico do solo, verificaram que na mesma condição de solo, o consumo de óleo Diesel para o sistema que se utiliza de uma aração e duas gradeações leve foi de 27,38 l/ha, enquanto que, para uma gradeação pesada e duas leves foi de 18,71 l/ha ; para uma rotavação foi de 9,65 l/ha. Quanto ao tempo total necessário para o preparo do solo foi de 4,04 h/ha no primeiro sistema, 2,86 h/ha no segundo e 1,59 h/ha no terceiro.

Embora os autores, na apresentação dos resultados e discussão, não tenham considerado a condição final do solo e comparado as operações apenas

individualmente, apresentaram dados que permitem concluir que, nos casos extremos, pode ser economizado 64,7% do combustível, e 60,6% do tempo total de trabalho, dependendo do sistema de preparo do solo adotado.

VON GERARD e STEINKAMPF (1982) discutiram os fatores de influência sobre o uso eficiente do conjunto trator-implemento no preparo do solo, estabelecendo os seguintes critérios:

- Capacidade de Campo;
- Consumo de Energia.

Os fatores apontados foram referentes ao operador, ao trator, ao implemento, ao solo e ao tipo de operação a ser executada.

O trabalho apresentou um modelamento matemático para simulação de "como" e "quanto" os fatores apontados influenciaram os critérios adotados. O modelamento foi construído de maneira modular abrangendo-se três áreas; veículo, dispositivo de tração e implemento, conforme esta apresentado na Figura 3.3.9.

Segundo os autores, os requerimentos de força de tração e potência dos implementos foram obtidos de Zach et alii (1973), Steinkampf e Zach (1974) e Rosegger e Sorgel (1976).

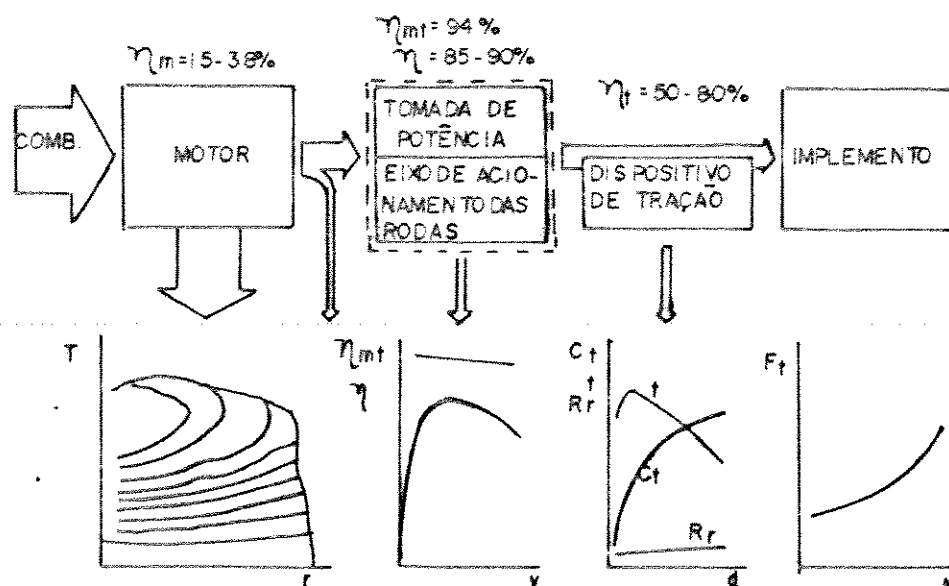


FIG. 3.3.9 - Estrutura de construção do modelamento trator-implemento.

Os dados relativos às perdas na transmissão, desde o eixo motor até o eixo de acionamento das rodas, bem como os relativos à energia necessária para o acionamento dos acessórios secundários e auxiliares foram estimados, por serem os dados disponíveis insuficientes.

Os demais dados relativos ao trator agrícola foram obtidos de relatórios técnicos, realizados segundo a norma oficial de teste de desempenho de tratores agrícolas da OECD, principalmente no que se refere às características do motor, apresentadas pelas curvas de isoconsumo.

No modelamento proposto pelos autores não foram considerados os fatores pertinentes ao operador, à estrutura do empreendimento e ao processo de trabalho; contudo foi possível simular isoladamente, numa operação de aração, a influência dos seguintes fatores:

POTÊNCIA NOMINAL. Com o aumento da potência nominal, aumenta-se a capacidade de campo, conforme mostra a Figura 3.3.10.

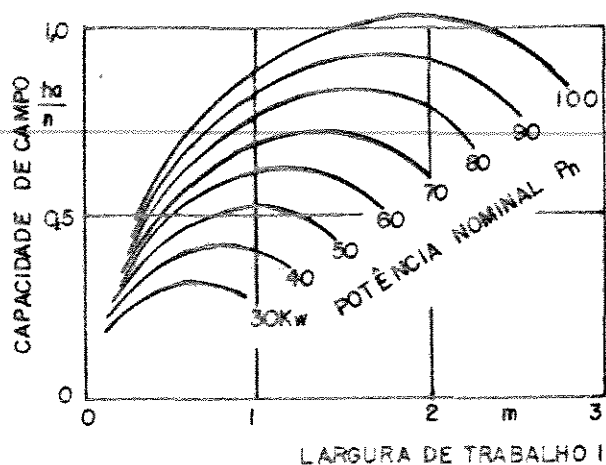


FIG. 3.3.10 - Curva de máxima capacidade de campo na aração, com tratores de diferentes potências nominais em função da largura de trabalho (solo argiloso, $p = 0,25$ m, $\lambda = 1$ e $\eta = 0,8$).

A utilização de 100% da potência nominal significa que, no caso das curvas da Figura 3.3.10, trata-se da máxima capacidade de campo possível de ser alcançada sob as condições fornecidas.

Os pontos de máximo da Figura 3.3.10 deslocam-se, com o aumento da potência nominal, para larguras de trabalho maiores, o que significa que a determinação adequada da largura de trabalho do implemento torna-se menos crítica, facilitando assim a escolha de novos equipamentos para o emprego correto do conjunto trator-implemento.

-RAZÃO PESO/POTÊNCIA. A Figura 3.3.11 mostra a influência da razão peso/potência, para o mesmo conjunto trator-implemento, sobre a capacidade de campo. A área hachurada indica a máxima capacidade de campo obtida entre as condições do trator sem lastro e totalmente lastrado. Observa-se da Figura 3.3.11 que a máxima capacidade de campo se eleva com o aumento da razão peso/potência, e que a variação da curva em torno do ponto máximo é menor. Isto é, a exata determinação da largura de trabalho torna-se menos crítica.

Os resultados da simulação permitiram observar que um acréscimo na máxima capacidade de campo, através do aumento de peso do trator, será tanto menor quanto mais elevada estiver a relação peso/potência prevista construtivamente e que, para o caso oposto, ter-se-ia como

consequência uma maior redução da máxima capacidade de campo.

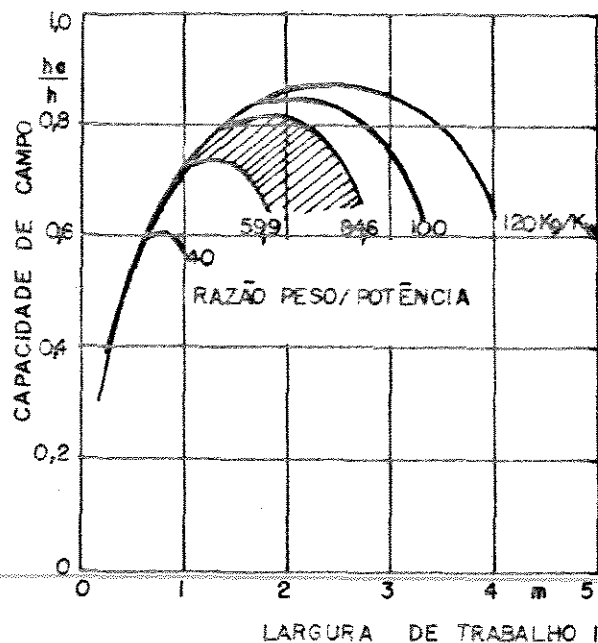


FIG. 3.3.11 - Máxima capacidade de campo em função da largura de trabalho do arado para diferentes razões peso/potência dos tratores (solo areno-argiloso, $P_n = 41,6$ kW, $\lambda = 1$, $\eta = 0,8$, $p = 0,25$ m)

A máxima capacidade de campo pode, para larguras de trabalho pequenas, diminuir com o aumento da razão peso/potência. Este fato tornou-se evidente quando a máxima capacidade de campo foi apresentada em função da razão peso/potência para diversas larguras de trabalho, conforme mostra a Figura 3.3.12.

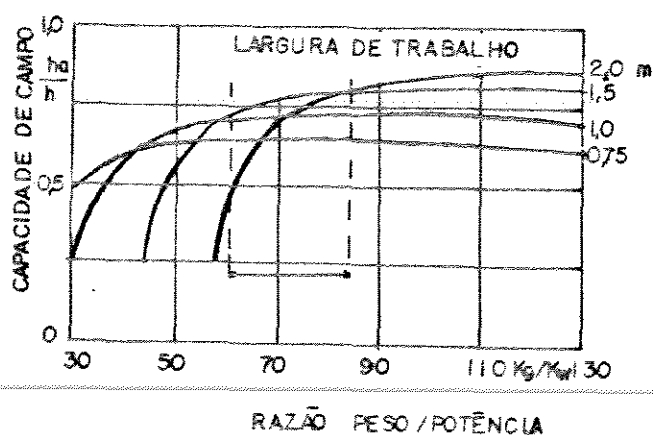


FIG. 3.3.12 - Máxima capacidade de campo, na aração, em função da razão peso/potência, para diversas larguras de trabalho (solo areno-argiloso, $P_n = 41,6 \text{ kW}$, $\lambda = 1$, $\eta = 0,8$, $p = 0,25 \text{ m}$).

-TIPO DE SOLO. Os resultados da simulação apresentados na Figura 3.3.13 foram obtidos para o trator utilizado nos casos anteriores, em condição sem lastros e totalmente lastrados, para dois tipos de solo.

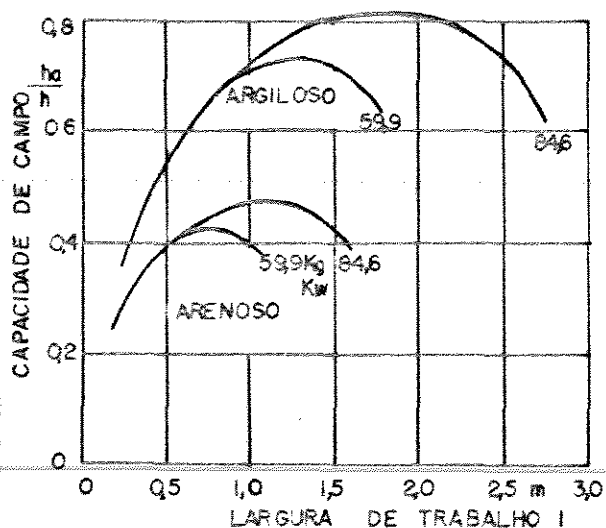


FIG. 3.3.13 - Máxima capacidade de campo em função da largura de trabalho, para dois tipos de solos e para os limites superior e inferior da razão peso/potência do trator (solo areno-argiloso, $P_n = 41,6 \text{ kW}$, $\lambda = 1$, $p = 0,25 \text{ m}$, $\eta = 0,8$).

Notou-se que, quanto mais pesado for o solo, tanto maior será a capacidade de campo e maior será a região do gráfico que a contém. Disto resulta que a determinação da largura de trabalho é mais crítica quanto mais leve for o solo.

-VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO E LARGURA DE TRABALHO. A capacidade de campo resulta do produto da largura efetiva de trabalho do implemento pela velocidade de deslocamento, portanto, para o mesmo implemento, a cada ponto da curva de máxima capacidade de campo esta associado um único valor de velocidade de deslocamento, conforme pode ser observado na Figura 3.3.14.

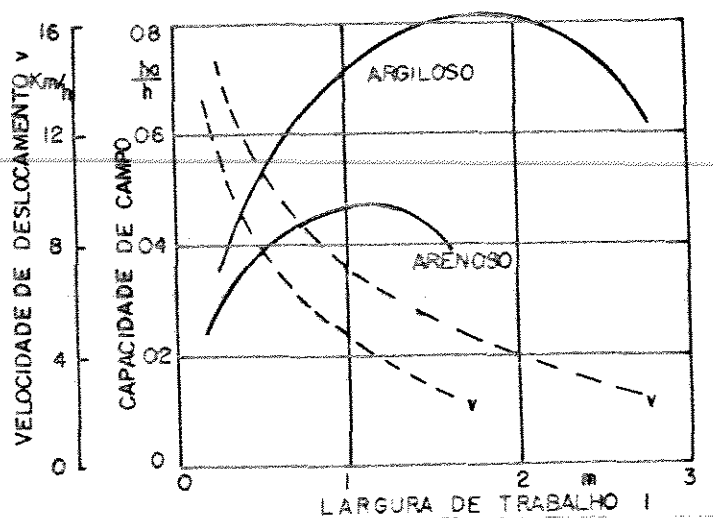


FIG. 3.3.14 - Máxima capacidade de campo na aração, e correspondente velocidade de deslocamento em função da largura de trabalho, para dois tipos de solo ($\gamma = 84,6 \text{ kg/kW}$, $l = 2 \text{ m}$, $P_h = 41,6 \text{ kW}$, $\lambda = 1$, $\eta = 0,8$, $p = 0,25 \text{ mD}$).

Para obter-se a máxima capacidade de campo, sob as mesmas condições de solo, a pergunta "maior largura ou maior velocidade?" não será portanto necessária, pois a máxima capacidade de campo só é obtida através de uma única combinação de velocidade e largura de trabalho.

-RELAÇÕES DE TRANSMISSÃO E NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO MOTOR. As curvas até agora discutidas sobre a máxima capacidade de campo são válidas para a potência nominal, isto é, para a utilização total do motor ($\lambda = 100\%$). Nesta condição, para que sempre se alcance a máxima capacidade de campo, seria necessária uma transmissão contínua.

A Figura 3.3.15 mostra, para uma combinação trator-implemento, a potência necessária e a disponível no motor em função da velocidade de deslocamento, situada no âmbito de cada relação de transmissão engatada.

A curva de potência do motor, ali representada, considera toda as perdas, bem como, o deslizamento dos pneus. Neste caso, devido ao escalonamento das relações de transmissão, pode se obter uma utilização do motor entre 89% e 100% de sua potência nominal.

Portanto, a máxima capacidade de campo, possível de se obter na prática, em cada tipo de solo, está situada entre as curvas mostradas na Figura 3.3.16, naturalmente pressupondo-se que o trator esteja sendo conduzido em uma relação de transmissão adequada.

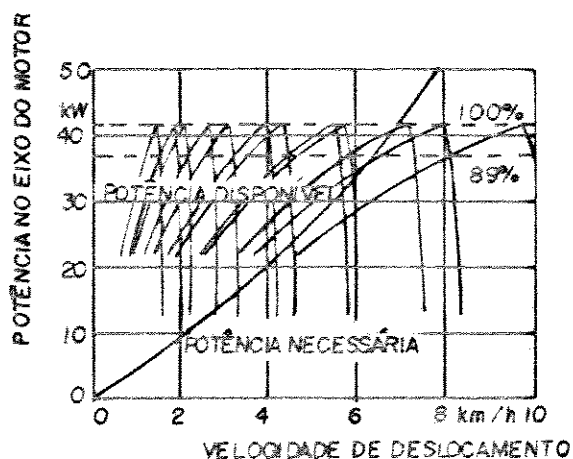


FIG. 3.3.15 - Potência necessária no motor para a aração e a potência disponível do motor, em diversas relações de transmissão, em função da velocidade de deslocamento ($\gamma = 84,6 \text{ kg/kW}$, $l = 2 \text{ m}$, $p = 0,25 \text{ m}$, $P_n = 41,6 \text{ kW}$, $\lambda = 1$, $\eta = 0,8$).

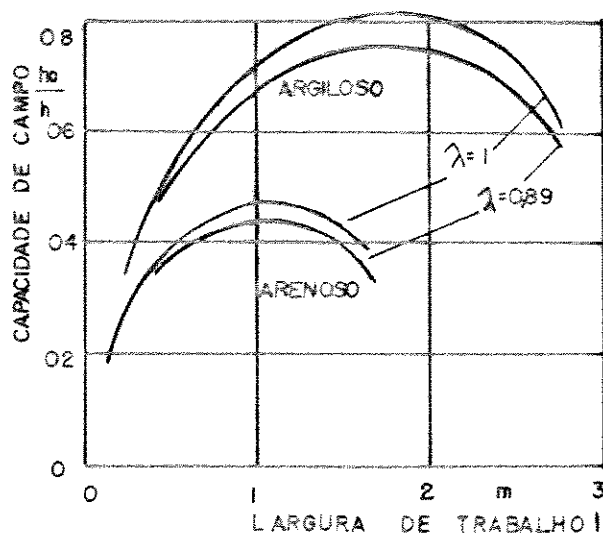


FIG. 3.3.16 - Capacidade de campo em função da largura de trabalho, para dois tipos de solo e dois níveis de utilização de potência ($\gamma = 84,6 \text{ kg/kW}$, $l = 2 \text{ m}$, $p = 0,25 \text{ m}$, $\eta = 0,8$, $\lambda = 1$).

Pesquisas realizadas por Rutherford (1973), citado por VON GERARD e STEINKAMPF (1982) mostraram que nas operações de aração deve-se esperar um nível de utilização do motor entre 44% e 87%. Pesquisas mais recentes realizadas por Ohrman et alii (1980), citados também por VON GERARD e STEINKAMPF (1982), chegaram em parte, a resultados mais baixos, para a utilização do motor. Um motivo para isto deve fundamentar-se no fato de que, o operador não dispõe de informações sobre a condição real de funcionamento do motor.

O operador é obrigado a basear-se em experiências e informações auxiliares, como por exemplo, o nível de ruído do motor, pois não dispõe de informações como as apresentadas na Figura 3.3.15.

Um instrumento que informasse ao operador se ele está usando a relação de transmissão correta ou para qual deveria mudar, seria portanto um pressuposto importante para a utilização total da potência disponível. Tal indicação permite concluir que sempre seria possível alcançar a capacidade de campo que se encontra entre as curvas da Figura 3.3.16.

Finalmente, ainda com o intuito de alcançar o aproveitamento máximo do motor, poder-se-ia alterar a profundidade ou a largura de trabalho. O primeiro caso não pode ser avaliado sem levar em conta o trabalho final, já para o segundo, existe a possibilidade de se regular a

largura de trabalho, de tal maneira que se alcance o objetivo acima, e conseqüentemente uma maior capacidade de campo.

VON GERARD e STETNKAMPF (1982) procederam ainda a uma comparação entre a otimização da capacidade de campo e do consumo de combustível, apresentando na Figura 3.3.17, as curvas em função da largura de trabalho.

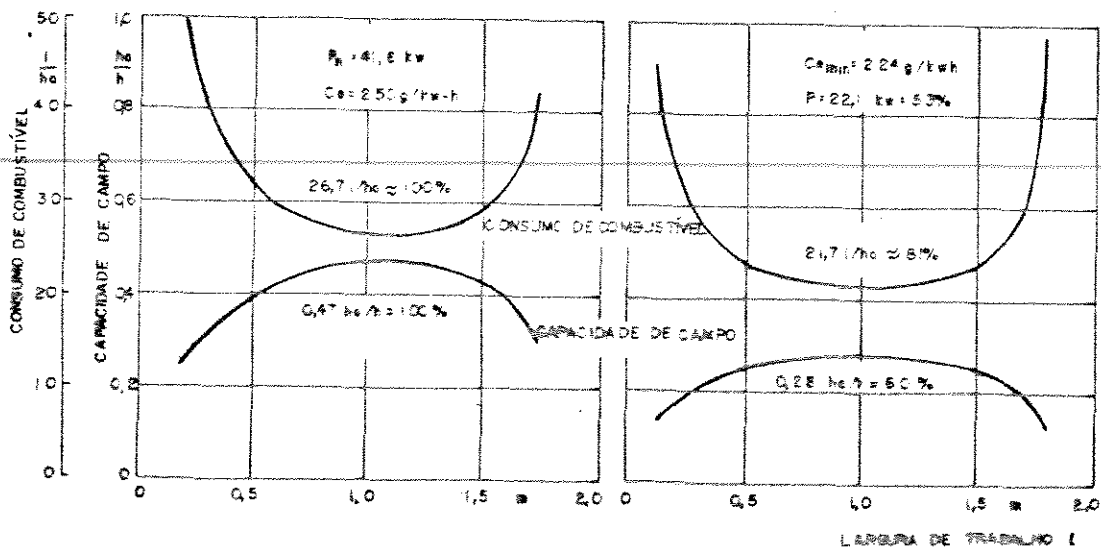


FIG. 3.3.17 - Capacidade de campo e consumo de combustível em função da largura de trabalho, à esquerda, com a otimização da capacidade de campo ($P_n = 41,6$ kW), à direita, com a otimização do consumo específico de combustível (solo argiloso, $C_e = 224 \text{ g/kWh}$, $p = 0,25 \text{ m}$, $\eta = 0,8$, $\lambda = 1$).

Neste caso particular o consumo, em regime de potência máxima, importou ser 11% a 12% maior em relação ao ponto de mínimo consumo específico.

Através do aproveitamento do ponto ideal de consumo ocorre, em termos de consumo de combustível por unidade de área trabalhada, uma economia de 19%, mas também uma redução de 40% da capacidade de campo.

Na prática, uma redução no consumo por unidade de área é possível, quando se trabalha sob cargas parciais na região de mínimo consumo específico do motor; neste caso, como foi visto, a capacidade de campo baixou percentualmente mais do que o consumo de combustível.

A diferença no consumo de combustível por unidade de área trabalhada será tanto menor quanto mais próximos estiverem os pontos de mínimo consumo específico, e de máxima potência do motor.

No caso de tratores que são utilizados principalmente sob condições severas, o ponto de mínimo consumo específico deveria situar-se o mais próximo possível do ponto de potência máxima. Já no caso oposto, quando utilizado com baixos níveis de potência e rotação, seria desejável que o ponto de mínimo consumo específico estivesse situado a baixa potência e a baixa rotação do motor.

Uma otimização simultânea da capacidade de campo e do consumo de combustível, não é possível com a

utilização de um motor cujo ponto de mínimo consumo específico não coincida com o de potência máxima do motor, daí a necessidade de se estabelecer critérios de operação.

Outros fatores de influência foram discutidos pelos autores, tais como; estrutura do empreendimento, processo de trabalho e operador, para os quais, apesar da utilização de equipamentos idênticos, resultam em participações diferentes no tempo total de trabalho e, conseqüentemente, em diferentes capacidades de campo; e concluem que estes últimos fatores podem ser de importância significativa em pesquisas globais, porém, na avaliação da combinação trator-implemento, sob o ponto de vista técnico, não deveriam ser incluído no modelo afim de se evitar interpretações duvidosas.

SCHIMMEL e HULLA (1983) afirmaram que a utilização mais econômica dos tratores agrícolas pode ser obtida através de uma otimização construtiva e uma otimização do modo operacional. A primeira vem acompanhada de investimentos que o processo produtivo da agricultura atual parece não suportar. A segunda necessita ainda de um sistema que forneça informações ao operador, além daquelas que atualmente estão disponíveis.

Os autores concluíram que a seleção e manutenção da maneira ideal de operação do trator agrícola não deveria mais ficar a critério exclusivamente da

experiência e sensibilidade do operador, e que um primeiro passo para o uso racional dos tratores poderia estar baseado num sistema de informação auxiliar ao operador.

Afim de proporcionar um embasamento a estas afirmações, os autores apresentaram alguns fundamentos teóricos que são discutidos a seguir:

-CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL. O ponto de partida para o raciocínio da maneira otimizada de operação é o conhecimento das curvas de isoconsumo, pois a dependência do consumo específico de combustível do motor pela rotação, torque e forma das referidas curvas tem grande influência no consumo final do motor.

-CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO CONJUNTO TRATOR-IMPLEMENTO. Para se proceder considerações teóricas sobre este tema, os autores elaboraram uma curva de consumo, para uma operação de aração com um trator 4 X 4, levando-se em conta os seguintes fatores de influência: motor, transmissão, interface pneu-solo e relação implemento-solo.

Com isto, e supondo-se uma caixa de mudanças com diversas relações de transmissão, os parâmetros como força de tração, velocidade de deslocamento real, e deslizamento puderam, para uma condição particular, ser claramente determinados em cada ponto de trabalho do motor e apresentados na Figura 3.3.18.

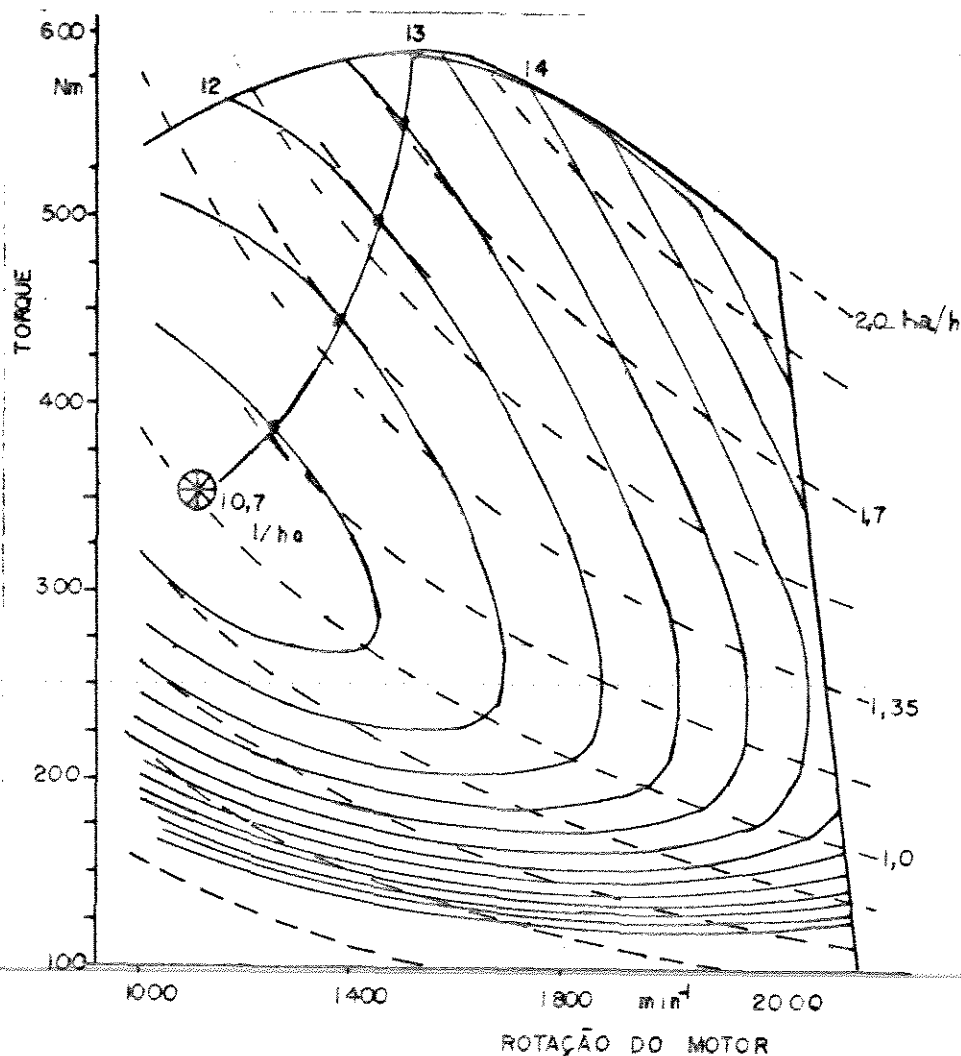


FIG. 3.3.18 - Curvas do motor de um trator, com linhas de mesmo consumo de combustível por unidade de área e de mesma capacidade de campo na aração.

Observando-se a Figura 3.3.18 nota-se que o mínimo consumo de combustível por unidade de área trabalhada importa em 10,7 l/ha, correspondendo aproximadamente a uma capacidade de campo de 1 ha/h. Aumentando-se a capacidade de campo em 100%, ou seja, para 2 ha/h, tem-se um consumo de 15 l/ha e, portanto, um aumento de 50% no consumo de combustível.

Nota-se pois, que um aumento na capacidade de campo, na região próxima ao ponto de mínimo consumo por

unidade de área, tem pouca influência no consumo. O oposto ocorre na região próxima ao ponto de potência nominal do motor, onde a um pequeno aumento da capacidade de campo, segue-se um aumento maior do consumo de combustível por unidade de área.

Os autores, para chegarem às reflexões teóricas aqui apresentadas, utilizaram-se de teorias que descrevem o comportamento dos fatores de influência acima mencionados. Tais teorias possuem ainda, em alguns casos, limitações próprias além de sofrerem outras influências que não foram considerados, conforme apresentaram VON GERARD e STEINKAMPF (1982). Apesar do exposto, os resultados do estudo apresentado pelos autores é de utilidade no conhecimento qualitativo do comportamento do consumo de combustível por unidade de área trabalhada.

-PONTOS DE TRABALHO OTIMIZADOS. São aqueles em que, as linhas de capacidade de campo constante se encontram com as de consumo de combustível por unidade de área constante, conforme pode-se observar na Figura 3.3.18.

Nestes pontos obtém-se a máxima capacidade de campo para um determinado consumo de combustível por unidade de área ou, por outro lado, um mínimo consumo de combustível por unidade de área para uma determinada capacidade de campo.

Na linha que une estes pontos deve-se encontrar a maneira otimizada de operação, que pode, porém,

ser claramente identificada levando-se ainda em conta um dos dois seguintes critérios de operação; economia de energia (menor consumo de combustível) ou economia de tempo (maior capacidade de campo), anteriormente já apontados por VON GERARD e STEINKAMPF (1982).

-CRITÉRIOS DE OPERAÇÃO. Os critérios anteriormente mencionados podem ser observados na Figura 3.3.19.

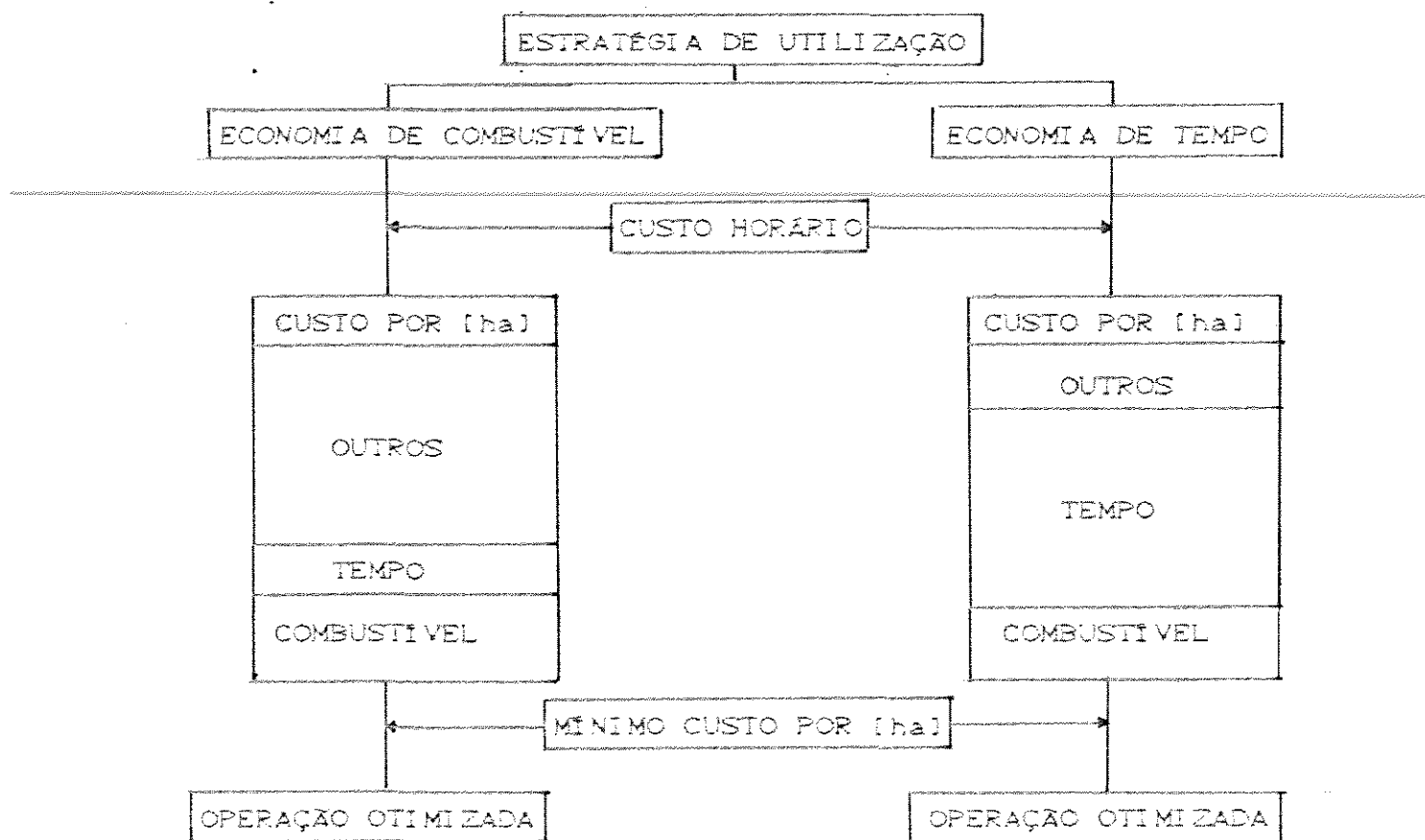


FIG. 3.3.19 - Critérios para a otimização da utilização do trator agrícola no trabalho de aração.

Uma possibilidade para o entendimento quantitativo dos critérios de otimização é a avaliação do custo horário total, através do tempo necessário para a operação.

Para altos custos horários, correspondente ao lado direito da Figura 3.3.19, deve-se operar segundo o critério de economia de tempo, pois o aumento do gasto de combustível terá pouca influência no custo horário de operação.

Para baixos custos horários, correspondente ao lado esquerdo da Figura 3.3.19, é mais econômico operar ~~segundo o critério de economia de energia.~~

No âmbito da curva do motor, o acima exposto, pode ser observado para três tipos de solos (Figura 3.3.20).

Baseando-se em cada um dos critérios, na composição entre o custo horário e o custo do combustível, para o preparo de uma unidade de área, pode-se claramente determinar qual o critério de operação que conduz a uma minimização do custo horário total por unidade de área trabalhada.

-OPERAÇÃO SEGUNDO O CRITÉRIO DE ECONOMIA DE ENERGIA. Para estas considerações os autores adotaram uma relação entre o custo horário total e o custo do combustível de 10 : 1 e apresentaram, conforme mostra a Figura 3.3.21, o desenvolvimento dos custos para o critério escolhido, em função de todas as situações possíveis de trabalho.

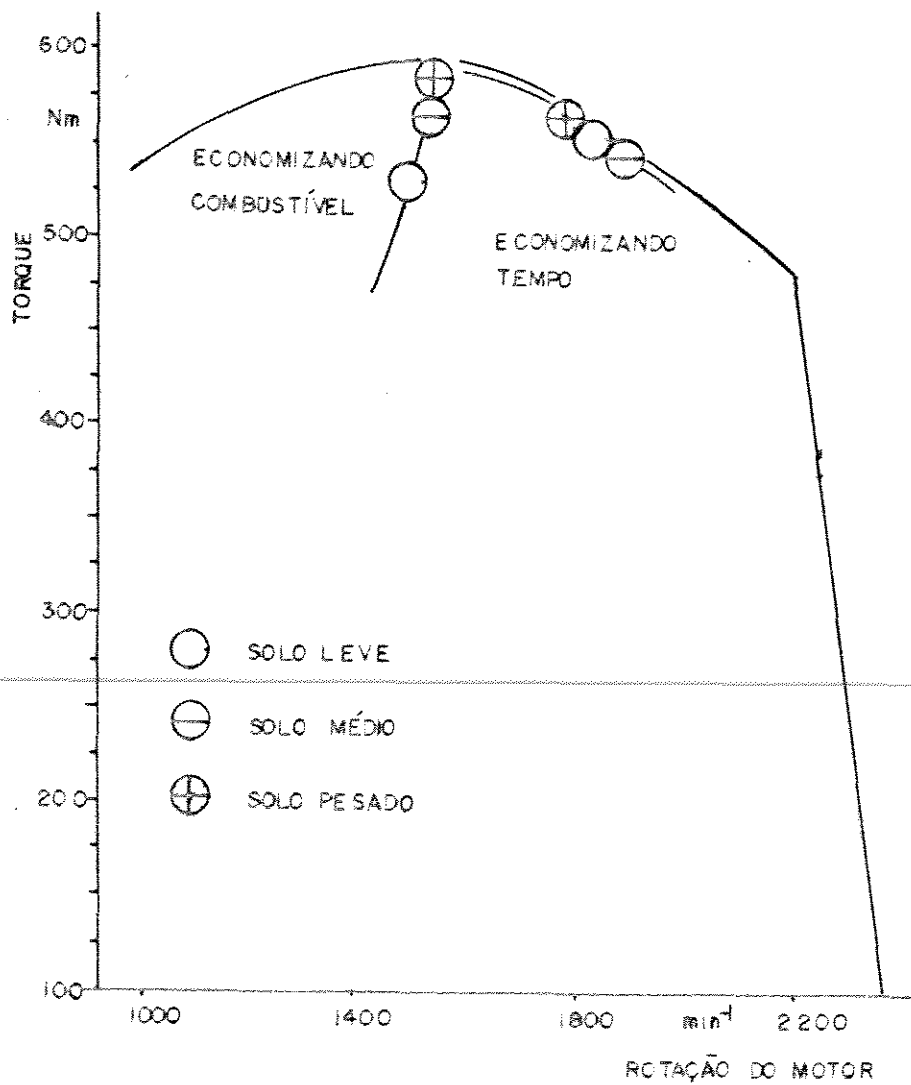


FIG. 3.3.20 - Curvas de um motor de trator com pontos de mínimo custo horário na aração, para diferentes tipos de solo e relação custo horário/custo de combustível, de 10 : 1, para o critério de economia de energia, e de 50 : 1, para o de economia de tempo.

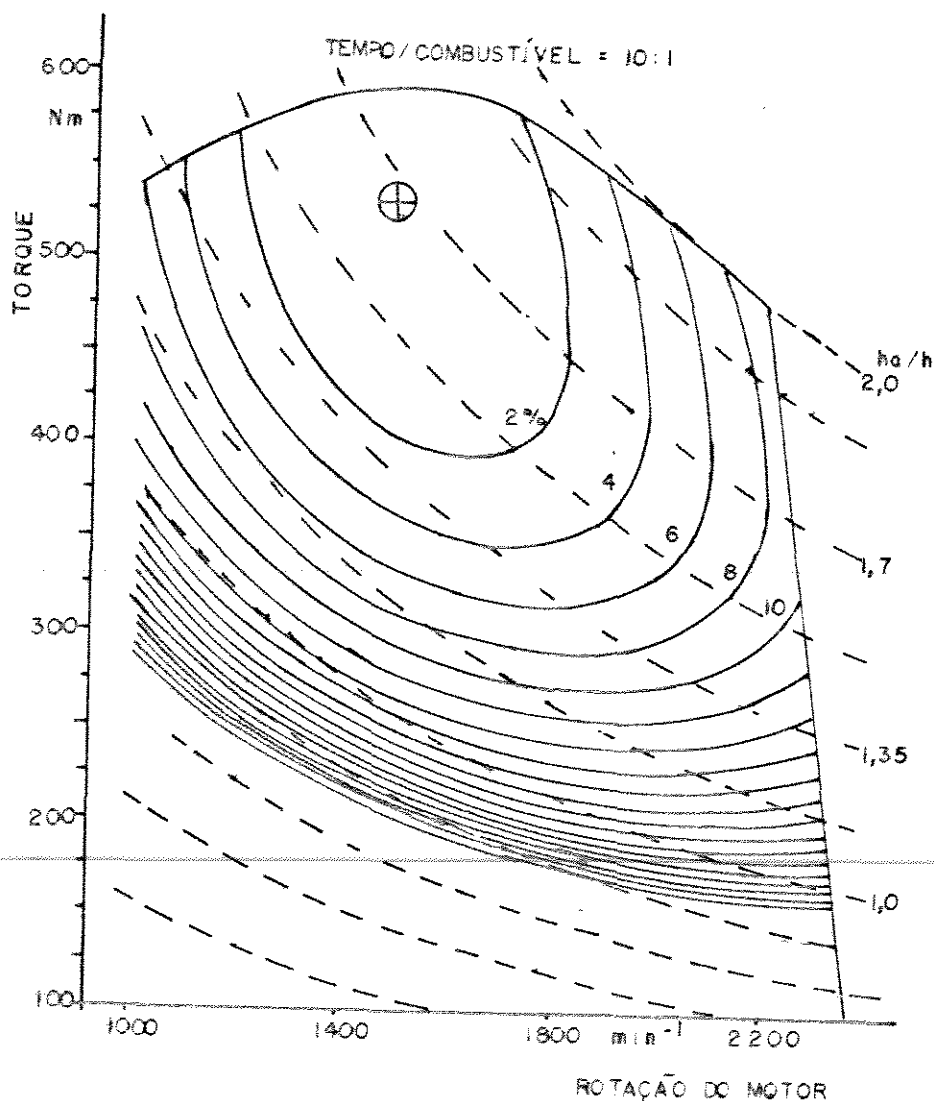


FIG. 3.3.21 - Curvas de um motor de trator com linhas de mesma razão entre a área trabalhada e o custo horário total, apresentadas em níveis de 2% acima do mínimo, e linhas de capacidade de campo constante, na aração, operando segundo o critério de economia de energia (10 : 1).

Notou-se aqui, pelas formas das curvas, que para se operar em torno do mínimo custo horário é mais importante a manutenção da rotação do motor do que do torque.

-OPERAÇÃO SEGUNDO O CRITÉRIO DE ECONOMIA DE TEMPO. Para estas considerações os autores adotaram uma relação entre o custo horário total e o custo do combustível de 50 : 1 e apresentaram, conforme mostra a Figura 3.3.22, o desenvolvimento dos custos para o critério de economia de tempo, analogamente ao caso anterior.

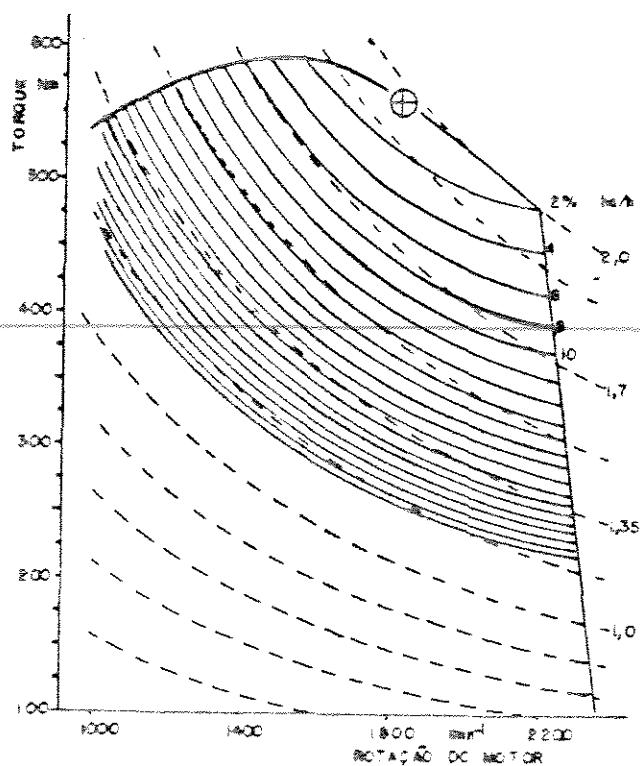


FIG. 3.3.22 - Curvas de um motor de trator com linhas de mesma razão entre a área trabalhada e o custo horário total, apresentadas em níveis de 2% acima do mínimo, e linhas de capacidade de campo constante, na aração, operando segundo o critério de economia de tempo (50 : 1).

O resultado da simulação mostrou que o ponto de mínimo custo horário total chega muito próximo do ponto de máxima capacidade de campo. Isto deve-se ao fato de que o custo com o combustível é coberto pelas demais parcelas, mais elevadas, que compõem o custo horário total.

A menor distância das curvas de mesma razão entre a área trabalhada e o custo horário da Figura 3.3.22 em relação ao da Figura 3.3.21, indica que um desvio no modo otimizado de operação implica em um aumento de custos.

Aqui, ao contrário do critério de operação com economia de energia, é mais importante a manutenção do torque do motor.

-VARIAÇÃO DE PARÂMETROS. Uma variação nos parâmetros do solo, como mostra a Figura 3.3.20, dentro de um mesmo critério de operação, implica apenas em uma pequena alteração no custo horário total. Da mesma forma são pequenos os deslocamentos do ponto de ótimo, pela variação da largura de trabalho ou do lastro dos tratores, dentro dos valores usuais. Como fundamento para isto, pode-se apontar a grande influência das curvas dos motores que, pelas suas características, cobrem as influências dos demais parâmetros do sistema.

Este resultado é de importância para o uso prático, pois através dele se deduz que a maneira otimizada de operação de um trator, numa primeira aproximação, deixa-se

controlar através da medição do torque e da rotação do motor, tornando-se desnecessário o conhecimento da força de tração e do deslizamento das rodas motoras.

3.4 - Sistemas de aquisição de dados em tratores agrícolas.

GREVIS-JAMES & BLOOME (1982), desenvolveram um monitor para a potência consumida na barra de tração de tratores agrícolas.

O monitor de potência desenvolvida na barra de tração foi apresentado, pelos autores, como sendo um meio de auxílio para a otimização da eficiência global das operações com o conjunto trator-implemento e, além disso, como um instrumento capaz de fornecer dados aos agricultores para as futuras seleções com máquinas agrícolas.

O sistema era constituído de três transdutores instalados no trator, cujos sinais após terem sido processados eletronicamente, eram apresentados em quatro variáveis distintas, ou seja: velocidade de deslocamento do trator, deslizamento das rodas motoras, força e potência na barra de tração. O autor mencionou que o consumo de combustível deveria também ser acrescentado como uma das variáveis a serem apresentadas.

Os transdutores usados para a medição da velocidade de deslocamento e da velocidade angular das rodas

motoras eram semelhantes, e se constituíam de sensores magnéticos posicionados próximos a discos perfurados, fixados respectivamente nas rodas dianteiras e traseiras para tratores 4 X 2 ; para 4 X 4 utilizava-se de uma quinta roda. Os sinais gerados eram na forma de pulsos e foram processados eletronicamente para se obter a indicação da velocidade, deslizamento e potência (com o acréscimo do sinal proveniente da força de tração).

A força de tração foi obtida através de extensômetros elétricos de resistência instalados no lado interno de um furo feito na própria barra de tração. O furo foi dimensionado para se obter uma seção transversal de aproximadamente $13 \text{ mm}^2/\text{kN}$ da máxima força estimada, sobre solo firme, e foi localizado próximo à fixação frontal da barra para se evitar flexões nos planos vertical e horizontal. Os outros componentes da força de tração, diferentes do longitudinal, foram ignorados.

Testes realizados com o equipamento em laboratório, numa faixa de temperatura de 10°C a 35°C , mostraram os seguintes níveis de desempenho, para a leitura de fundo de escala: $\pm 0,5\%$ para potência, $\pm 0,2\%$ para velocidade e $\pm 1,0\%$ para deslizamento. Já os testes sob condições de campo mostraram $\pm 2,8\%$, $\pm 2,2\%$ e $\pm 10,0\%$, respectivamente.

Os autores justificaram o alto erro obtido para o deslizamento, sob condições de campo, como sendo

devido à imprecisão do método usado para a determinação do deslizamento real.

O painel frontal do monitor constava de um único indicador, uma chave liga-desliga, três potenciômetros (zeragem da força de tração e deslizamento e calibração da velocidade) e uma chave seletora.

Tal conformação do painel, embora seja de custo mais reduzido, não permite ao operador visualizar simultaneamente as variações dos parâmetros avaliados, dificultando seu entendimento global.

O monitor de potência apresentado pelos autores se limita às operações realizadas na barra de tração do trator agrícola, não permitindo portanto, a otimização da utilização da tomada de potência, nem tão pouco, do motor.

Com a finalidade de monitorar e otimizar as operações de campo com tratores agrícolas, SCHIMMEL & HULLA (1983) construíram um sistema eletrônico de informação capaz de operar segundo um dos critérios previamente selecionados, ou seja, com economia de tempo, com economia de energia ou com uma situação intermediária.

O sistema baseia-se em um microcomputador onde são previamente armazenados os valores otimizados relativos ao motor (rotação e torque) e ao implemento a ser utilizado (largura de trabalho).

As informações são apresentadas em um painel composto por dois indicadores, um indicador digital e um

analógico. O indicador analógico consiste de círculos concêntricos a um ponto fixo, que indica a operação otimizada, e de um ponto móvel, que indica o atual ponto de operação do motor. Este mesmo indicador, possui ainda duas setas dispostas em sentido contrário uma da outra, que sugerem, quando acesas, uma mudança na relação de transmissão utilizada, e três luzes testemunhas indicativas do critério de operação selecionado. O indicador digital apresenta valores instantâneos do consumo de combustível em litros por hectare, valores de capacidade de campo em hectares por hora, valores médios para o consumo de combustível e para a capacidade de campo e a totalização da quantidade de combustível consumido e da área trabalhada desde o início da operação. Mediante seleção, para operação de transporte, são mostrados os consumos de combustível instantâneo e médio, a velocidade de deslocamento e a totalização da quantidade de combustível consumida e da distância percorrida.

O sistema de informação proposto por SCHIMMEL & HULLA (1983) possibilita ao agricultor proceder a correta seleção do implemento, bem como, a maneira otimizada de operação do conjunto, baseando-se exclusivamente nos critérios de operação e nas curvas características do motor. Possui, porém, a característica de apresentar um volume de informação que dificilmente seria assimilado pelos operadores nacionais de máquinas agrícolas.

PANG et alii (1985) apresentaram um monitor de

desempenho do trator baseado na medição indireta do consumo de combustível. O monitor permite a leitura, em um indicador digital, do consumo de Diesel por hectare trabalhado.

O método de medição escolhido foi baseado na correlação entre o consumo de combustível e a diferença de temperatura do ar de admissão e dos gases de escape do motor.

Os autores mostraram que a correlação acima é dependente da rotação do motor e projetaram um circuito eletrônico capaz de corrigi-la para uma relação funcional única. Para se proceder a esta correção utilizaram-se dos sinais provenientes de um sensor de posição da alavanca de acionamento da bomba injetora, e portanto, da rotação do motor.

Um quinta roda com um sensor magnético foi utilizada para produzir pulsos proporcionais à velocidade de deslocamento do trator.

Para ajustar um sinal correspondente à largura de trabalho do implemento (5 a 25 m) foi utilizado um divisor de tensão com um potenciômetro instalado no painel do instrumento.

O monitor foi submetido a uma calibração em dinamômetro, simulando-se eletronicamente uma velocidade de deslocamento de 8 km/h e uma largura de trabalho de 10 metros, sendo encontrado um coeficiente de determinação de 0,992 e um erro padrão do valor estimado de 0,07 l/ha, que os autores atribuem, em parte, aos equipamentos utilizados na

calibração.

Como grande vantagem do sistema, os autores mencionaram a utilização de termopares para a medição indireta do consumo de combustível, evitando-se assim, o uso de dispendiosos medidores de vazão.

O monitor de desempenho de tratores apresentado, embora simples, de fácil construção e de baixo custo, não permite o monitoramento de operações estacionárias feitas através da tomada de potência dos tratores, nem tão pouco nas de transporte.

MALCOLM, K. et alii (1985) apresentaram uma linha de pesquisa cujos objetivos eram de documentar e melhorar o desempenho de tratores nas operações agrícolas, bem como, de avaliar as conseqüentes implicações econômicas.

Para isto, dividiram o estudo em quatro etapas:

1 - Desenvolvimento e instalação de uma instrumentação para monitoramento do desempenho do trator;

2 - Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados baseado em um microcomputador;

3 - Desenvolvimento de um sistema de informação ao operador, baseado no item anterior;

4 - Avaliação das implicações econômicas.

O presente trabalho apresentou apenas os resultados da primeira etapa, para o que foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados que permitiu monitorar a eficiência global do trator.

Utilizou-se de um trator John Deere 4440, com o qual foram feitas medições de velocidade de deslocamento, rotação do motor, velocidade angular de roda dianteira direita e das rodas traseiras, força de tração na barra, torque no eixo traseiro e consumo de combustível.

Os autores utilizaram-se de uma unidade de monitoramento disponível comercialmente, da marca Dickey John Corporation, modelo DjTPMII, que consiste de: radar para medição da velocidade de deslocamento, sensor para rotação do motor, sensor magnético para medição da velocidade angular das rodas motoras e um console para apresentação dos resultados.

O deslizamento pôde ser calculado pelos dados relativos à diferença entre a velocidade de deslocamento e a velocidade angular das rodas motoras.

O torque nos eixos traseiros de acionamento foi obtido através de extensômetros elétricos de resistência montados dentro da carcaça do diferencial.

A força de tração foi obtida por uma célula extensométrica montada na extremidade frontal da barra de tração, evitando-se assim, efeitos de flexão.

A velocidade angular da roda dianteira direita foi obtida através de um sensor magnético montado sobre uma engrenagem dentada no lado interno da roda.

O consumo de combustível foi obtido com um medidor de vazão de marca Fluidyne Instrumentation, modelo 1214-D, com sensor de temperatura instalado na linha de alimentação, antes do transdutor de vazão. Os dados referentes ao consumo horário, temperatura e total de combustível consumido eram apresentados em um indicador digital.

Os dados obtidos durante os testes foram armazenados em um registrador da marca Campbell Scientific Inc., modelo CRS, e posteriormente analisados em computador.

Paralelamente foram feitas comparações entre a velocidade de deslocamento determinada pelo radar, pela velocidade angular da roda dianteira direita e pela velocidade cronometrada. Exceto para uma superfície asfaltada, as medidas de velocidade feitas através da roda dianteira foram consideravelmente menores que as cronometradas, variando de 4% a 15% dependendo da carga. As diferenças percentuais entre as medições feitas com o radar e as cronometradas foram menores em superfícies planas e lisas. Para as condições de campo variaram de -2% a +4%.

Os testes de campo foram realizados com uma grade de disco tipo Tandem, uma grade de discos tipo "offset" e um arado escarificador, com larguras de trabalho

respectivamente de 7,6 m, 4,9 m e 4,9 m.

A técnica utilizada para se otimizar o desempenho global do trator foi a de se escolher a relação de marcha mais alta e o menor débito da bomba injetora possíveis.

Para a grade de discos tipo Tandem, a eficiência de tração e o torque no motor, aumentaram respectivamente de 10,6% e 33,4%, quando a relação de transmissão foi mudada de segunda para terceira. O consumo volumétrico de combustível aumentou de 14,8%, contudo, o consumo específico diminuiu de 14,2%.

O consumo específico diminuiu de 14,8%, para a grade de discos tipo "offset", e de 8,3%, para o arado escarificador, quando a técnica escolhida foi utilizada.

Os autores somente justificaram a diminuição do consumo específico de combustível, pelo aumento da carga no motor, contudo, tal comportamento depende das curvas características de cada motor e não devem ser generalizadas.

O sistema de aquisição de dados construído pelos autores é de importância para a pesquisa, desenvolvimento e utilização das máquinas agrícolas estudadas, contudo, como foi apresentado, não contempla o operador com informações que lhe permita escolher um modo de operação otimizado para os requerimentos momentâneos do trabalho, que está sendo realizado.

KIRSTE et alii (1985) apresentaram um monitor de desempenho de motores Diesel, baseado nas curvas de isoconsumo do motor e em uma matriz de diodos emissores de luz (LEDs), sobre a qual foi instalada uma máscara transparente com as curvas características do motor.

As curvas desenhadas na máscara apresentavam informações quanto ao torque, potência, rotação e consumo específico do motor.

Devido ao alto custo e às dificuldades de montagens, os autores eliminaram a possibilidade de se utilizar os métodos de medição direta do torque desenvolvido pelo motor, e optaram por um método indireto.

Como possíveis técnicas de medição indireta do torque, foram verificadas as seguintes alternativas: medição contínua do consumo de combustível, posição da haste de regulagem da bomba injetora e medição diferencial entre as temperaturas dos gases de exaustão e de admissão.

O método que se utilizava da medição contínua do consumo de combustível, segundo os autores, apresentava vantagens no que diz respeito à facilidade de instalação do transdutor na linha de alimentação, mas desvantagens quanto ao seu custo, e por ter precisão em uma faixa limitada. Este método foi rejeitado.

O método que se utilizava da determinação da posição da haste de regulagem da bomba injetora apresentou as seguintes desvantagens: prestava-se somente às bombas do tipo

em linha, não podendo ser utilizado nas do tipo rotativo, necessitava de adaptações de alto custo e possuía uma forte dependência da rotação do motor, devido principalmente à mudança da eficiência da bomba injetora em função da rotação, o que dificultava o processamento eletrônico do sinal. Este método também foi rejeitado.

O método que se utilizava da diferença de temperaturas entre os gases de exaustão e admissão foi o que se apresentou mais promissor, tendo sido adotado pelos autores. Este método apresentava também uma dependência com a rotação, mas foi possível a construção de um circuito eletrônico simples para se obter uma função linear entre a diferença de temperatura medida e o torque estimado.

Os autores mencionaram que o tempo de resposta do método da diferença de temperaturas foi relativamente elevado, principalmente quando havia grandes variações de torque, contudo uma resposta rápida não era necessária pois poderia até dificultar a interpretação do resultado, mostrado na matriz de "LEDs".

O outro sinal necessário para o funcionamento da matriz de "LEDs" era proveniente da rotação do motor. Foram experimentados dois tipos de métodos, um através de um sensor de proximidade e outro através de um alternador trifásico, no entanto, ambos não apresentaram qualquer dificuldade em sua utilização. Foi escolhido o primeiro.

O monitor foi instalado em um trator marca

FENDT equipado com um motor Diesel de três cilindros e aspiração natural.

Foram feitos testes qualitativos, com o trator tracionando um carro dinamométrico, com vários operadores e todos conseguiram resultados positivos no que se refere à otimização do modo de operação.

O monitor, apesar de ser de fácil construção e baixo custo, possui um painel indicador, com as curvas de isoconsumo, que apresenta um volume de informações que parece ser de difícil assimilação por parte dos nossos operadores de máquinas agrícolas.

SUMMER et alii (1986) desenvolveram um método, baseado no consumo de combustível do motor, para se estimar o requerimento de potência de implementos agrícolas.

Para isto, utilizaram-se de um freio dinamométrico, acoplado à Tomada de Potência do Trator Agrícola (TDP), e obtiveram as curvas de consumo de combustível do motor em função da potência na TDP, para diferentes níveis de rotação do motor.

A medição do consumo foi realizada utilizando-se um transdutor de vazão, marca FLUIDYNE, modelo 214-140, instalado na linha de alimentação do combustível, entre o filtro de Diesel e a bomba injetora. O retorno do excesso de combustível bombeado, após passar por um trocador de calor, foi ligado à entrada da bomba injetora. Desta

forma, somente o combustível consumido passava através do transdutor de vazão.

O freio dinamométrico utilizado foi de marca A&W, modelo NEB400, equipado com célula de carga extensométrica, indicador digital de potência, torque e rotação. Foram levantados dados que permitiram a redução dos resultados para as condições atmosféricas padrão (Society of Automotive Engineers - SAE).

Uma correlação entre o consumo de combustível e a potência na TDP, pode ser obtida com o auxílio de um programa de computador (Statistical Analysis Systems - SAS), com o qual obteve-se, para cada nível de rotação, equações polinomiais de segunda ordem, com a seguinte forma:

$$kW = A + B(CFL) + C(CFL)^2$$

onde:

kW = Potência na TDP,

FL = Consumo de Combustível, [l/h],

A, B, C = Constantes.

Todas as equações apresentaram um coeficiente de determinação (r^2) superior a 0,99.

O torque na TDP pôde ser obtido em função do consumo líquido de combustível do motor, definido como sendo a diferença entre o consumo total com carga e sem carga (na mesma rotação), por 1000 rotações do motor, e expresso em $\text{cm}^3/1000$ rotações.

Desta maneira, os autores, puderam eliminar o inconveniente da mudança da eficiência da bomba injetora em função da rotação, como já havia reportado KIRSTE et alii (1965).

A equação obtida apresentou um coeficiente de determinação (r^2) de 0,999 e tem a forma de:

$$TQ = A(NF) + B(NF)^2$$

onde:

TQ = Torque na TDP, [N.m],

NF = Consumo Líquido de Combustível,
[cm³/1000 rotações],

A,B = Constantes.

Embora possua um alto coeficiente de determinação a equação apresentada pelos autores, para a estimativa do torque na TDP, possui sua utilização prejudicada pela dificuldade de se determinar, de maneira prática, o consumo líquido de combustível (NF).

Segundo os autores, o método apresentado para a medição de potência (equivalente na TDP) dos implementos agrícolas independe da forma com que a mesma é transferida do motor para o implemento e, pode ser separada entre os diversos componentes do sistema, através do estabelecimento de diferentes formas de operação.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Trator agrícola.

O trator agrícola adotado para o presente estudo foi de uma faixa média de potência e, portanto, utilizado para a realização da grande maioria das operações em uma propriedade agrícola. Trata-se do trator da marca CBT (Companhia Brasileira de Tratores) modelo 8240 que apresenta as características técnicas, obtidas no catálogo do fabricante, em seguida relacionadas.

4.1.1 - MOTOR:

- Marca: Perkins
 - Modelo: 4248
 - Tipo: Diesel
 - Injeção: Direta
 - Número de cilindros: 4 em linha
 - Cilindrada: 4064 [cm³]
 - Diâmetro dos cilindros: 101 [mm]
 - Curso dos pistões: 127 [mm]
 - Relação de compressão: 16:1
 - Bomba injetora: Tipo rotativa DPA
-
- Filtro de ar: Tipo a seco
 - Potência nominal : 64 [kW] a 2500 [min⁻¹]
 - Torque nominal : 285 [Nm] a 1400 [min⁻¹]

4.1.2 - SISTEMA ELÉTRICO:

- Alternador: 14 [V], 30 [A]
- Regulador de voltagem: 14 [V], 30 [A]
- Bateria: 6 [V] (2 conjuntos ligados em série)
- Motor de partida: 12 [V], 3 [cv]

4.1.3 -SISTEMA DE EMBREAGEM:

- Tipo: Seco, 1 disco de 590,05 [cm²]

4.1.4 -SISTEMA DE TRANSMISSÃO:

- Tipo: Mecânico

- Número de marchas: 6 à frente, 2 à ré

- Escalonamento (a 2200 [min⁻¹], com pneus 18.4-30 R1):

Primeira	5,08 [Km/h]
Segunda	6,67 [Km/h]
Terceira	9,02 [Km/h]
Quarta	11,65 [Km/h]
Quinta	14,91 [Km/h]
Sexta	26,48 [Km/h]
Ré alta	9,88 [Km/h]
Ré baixa	5,56 [Km/h]

4.1.5 -PNEUS:

- Dianteiros:

Medida: 10.00 - 16 (8 lonas)

- Traseiros:

Medida: 18.4 - 30 R1 (10 lonas)

4.1.6 -TOMADA DE POTÊNCIA:

- Acoplamento: Direto ao volante do motor com embreagem hidráulica independente da embreagem do trator
- Diâmetro do eixo de saída: 34,92 [mm]
- Rotação: 540 [min⁻¹] a 1800 [min⁻¹] no motor

4.1.7 -MEDIDAS PONDERAIS:

- Peso em ordem de marcha.

- com lastros : 4816 [kgf]

- sem lastros : 3745 [kgf]

4.2 - Método de determinação da curva de potência efetiva líquida observada na TDP.

O método utilizado para a obtenção desta curva obedece a norma ABNT-MB-484 que estabelece a potência efetiva líquida observada como sendo aquela disponível para produção de trabalho útil na tomada de potência do motor, sem redução para as condições atmosféricas de referência, estando a máquina totalmente equipada.

Optou-se pela obtenção destas curvas através da TDP do trator já que as perdas na transmissão entre o motor e a TDP, bem como o consumo de potência dos acessórios agregados ao motor, não necessitaram ser quantificados, pois os resultados do consumo específico e da potência são apresentados em forma percentual, enquanto que os valores relativos ao consumo horário e à rotação são apresentados em valor absoluto.

Os dados observados foram:

- Rotação do motor, [min^{-1}];
- Torque na TDP, [Nm];

- Tempo para consumo de 100 [ml] de combustível, [s];
- Temperatura do óleo lubrificante do motor, [$^{\circ}\text{C}$];
- Temperatura da água do radiador, [$^{\circ}\text{C}$];
- Temperatura do combustível, [$^{\circ}\text{C}$];
- Temperatura do ar de admissão, [$^{\circ}\text{C}$];
- Temperatura do gás de escape, [$^{\circ}\text{C}$];
- Temperatura de bulbo seco, [$^{\circ}\text{C}$];
- Temperatura de bulbo úmido, [$^{\circ}\text{C}$];
- Pressão barométrica, [mmHg];

Os parâmetros ambientais estão incluídos para possibilitar registro das condições do ensaio no momento das determinações e para permitir uma possível redução dos valores observados para as condições atmosféricas de referência, constante na norma seguida. Este procedimento não foi adotado pois o SITA opera apenas com as condições observadas momentaneamente.

Para cada ponto observado os seguintes itens foram calculados:

- Potência, [kW];
- Consumo específico, [g/kW.h];
- Consumo horário, [l/h];

- Porcentagem da potência nominal, [%];
- Porcentagem da rotação nominal, [%];
- Porcentagem do consumo horário, [%];
- Porcentagem acima do consumo específico mínimo, [%];
- Densidade do combustível, [g/l];
- Diferença de temperatura entre os gases de escape e de admissão, [°C].

A sala dinamométrica utilizada para o levantamento das curvas foi a do Centro Nacional de Engenharia Agrícola - CENEA e os instrumentos utilizados foram:

- Freio dinamométrico marca SCHENCK, modelo W-400, com capacidade de frenagem de 400 [kW], com os seguintes sistemas periféricos:

- Sistema de medição de torque, com célula de carga extenssométrica, marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBMD, modelo U2A, capacidade de 200 [kgf].

- Medidor de rotação, incorporado ao dinamômetro, com sensor do tipo indutivo e indicação digital.

- Sistema para medição de consumo de combustível marca ZEPPELER, modelo SVU 3-100/300, com indicador digital de tempo de consumo.

- Sistema para medição de temperaturas com sensores termopares do tipo "J" e com indicação digital, marca ALFA.

- Barômetro, marca PRINCO, tipo coluna de mercúrio

4.3 - Método de determinação das curvas de desempenho à rotações constantes.

Para se obter estas curvas o motor foi mantido a uma rotação constante, com o auxílio do controle automático de rotação do dinamômetro, e a alavanca de

acionamento da bomba injetora foi continuamente ajustada, de maneira a se obter aproximadamente os níveis de 100 [%], 80 [%], 70 [%], 60 [%], 50 [%], 40 [%], 30 [%] e 20 [%] do torque máximo obtido na mesma rotação.

Os níveis de rotação previamente adotados foram: 100 [%], 95 [%], 85 [%], 75 [%], 65 [%], 55 [%] e 45 [%] da rotação nominal do motor.

Os parâmetros observados e as condições do ensaio em cada determinação foram as mesmas constantes no item 4.2.

4.4 - Método de determinação das curvas de parâmetros múltiplos ou de isoconsumo e de iso-diferença de temperatura.

Obtendo-se graficamente os níveis de torque, correspondentes aos níveis de rotações pré-estabelecidos, das curvas auxiliares de desempenho à rotações constantes, para os níveis de consumo específico de 250 [g/kW.h], 260 [g/kW.h], 270 [g/kW.h], 280 [g/kW.h], 290 [g/kW.h], 300 [g/kW.h], 325 [g/kW.h], 350 [g/kW.h], 375 [g/kW.h], 400 [g/kW.h], 425 [g/kW.h], 450 [g/kW.h], 475 [g/kW.h] e 500 [g/kW.h], pode-se finalmente combiná-los com os resultados obtidos na determinação da curva de potência efetiva líquida observada e construir as curvas de isoconsumo.

Um procedimento análogo, utilizando-se os níveis de diferença de temperatura de 200 [°C], 250 [°C], 300 [°C], 350 [°C], 400 [°C], 450 [°C], 500 [°C], 550 [°C] e 600 [°C], foi realizado para a obtenção das curvas de diferenças de temperaturas constantes ou iso-diferença de temperatura.

Para a confecção das curvas de níveis de potência e consumo específico constantes em função da rotação relativa e do consumo horário relativo, foi necessária a construção de duas curvas auxiliares de desempenho à rotações constantes, uma de consumo horário relativo em função da potência relativa e outra de consumo horário relativo em função do consumo específico de combustível.

A partir desta última curva de parâmetros múltiplos, pode-se graficamente identificar, para cada nível constante de potência, o consumo específico máximo e mínimo e o percentual de economia de combustível, possível de se obter através do selecionamento adequado do ponto de operação do motor. Com estes dados confeccionou-se a curva de percentual de economia em função do nível de potência.

4.5 - Método de determinação indireta do torque, do consumo horário e da potência do motor.

A revisão da bibliografia mostra que o torque desenvolvido pelos motores Diesel pode ser obtido de forma direta, pela sua simples medição no eixo de saída do motor, ou de forma indireta, pela medição do consumo de combustível, pela medição da diferença de temperatura entre os gases de admissão e escape do motor e, ainda, por outros métodos.

Pesquisas já realizadas mostram que os métodos de medição direta do torque, durante a utilização normal do trator, necessitam de técnicas relativamente sofisticadas, são de custo elevado e uso prático comprometido.

Estas mesmas pesquisas mostram ainda, que o método de medição indireta do torque através da diferença de temperaturas entre os gases de escape e de admissão é o mais simples e barato, enquanto o da medição do consumo de combustível é o mais preciso.

Sabe-se, através de KIRSTE et alii (1985), que a correlação entre o torque e a diferença de temperaturas depende do nível de rotação desenvolvido pelo motor, portanto:

$$T = f (DT, R)$$

Sabe-se também, através de PANG et alii (1985), que o consumo horário de combustível correlaciona-se com a diferença de temperatura e é dependente da rotação do motor, portanto:

$$CH = f (DT, R)$$

Adotou-se então, para a determinação indireta do torque, o método da diferença de temperatura, levando-se também em consideração o nível de rotação desenvolvido. Este mesmo procedimento foi adotado para a determinação do consumo horário e da potência.

Uma regressão linear múltipla foi então aplicada, em cada caso, para levar em consideração aquelas duas variáveis.

Com o conhecimento da densidade do óleo Diesel, do consumo horário e da potência, o consumo específico pode ser facilmente calculado.

4.6 - Sistema de informação ao operador do trator agrícola.

O sistema de informação foi baseado no circuito de desenvolvimento modelo DGP-80 da Digiplan Indústria e Comércio Ltda, que possui como microprocessador o integrado modelo Z-80A.

Para operacionalização foi desenvolvido um circuito eletrônico que consta basicamente de um transdutor de diferença de temperatura, um transdutor de rotação, de

uma interface para aquisição de dados e uma para apresentação dos resultados. Foi também desenvolvida uma fonte de alimentação especial para o circuito.

O painel indicador (Figura 4.6.1), projetado para facilitar o entendimento por parte do operador, consta de quatro barras de LEDs (Diodos Emissores de Luz), sendo utilizados respectivamente para a indicação de; rotação do motor, consumo horário de combustível, nível de potência e porcentagem do consumo específico de combustível.

Cada barra de LEDs apresenta as seguintes informações:

- Consumo específico de combustível, possui uma variação, para cada LED, de 5 [%] em relação ao consumo específico mínimo do motor, com faixas de cor; vermelha para os níveis de 45 [%] a 100 [%] acima do mínimo, amarela para os níveis de 15 [%] a 40 [%] e verde para os níveis de até 10 [%].

- Consumo horário de combustível, em [l/h], possui escalonamento de um em um [l/h] de consumo;

- Potência desenvolvida, possui níveis de porcentagem de 5 [%] do valor nominal, sendo que; os níveis acima de 85 [%] são apresentados em vermelho, e o nível de 75 [%] em amarelo (potência correspondente ao consumo específico mínimo).

- Rotação do motor, em rpm, possui indicação de cores diferenciadas para as rotações de potência máxima

(vermelho), rotação nominal da TDP (amarelo) e rotação de torque máximo (vermelho).

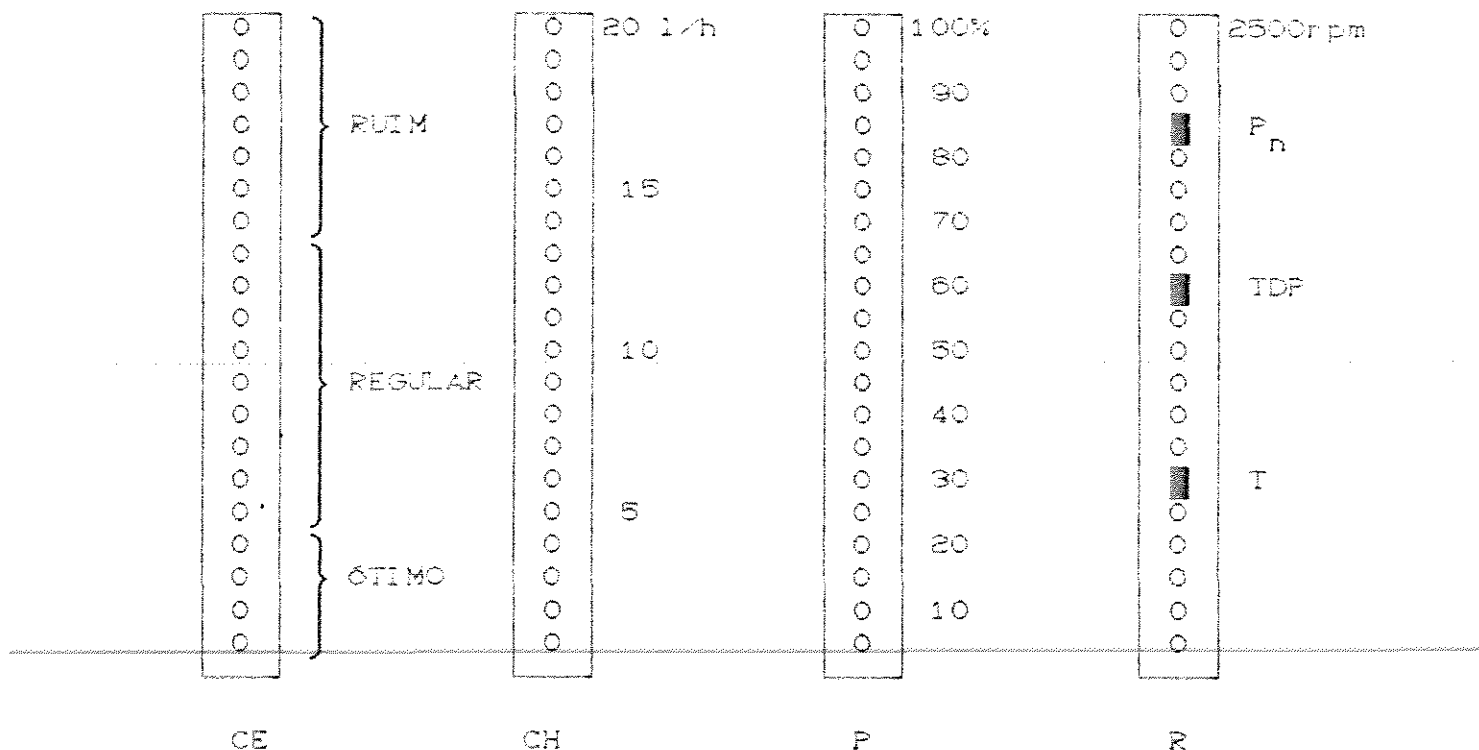


FIG. 4.6.1 - Esquema do painel indicador do SITA.

Para a medição da diferença de temperatura foram utilizados termopares localizados respectivamente no tubo de admissão do ar fresco e no coletor de escapamento, como podem ser observados pelas Fotos 4.6.1 e 4.6.2. Foram interligados de forma diferencial afim de se obter apenas a diferença de temperaturas. Posteriormente o sinal elétrico obtido foi eletronicamente manipulado de forma a se obter para uma diferença de temperatura de 650 [°C] uma frequência de 256 [Hz], ou seja, 1 [Hz] por BIT (Binary Digit) ou aproximadamente 2,539 [°C] por BIT.

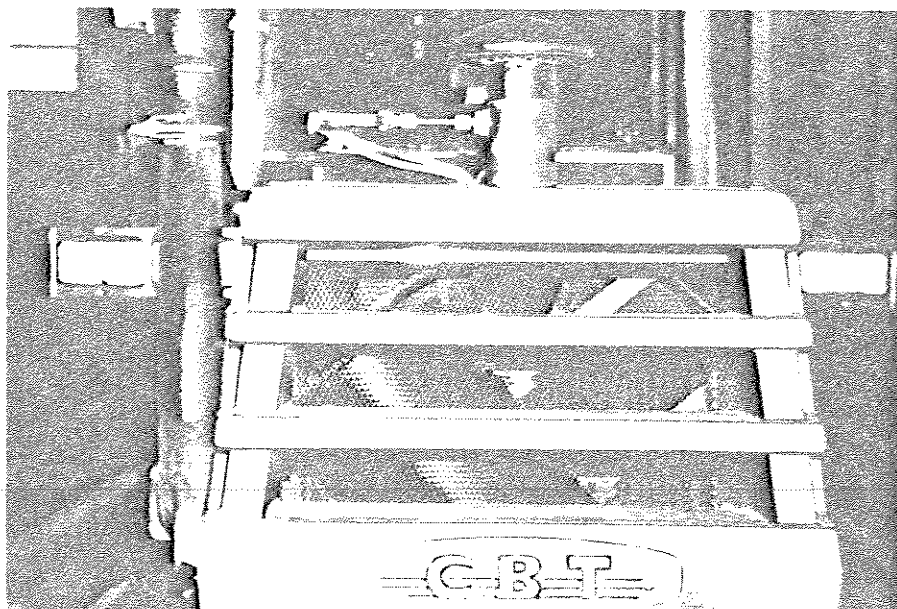


FOTO 4.6.1 - Posicionamento do termopar na tubulação de entrada de ar.

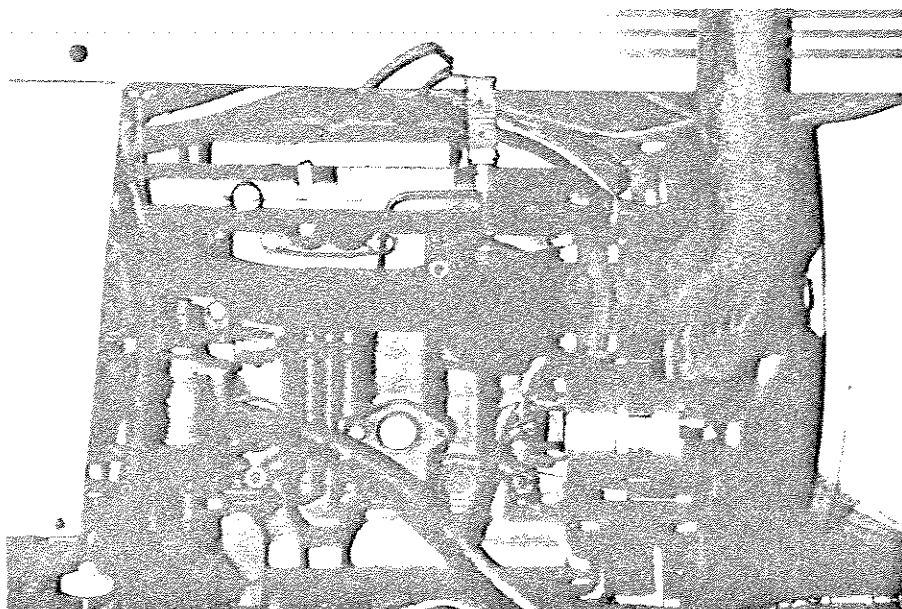


FOTO 4.6.2 - Posicionamento do termopar no coletor de gases de escape do motor.

Para a obtenção de um sinal elétrico correspondente à rotação do motor, utilizou-se dos pulsos provenientes do alternador original do motor. Estes pulsos foram eletronicamente processados de forma a se obter a relação de 2560 [min⁻¹] para 256 [Hz], ou seja, 1 [Hz] por BIT ou 10 [min⁻¹] por BIT.

Os dados, após terem sido transformados pelas relações acima, foram submetidos novamente ao procedimento matemático afim de se obter as constantes modificadas, utilizadas posteriormente em um programa monitor.

Para gerenciar a aquisição, processamento e apresentação dos dados foi desenvolvido um programa monitor em linguagem ASSEMBLY (vide Apêndices 9.2 e 9.3).

Este programa foi gravado em uma memória do tipo EPROM 2732 (Memória Apenas de Leitura Programável e Apagável) e colocada no lugar da original do DGP-80, de forma que ligado o aparelho este imediatamente executa em "looping" a função programada.

4.7 - Verificação do funcionamento do SITA.

Afim de verificar o funcionamento do SITA o trator foi novamente acoplado, através da TDP, ao dinamômetro e foram observados dados de rotação, potência, consumo horário e consumo específico tanto nos aparelhos de medição da sala dinamométrica quanto no SITA.

A estes foi aplicado o teste "t", para pares de dados, visando a comparação da média das diferenças dos pares observados e uma média das diferenças igual a zero.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.

~~5.1 - Curvas de potência efetiva líquida observada, torque e consumo específico de combustível na TDP do Trator.~~

A curva de potência efetiva líquida observada na TDP é mostrada na Figura 5.1.1. Nesta mesma figura pode-se observar as curvas de torque e de consumo específico na TDP do trator.

Os dados observados e calculados, correspondentes a estas curvas, constam respectivamente das Tabelas 9.1 e 9.9 do Apêndice 9.1.

Através dos dados levantados foram estabelecidos os itens constantes no Quadro 5.1.1.

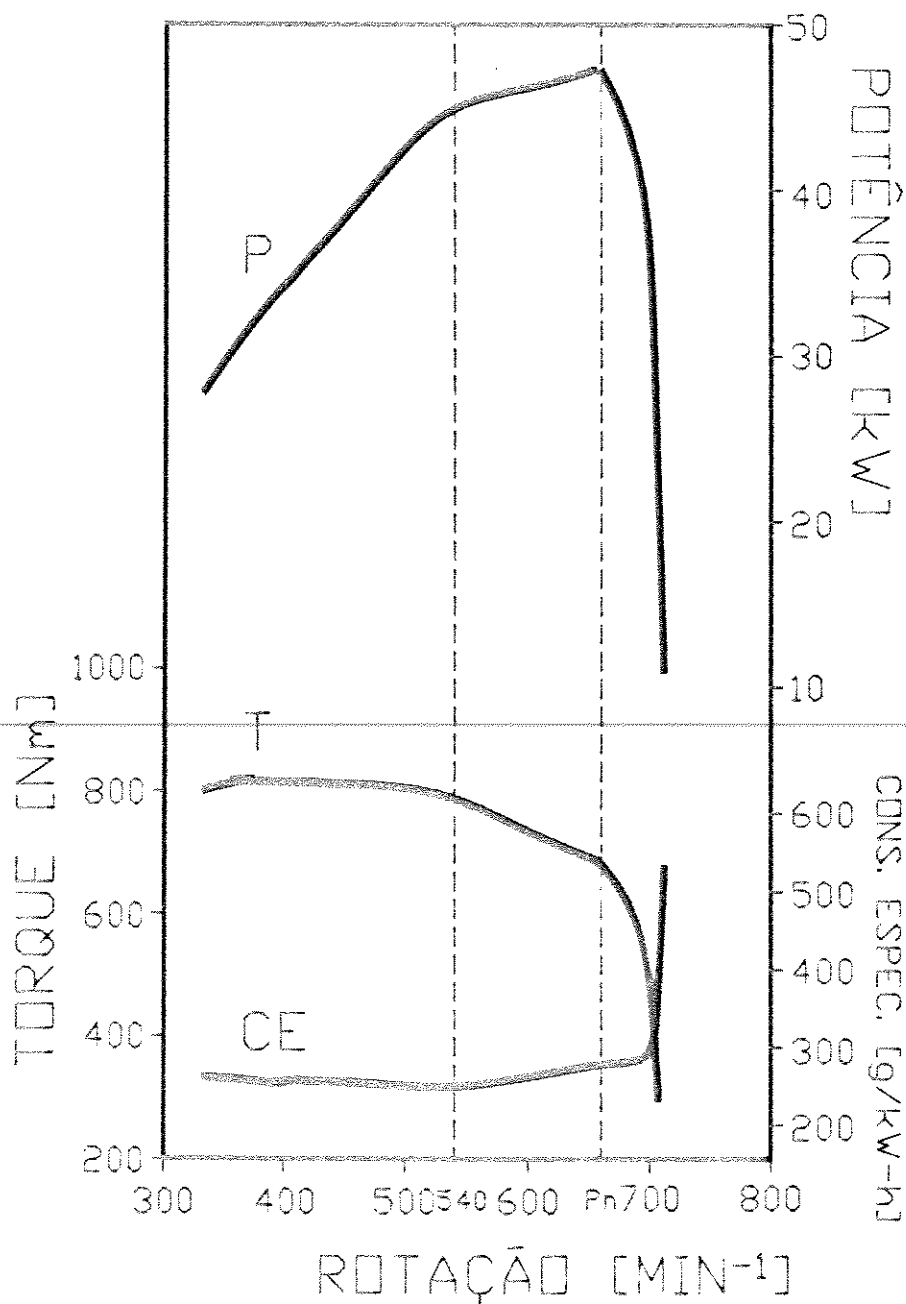


FIG. 5.1.1 - Curvas de potência efetiva líquida observada, de torque e de consumo específico na TDP do trator.

QUADRO 5.1.1 - Principais itens determinados com o levantamento das curvas na TDP. A coluna [%] indica a porcentagem em relação ao respectivo valor nominal.

ITEM	NA TDP	EQUIVALENTE NO MOTOR	[%]
Potência Nominal, [kW]	47,3	--	100,0
Rotação Nominal, [min ⁻¹]	660	2188,6	100,0
Rotação Máxima Livre, [min ⁻¹]	717	2377,6	108,6
Torque à Rotação Nominal, [Nm]	664	206,3	100,0
Torque Máximo, [Nm]	820	247,3	119,9
Rotação de Torque Máximo, [min ⁻¹]	392	1299,9	59,4
Con. Esp. à Pot. Nom., [g/kW.h]	278,4	--	100,0
Consumo Esp. Mínimo, [g/kW.h]	242,7	--	87,2
Consumo Horário Máximo, [l/h]	--	15,6	100,0

O motor apresentou uma reserva de torque em regime de plena carga de 19,9 % (Figura 5.1.1.), o que, segundo HERMANN & KRAUSE (1982), pode ser adequado para a aplicação a que se destina.

O consumo específico mínimo em regime de plena carga, obtido através da TDP, de 251,5 [g/kW.h] pode ser, segundo HERMANN & KRAUSE (1982), considerado bom dentro

dos índices apresentados pelos motores nacionais utilizados em tratores agrícolas desta faixa de potência.

As rotações nas quais se obtiveram a potência nominal e o torque máximo definem uma faixa de utilização do motor de cerca de 889 min^{-1} , o que representa uma boa amplitude de operacionalidade.

A relação de transmissão entre o motor e a TDP (3,316/1) apresenta-se um tanto quanto alta, pois a rotação nominal da TDP está a 81,8 % da nominal do motor proporcionando uma reserva de torque e uma amplitude de utilização inferiores àquelas disponíveis no motor.

O consumo específico mínimo de combustível foi 35,7 (g/k.W.h) inferior ao correspondente à potência nominal, o que equivale dizer que, nesta situação, uma escolha entre os critérios de operação com economia de tempo ou com economia de energia pode resultar numa redução de até 12,8 % no consumo total de combustível.

5.2 - Curvas de desempenho à rotações constantes.

As curvas de desempenho à rotações constantes, referentes ao consumo específico de combustível, podem ser observadas nas Figuras 5.2.1 e 5.2.2, já as referentes à diferença de temperaturas entre os gases de escape e de admissão podem ser observadas na Figura 5.2.3.

As de desempenho à rotações constantes utilizadas para a

confeção das curvas de níveis de potência e consumo específico constantes em função da rotação relativa e do consumo horário relativo estão apresentadas nas Figuras 5.2.4 e 5.2.5.

Os dados que possibilitaram a confeção destas curvas estão apresentados respectivamente nas Tabelas 9.10 a 9.16 e 9.18 a 9.24 do Apêndice 9.1.

Os valores, gráficamente obtidos, pelas curvas de desempenho à rotação constante, estão anotados nas respectivas Figuras e são posteriormente utilizados para a confeção das curvas de isoconsumo e de iso-diferença de temperatura.

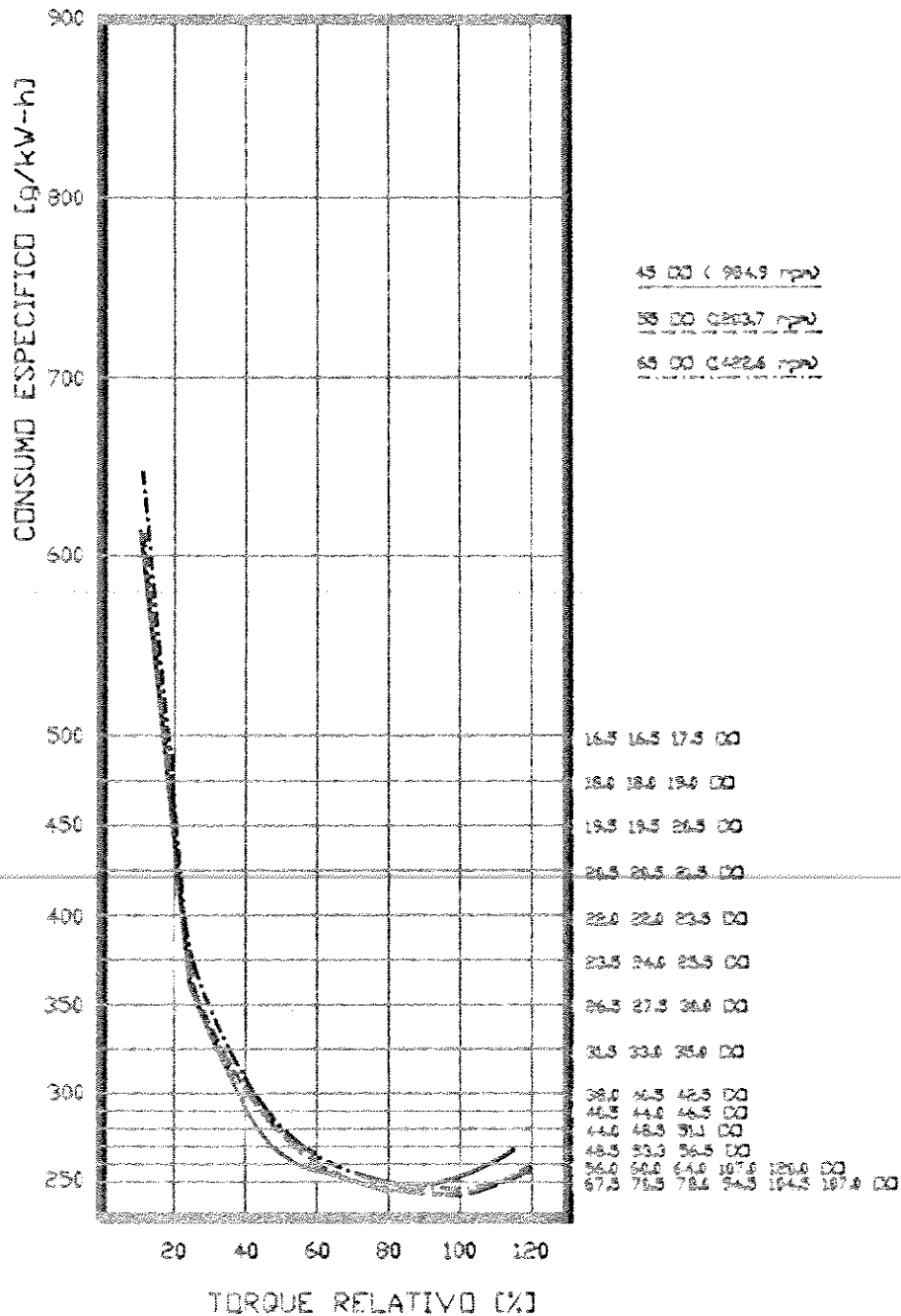


FIG. 5.2.1 - Curvas de desempenho à rotação constante, para os níveis de 45 [%], 55 [%] e 65 [%] da rotação nominal, utilizadas para a confecção das curvas de isoconsumo. Os dados anotados ao lado representam, respectivamente, o nível de torque para cada nível de rotação e consumo específico.

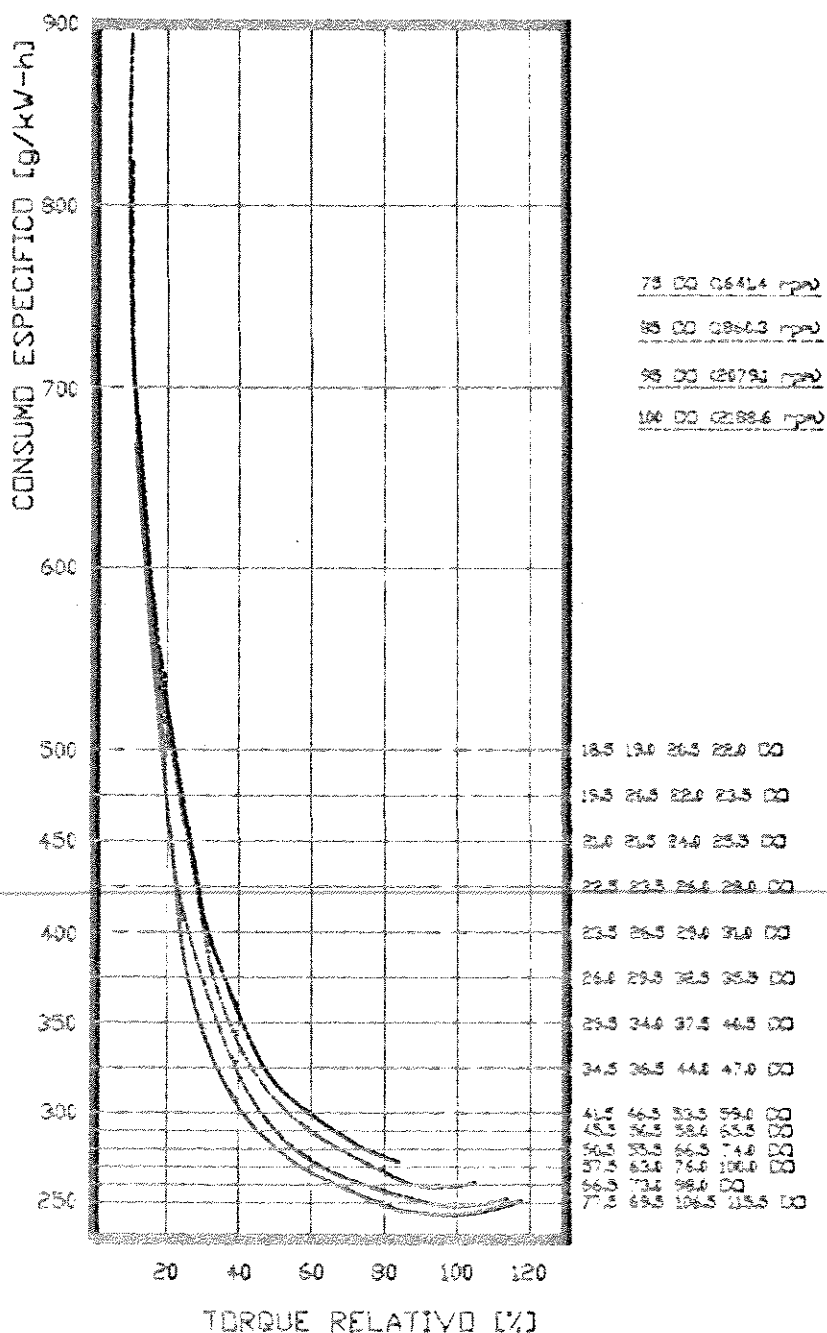


FIG. 5.2.2 - Curvas de desempenho à rotação constante, para os níveis de 75 [%], 85 [%] 95 [%] e 100 [%] da rotação nominal, utilizadas para a confecção das curvas de isoconsumo. Os dados ao lado representam, respectivamente, o nível de torque para cada nível de rotação e consumo específico

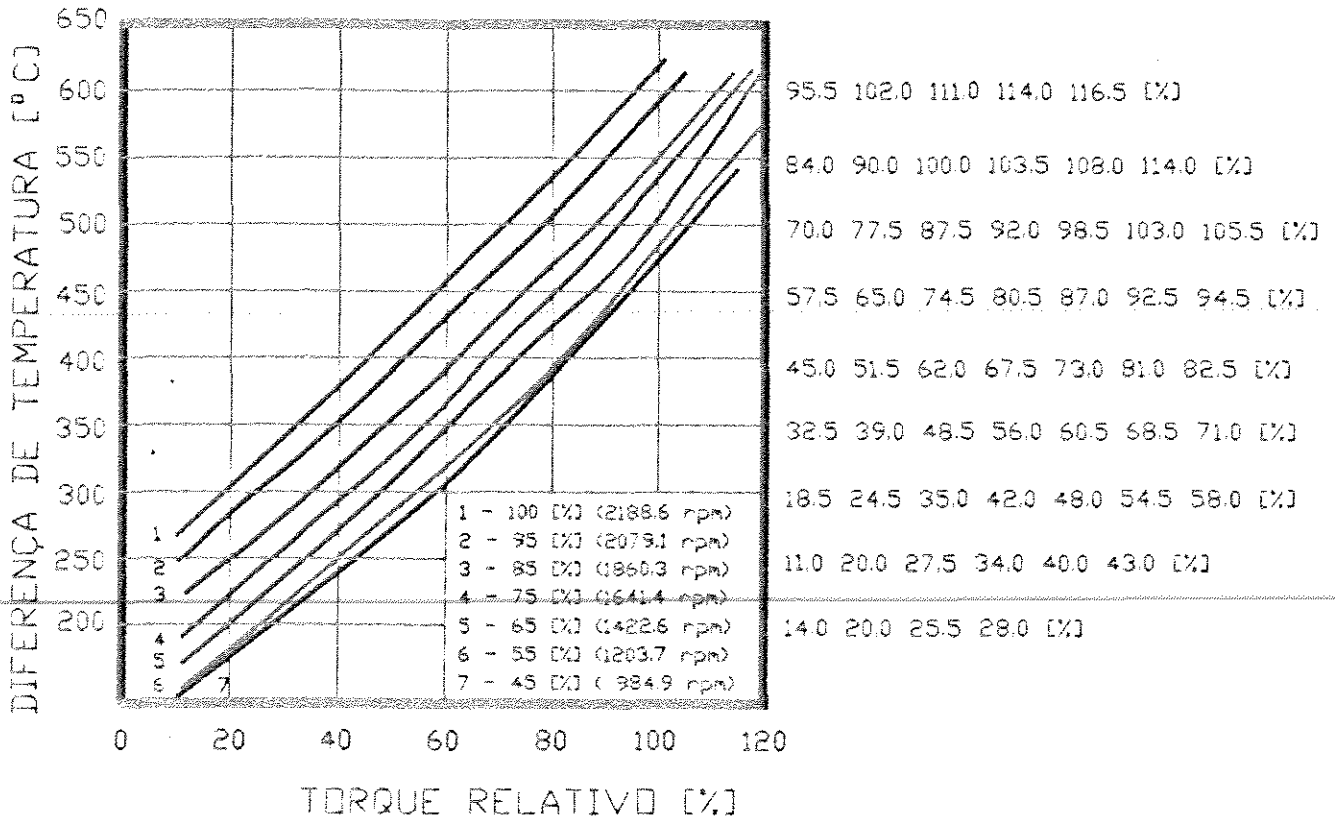


FIG. 5.2.3 - Curvas de desempenho à rotação constante, para os níveis de 45 [%], 55 [%], 65 [%], 75 [%], 85 [%], 95 [%] e 100 [%] da rotação nominal, utilizadas para a confecção das curvas de iso-diferença de temperatura. Os dados anotados ao lado representam, respectivamente, o nível de torque para cada nível de rotação e diferença de temperatura.

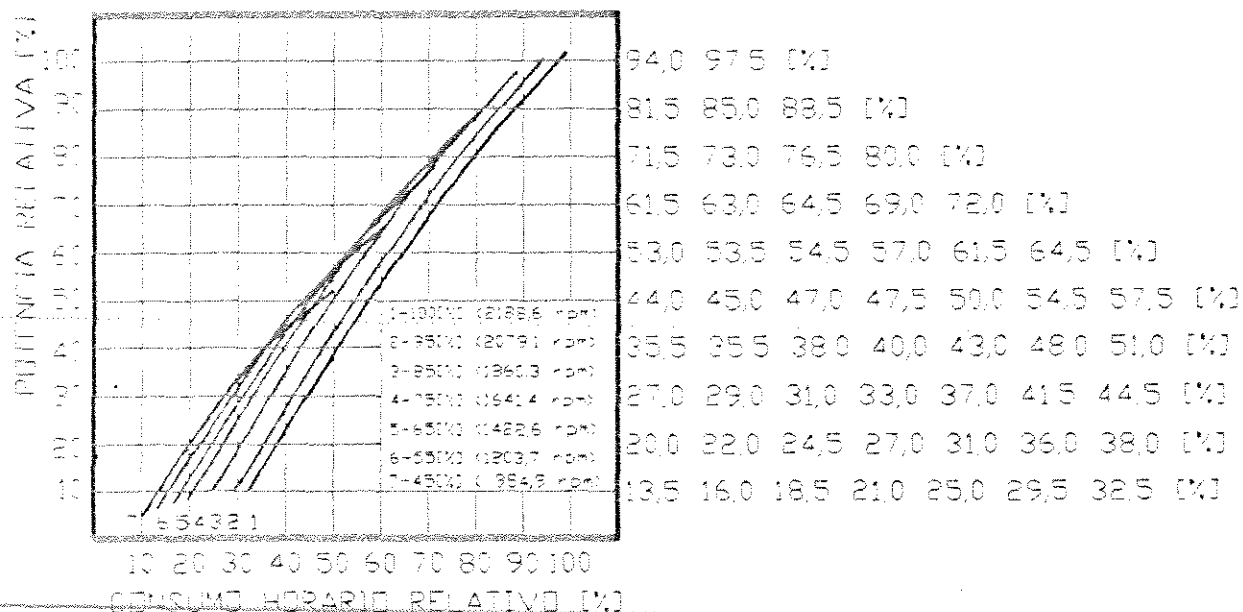


FIG. 5.2.4 - Curvas de desempenho à rotação constante, para os níveis de 45 [%], 55 [%], 65 [%], 75 [%], 85 [%], 95 [%] e 100 [%] da rotação nominal, utilizadas para a confecção das curvas de níveis de potência e consumo específico constantes em função da rotação relativa e do consumo horário relativo. Os dados ao lado representam, respectivamente, o nível de consumo horário para cada nível de rotação e potência relativa.

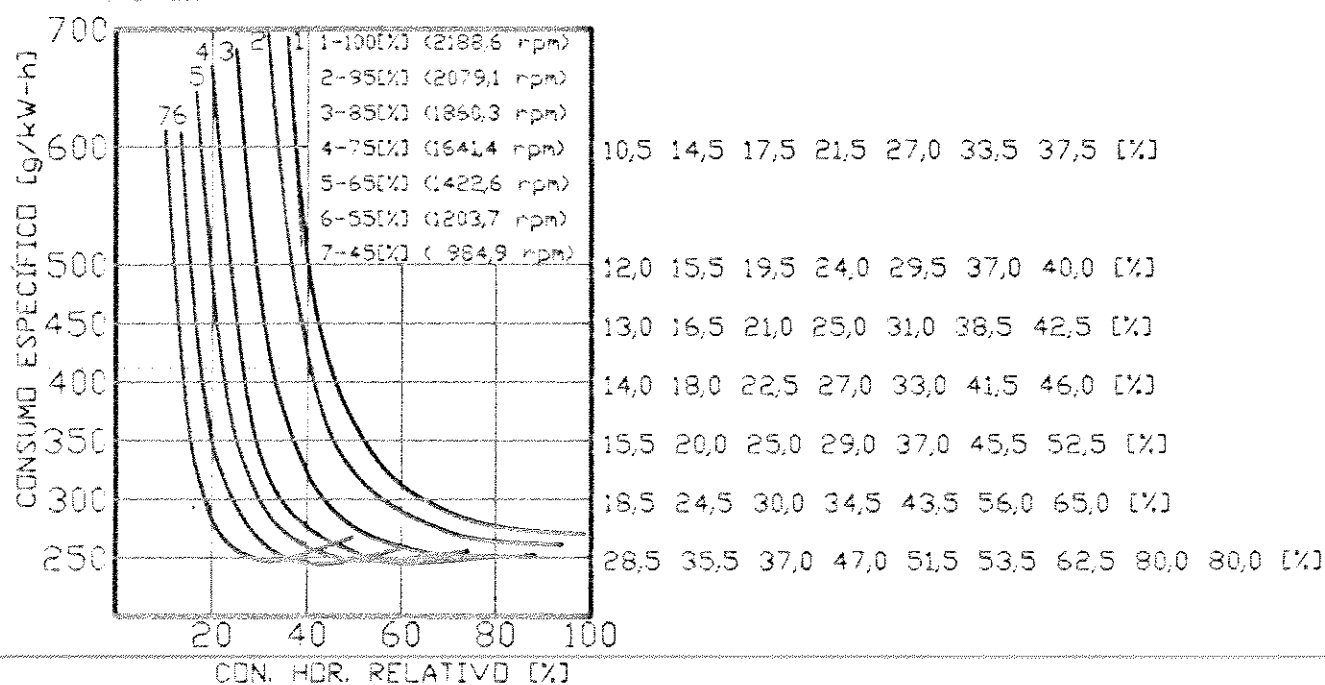


FIG. 5.2.5 - Curvas de desempenho à rotação constante, para os níveis de 45 [%], 55 [%], 65 [%], 75 [%], 85 [%], 95 [%] e 100 [%] da rotação nominal, utilizadas para a confecção das curvas de níveis de potência e consumo específico constantes em função da rotação relativa e do consumo horário relativo. Os dados ao lado representam, respectivamente, o nível de consumo horário para cada nível de rotação e consumo específico.

5.3 - Curvas de isoconsumo e de iso-diferença de temperatura.

As curvas de isoconsumo podem ser observadas na Figura 5.3.1. Os dados necessários para a confecção destas curvas constam na Tabela 9.17 do Apêndice 9.1 e nas Figuras 5.2.1 e 5.2.2.

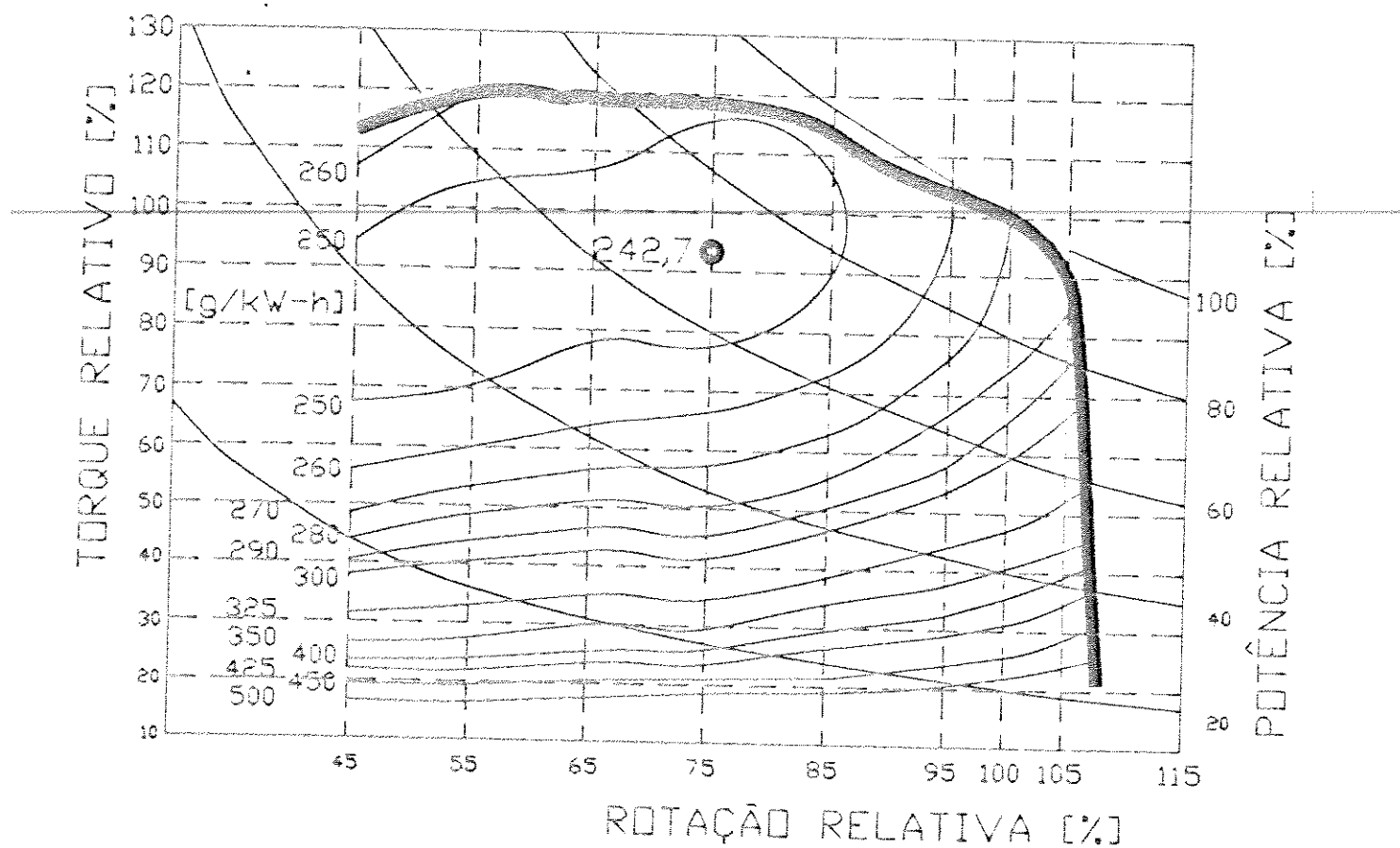


FIG. 5.3.1 - Curvas de isoconsumo na TDP.

Definindo-se a região de operação do motor que apresenta consumo específico inferior a 250 [g/kW.h] como sendo a ideal, nota-se que esta se apresenta entre os intervalos de 60 % a 85 % da rotação nominal, de 75 % a 115 % do torque nominal e de 50 % a 90 % da potência nominal. Com respeito ao torque pode-se notar que neste caso a escolha de uma relação de transmissão superior e a redução do nível de rotação, tanto quanto possível, conduz a uma operação dentro de um critério de economia de combustível. Com respeito a potência, nota-se que se apresenta em uma larga faixa dentro da região de consumo específico mínimo o que permite supor que dentro de um critério de economia de combustível a escolha do implemento a ser utilizado não seja crítica, com respeito à demanda de potência.

As curvas de iso-diferença de temperatura podem ser observadas na Figura 5.3.2. Os dados necessários para a confecção destas curvas constam na Tabela 9.17 do Apêndice 9.1 e na Figura 5.2.3.

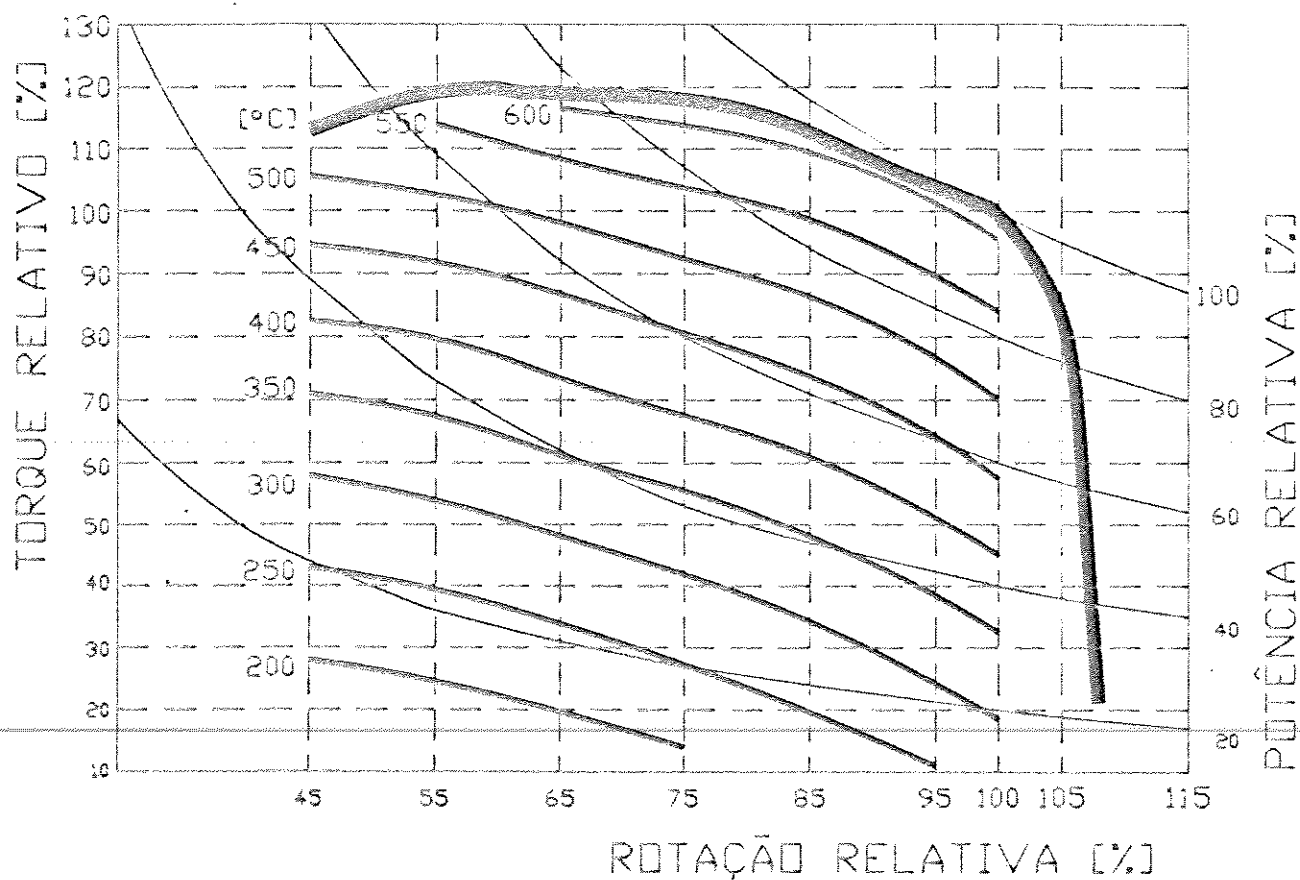


FIG. 5.3.2 - Curvas de iso-diferença de temperatura.

As curvas de níveis de potência e consumo específico constantes em função da rotação relativa e do consumo horário relativo podem ser observadas na Figura 5.3.3. Os dados necessários para a confecção destas curvas constam nas Tabelas 9.18 a 9.24 do Apêndice 9.1 e nas Figuras 5.2.4 e 5.2.5.

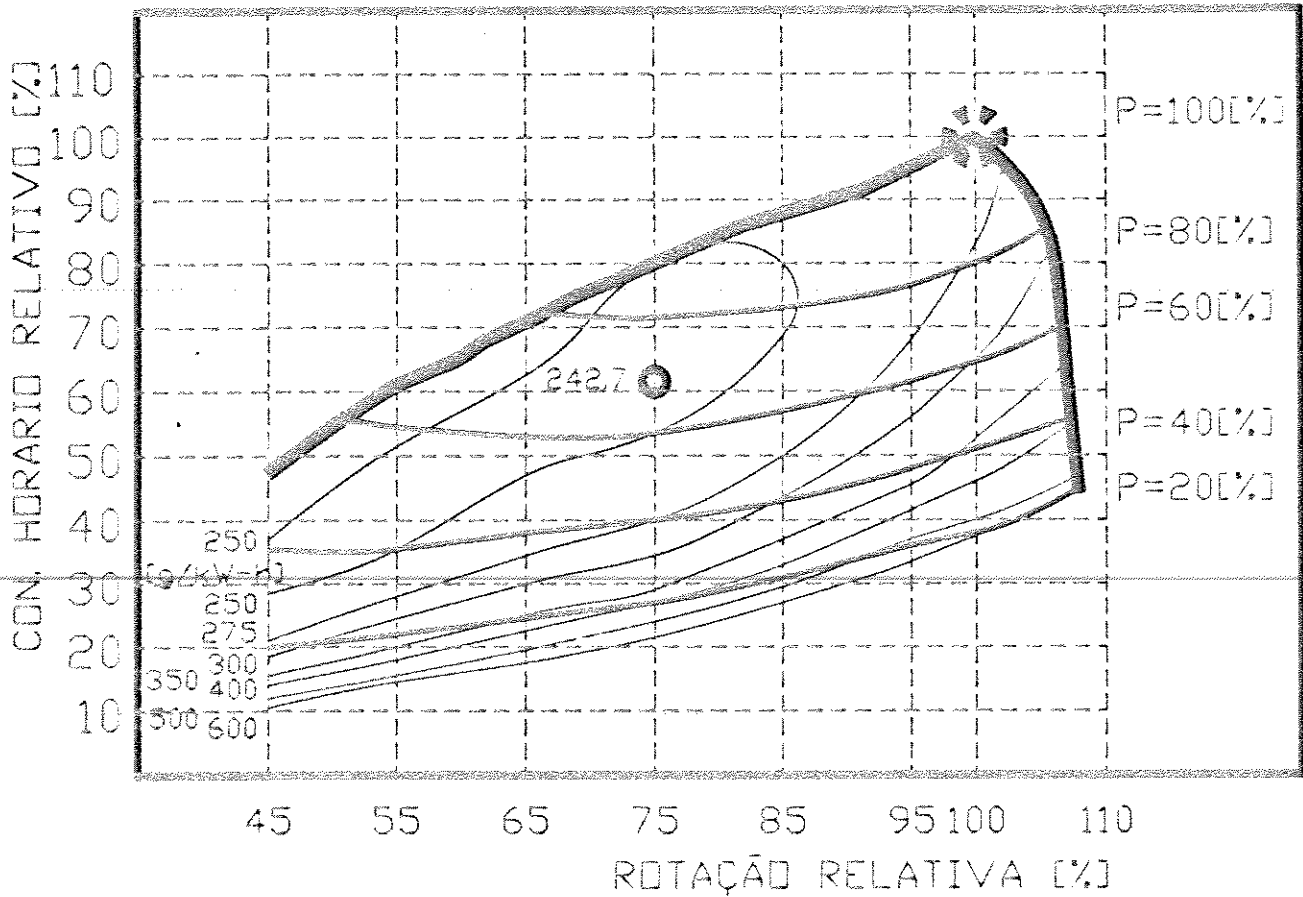


FIG. 5.3.3 - Curvas de níveis de potência e de consumo específico constantes em função da rotação relativa e do consumo horário relativo.

5.4 - Ajustagem do torque em função da diferença de temperatura e da rotação.

As curvas da Figura 5.4.1 mostram o torque em função da diferença de temperatura para os vários níveis de rotação. Os dados referentes a estas curvas constam nas Tabelas 9.10 a 9.16 do Apêndice 9.1.

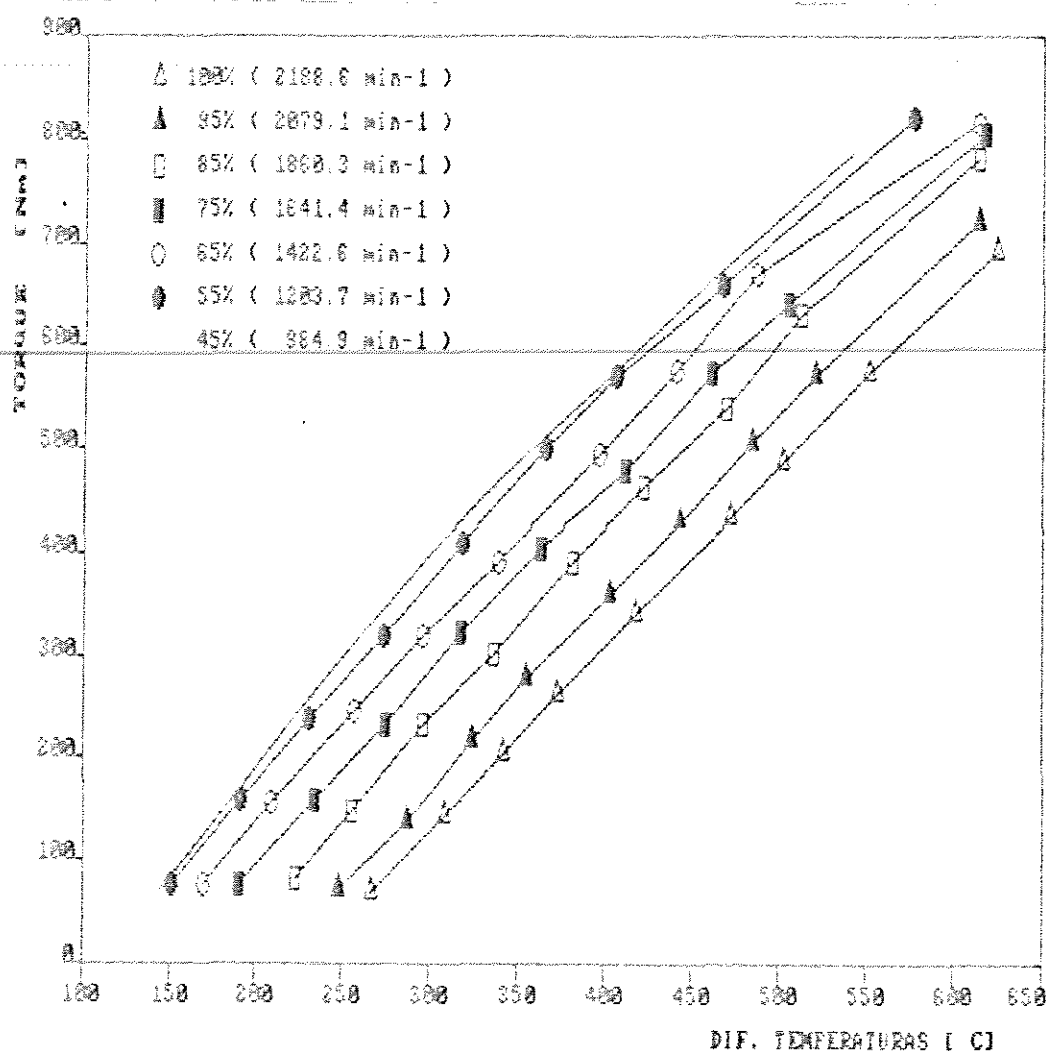


FIG. 5.4.1 - Torque em função da diferença de temperatura para os níveis de 45[%], 55[%], 65[%], 75[%], 85[%], 95[%] e 100[%] da rotação nominal.

O Quadro 5.4.1 mostra a análise da variância da regressão linear múltipla enquanto que o Quadro 5.4.2 mostra o resultado da ajustagem do modelo obtido pela regressão, levando-se em consideração as iterações de DT, R, DT^2 , R^2 , e $DT \times R$.

QUADRO 5.4.1 - Análise de variância da regressão para a equação do torque.

ANÁLISE DE VARIANÇA					
FONTE	SQ	GL	QM	F	PROB(>F)
MODELO	4817143,7	5	963428,7	8987,9	0,00
ERRO	7932.2223	74	107,1922		
TOTAL CORR.	4825076,0	79			

$$r^2 = 0,998356$$

A análise de variância da regressão do torque mostra que pode-se rejeitar a hipótese de que a regressão não seja bem ajustada e, portanto, não se tem elementos para inferir que o torque não dependa de DT, R, DT^2 , R^2 e $DT \times R$.

O coeficiente de determinação múltipla permite que não se descarte a hipótese de que o torque esteja relacionado ao nível de 99,83 % com as variáveis DT, R, DT^2 , R^2 e $DT \times R$.

QUADRO 5.4.2 - Resultado da ajustagem do modelo matemático

$$T = c_0 + c_1 \times DT + c_2 \times R + c_3 \times DT^2 + c_4 \times R^2 + c_5 \times (DT \times R).$$

VARIÁVEL	COEFICIENTE	ERRO PADRÃO	T	PROB(>T)
CONSTANTE	-244,828262	22,444138	-10,9982	0,0000
DT	2,275413	0,054590	41,6820	0,0000
R	0,384917	0,084539	4,5531	0,0000
DT ²	-0,001014	0,000071	-14,3852	0,0000
R ²	-0,001327	0,000090	-14,6720	0,0000
DTxR	0,000541	0,000077	6,9957	0,0000

A equação obtida do torque em função da diferença de temperatura e da rotação tem, portanto a forma;

$$T = - 244,828262 + 2,275413 DT + 0,384917 R - 0,001014 DT^2 - 0,001327 R^2 + 0,000541 DT \times R.$$

Sendo o torque dado em [Nm], a diferença de temperatura em [°C] e a rotação em [min⁻¹].

O gráfico do valor observado do torque em função do valor estimado pela equação da regressão, pode ser observado na Figura 5.4.2.

A distribuição dos resíduos da ajustagem pode ser observada na Figura 5.4.3, enquanto as referentes às variáveis independentes podem ser observadas nas Figuras de

5.4.4 a 5.4.8, notarse que não ocorreram tendências nas ajustagens em nenhum dos casos.

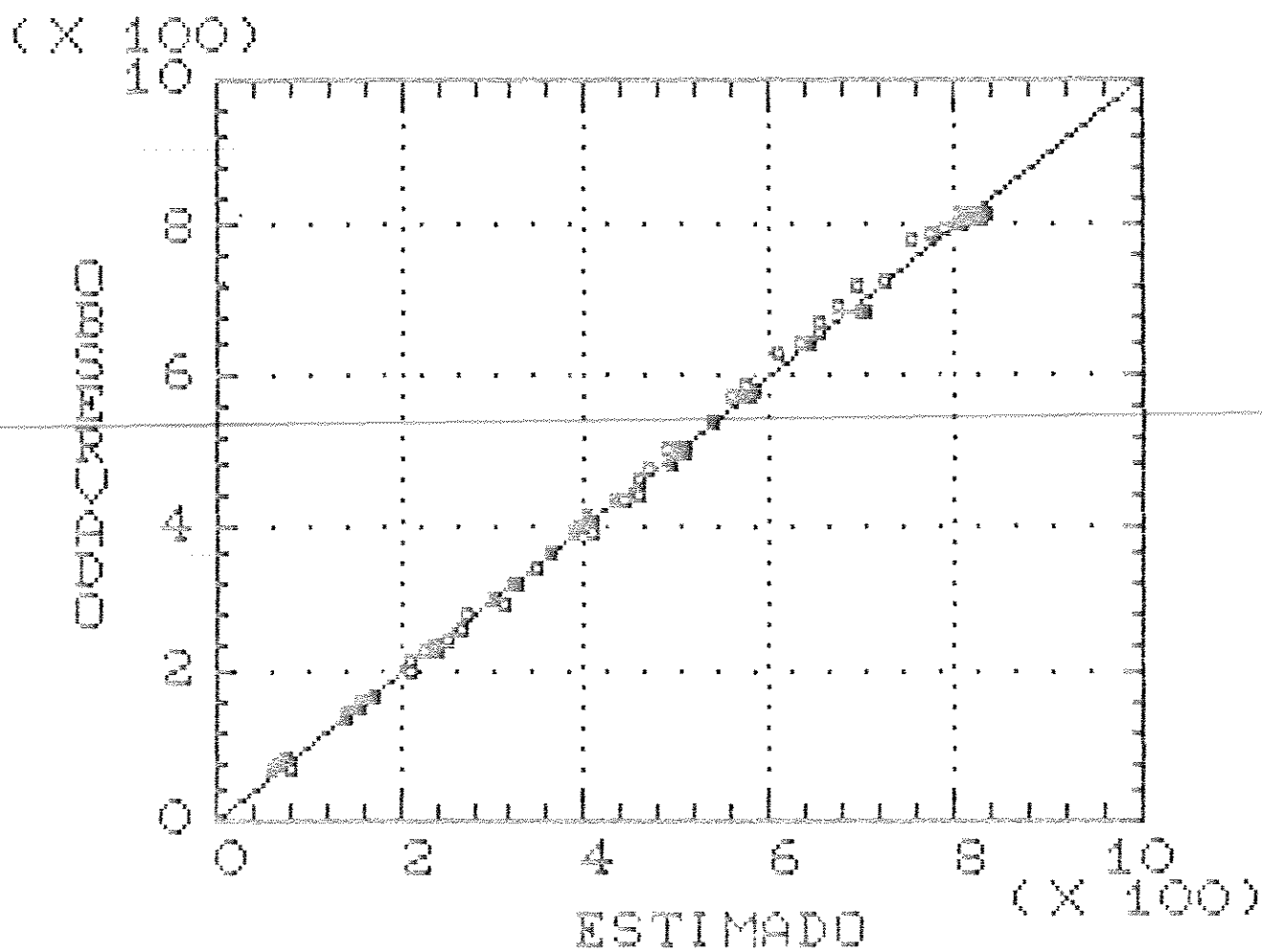


FIG. 5.4.2 - Torque observado em função dos valores calculados através da equação obtida pela regressão.

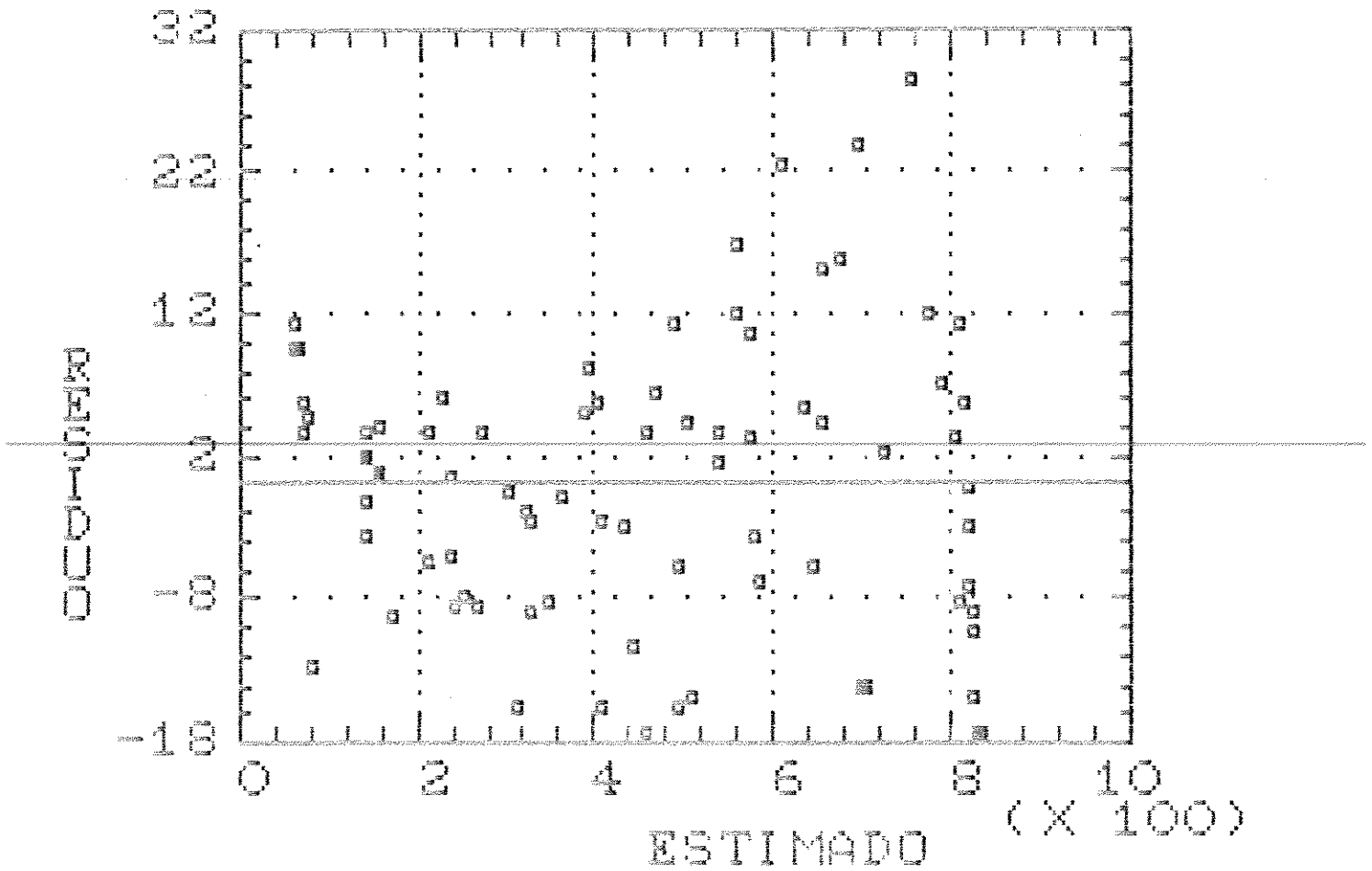


FIG. 5.4.3 - Distribuição dos resíduos em relação aos valores estimados pela equação do torque, obtida pela regressão.

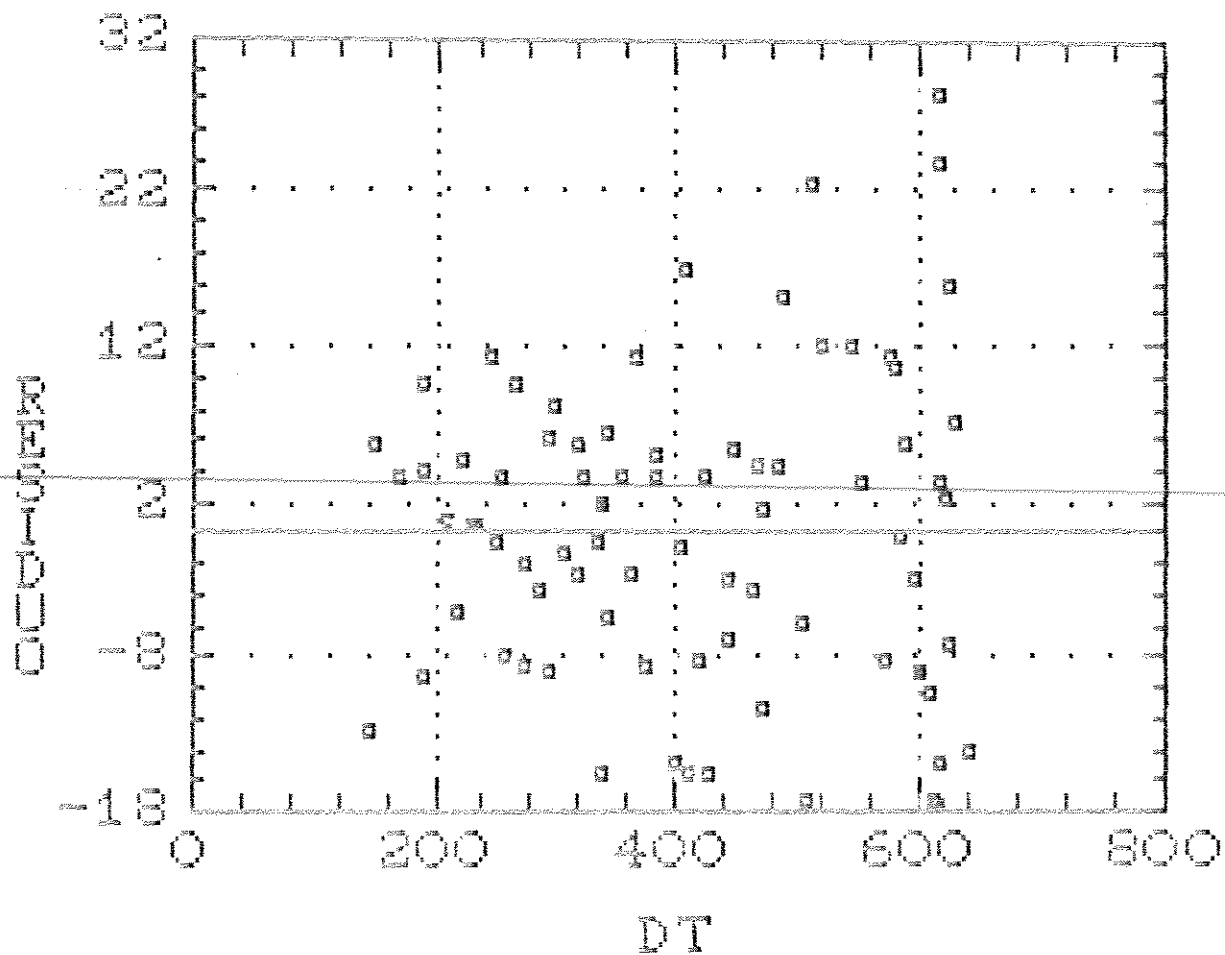


FIG. 5.4.4 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente DT obtida pela regressão da equação para o torque.

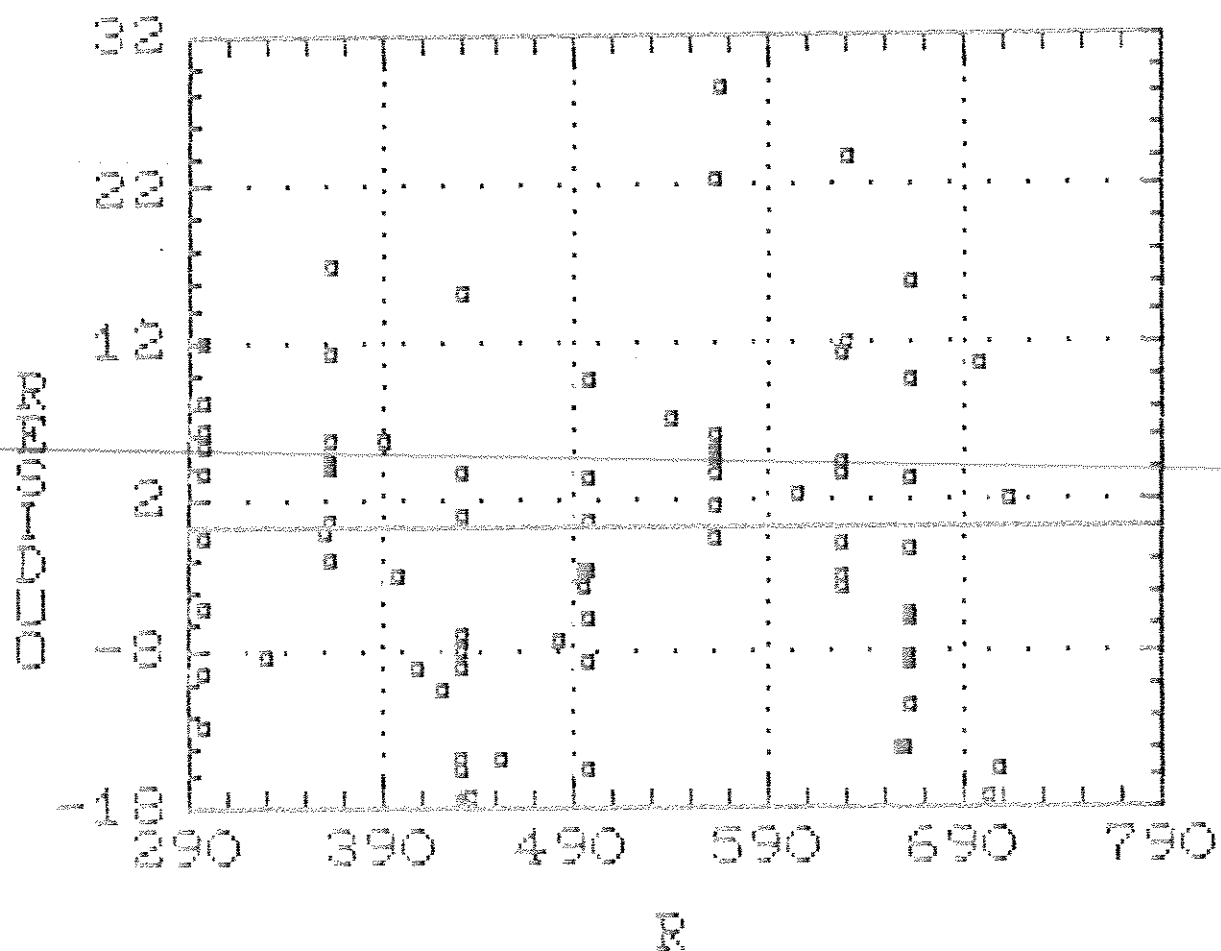


FIG. 5.4.5 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente R obtida pela regressão da equação para o torque.

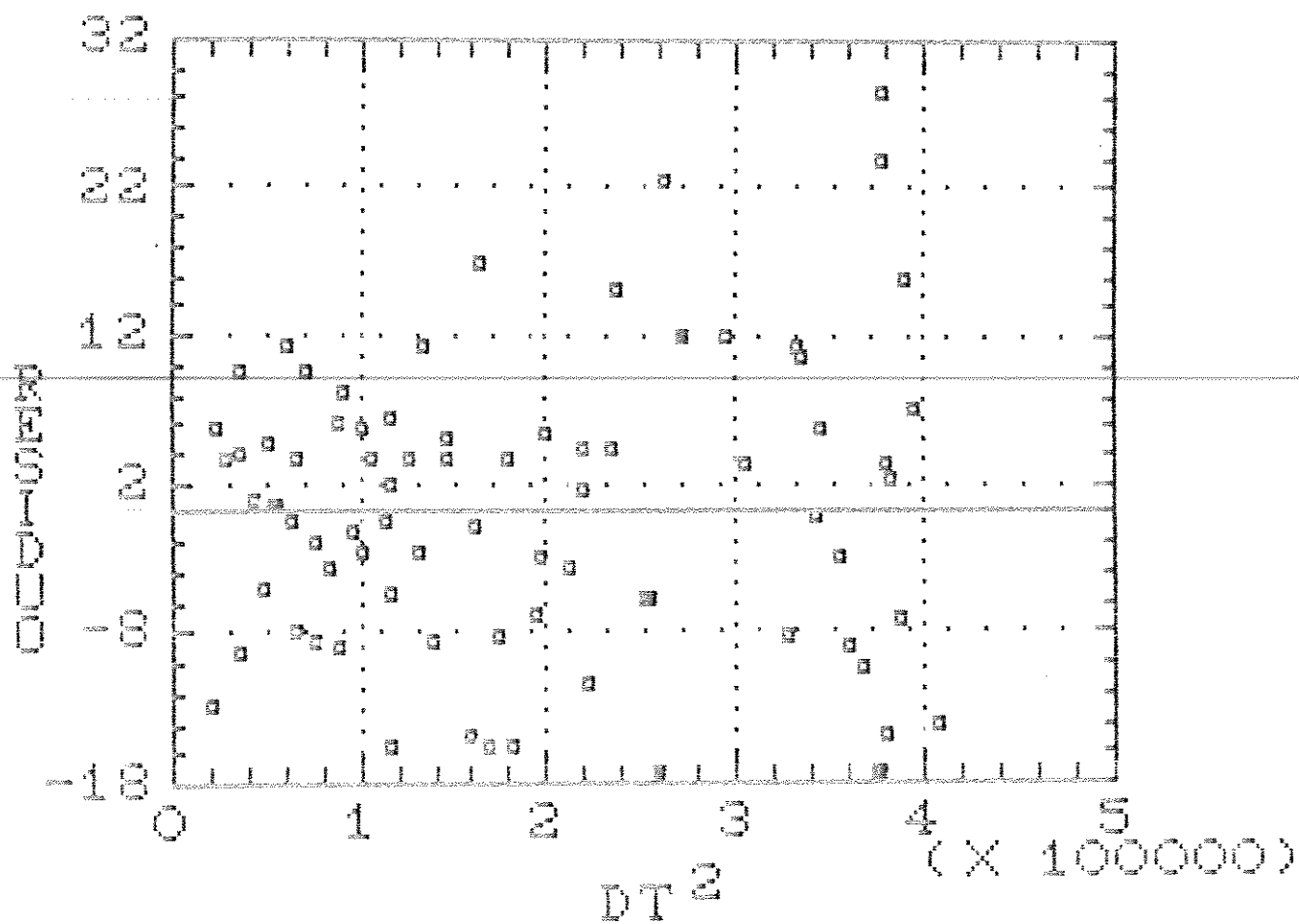


FIG. 5.4.6 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente DT^2 obtida pela regressão da equação para o torque.

Residual Plot

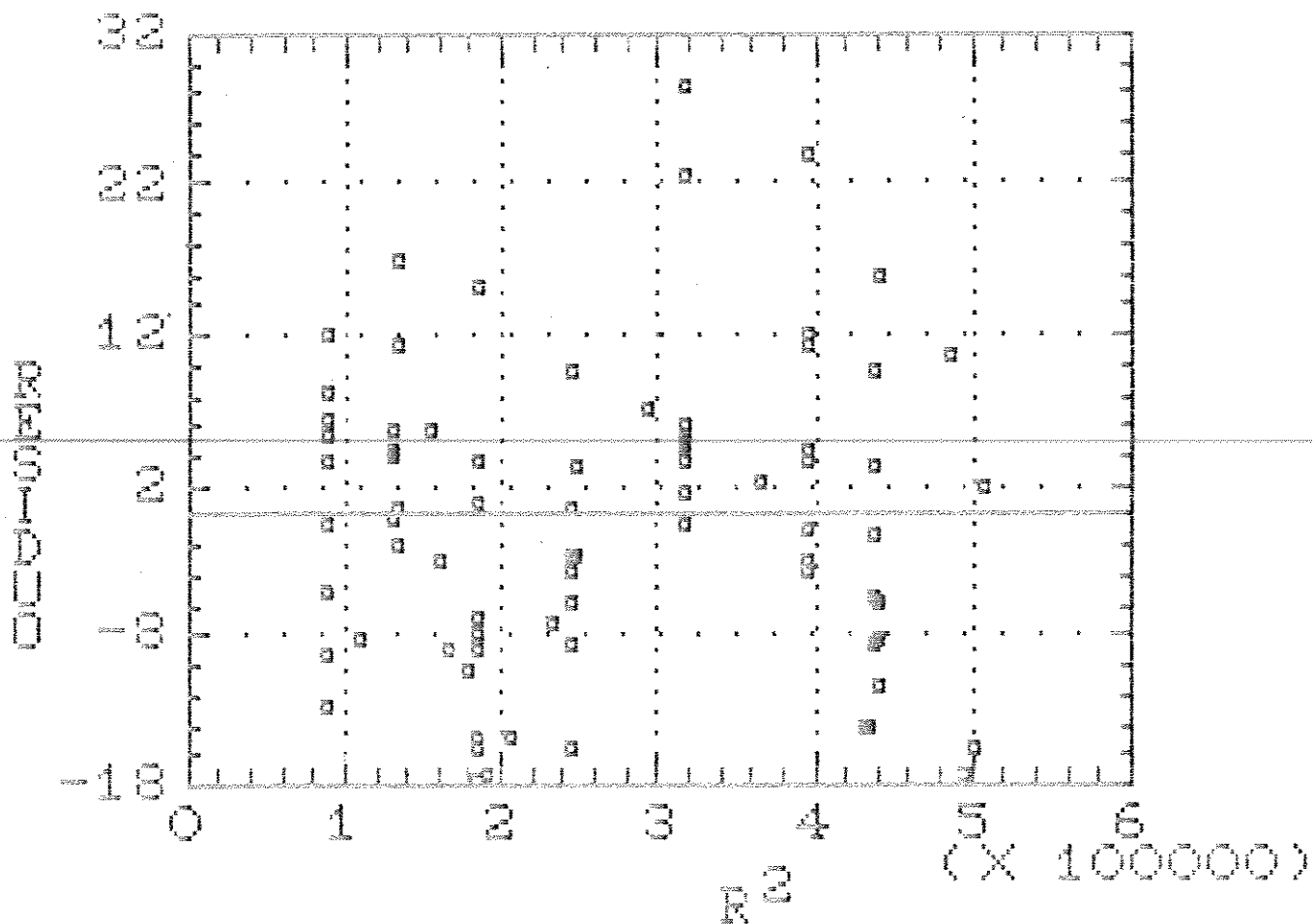


FIG. 5.4.7 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente R^2 obtida pela regressão da equação para o torque.

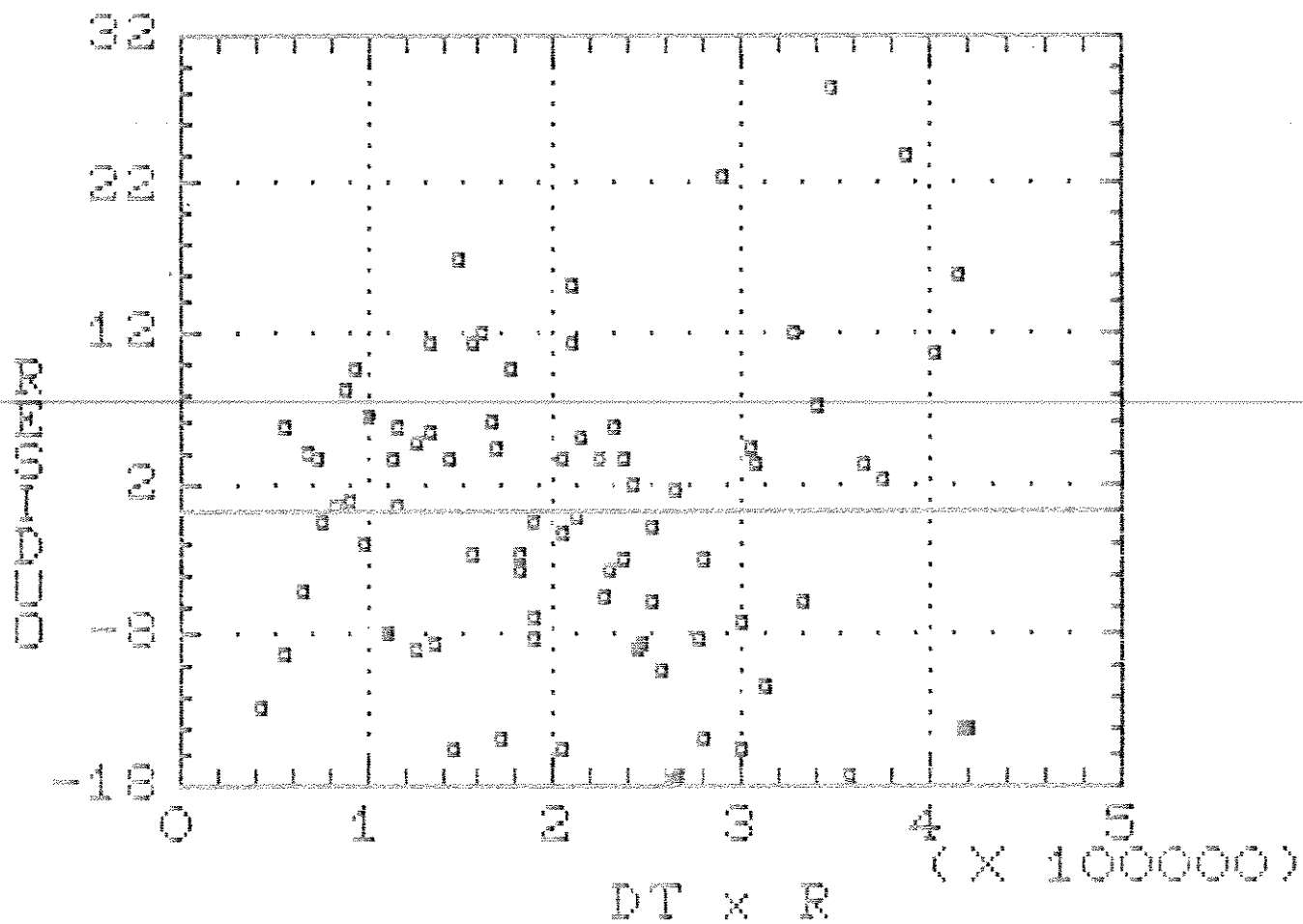


FIG. 5.4.8 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente $DT \times R$ obtida pela regressão da equação para o torque.

5.5 - Ajustagem do consumo horário em função da diferença de temperatura e da rotação.

As curvas da Figura 5.5.1 mostram o consumo horário em função de diferença de temperatura para os vários níveis de rotação. Os dados referentes a estas curvas constam nas Tabelas 9.10 a 9.16 do Apêndice 9.1.

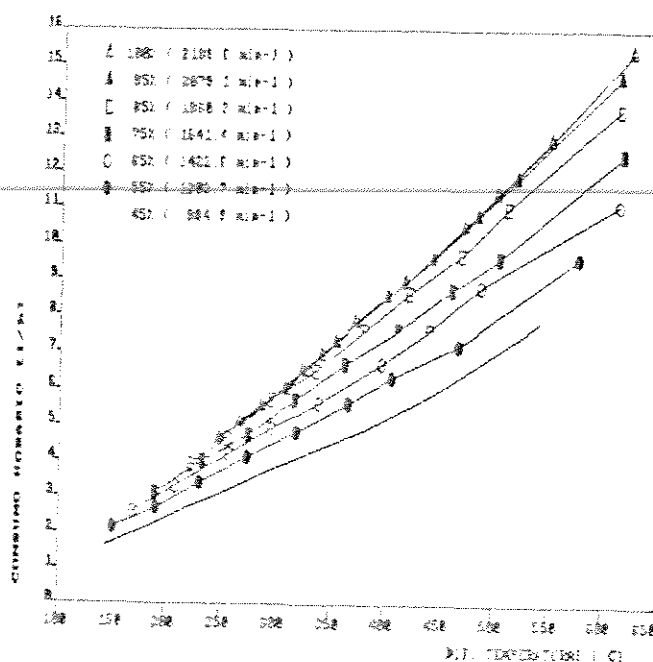


FIG. 5.5.1 - Consumo Horário em função da diferença de temperatura para os níveis de 45[%], 55[%], 65[%], 75[%], 85[%], 95[%] e 100[%] da rotação nominal.

O Quadro 5.5.1 mostra a análise da variância da regressão linear múltipla enquanto que o Quadro 5.5.2 mostra o resultado da ajustagem do modelo obtido pela regressão, levando-se em consideração as iterações de DT, R, DT^2 , R^2 , e DTxR.

QUADRO 5.5.1 - Análise de variância da regressão para a equação do consumo horário.

ANÁLISE DE VARIANÇA					
FONTE	SQ	GL	QM	F	PROB(>F)
MODELO	1054,523	5	210,905	10907,602	0,00
ERRO	1,444070	74	0,019514		
TOTAL CORR.	1055,9669	79			

$$r^2 = 0,998632$$

A análise de variância da regressão do consumo horário mostra que pode-se rejeitar a hipótese de que a regressão não seja bem ajustada e, portanto, não se tem elementos para inferir que o consumo horário não dependa de DT, R, DT^2 , R^2 e DTxR.

O coeficiente de determinação múltipla permite que não se descarte a hipótese de que o consumo horário esteja relacionado ao nível de 99,86 % com as variáveis DT, R, DT^2 , R^2 e DTxR.

QUADRO 5.5.2 - Resultado da ajustagem do modelo matemático

$$CH = c_0 + c_1 \times DT + c_2 \times R + c_3 \times DT^2 + c_4 \times R^2 + c_5 \times (DT \times R).$$

VARIÁVEL	COEFICIENTE	ERRO PADRÃO	T	PROB(>T)
CONSTANTE	-1,042826	0,302831	-3,4436	0,0000
DT	-0,000293	0,000737	-0,3982	0,6918
R	0,008087	0,001141	7,0638	0,0000
DT ²	5,76341E-6	9,52183E-7	6,0528	0,0000
R ²	-0,000014	1,22043E-6	-11,2258	0,0000
DTxR	0,000036	1,04364E-6	34,2765	0,0000

A equação obtida do consumo horário em função da diferença de temperatura e da rotação tem, portanto a forma:

$$CH = -1,042826 - 0,000293 DT + 0,008087 R + 0,00000576 DT^2 - 0,000014 R^2 + 0,000036 DT \times R.$$

Sendo o consumo horário dado em [l/h], a diferença de temperatura em [°C] e a rotação em [min⁻¹].

O gráfico do valor observado do consumo horário em função do valor estimado pela equação da regressão, pode ser observado na Figura 5.5.2.

A distribuição dos resíduos da ajustagem pode ser observada na Figura 5.5.3, enquanto as referentes às

variáveis independente podem ser observadas nas Figuras de 5.5.4 a 5.5.8, nota-se que não ocorreram tendências nas ajustagens em nenhum dos casos.

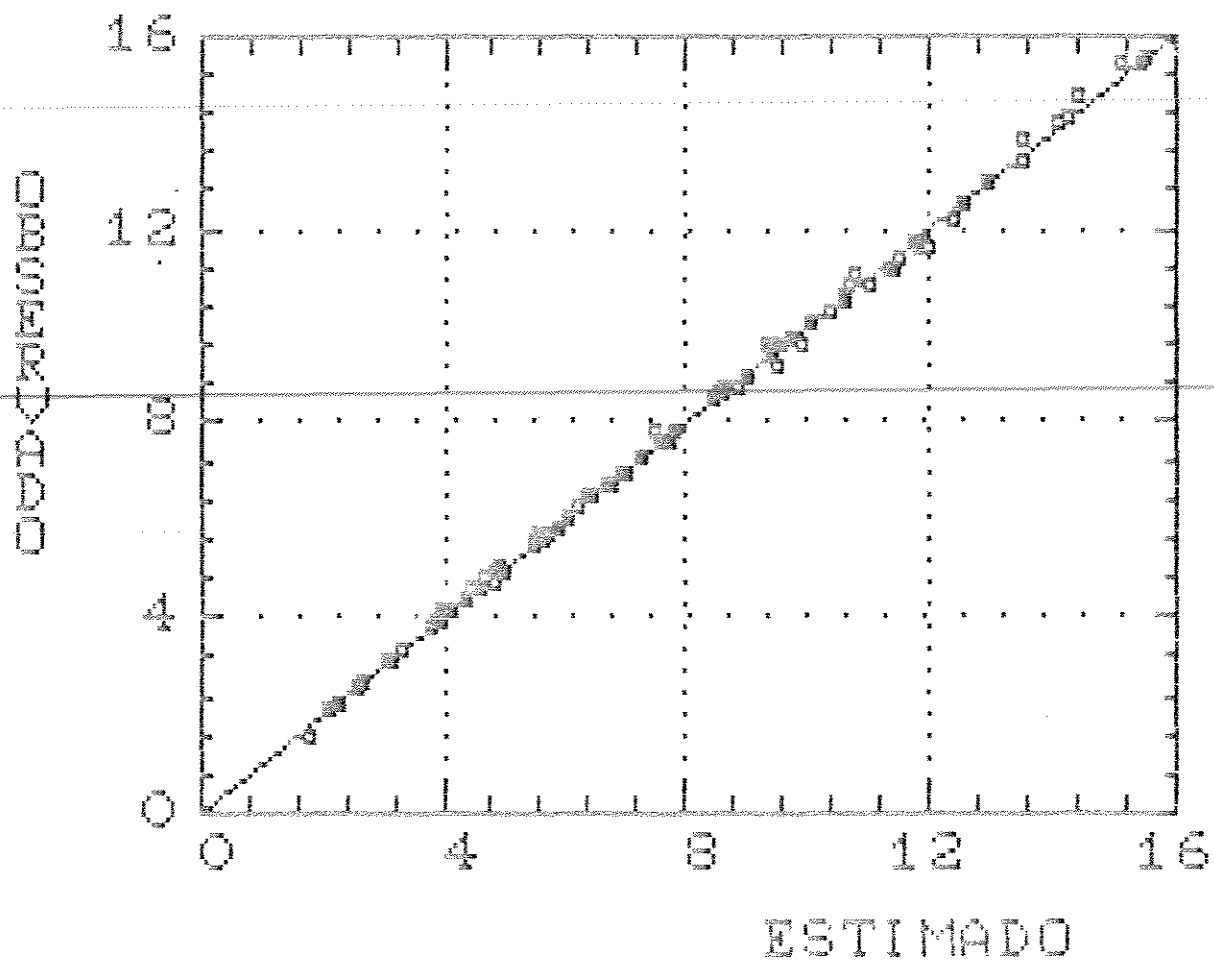


FIG. 5.5.2 - Consumo horário observado em função dos valores calculados através da equação obtida pela regressão

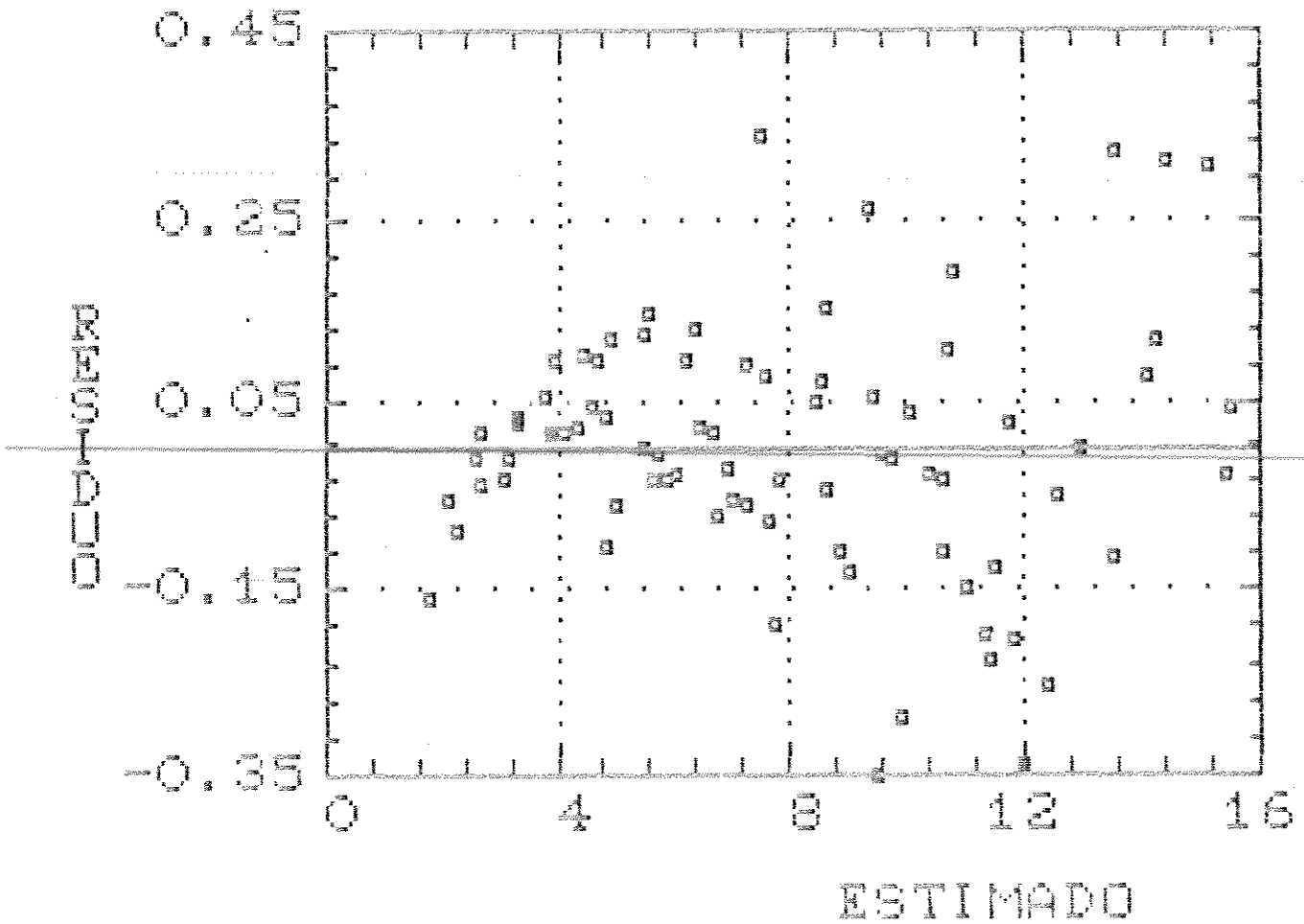


FIG. 5.5.3 - Distribuição dos resíduos em relação aos valores estimados pela equação do consumo horário, obtida pela regressão.

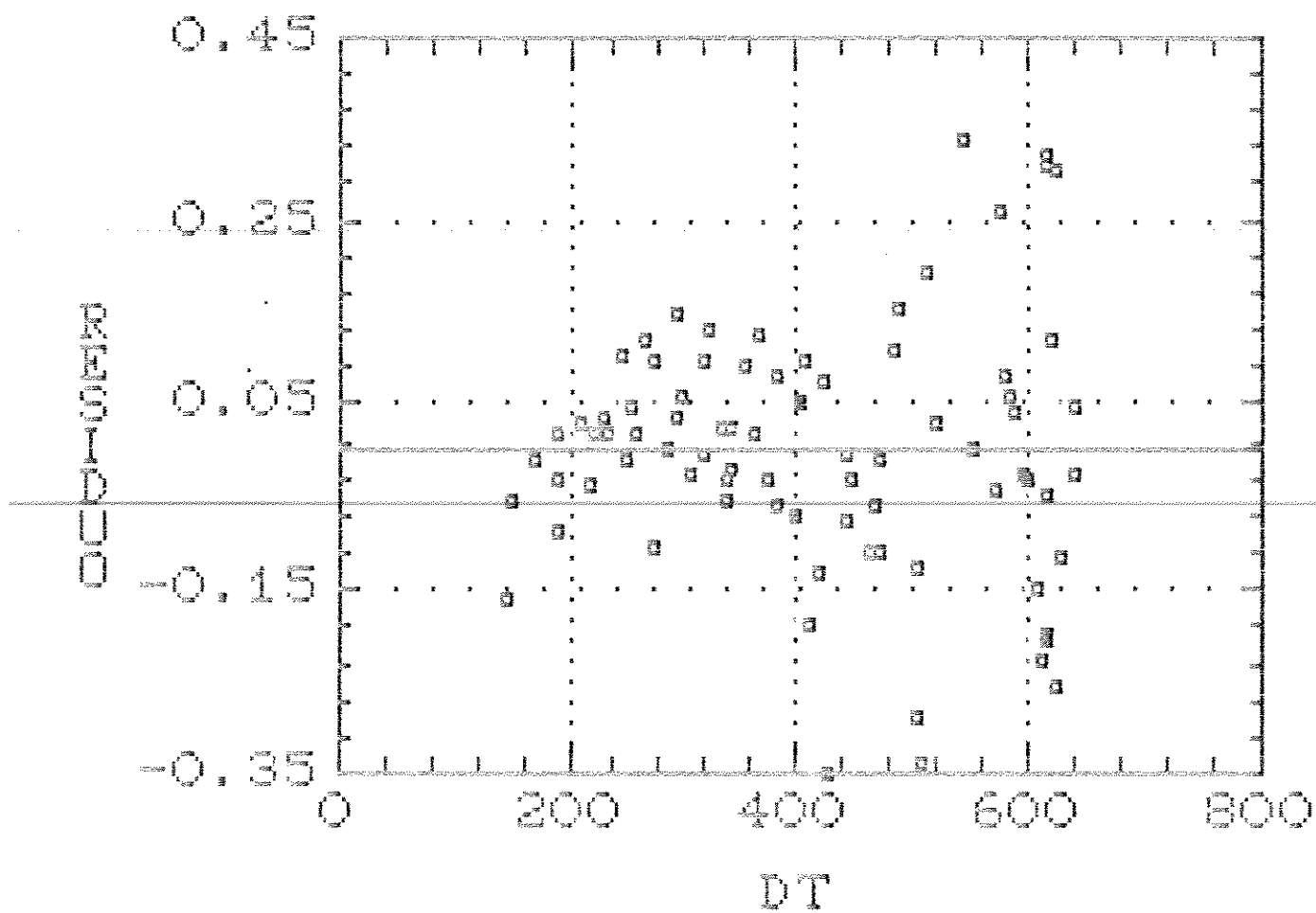


FIG. 5.5.4 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente DT obtida pela regressão da equação para o consumo horário.

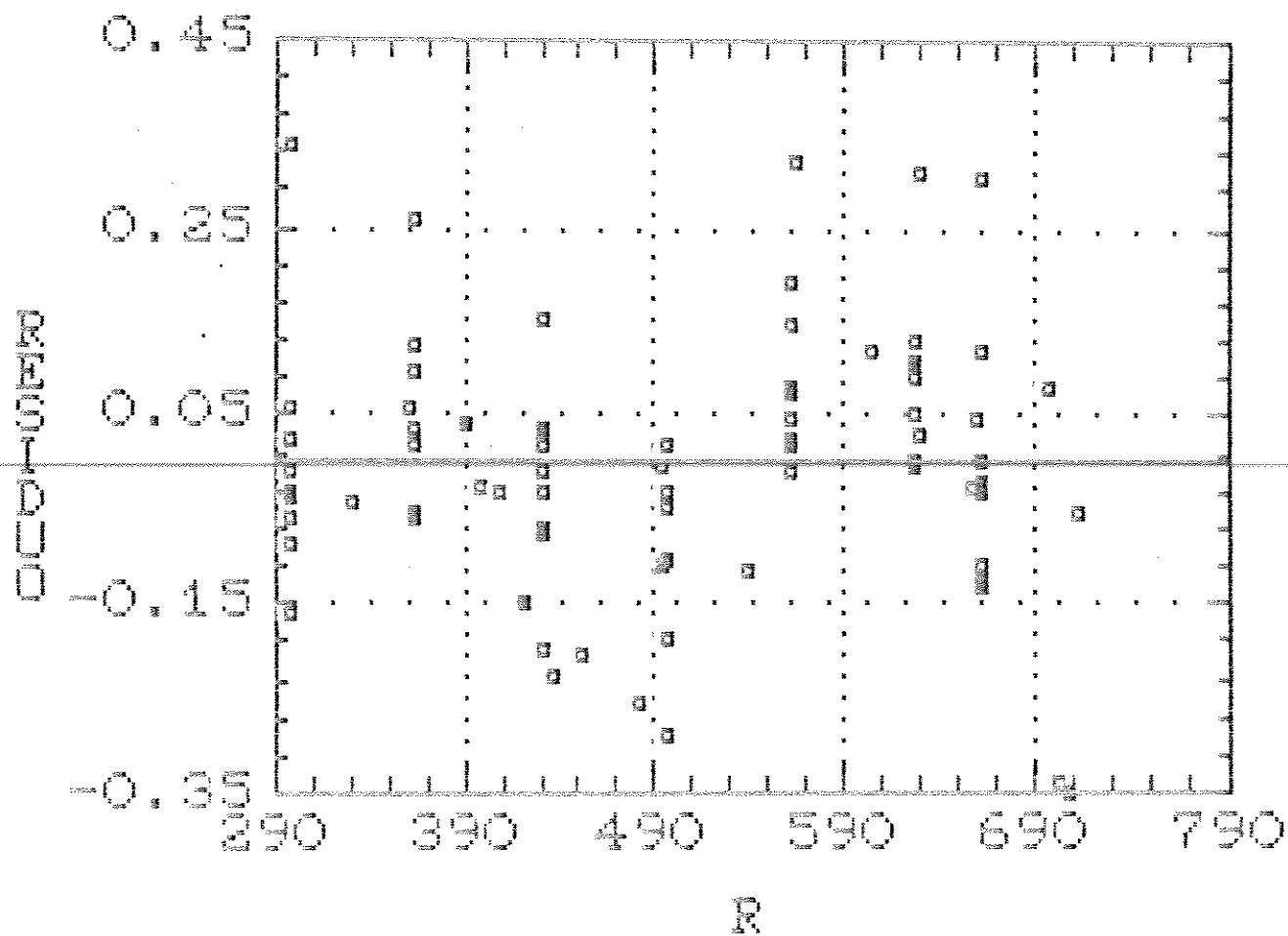


FIG. 5.5.5 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente R obtida pela regressão da equação para o consumo horário.

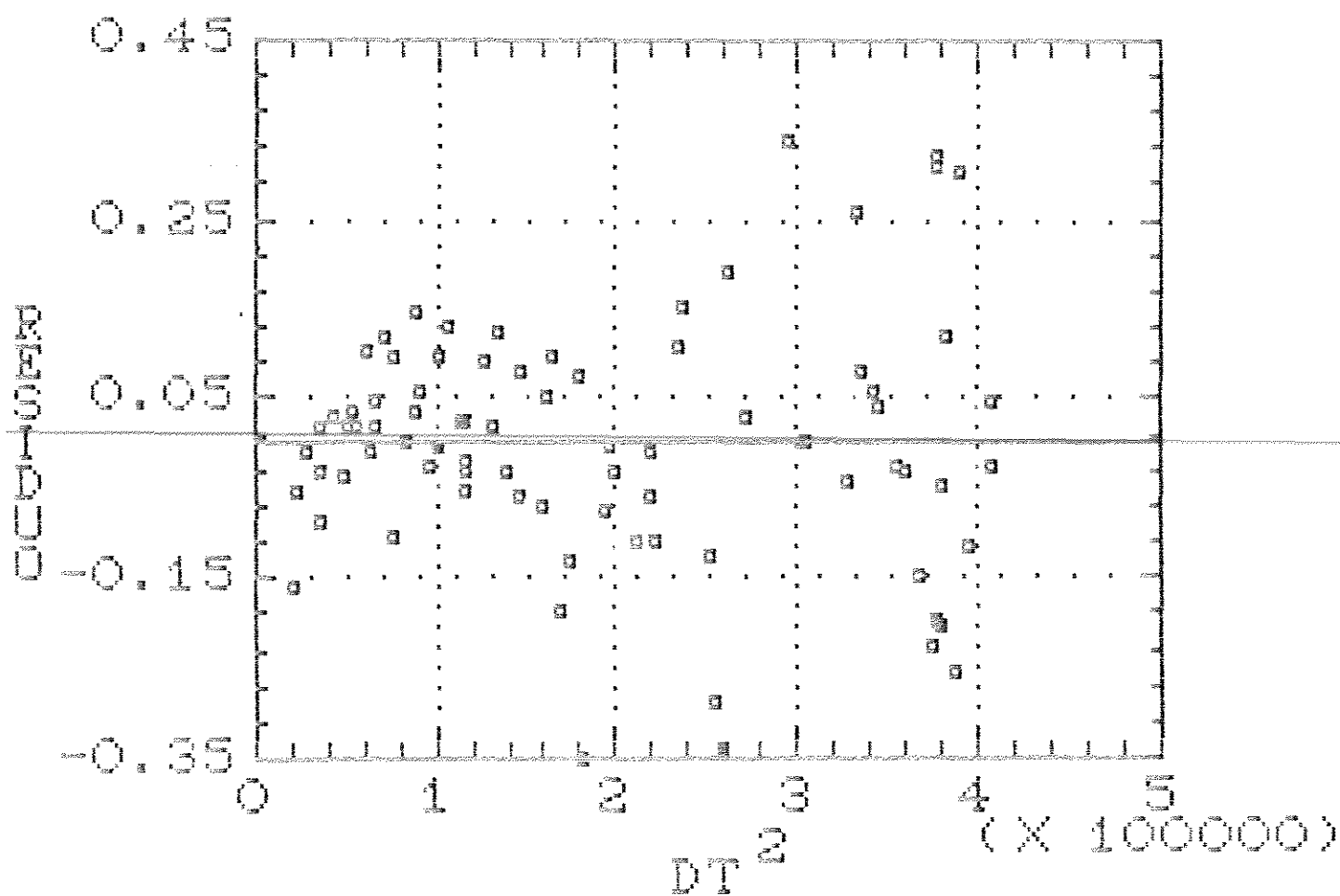


FIG. 5.5.6 - Distribuição dos resíduos em relação a variável independente DT^2 obtida pela regressão da equação para o consumo horário.

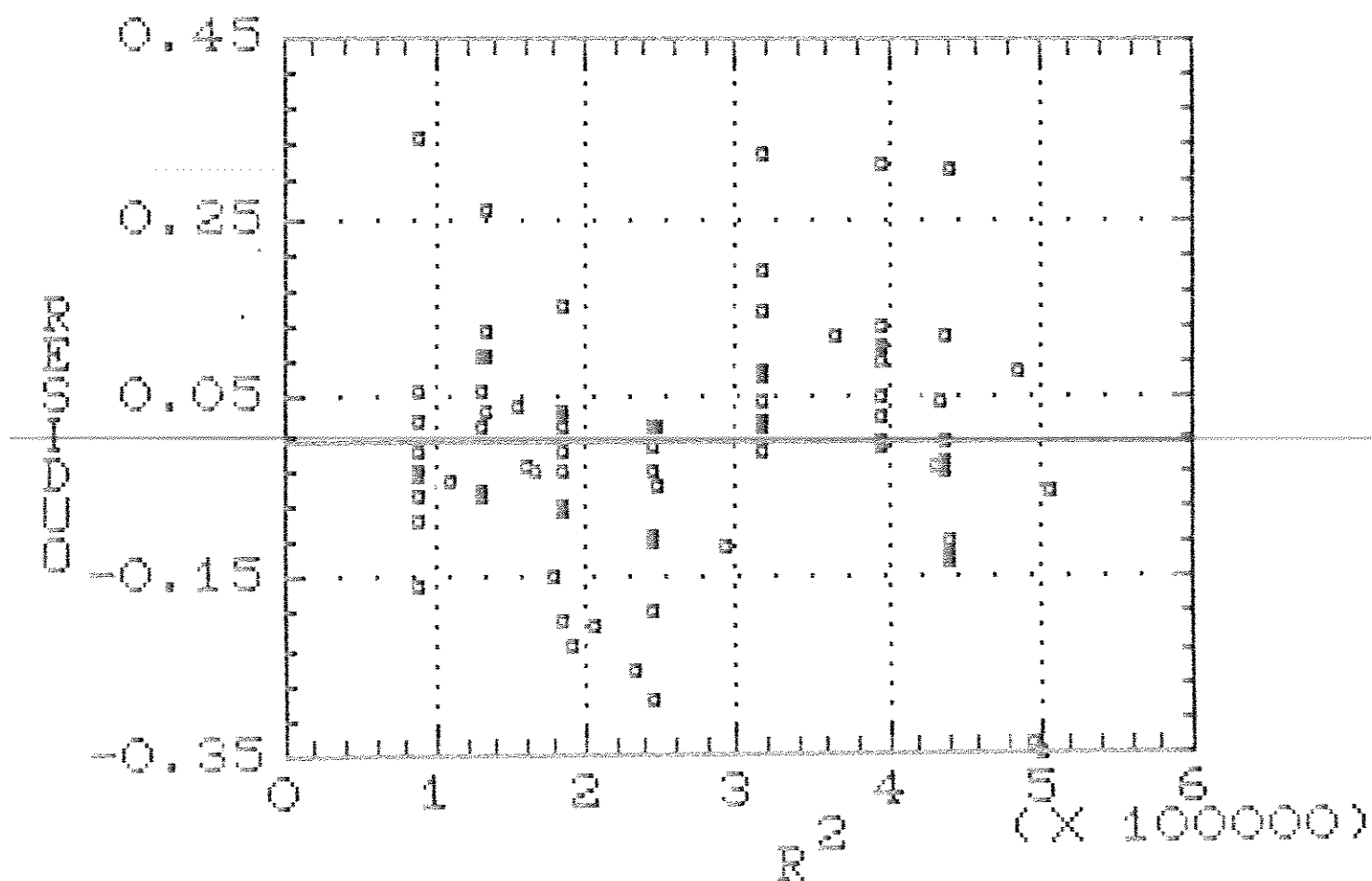


FIG. 5.5.7 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente R^2 obtida pela regressão da equação para o consumo horário.

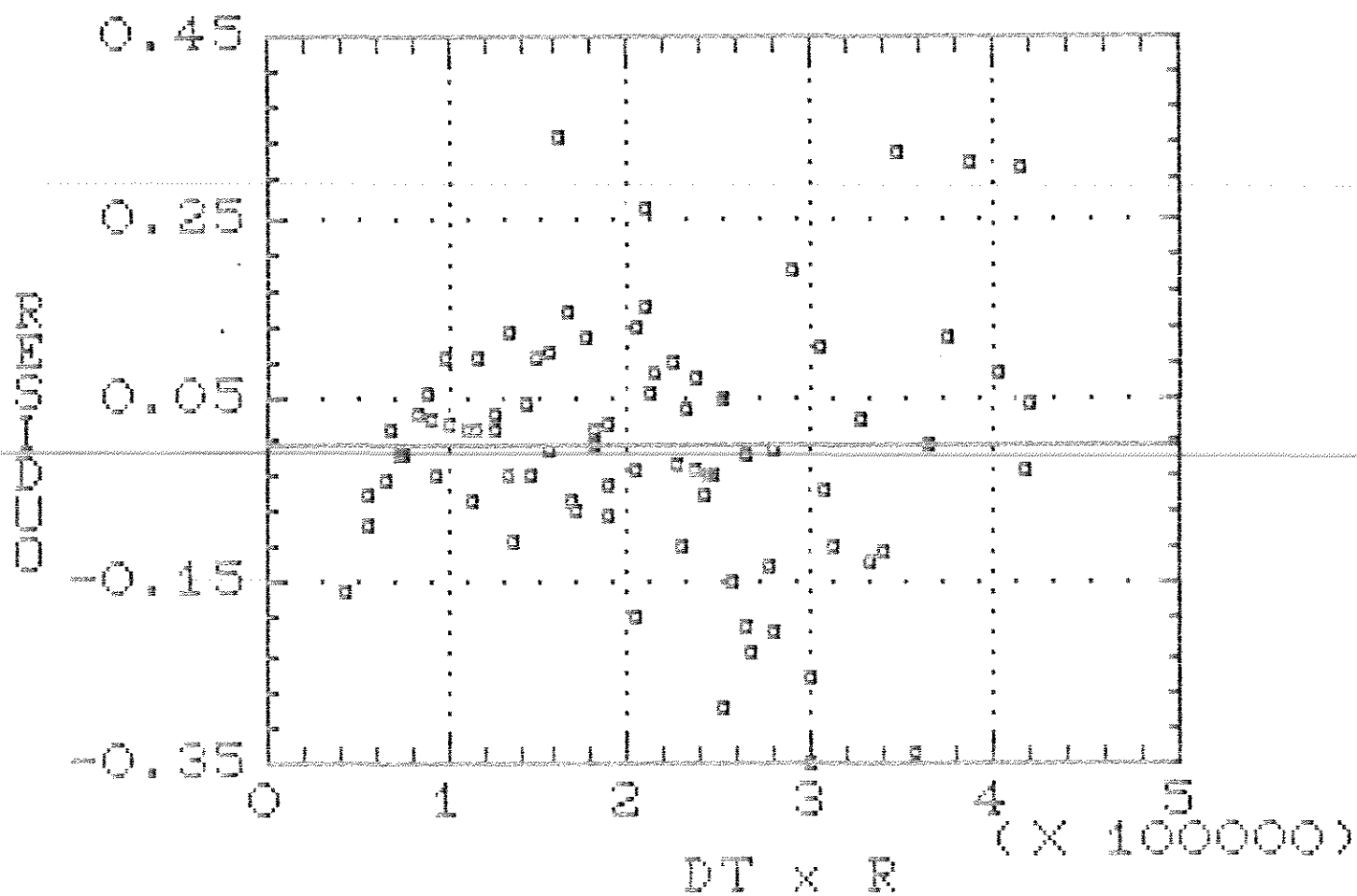


FIG. 5.5.8 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente DTxR obtida pela regressão da equação para o consumo horário.

5.6 - Ajustagem da potência em função da diferença de temperatura e da rotação.

As curvas da Figura 5.6.1 mostram a potência em função da diferença de temperatura para os vários níveis de rotação. Os dados referentes a estas curvas constam nas Tabelas 9.10 a 9.16 do Apêndice 9.1.

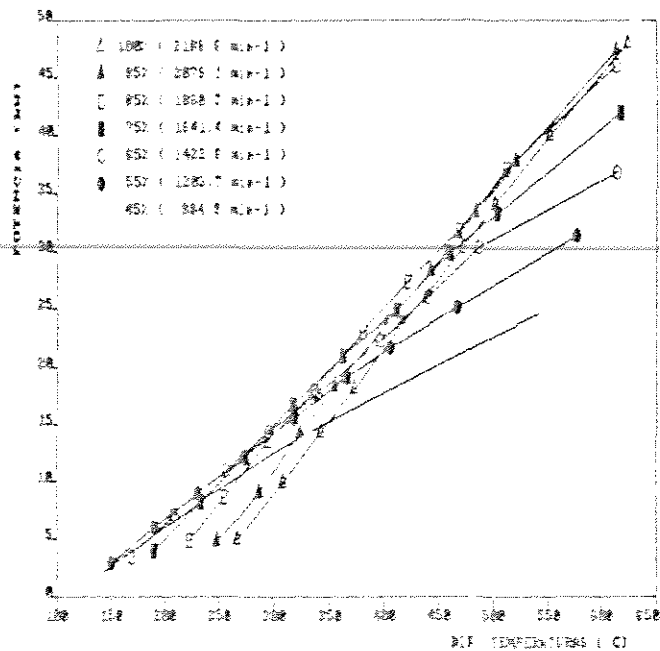


FIG. 5.6.1 - Potência em função da diferença de temperatura para os níveis de 45(%), 55(%), 65(%), 75(%), 85(%), 95(%), 100(%), da rotação nominal.

Observa-se pela Figura 5.6.1. que quanto maior é o nível de rotação desenvolvido pelo motor, menor é a diferença de temperaturas entre os gases de escape e de

admissão do motor, para uma mesma variação na potência.

O Quadro 5.6.1 mostra a análise da variância da regressão linear múltipla enquanto que o Quadro 5.6.2 mostra o resultado da ajustagem do modelo obtido pela regressão, levando-se em consideração as iterações de DT, R, DT^2 , R^2 , e DTxR.

QUADRO 5.6.1 - Análise de variância da regressão para a equação da potência.

ANÁLISE DE VARIANÇA					
FONTE	SQ	GL	QM	F	PROB(>F)
MODELO	13849,171	5	2769,834	6817,459	0,00
ERRO	30,065121	74	0,406285		
TOTAL CORR.	13879,236	79			

$$r^2 = 0,997834$$

A análise de variância da regressão da potência mostra que pode-se rejeitar a hipótese de que a regressão não seja bem ajustada e, portanto, não se tem elementos para inferir que a potência não dependa de DT, R, DT^2 , R^2 e DTxR.

O coeficiente de determinação múltipla permite que não se descarte a hipótese de que a potência esteja relacionada ao nível de 99,78% com as variáveis DT, R, DT^2 , R^2 e DTxR.

QUADRO 5.6.2 - Resultado da ajustagem do modelo matemático

$$P = c_0 + c_1 \times DT + c_2 \times R + c_3 \times DT^2 + c_4 \times R^2 + c_5 \times (DT \times R).$$

VARIÁVEL	COEFICIENTE	ERRO PADRÃO	T	PROB(>T)
CONSTANTE	-16,738486	1,381774	-12,1138	0,0000
DT	0,025985	0,003361	7,7259	0,6916
R	0,066240	0,005205	12,7270	0,0000
DT ²	-0,000049	4,34468E-6	-11,2160	0,0000
R ²	-0,000143	5,58853E-6	-25,6988	0,0000
DT×R	0,000207	4,76199E-6	43,5319	0,0000

A equação obtida da potência em função de diferença de temperatura e da rotação tem, portanto a forma:

$$P = -16,738486 + 0,025985 \text{ DT} + 0,06624 \text{ R} - 0,000049 \text{ DT}^2 - \\ - 0,000143 \text{ R}^2 + 0,000207 \text{ DT} \times \text{R}.$$

Sendo a potência dada em [kW], a diferença de temperatura em [$^{\circ}\text{C}$] e a rotação em [min^{-1}].

O gráfico do valor observado da potência em função do valor estimado pela equação da regressão, pode ser observado na Figura 5.6.2.

A distribuição dos resíduos da ajustagem pode ser observada na Figura 5.6.3, enquanto que as referentes às variáveis independentes podem ser observadas

nas Figuras de 5.6.4 a 5.6.8, nota-se que não ocorreram tendências nas ajustagens em nenhum dos casos.

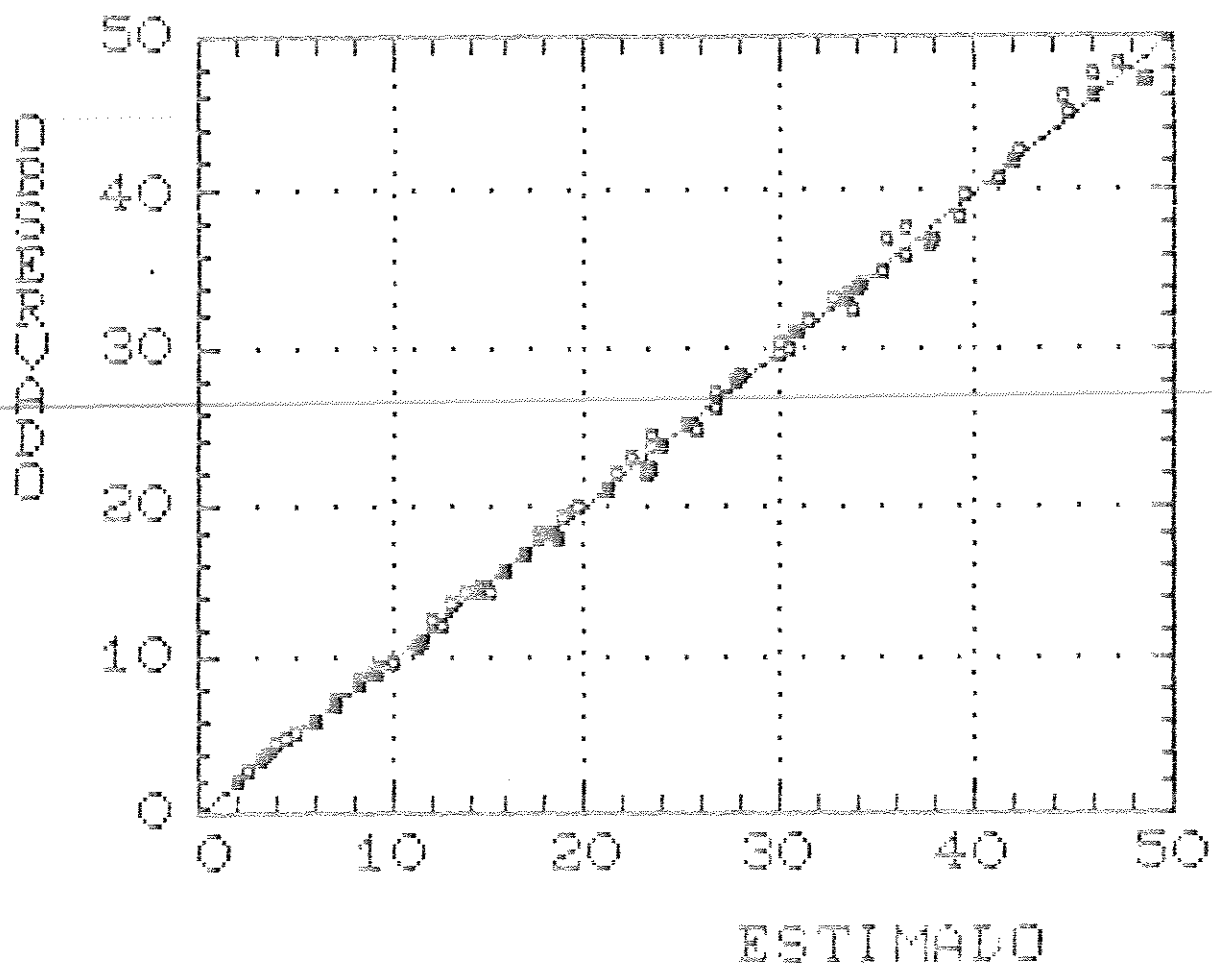


FIG. 5.6.2 - Potência observada em função dos valores calculados através da equação obtida pela regressão.

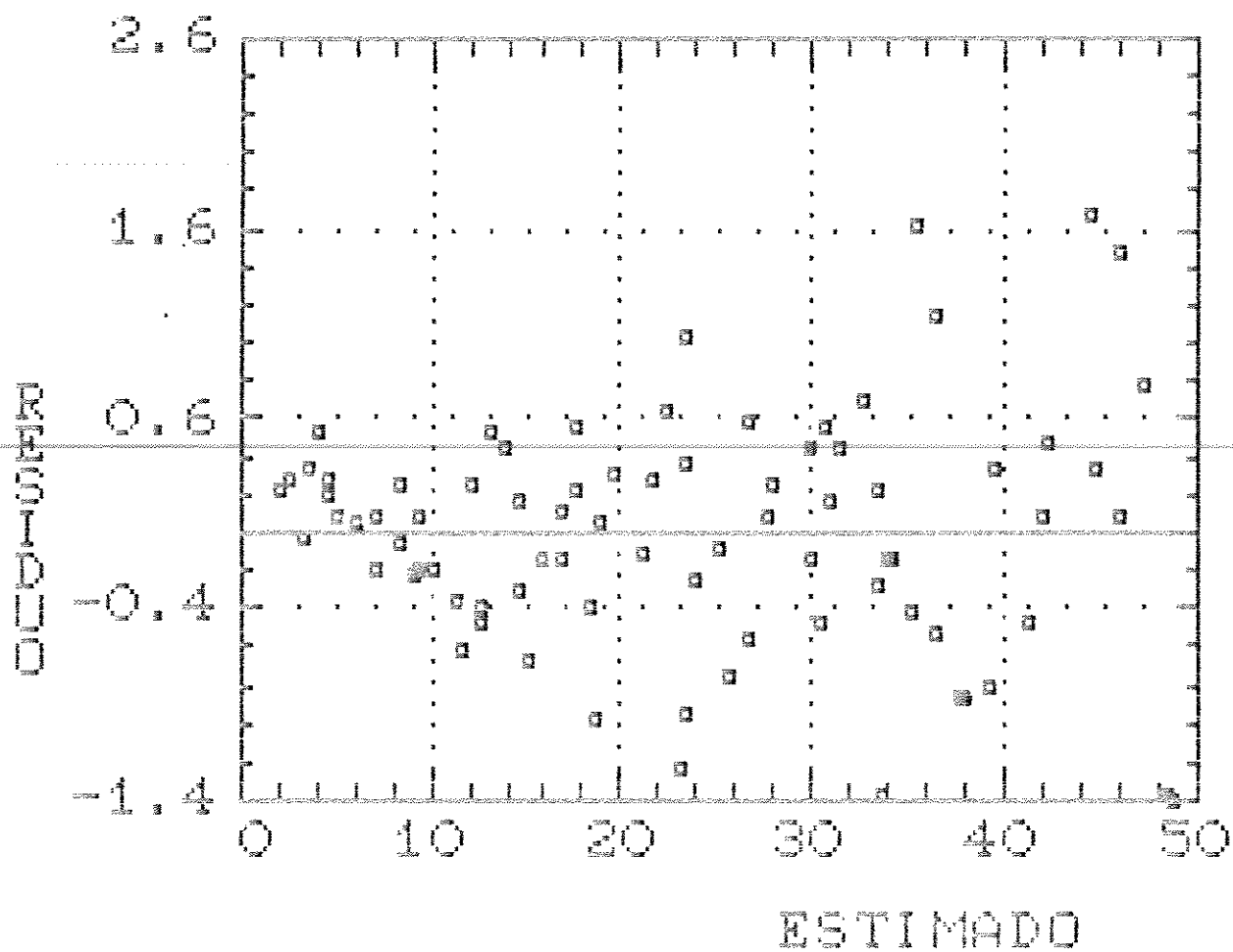


FIG. 5.6.3 - Distribuição dos resíduos em relação aos valores estimados pela equação da potência, obtida pela regressão.

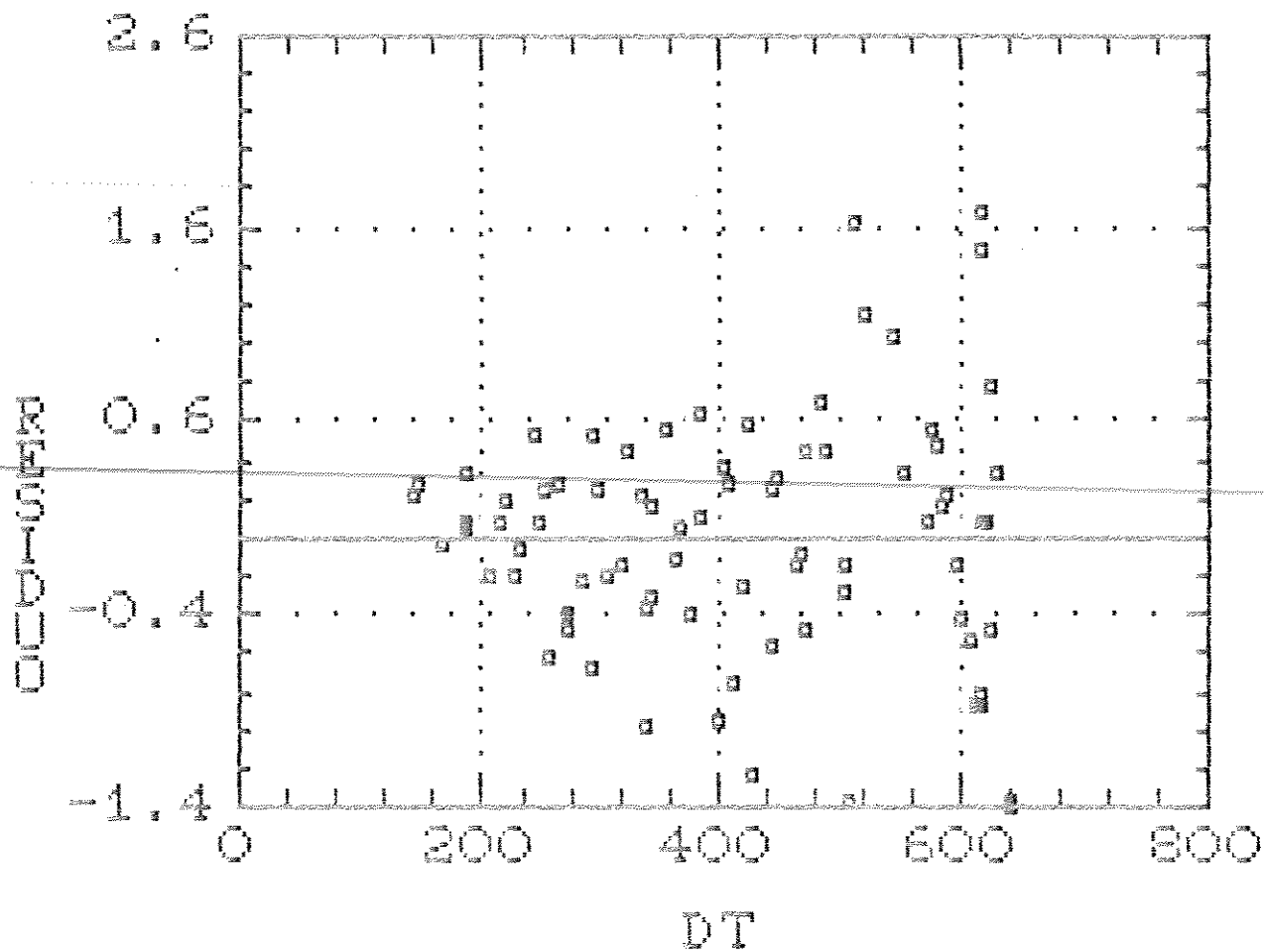


FIG. 5.6.4 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente DT obtida pela regressão da equação para a potência.

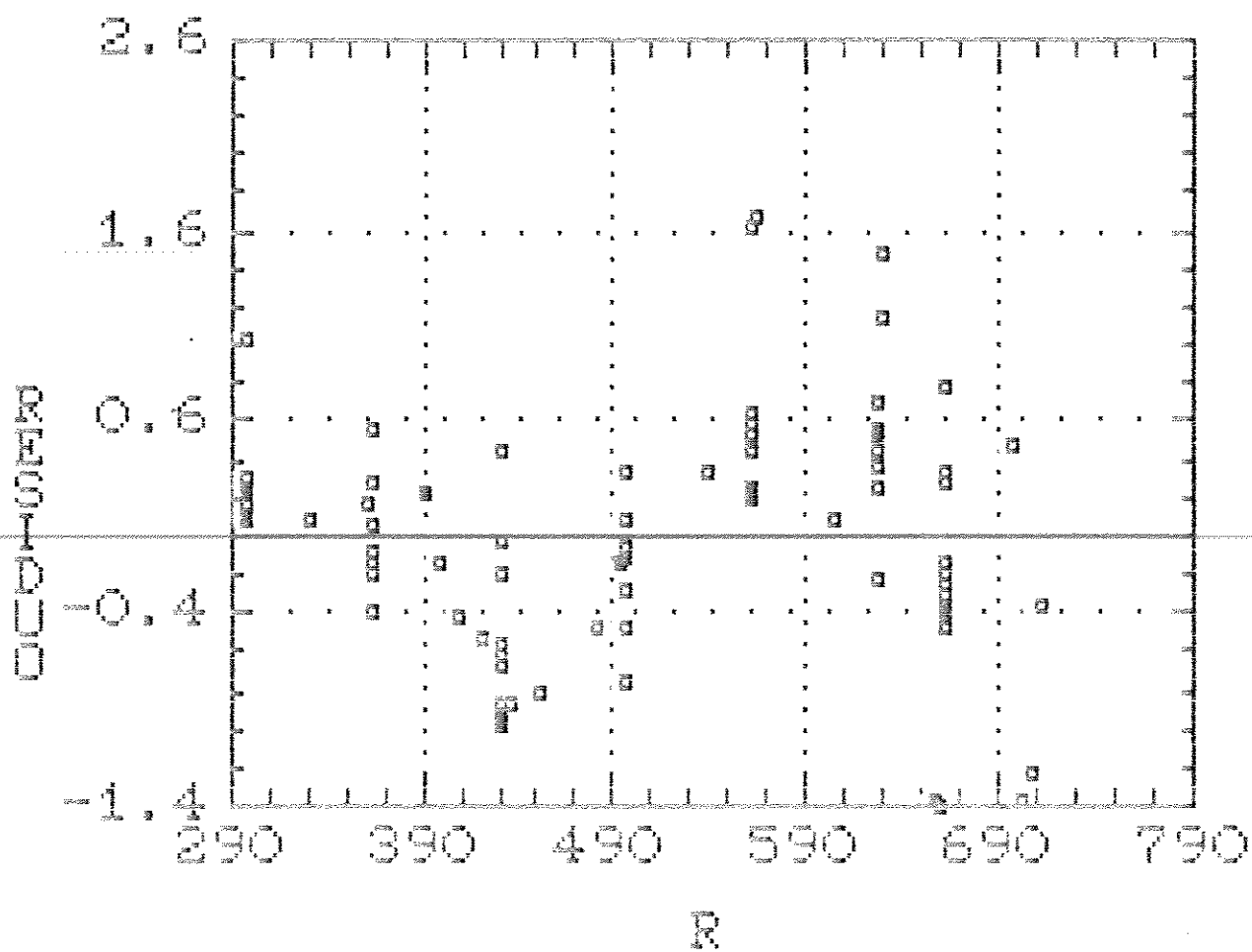


FIG. 5.6.5 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente R obtida pela regressão da equação para a potência.

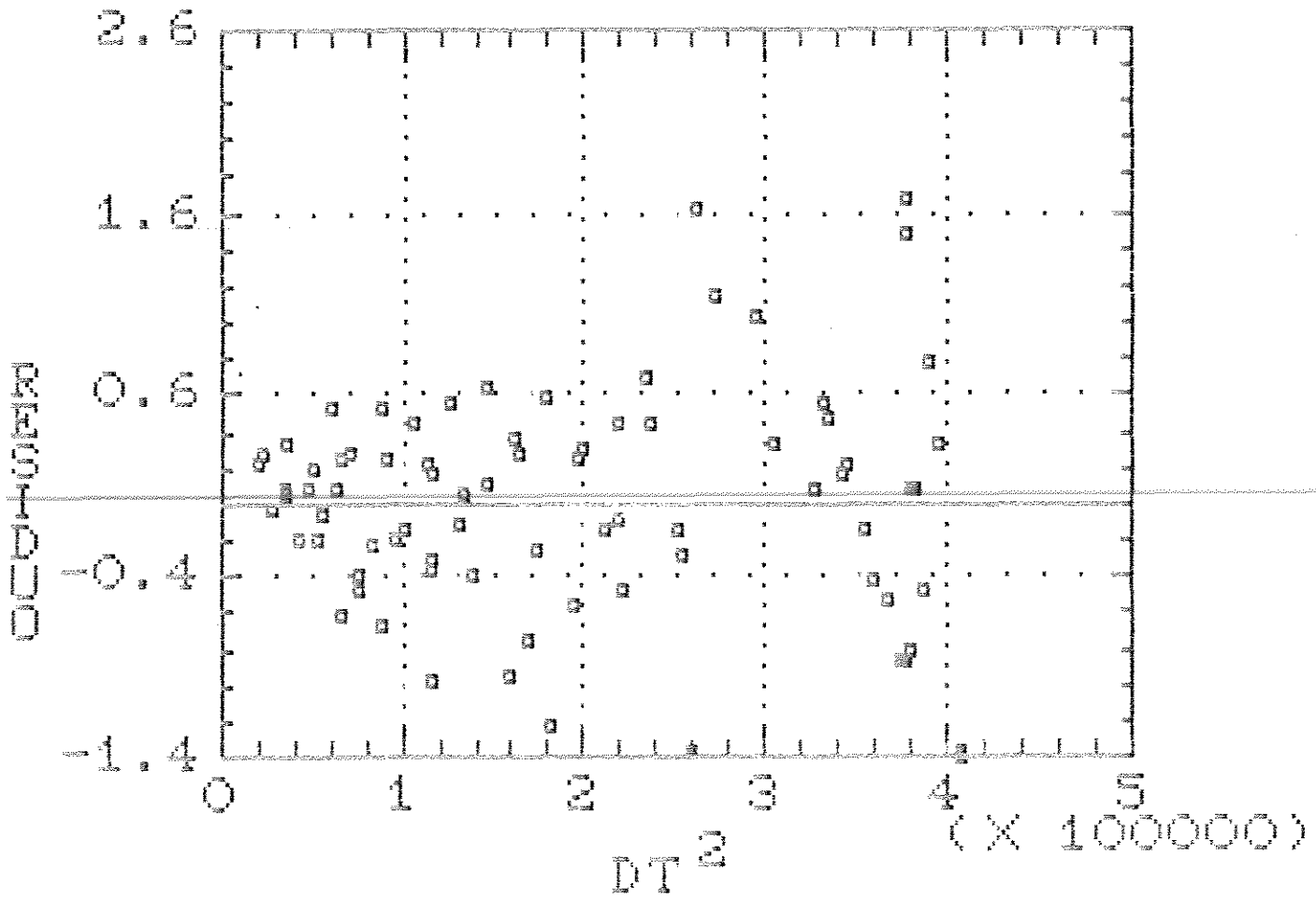


FIG. 5.6.6 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente DT^2 obtida pela regressão da equação para a potência.

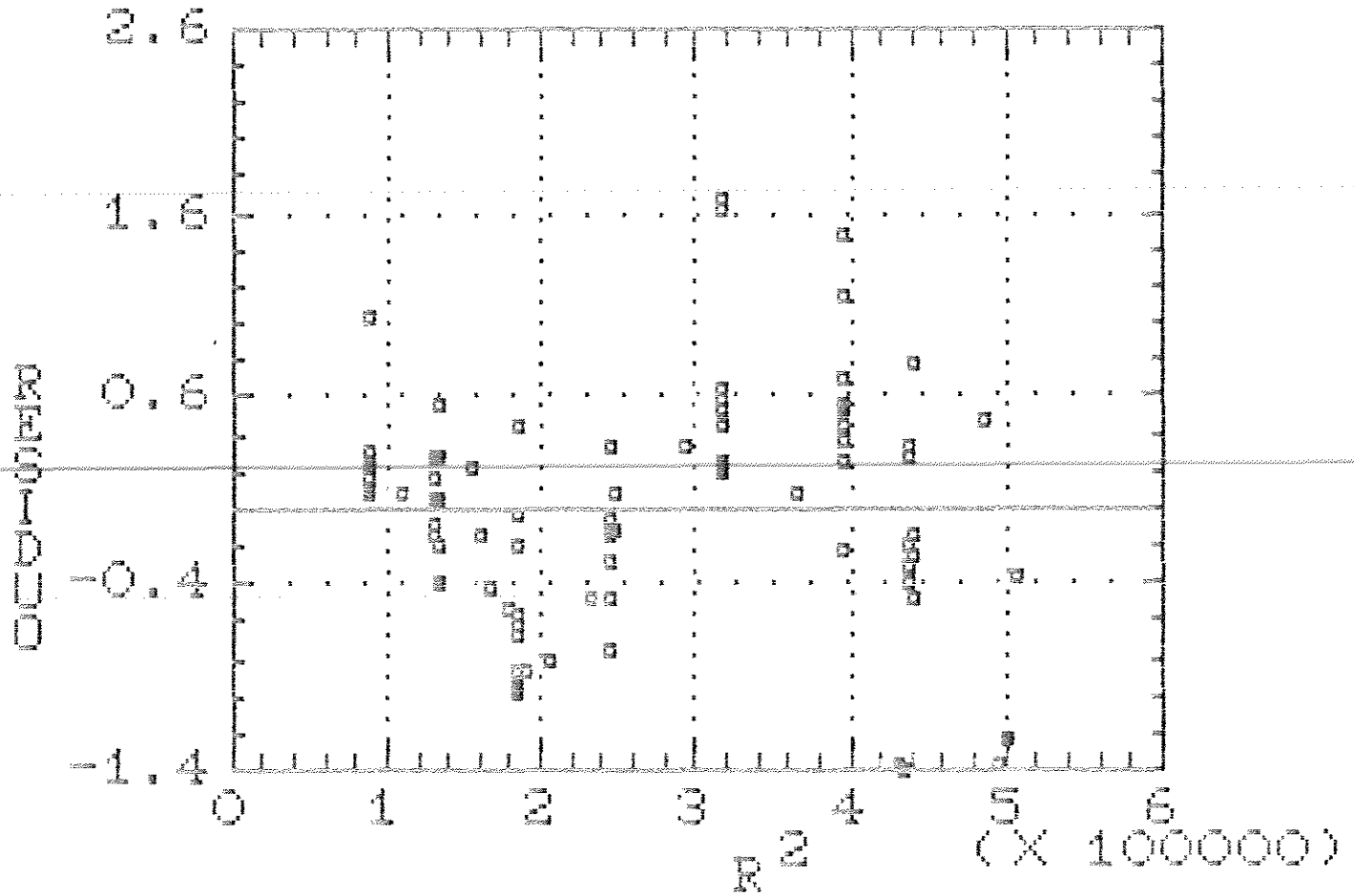


FIG. 5.6.7 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente R^2 obtida pela regressão da equação para a potência.

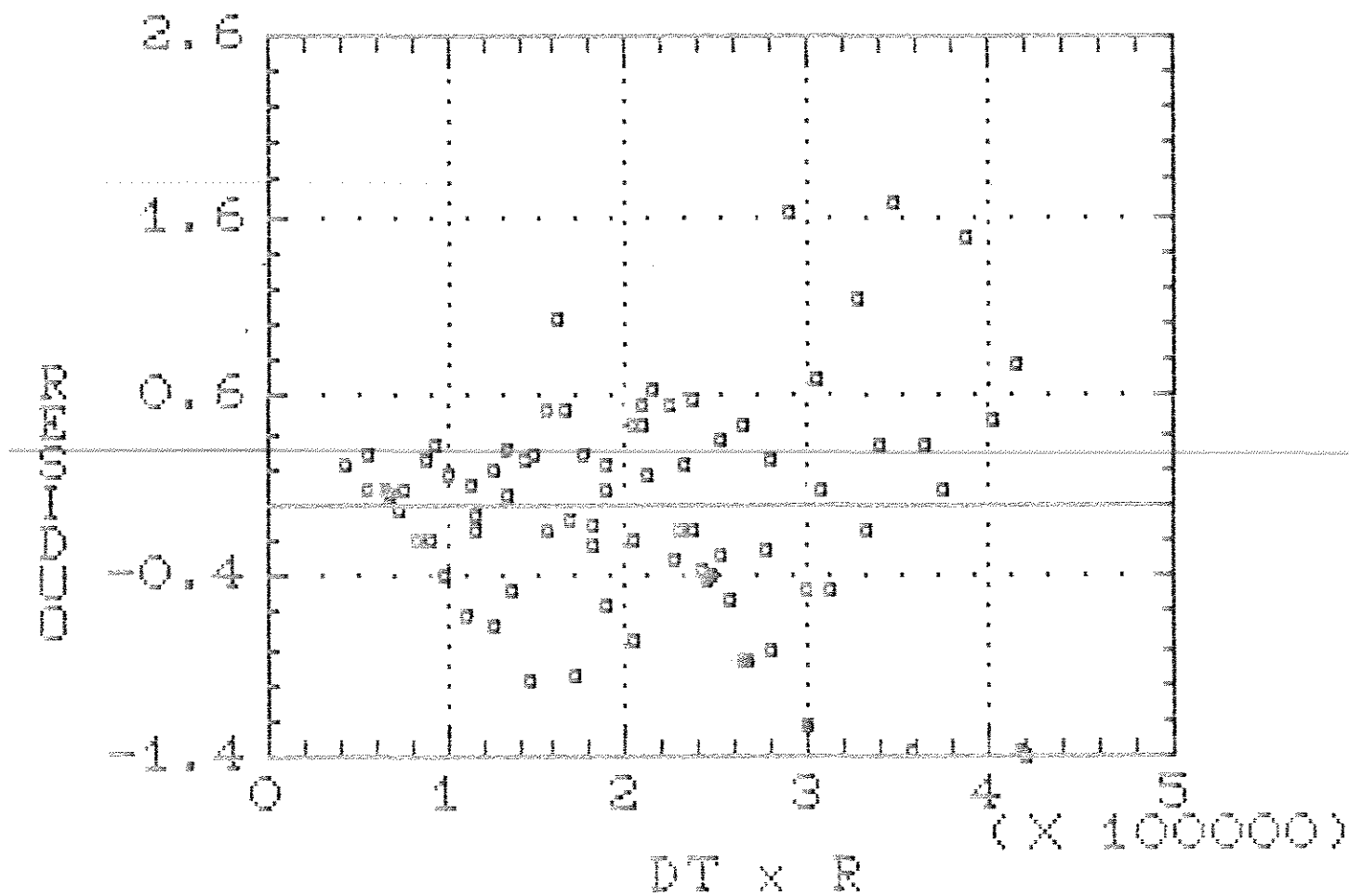


FIG. 5.6.8 - Distribuição dos resíduos em relação à variável independente $DT \times R$ obtida pela regressão da equação para a potência.

5.7 - Curvas de consumo específico de combustível em função da diferença de temperatura e da rotação.

As curvas da Figura 5.7.1 mostram o consumo específico de combustível em função da diferença de temperatura, para os vários níveis de rotação. Os dados referentes a estas curvas constam nas Tabelas 9.10 a 9.16 do Apêndice 9.1.

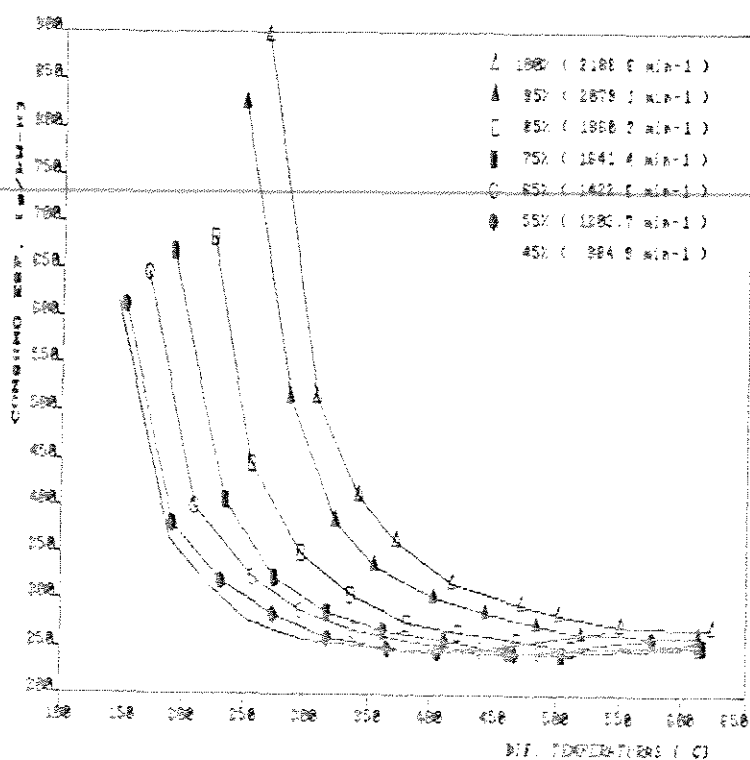


FIG. 5.7.1 - Consumo específico de combustível em função da diferença de temperatura para os níveis de 45 [%], 55 [%], 65 [%], 75 [%], 85 [%], 95 [%] e 100 [%] da rotação nominal.

Observando-se a Figura 5.7.1 nota-se que não há uma relação linear entre o consumo específico e a diferença de temperaturas, para cada nível de rotação estudado, o que fez com que, para se desenvolver o programa de monitor do SITA, se optasse por calcular o consumo específico em função do consumo horário e da potência estimados.

5.8 - Curvas de torque em função do consumo horário de combustível e da rotação.

As curvas da Figura 5.8.1 mostra o torque em função do consumo horário, para os vários níveis de rotação. Os dados referentes a estas curvas constam nas Tabelas 9.10 a 9.16 do Apêndice 9.1.

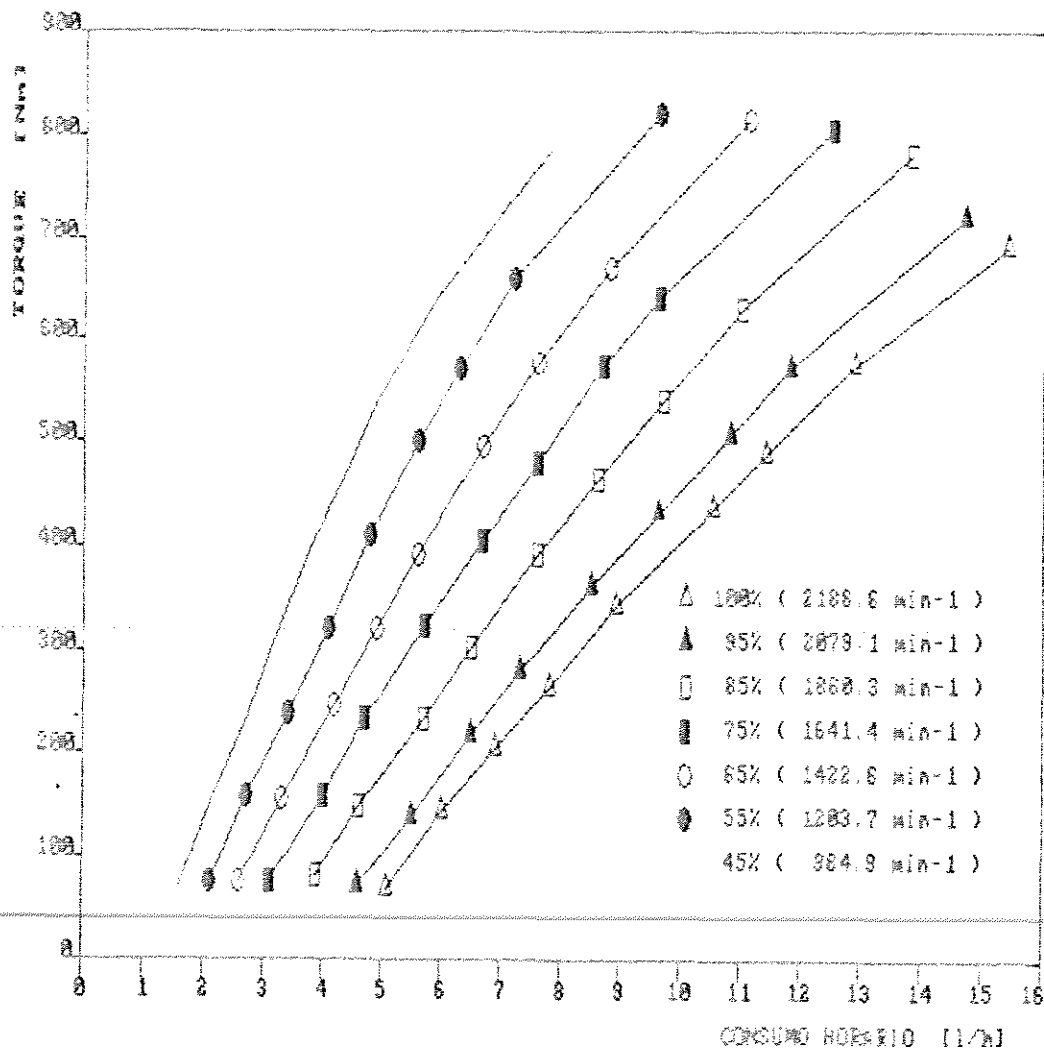


FIG. 5.8.1 - Torque em função do consumo horário de combustível para níveis de 45 [%], 55 [%], 65 [%], 75 [%], 85 [%], 95 [%] e 100 [%] da rotação nominal.

Notar-se pela Figura 5.8.1. uma clara dependência do torque em função do consumo horário de combustível e da diferença de temperaturas dos gases de escape e de admissão do motor, o que torna possível a determinação indireta da potência desenvolvida pelo motor pela medição da rotação e do consumo horário de combustível.

5.9 - Curva de percentual de economia de combustível.

Os dados do Quadro 5.9.1 foram graficamente extraídos da Figura 5.3.3 e possibilitaram a confecção da curva de percentual de economia de combustível mostrada na Figura 5.9.1.

QUADRO 5.9.1 - Dados obtidos na Figura 5.3.3 e utilizados para a confecção da Figura 5.9.1.

NÍVEL DE POTÊNCIA [%]	CONSUMO ESPECÍFICO [g/kW.h]		ECONOMIA DE COMB. [%]
	MÁXIMO	MÍNIMO	
20	600	283	110,5
40	390	247	57,9
60	335	275	21,8
80	292	260	12,3
100	273	273	0

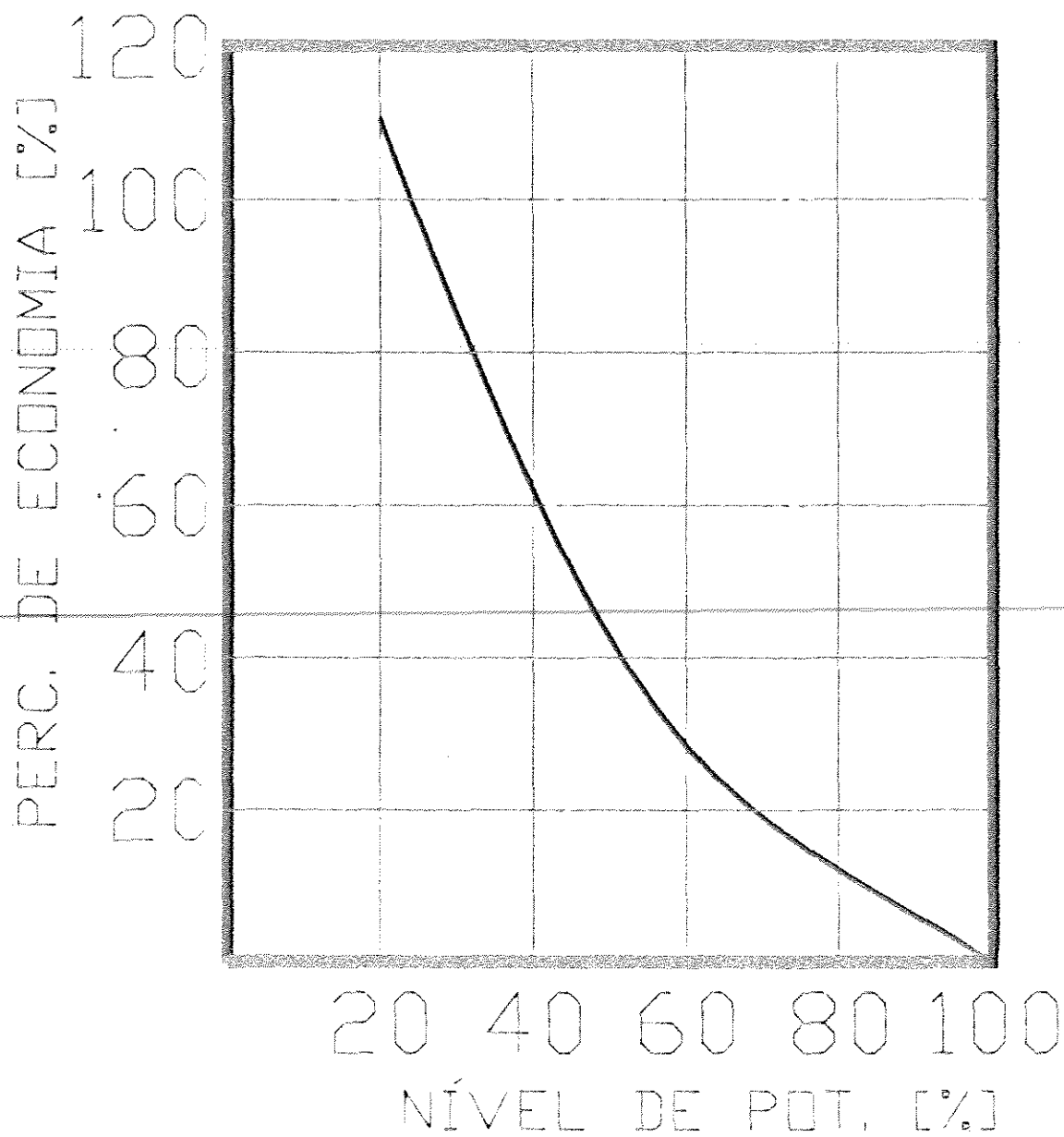


FIG. 5.9.1 - Curva de percentual de economia de combustível.

5.10 - Projeto eletrônico.

O projeto eletrônico consiste basicamente de; transdutor de temperatura, transdutor de rotação, interfaces de entrada e saída, fonte de alimentação, montagem e programa monitor.

5.10.1 - Transdutor de temperatura.

As medições das temperaturas dos gases de escape e de admissão foram feitas através da utilização de termopares do tipo J (ferro-constantan), cujos sinais foram amplificados diferencialmente e transformados em pulsos de nível TTL (Transistor-Transistor Logic) na relação anteriormente mencionada no item 4.7. O esquema eletrônico correspondente é mostrado na Figura 5.10.1.

5.10.2 - Transdutor de rotação.

A medição da rotação do motor foi feita através dos sinais provenientes do alternador original do sistema elétrico do trator. Estes sinais foram posteriormente processados para se obter pulsos, em nível TTL, na relação mencionada anteriormente no item 4.7. O esquema eletrônico correspondente é mostrado na Figura 5.10.2.

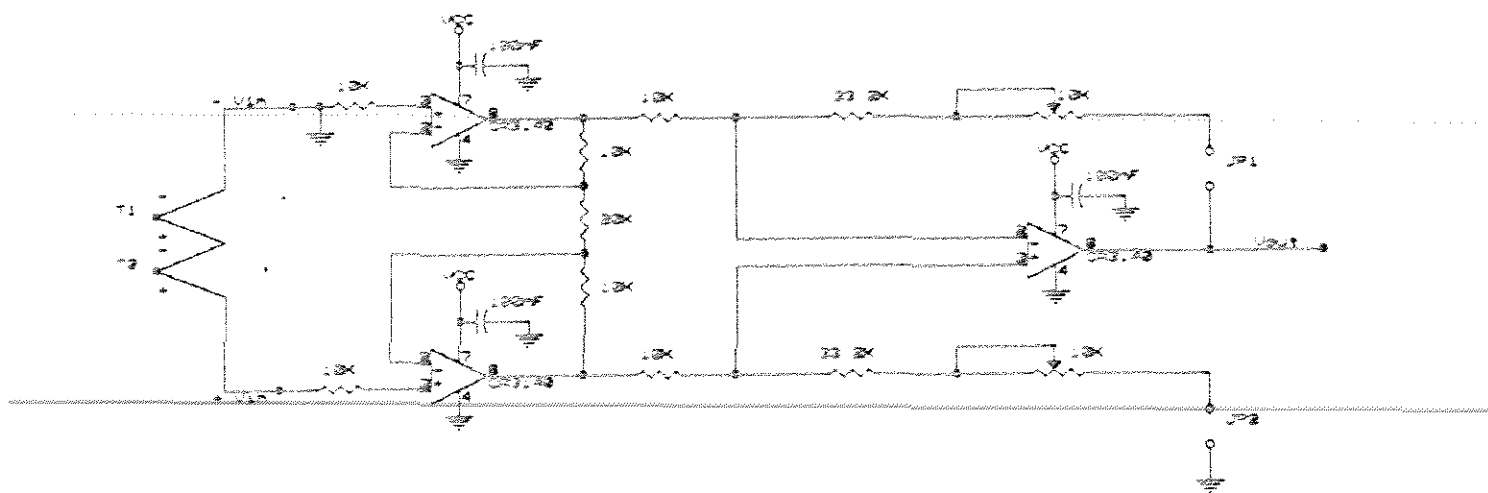


FIG. 5.10.1 - Esquema eletrônico utilizado no transdutor de temperatura.

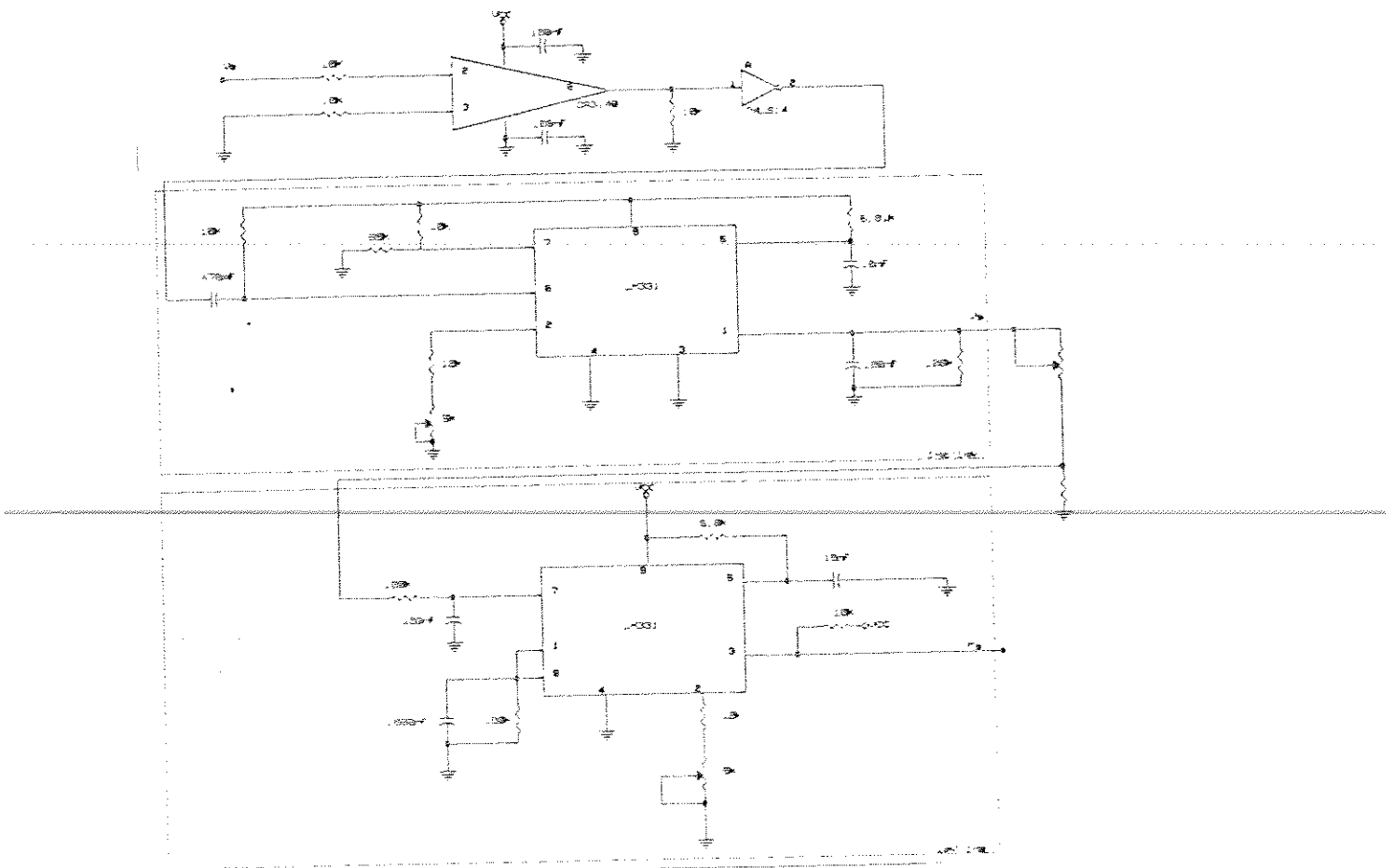


FIG. 5.10.2 - Esquema eletrônico utilizado no transdutor de rotação.

5.10.3 - Interfaces de entrada e saída.

Uma interface para aquisição de dados foi desenvolvida e compõe-se basicamente de um temporizador, um circuito de controle, dois conjuntos de contadores binários de 8 bits (utilizados para os sinais de DI e R, provenientes dos respectivos transdutores) e de "latches Tri-state" necessários para a colocação da informação no barramento de entrada de dados (PA₀ a PA₇) da interface paralela (8255-A) do DSP-80. A seleção é feita pelas linhas PC₀ (CR) e PC₁ (DT) da Porta "C" do integrado 8255-A.

O diagrama de blocos desta interface de aquisição de dados encontra-se apresentado na Figura 5.10.3.1.

Uma outra interface, para saída e apresentação dos resultados, foi desenvolvida e compõe-se basicamente de quatro conjuntos de dois "latches", dois decodificadores de 4 para 10 linhas, uma porta 15giga do tipo "NAND" e de um barramento de 21 LEDs. Cada conjunto representa a rotação, a potência, o consumo horário e o consumo específico e são selecionados respectivamente pelas linhas PC₂, PC₃, PC₄, e PC₅ da Porta "C" do integrado 8255-A.

O diagrama de blocos desta interface de saída de dados, encontra-se apresentado na Figura 5.10.3.2.

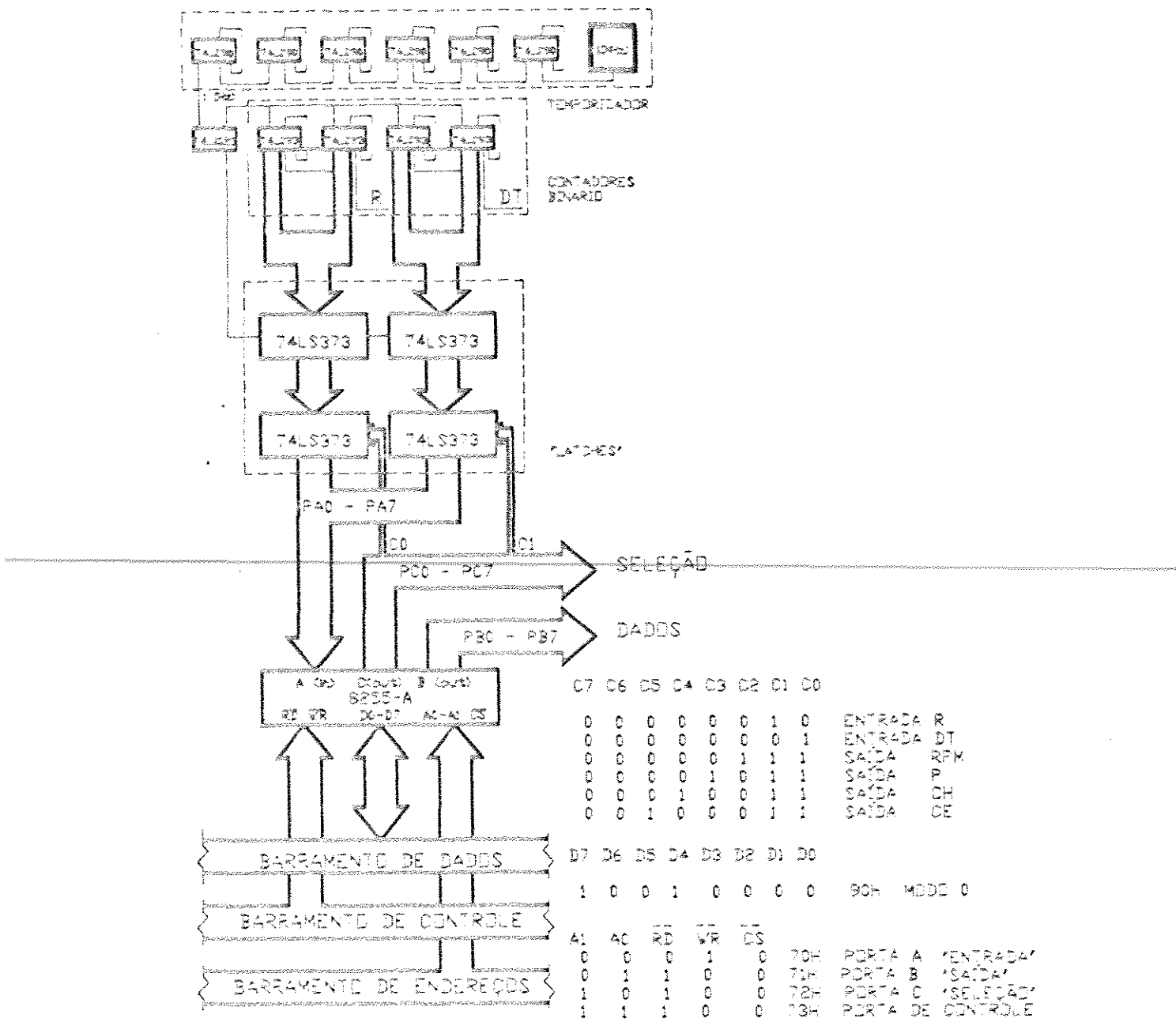


FIG. 5.10.3.1 - Diagrama de blocos da interface de aquisição de dados.

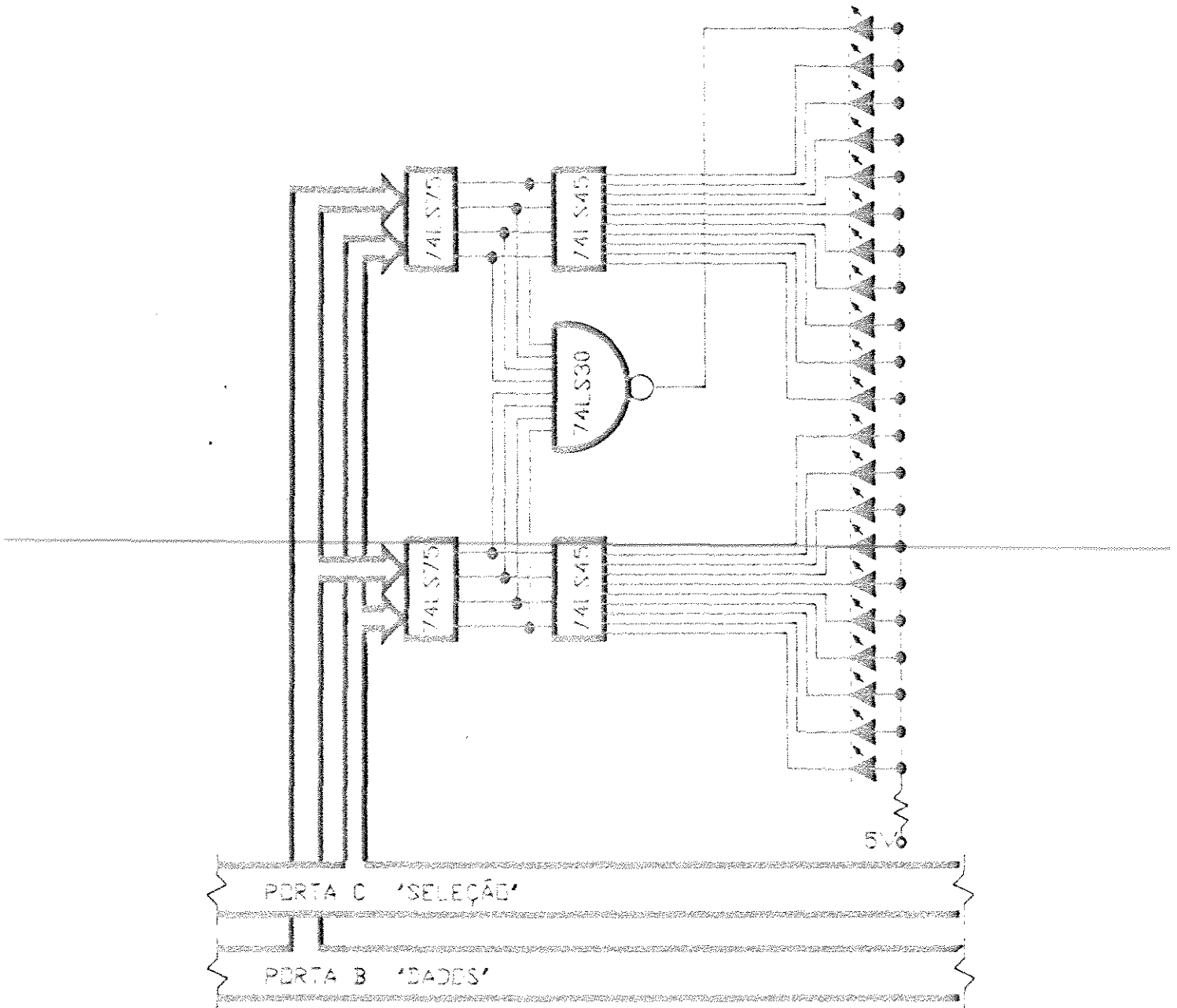


FIG. 5.10.3.2 - Diagrama de blocos da interface de saída e apresentação dos resultados.

5.10.4 - Fonte de alimentação.

Para a alimentação do D3P-80 e dos demais circuitos foi construída uma fonte de alimentação que se utiliza da bateria original do sistema elétrico do trator (12 [V]) para gerar uma saída estabilizada em 5 [V] e 4 [A].

O esquema eletrônico da fonte de alimentação está mostrado na Figura 5.10.4.

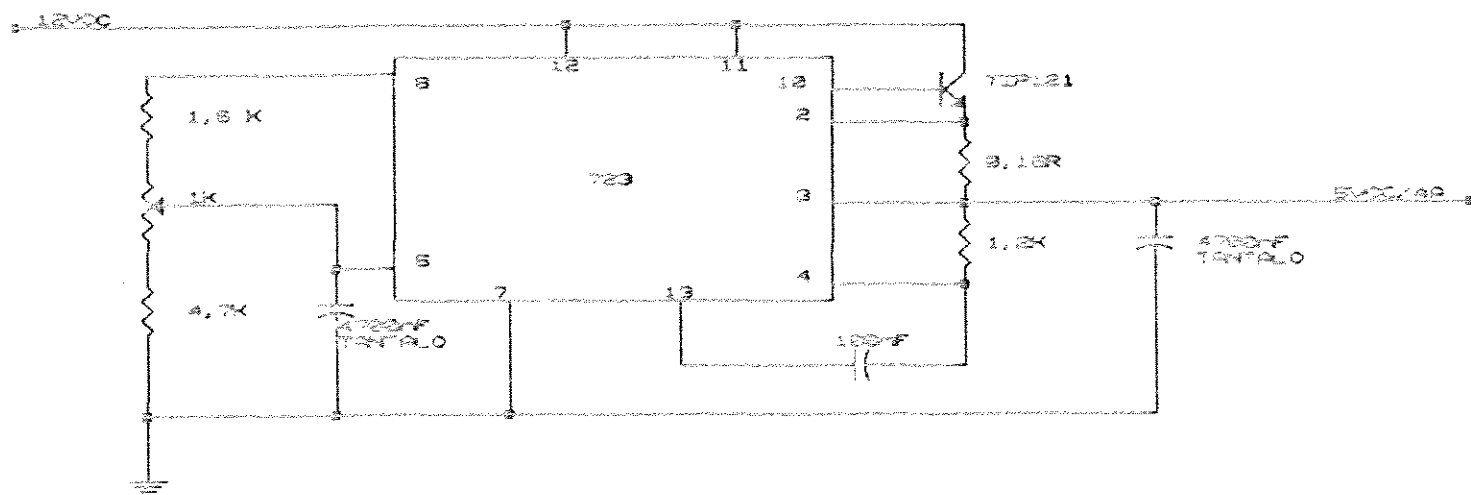


FIG 5.10.4 - Esquema eletrônico da fonte de alimentação.

5.10.5 - Montagem do SITA.

Para a montagem dos circuitos eletrônicos desenvolvidos, foram confeccionadas duas placas de circuito impresso, uma para a interface de entrada e outra para a de saída, cujos desenhos estão mostrados respectivamente nas Figuras 5.10.5.1 e 5.10.5.2.

A montagem final do sistema de informação ao operador do trator agrícola pode ser visto na Foto 5.10.5.

A lista dos materiais utilizados para a construção do SITA encontra-se no Apêndice G.5.

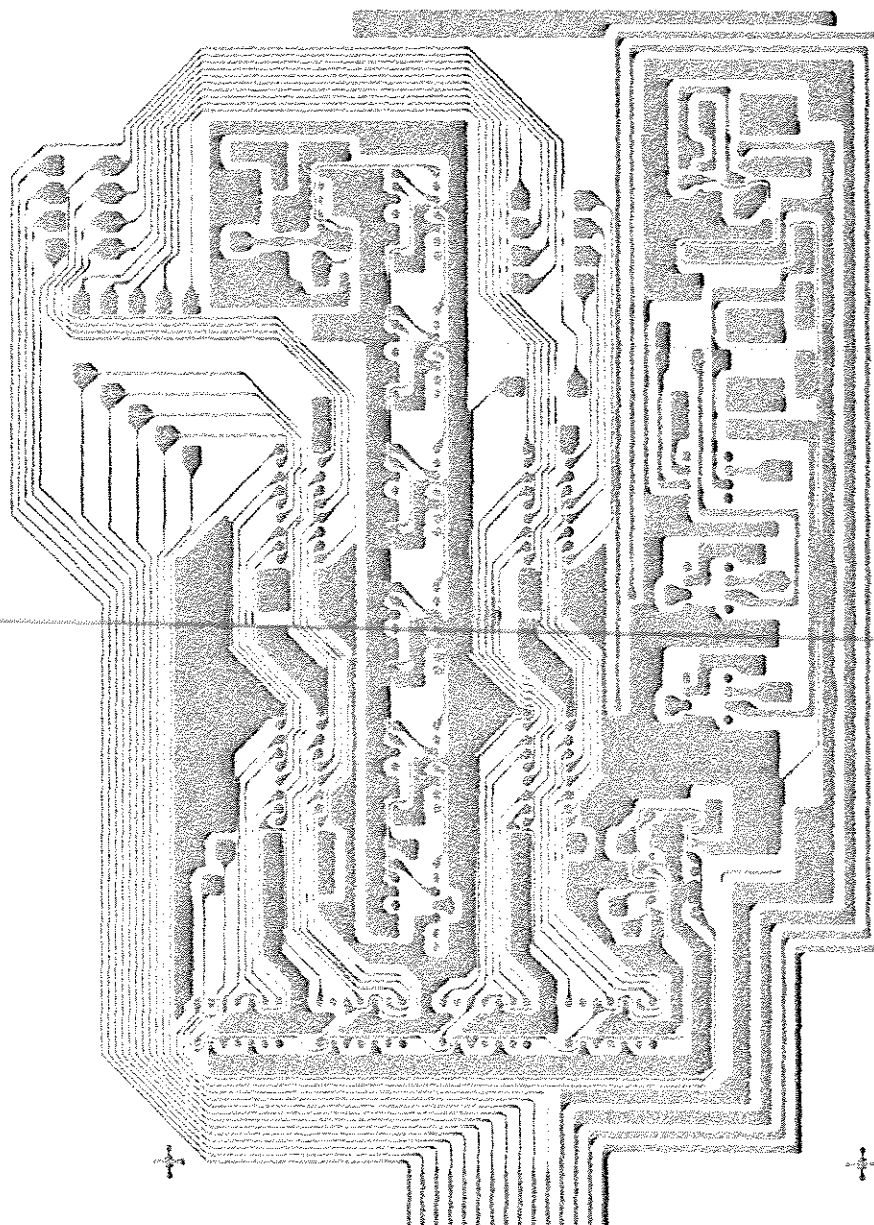


FIG. 5.10.5.1 - Desenho da placa do circuito impresso correspondente à interface de aquisição de dados.

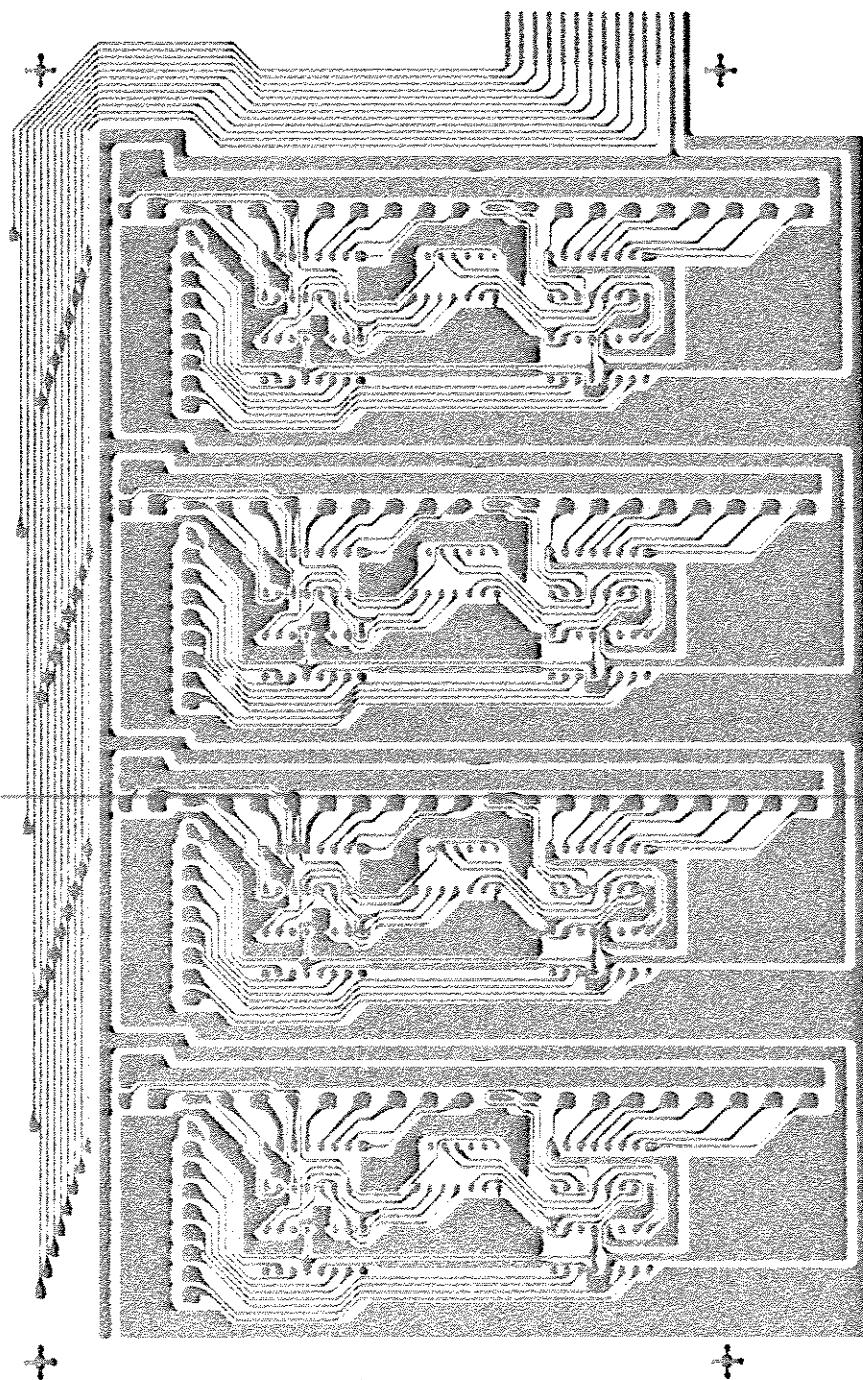


FIG. 5.10.5.2 - Desenho da placa de circuito impresso correspondente à interface de saída e apresentação dos resultados.

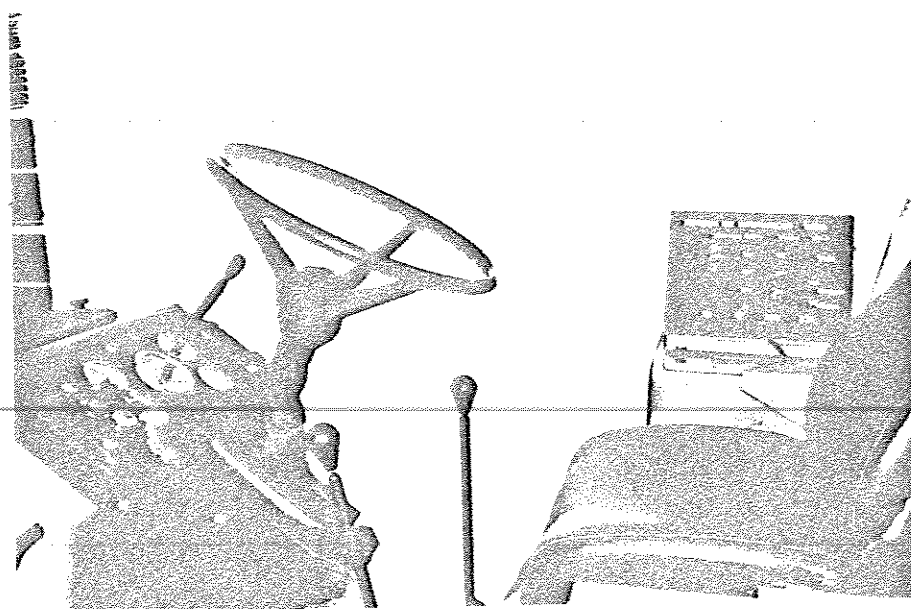


FOTO 5 10.5 - Montagem final do SITA.

5.10.6 - Programa monitor.

O programa monitor desenvolvido em Assembly e gravado na EPROM tem a finalidade de continuamente gerenciar a aquisição de dados, obter o resultado da rotação, das equações da potência e do consumo horário, calcular o consumo específico, preparar a solução para a saída e apresentar o resultado final no painel indicador do SITA.

Foi adotado para o formato da palavra (unidade de informação completa) uma representação binária de 4 Bytes (unidade de informação de 8 Bits) do tipo ponto flutuante, com 3 Bytes para a representação da mantissa, 7 Bits para o expoente, com base decimal, e 1 Bit de sinal. Com este formato pode-se representar números na faixa de $-16.777.215 \times 10^{127}$ a $+16.777.215 \times 10^{127}$. A Figura 5.10.6.1 mostra a representação da palavra utilizada pelo programa monitor.

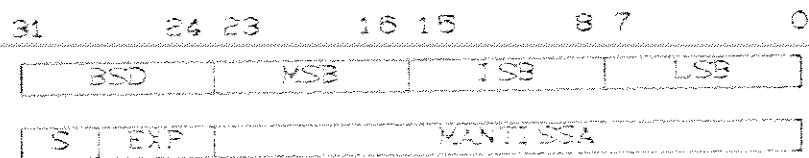
Para se programar as equações obtidas, pela regressão linear múltipla, para o consumo horário e potência foi necessário se alterar as constantes daquelas equações para valores obtidos através de uma nova regressão, a partir de dados de DI e R transformados pelas relações citadas no Item 4.7. Além destas transformações, as constantes foram multiplicadas por 10^6 para maior precisão no cálculo. O

Quadro 5.10.6.1 mostra as constantes das equações de P e CH,

utilizadas no programa monitor, em decimal e em hexadecimal, padronizada no formato da palavra.

O fluxograma do programa monitor encontra-se apresentado nas Figuras 9.2.1 e 9.2.2 do Apêndice 9.2.

A listagem do programa monitor em Assembly encontra-se apresentada no Apêndice 9.3.



LSB - Byte menos significativo

ISB - Byte intermediário

MSB - Byte mais significativo

BSD - Byte de sinal e decimais

FIG. 8.10.6.1 - Formato da palavra utilizada pelo programa monitor.

QUADRO 5.10.6.1 - Constantes utilizadas pelo programa monitor para cálculo das equações de P e CH, em decimal e em hexadecimal, padronizadas no formato da palavra.

CONSTANTES DAS EQUAÇÕES	POTÊNCIA		CONSUMO HORÁRIO	
	DECIMAL	HEXADECIMAL	DECIMAL	HEXADECIMAL
C ₀	-1.014.407	800F7A87	-16.635.778	80FDD762
C ₁	-933	800003E1	64.987	0000F0DB
C ₂	24.118	00005E38	199.150	000309EE
C ₃	38	00000026	-312	80000138
C ₄	-124	8000007C	-1.300	80000514
C ₅	275	00000113	1.590	00000838

5.10.7 - Resultados dos testes dinâmométricos.

Os dados observados nos aparelhos da sala dinâmométrica encontram-se apresentados na Tabela 9.4.1 do Apêndice 9.4 e os observados no SITA na Tabela 9.4.2 do mesmo Apêndice.

O resultado do teste "t" para os pares de dados está apresentado no Quadro 5.10.7.1.

QUADRO 5.10.7.1 - Valor calculado de "t" para os pares de dados a rotação, potência, consumo horário e consumo específico.

	VALOR CALCULADO DE "t"
ROTAÇÃO	0,185838 ns
POTÊNCIA	0,319293 ns
CONS. HORÁRIO	2,314879 ns
CONS. ESPECÍFICO	2,717826 ns

ns - Não significativo ao nível de 1 %.

O teste "t" para os pares de dados da rotação, potência, consumo horário e consumo específico (Quadro 5.10.7.1), mostra que não se tem elementos suficientes para concluir que os dados obtidos no dinamômetro e os obtidos no SITA sejam diferentes (P<0.01).

Os resultados da análise de variância da regressão, entre os dados observados no SITA e no dinamômetro, para a rotação, potência, consumo horário e consumo específico estão apresentados respectivamente nos Quadros 5.10.7.2, 5.10.7.4, 5.10.7.6 e 5.10.7.8, enquanto que os resultados da regressão linear simples, entre os mesmos dados, estão respectivamente apresentados nos Quadros 5.10.7.3, 5.10.7.5, 5.10.7.7 e 5.10.7.9.

QUADRO 5.10.7.2 - Análise da variância da regressão para os dados da rotação.

ANÁLISE DE VARIANÇA				
FONTES	SQ	GL	QM	F
MODELO	1640552,0	1	1640552,0	1561,2
ERRO	22067,863	21	1050,851	
TOTAL CORR.	1662619,8	22		

$$r^2 = 0,986726$$

QUADRO 5.10.7.3 - Resultado da regressão linear simples do modelo $RS = c_0 + c_1 \times RD$.

PARAMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRAO	T	NÍVEL DE PROB.
INTERSEÇÃO	75,3673	46,9134	1,64537	0,114677
COEFICIENTE	0,98899	0,0242711	39,5116	

A equação obtida para a rotação, que relaciona os dados observados no SITA e dinamômetro, tem portanto a forma:

$$RS = 75,3673 + 0,98899 \times RD$$

Sendo RS a rotação obtida no SITA em $[\text{min}^{-1}]$ e RD a obtida no dinamômetro, na mesma unidade.

O gráfico da regressão linear simples para a rotação, pode ser observado na Figura 5.10.7.1, enquanto que a distribuição de resíduos referente a Variável independente RD pode ser observada na Figura 5.10.7.2.

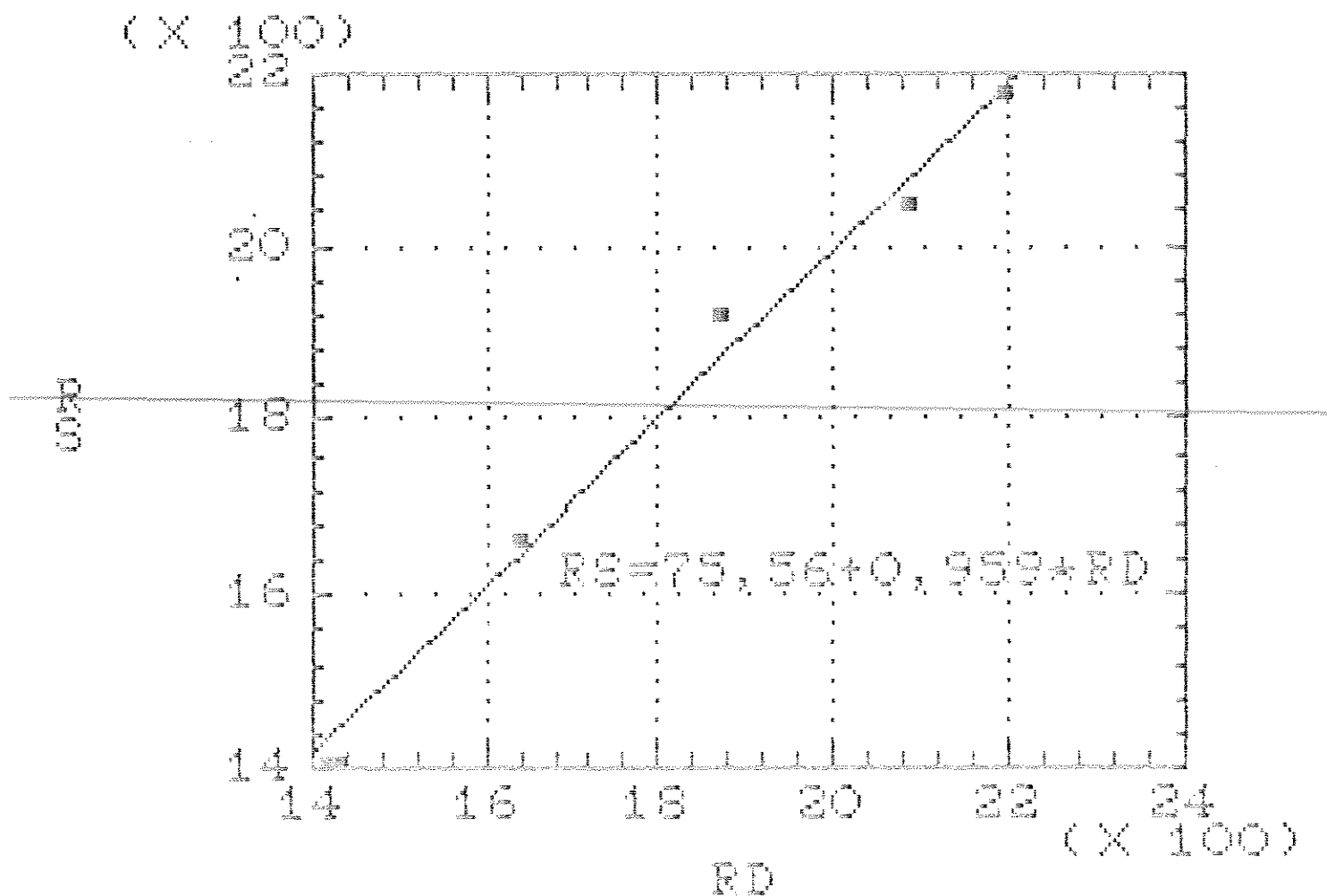


FIG. 5.10.7.1 - Regressão linear simples entre os dados da rotação [min^{-1}] obtidos no SITA e no dinamômetro.

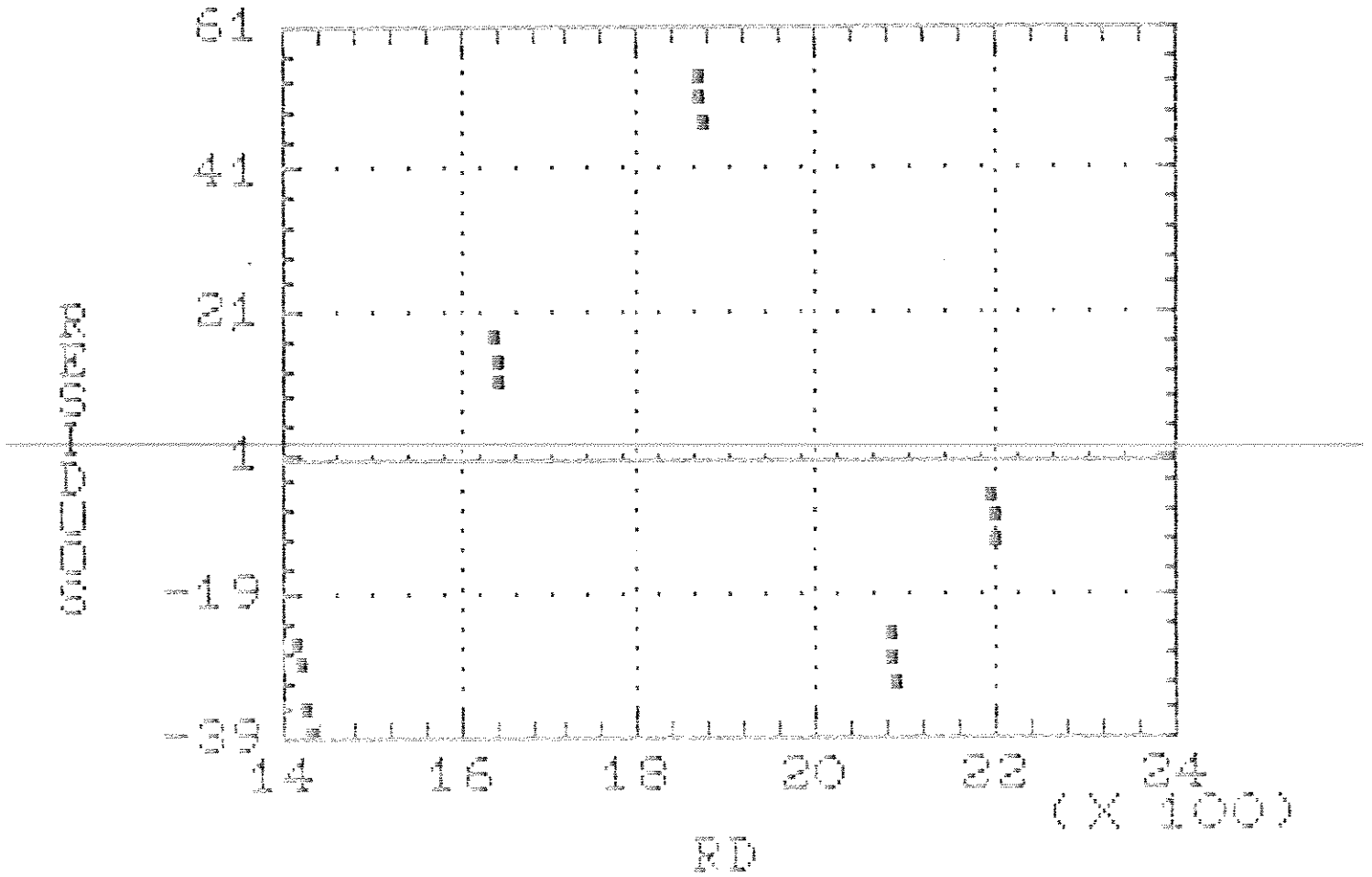


FIG. 5.10.7.2 - Distribuição dos resíduos da regressão da rotação.

QUADRO 5.10.7.4 - Análise de variância da regressão para os dados da potência.

ANÁLISE DE VARIANÇA				
FONTE	SQ	GL	QM	F
MODELO	2663,6368	1	2663,6368	5011,4834
ERRO	11,152561	21	0,531551	
TOTAL CORR.	2675,0191	22		

$$r^2 = 0,995826$$

QUADRO 5.10.7.6 - Resultado da regressão linear simples do

$$\text{modelo } PS = c_0 + c_1 \cdot xPD$$

PARAMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRÃO	T	NÍVEL DE PROB.
INTERSEÇÃO	-0,26003	0,426001	-0,566924	0,583512
COEFICIENTE	1,00162	0,0141489	70,7918	

A equação obtida para a potência, que relaciona os dados observados no SITA e no dinamômetro, tem portanto a forma:

$$PS = -0,26003 + 1,00162xPD$$

• Sendo PS a potência obtida no SITA em [kW] e PD a obtida no dinamômetro, na mesma unidade.

O gráfico da regressão linear simples para a potência, pode ser observado na Figura 5.10.7.3, enquanto que a distribuição de resíduos referente a variável independente PD pode ser observada na Figura 5.10.7.4.

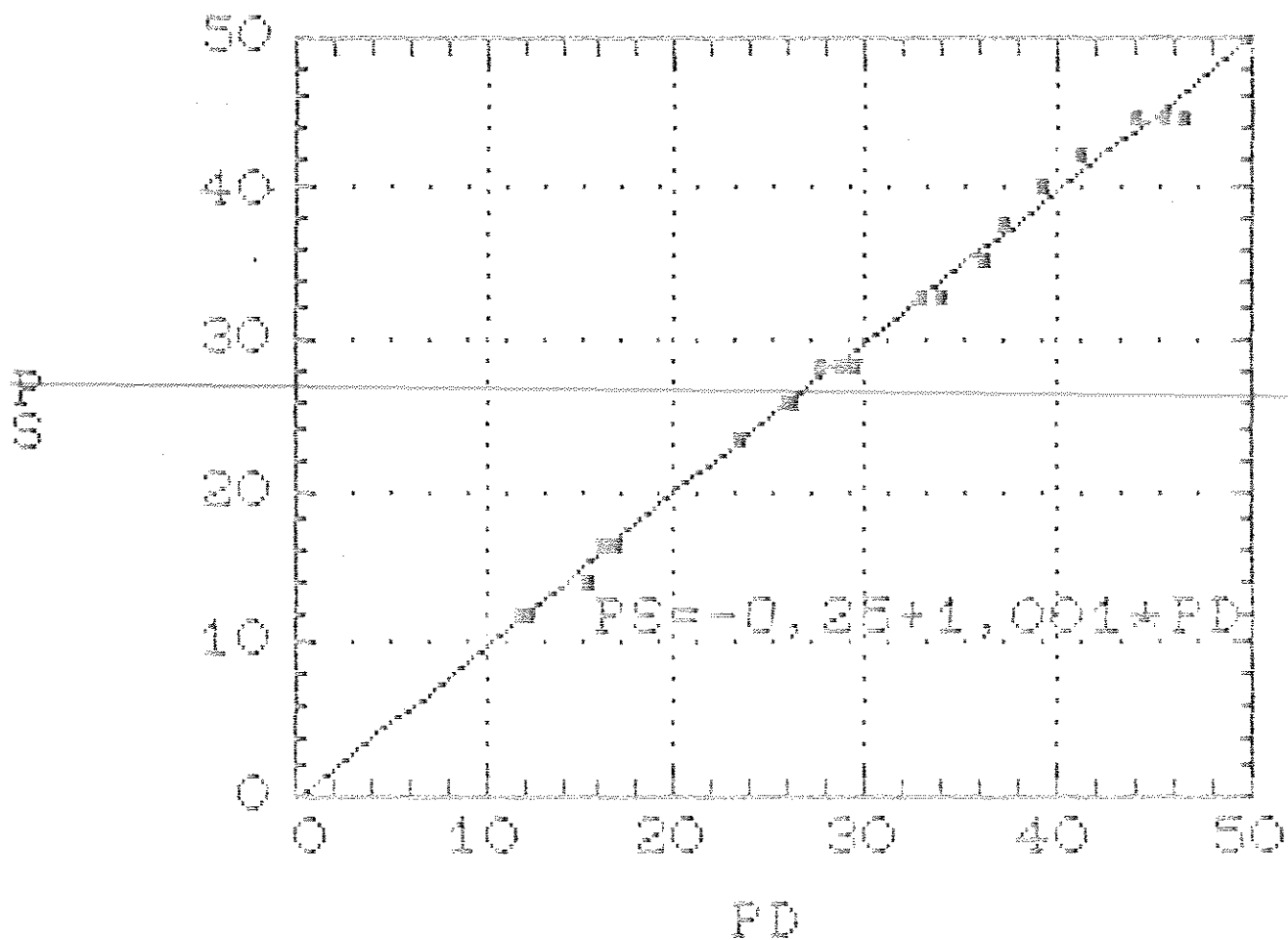


FIG. 5.10.7.3 - Regressão linear simples para os dados da potência [kW] obtidos no SITA e no dinamômetro.

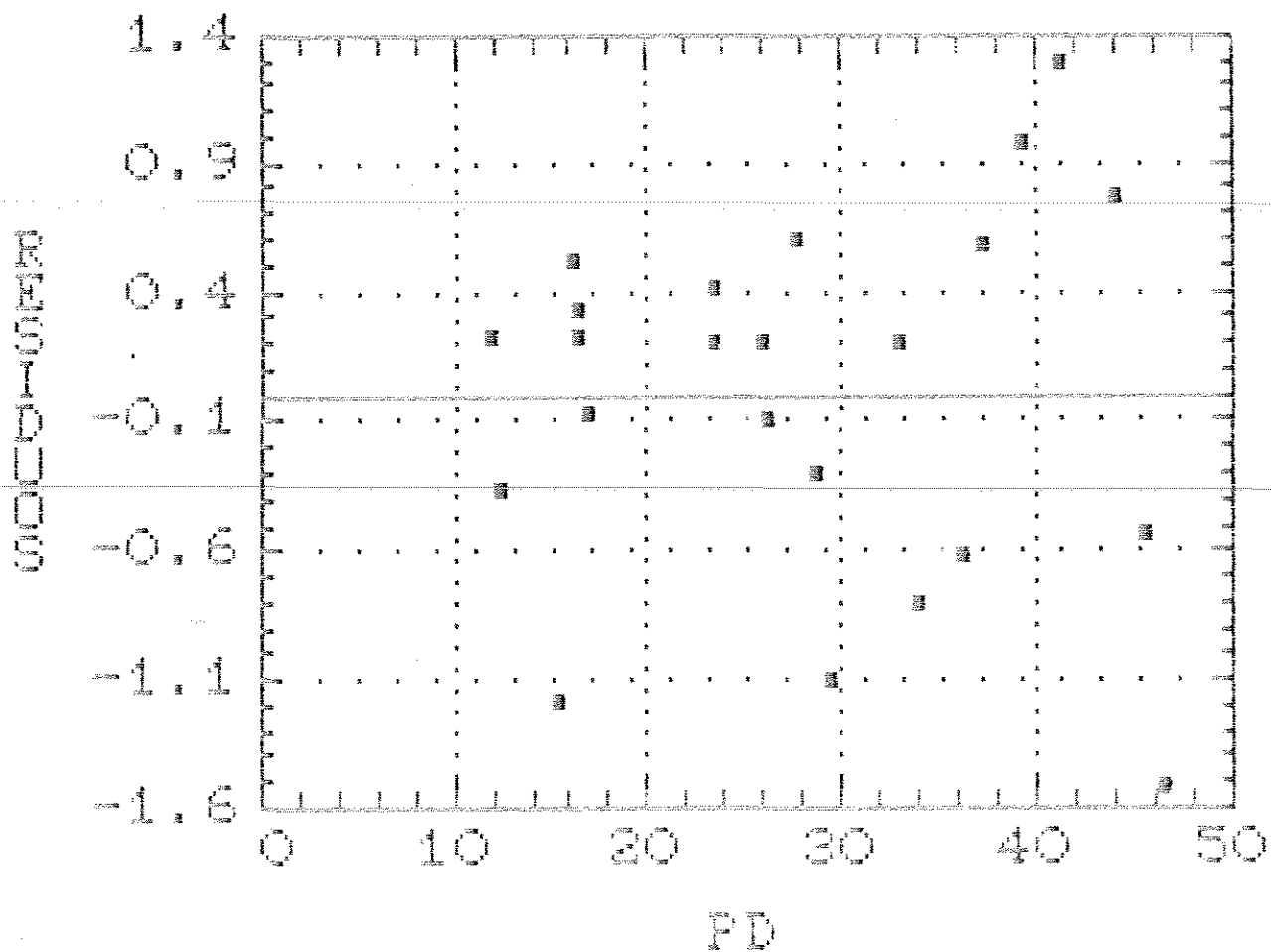


FIG. 5.10.7.4 - Distribuição dos resíduos da regressão da potência.

QUADRO 5.10.7.6 - Análise de variância da regressão para os dados do consumo horário.

ANÁLISE DE VARIANÇA				
FONTE	SQ	GL	QM	F
MODELO	229,3368	1	229,3368	2100,0327
ERRO	2,293351	21	0,109217	
TOTAL CORR.	231,63017	22		

$$r^2 = 990099$$

QUADRO 5.10.7.7 - Resultado da regressão linear simples do modelo $CHS = c_0 + c_1 \times CHD$.

PARAMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRÃO	T	NÍVEL DE PROB.
INTERSEÇÃO	-0,467569	0,223807	-2,08153	0,0516475
COEFICIENTE	1,072797	0,0234101	45,8261	

A equação obtida para o consumo horário, que relaciona os dados observados no SITA e no dinamômetro, tem portanto a forma:

$$CHS = -0,467569 + 1,07279 \times CHD$$

Sendo CHS o consumo horário obtido no SITA em [l/h] e CHD o obtido no dinamômetro, na mesma unidade.

O gráfico da regressão linear simples para o consumo horário, pode ser observado na Figura 5.10.7.5, enquanto que a distribuição de resíduos referente à variável independente CHD pode ser observada na Figura 5.10.7.6.

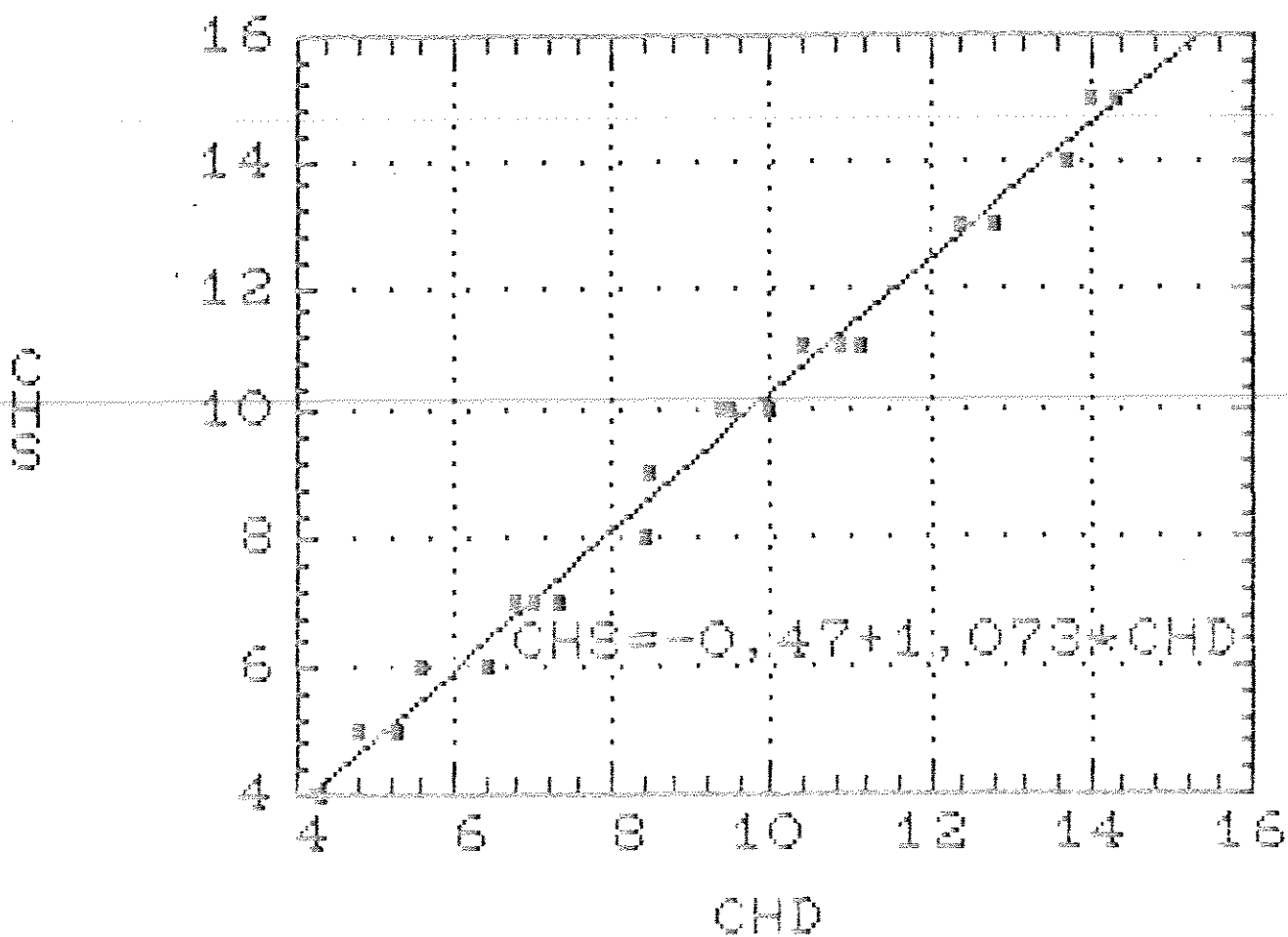


FIG. 5.10.7.5 - Regressão linear simples entre os dados do consumo horário [l/h] obtidos no SITA e no dinamômetro.

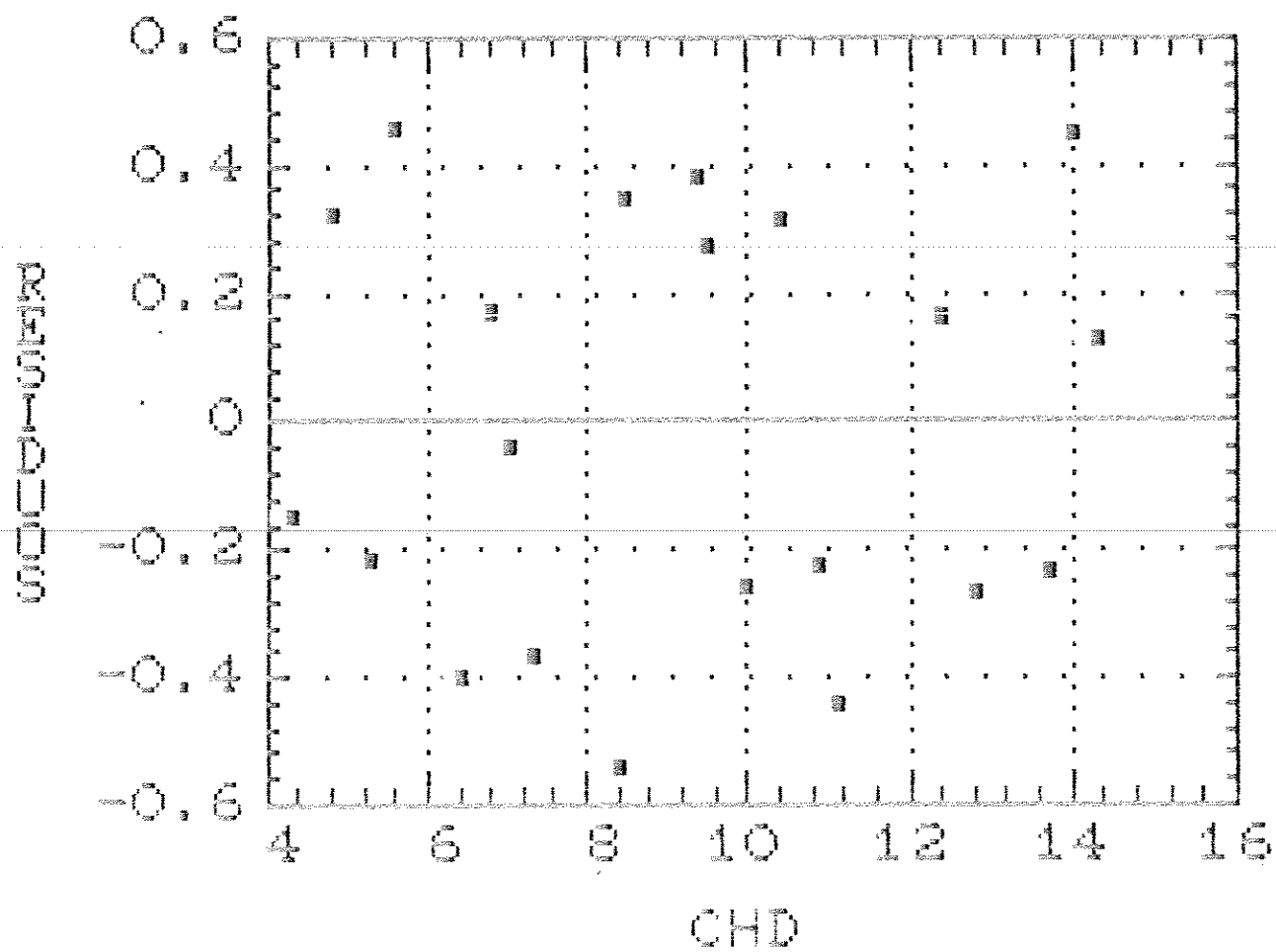


FIG. 5.10.7.6 - Distribuição dos resíduos da regressão do consumo horário.

QUADRO 5.10.7.8 - Análise de variância da regressão para os dados do consumo específico.

ANÁLISE DE VARIANÇA				
FONTE	SQ	GL	QM	F
MODELO	44874,718	1	44874,718	393,536
ERRO	2394,6192	21	114,0295	
TOTAL CORR.	47269,337	22		

$$r^2 = 0,974341$$

QUADRO 5.10.7.9 - Resultado da regressão linear simples do modelo $CES = c_0 + c_1 \times CED$.

PARAMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRÃO	T	NÍVEL DE PROB.
INTERSEÇÃO	-50,4644	17,8939	-3,37904	2,92417E-3
COEFICIENTE	1,24715	0,0826675	19,8677	

A equação obtida para o consumo específico, que relaciona os dados observados no SITA e no dinamômetro, tem portanto a forma:

$$CES = -50,4644 + 1,24715 \times CED$$

Sendo CES o consumo específico obtido através dos dados do SITA em [g/kW.h] e CED o obtido no dinamômetro, na mesma unidade.

O gráfico da regressão linear simples para o consumo específico, pode ser observado na Figura 5.10.7.7, enquanto que a distribuição de resíduos referente à variável independente CED pode ser observada na Figura 5.10.7.8.

A hipótese de que a rotação, a potência, o consumo horário e o consumo específico obtidos no SITA e no dinamômetro estão relacionados não pode ser descartada pois os coeficientes de determinação mostram que os níveis de relacionamento foram, respectivamente, 98,87 %, 99,58 %, 99,01 % e 97,43 %.

O consumo específico obtido no SITA e no dinamômetro possui um coeficiente de determinação ligeiramente inferior aos demais parâmetros, devido ao fato de que foi calculado em função de um peso específico médio do óleo Diesel e do consumo e da potência estimados, propagando, desta forma, um erro em seu cálculo.

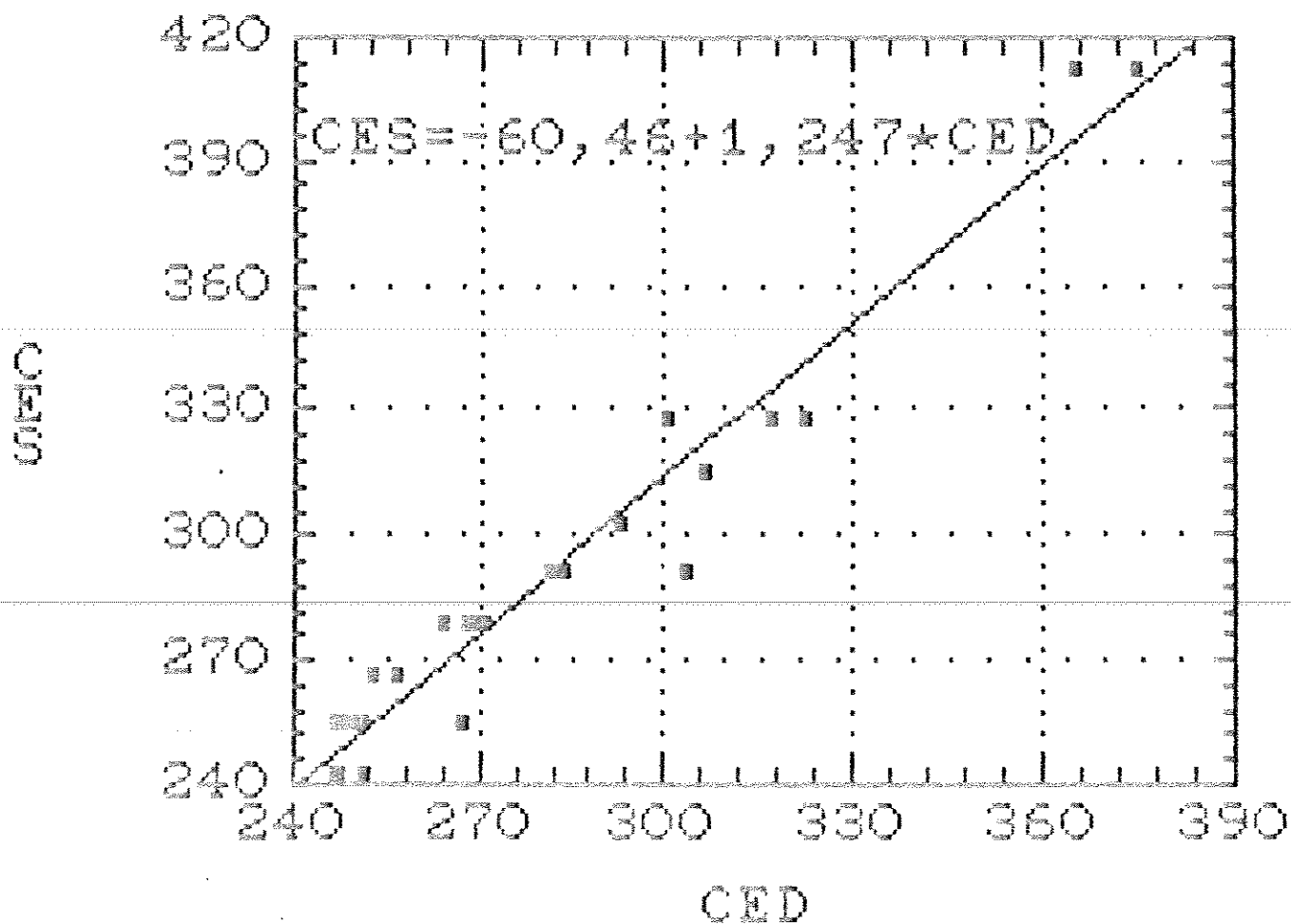


FIG. 6.10.7.7 - Regressão linear simples entre os dados do consumo específico [g/kW.h] obtidos no SITA e no dinamômetro.

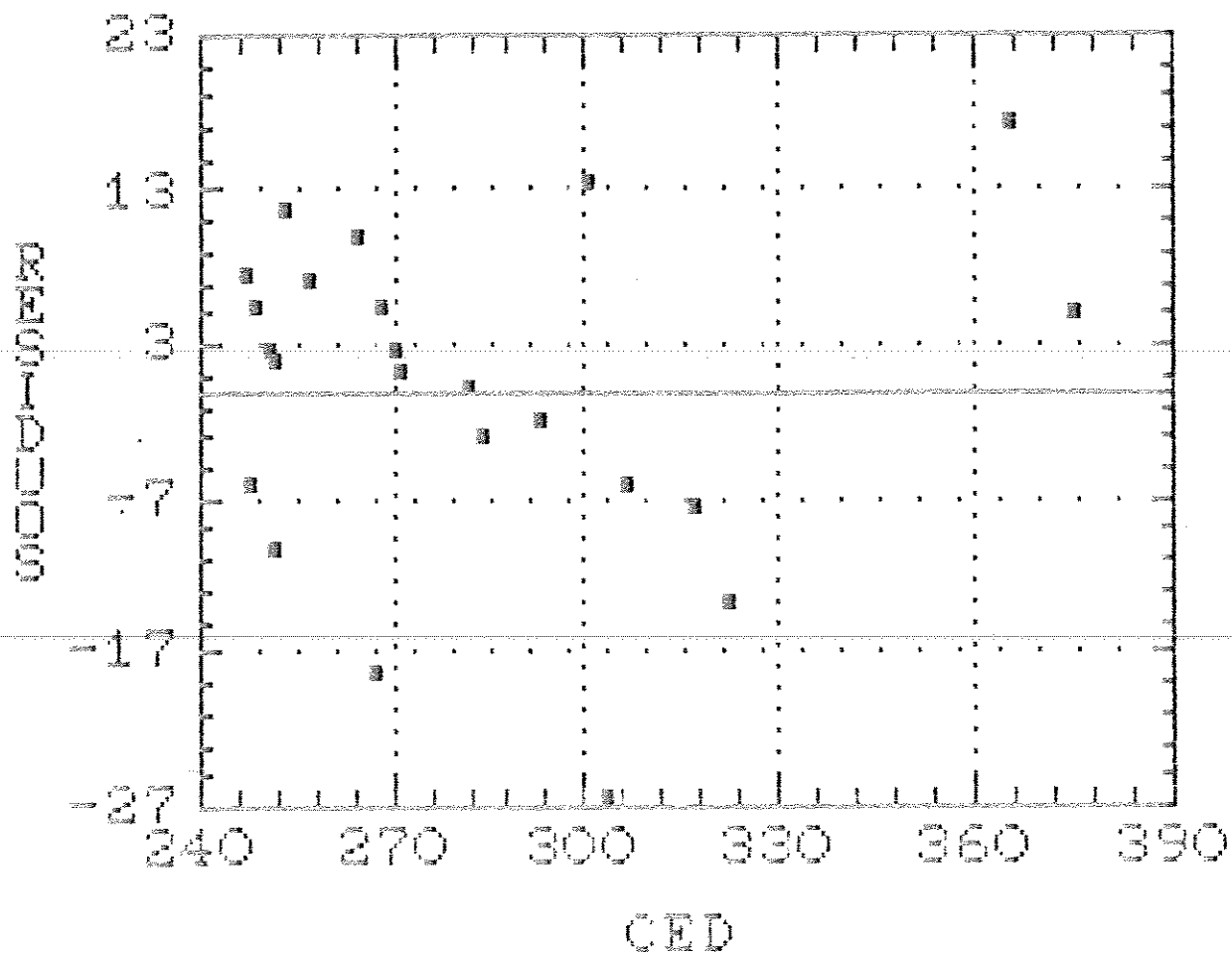


FIG. 5 10.7.8 - Distribuição dos resíduos da regressão do consumo específico.

6 - CONCLUSÕES.

A análise dos resultados, alcançados neste trabalho, permite que sejam obtidas as conclusões em seguida relacionadas.

A análise dos dados e das curvas de potência efetiva líquida observada, torque e consumo específico de combustível na TDP, mostraram que o trator utilizado era adequado para os ensaios que foram realizados.

A disponibilidade de uma transmissão com um elevado número de relações ou de uma outra que permitisse o ajuste contínuo da relação de transmissão entre o motor e as rodas motoras, possibilitaria uma melhor escolha do ponto de operação ideal do motor, ampliando-se assim consideravelmente as vantagens da utilização do SITA.

O ponto de operação do motor pode ser perfeitamente caracterizado, através da rotação do motor e da diferença de temperaturas entre os gases de escape e de admissão, o que permitiu a definição do princípio de funcionamento do SITA.

Quanto maior o nível de potência desenvolvido pelo motor menor a faixa de rotação disponível e, portanto, menor é o número de relações de transmissões possíveis de serem escolhidas, limitando-se assim a utilização do SITA dentro de um critério de economia de tempo.

Quanto maior o nível de potência desenvolvido, menor é a possibilidade de se economizar combustível e, portanto, a de se operar dentro de um critério de economia de energia. Devido a este fato tornar-se impossível, com este motor, conciliar economia de tempo com economia de energia e um ou outro critério, ou ainda uma solução de compromisso entre eles, deve ser adotada para a operação adequada do trator.

Observou-se a ocorrência de relações lineares entre o torque, o consumo horário de combustível e a potência em relação à diferença de temperaturas, para cada nível de rotação, o que permitiu a obtenção de relações matemáticas através de regressão linear múltipla.

O torque, o consumo horário e a potência correlacionaram-se bem com a rotação do motor e a diferença de temperatura entre os gases de escape e admissão, com coeficientes de determinação múltipla acima de 99,7 %.

Observou-se que não há uma relação linear entre o consumo específico e a diferença de temperaturas, para cada nível de rotação estudado.

Observou-se a existência de relação linear entre o torque desenvolvido e o consumo horário o que torna possível a obtenção do nível de potência desenvolvido pelo motor pela simples medição do consumo e da rotação.

O projeto eletrônico mostrou ser eficiente para o fim a que se destina.

O programa monitor mostrou ser eficiente nas rotinas de aquisição, processamento e apresentação dos dados.

A rotação, a potência, o consumo horário e o consumo específico indicados pelo SITA estão relacionados adequadamente com os valores registrados no dinamômetro, segundo mostram os correspondentes coeficientes de determinação acima de 97 %.

O sistema proposto pode monitorar o motor de ciclo Diesel do trator agrícola apenas pela medição do calor rejeitado através dos gases de escape e da rotação, dando desta forma elementos para que o operador; obtenha o máximo rendimento global do motor, escolha o modo operacional dentro de um critério pré-estabelecido, regule adequadamente o trator para a operação (quantidade e distribuição de pesos, tipo e pressão dos pneus, etc), escolha e regule corretamente o implemento a ser utilizado e, ainda, possa diagnosticar eventuais falhas ou necessidade de manutenção e reparos.

7 - REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

N 1 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 5484/64 - Método de Ensaio de Motores Alternativos de Combustão Interna. Rio de Janeiro, 1964. 8p.

N 2 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NB 464 - Método de Ensaio de Tratores Agrícolas. Rio de Janeiro, 1964. 8p.

- X3 - GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI JR, J. A.
Análise do Consumo de Combustível e da
Capacidade de Campo de Diferentes Sistemas
de Preparo Periódico do Solo. In: CON-
GRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA,
15, São Paulo, 1986. Anais do... p. 1-7. G.....
- 4 - GREVIS - JAMES, I. W. & BLOOME, P. D. A
Tractor Power monitor. Transaction of the
ASAE, St. Joseph, MI. 25(30):595-97. 1982.
- *5 - HERMANN, P. R. & KRAUSE, R. Parâmetros para
a Seleção Adequada de Tratores Agrícolas
de Rodas. Boletim Técnico CENEA, Suple-
mento. Sorocaba, 1(1):1-4. 1982.
- 6 - JOHN DEERE WERKE, Mannheim. Thema: Kraft-
stoffverbrauch. Mannheim, 1980. 20p.
- 7 - KENNEDY, John B. & NEVILLE, Adam M. Basic
Statistical Methods for Engineers &
Scientists. New York, Harper & Row
Publisher Inc., 1976. 490 p.

- 8- KIRSTE, V. T.; GRUNBECK, W.; FELLER, M.
Kennfeldmonitor für Dieselmotoren.
Grundlage der Landtechnik. Düsseldorf,
35(10):426-30, 1965.
- 9 - LIST, H. Diesel Developments in Perspective.
Diesel Progress North American. Brookfield.
51(7):50-54, 1965. Suplemento especial.
- 10 - MALCOLM, K. G.; BILL, A. S.; STEPHEN, W. S.
Instrumentation Package for Monitoring
Tractor Performance. Transaction of the
ASAE. St. Joseph, MI. 28(2):346-49 e
355, 1965.
- 11 - MILLAR, GORDON H. Diesel Developments in
Perspective. Diesel Progress North Ameri-
can. Brookfield. 51(7):44-50, 1965.
Suplemento especial.
- 12 - FANG, S. N.; ZOERB, G. C.; WANG, G. Tractor
Monitor Based on Indirect Fuel Measurement.
Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI.
28(4):994-98, 1965.

- 13 - RONZI, Richard C. Progress With High Speed Engines. Diesel Progress North American. Brookfield. 51(7):148-149, 1985.
Suplemento especial.
- 14 - ROSEGGER, S. & SORGEL, F. P. Ermittlung von Technischen und Arbeitswirtsschaftlichen Planungsdaten für die Pflanzliche Produktion. Landbauforschung. Völkenrode. 1976. Sonderheft 32.
-
- 15 - SHIMMEL, J. & HULLA, H. Einsatzoptimierung von Ackerschleppern durch Elektronisch Fahrinformation. Grundlage der Landtechnik, Duesseldorf, 33(1):5-10, 1983.
- 16 - STOUT, David F. & KAUFMAN, Milton. Handbook of Operational Amplifier Circuit Design. New York, MacGraw - Hill Book Company, 1976, 498 p.
- 17 - STEINKAMPF, H. & ZACH, M. Leistungsbedarf und Krümelungseffekt von Gezogenen und Zapfwellengetriebenen Geräte zur Saatbettbereitung. Landbauforschung. Völkenrode. 24(1):55-62, 1974.

18 - STEINKAMPF, H. Possibilities of Saving Energy During Tractor Use. Braunschweig-Völknerode, Federal Research Center of Agricultural Braunschweig. Institute of Farm Mechanization Management, 1980. 10p.

19 - SOMMER, H.; RIE, R.; HELWIG, R.; ER, M.; MONROE, G. E. Measuring Implement Power Requirements from Tractor Fuel Consumption. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 29(11):35-8,

20 - VON GERARD, J. & STEINKAMPF, H. Einflussgrößen auf Flächenleistung und Energieaufwand beim Schleppereinsatz. Grundlage der Landtechnik. Düsseldorf. 32(11):20-7. 1982.

21 - LACH, M.; STEINKAMPF, H.; SOMMER, C. Arbeitseffekt und Leistungsbedarf eines Kreiselpfluges. Landbauforschung, Völknerode. 23(11):29-40. 1973.

8 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

Durante a realização das atividades do presente estudo pode-se coleccionar as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Estudar o comportamento das curvas de ISDCONSUMO em função do desgaste do motor;

- Estudar uma nova metodologia para a confecção das curvas de ISDCONSUMO sem a necessidade da utilização de processos gráficos;

- Efetuar uma análise adimensional, levando-se em consideração outros parâmetros de interesse na estimação do torque, potência e consumo horário de combustível, como os atmosféricos, as temperaturas do óleo lubrificante do motor e do fluido de arrefecimento, etc;

- Estudar adequadamente os critérios de operação do trator (economia de energia ou economia de tempo), para as várias operações agrícolas mecanizadas, dentro do ciclo de produção das principais culturas;

- Estudar as implicações econômicas da utilização do conjunto trator-implemento, dentro do critério de economia de energia e ou do critério de economia de tempo, no custo final de diversas operações agrícolas;

- Estudar a utilização do método indireto de determinação do torque desenvolvido pelo motor, em função do consumo horário de combustível e da rotação, durante trabalhos sob condição de campo do conjunto trator-implemento agrícola;

- Estudar a distribuição de peso, tipo e pressão de enchimento do pneu do trator agrícola em função do tipo e da condição do solo normalmente encontrados em nosso meio, através da medição direta da força de tração e da medição indireta do torque (método do consumo horário ou da diferença de temperaturas) desenvolvido pelo motor;

- Realizar testes de campo com o SSI0 buscando a comparação entre a operação realizada de maneira convencional e a realizada com o auxílio do sistema de informação;

- Realizar testes de campo com o SSI0 buscando a seleção adequada do tamanho e da regulagem do implemento agrícola em relação à unidade de potência

utilizada;

- Implementar o SSI0 com controle automático de alguns parâmetros de importância na operação do trator, como por exemplo, o índice de deslizamento, a velocidade de deslocamento, etc.

9 - APÊNDICES.

9.1 - Dados do ensaio da TDP.

Encontram-se, abaixo tabelados, os dados observados e calculados relativos ao ensaio da TDP. A pressão barométrica durante os ensaios foi de 717 (mmHg).

TABELA 9.1 - Dados relativos ao ensaio de potência efetiva líquida observada através da TDP.

Obs.	t	R	T	Te	Ta	Tc	Tbs	tbu	Tar	Tom
1	23,11	660	664	666	28	24,1	26,2	18,8	71,1	83,7
2	23,30	666	688	666	28	23,5	25,7	18,9	72,3	88,4
3	25,09	604	728	647	28	23,7	25,9	19,0	72,7	89,8
4	26,83	540	796	655	27	23,7	25,3	19,1	74,4	91,5
5	29,61	481	811	647	25	23,7	21,4	19,1	76,2	91,3
6	31,07	452	812	644	27	23,7	21,5	19,2	77,7	91,7
7	32,18	436	812	638	26	23,7	21,6	19,3	79,4	91,3
8	33,16	422	816	632	26	23,7	21,7	19,3	80,7	90,6
9	34,07	408	814	626	27	23,7	21,7	19,4	81,6	90,1
10	34,88	399	818	620	25	23,8	21,6	19,4	82,5	90,2
11	35,89	362	820	615	27	23,9	21,7	19,4	83,1	89,3
12	37,92	362	818	611	27	23,9	21,7	19,5	83,9	89,3
13	41,91	332	801	608	26	24,0	21,8	19,5	85,9	88,8
14	25,41	697	684	609	31	25,5	24,1	21,0	71,4	92,0
15	30,97	703	440	639	31	26,7	24,4	21,1	71,1	92,9
16	39,46	707	295	456	31	26,9	24,3	21,1	68,8	92,3
17	52,00	712	146	371	31	26,2	24,5	21,2	65,5	90,5

TABELA 9.2 - Dados observados no ensaio à rotações constantes correspondente a 100% da rotação nominal.

Obs.	t	R	T	Te	Ta	T	Tbs	tbu	Tar	Tom
18	23,31	663	692	654	30	26,1	24,6	21,3	72,0	87,2
19	27,65	662	675	632	31	26,6	24,8	21,3	72,1	91,4
20	31,68	663	488	534	32	26,7	25,0	21,4	71,2	92,0
21	34,26	663	433	504	32	26,9	24,9	21,4	70,5	92,2
22	40,38	663	341	449	32	27,0	25,1	21,5	69,1	92,0
23	46,28	662	261	404	31	27,0	25,1	21,6	67,7	91,4
24	51,86	662	205	373	31	27,2	25,2	21,7	66,7	90,7
25	59,90	662	142	339	31	27,4	25,2	21,8	65,7	89,9
26	71,12	662	69	298	31	27,7	25,3	21,8	64,7	88,8

TABELA 9.3 - Dados observados no ensaio à rotações constantes correspondentes a 95 (%) da nominal.

Obs.	t	R	T	Te	Ta	Tc	Tbs	tbu	Tar	Tom
27	24,43	630	719	645	31	27,4	25,5	22,0	73,5	91,6
28	30,59	629	572	552	31	27,4	25,5	22,0	73,2	93,5
29	33,32	628	506	515	31	27,6	25,7	22,1	71,4	93,1
30	37,64	628	430	474	31	27,6	25,7	22,1	70,6	93,0
31	42,31	628	360	432	30	27,7	25,8	22,1	69,1	92,0
32	49,23	628	278	365	30	27,7	25,7	22,1	67,4	91,1
33	55,10	628	218	354	30	27,8	25,8	22,1	66,1	89,6
34	66,01	628	137	316	29	27,8	25,7	22,2	65,4	88,7
35	78,73	628	71	277	29	28,0	25,7	22,2	63,8	86,8

TABELA 9.4 - Dados observados no ensaio à rotações constantes correspondente a 65 (%) da rotação nominal.

Obs.	t	R	T	Te	Ta	T	Tbs	tbu	Tar	Tom
36	26,00	564	781	643	29	27,5	25,7	22,2	72,8	88,8
37	32,68	563	629	541	29	27,3	25,8	22,2	72,5	90,8
38	37,05	563	540	498	29	27,6	25,8	22,2	72,0	90,6
39	41,73	563	463	451	29	27,6	25,7	22,2	70,2	90,0
40	47,17	563	392	410	29	27,5	25,6	22,2	68,8	88,7
41	55,45	563	303	364	28	27,7	25,7	22,2	67,3	87,6
42	63,46	562	233	323	27	28,0	25,6	22,2	65,0	85,5
43	77,70	563	147	263	28	28,0	25,5	22,2	64,3	84,5
44	92,75	563	81	250	27	28,1	25,6	22,1	63,2	83,1

TABELA 9.5 - Dados observados no ensaio à rotações constantes correspondente a 75 [%] da rotação nominal.

Obs.	t	R	T	Te	Ta	Tc	Tbs	tbu	Tar	Tom
45	28,77	497	806	644	27	27,4	25,4	22,0	75,0	86,4
46	37,60	496	640	534	29	27,3	25,3	22,0	76,1	87,9
47	41,24	495	574	490	29	27,5	25,4	21,9	73,6	88,0
48	47,59	496	490	441	29	27,7	25,4	21,9	71,4	87,7
49	53,71	497	406	390	27	27,6	25,4	21,9	68,5	86,1
50	63,07	495	324	345	27	27,6	25,3	22,1	66,8	84,6
51	76,33	496	234	302	27	27,8	25,1	22,0	65,8	83,4
52	89,98	496	160	260	26	27,9	25,1	22,0	64,2	81,5
53	117,11	496	76	216	26	28,1	24,9	22,0	63,3	80,1

TABELA 9.6 - Dados observados no ensaio à rotações constantes correspondente a 66 [%] da rotação nominal.

Obs.	t	R	T	Te	Ta	Tc	Tbs	tbu	Tar	Tom
54	32,30	431	815	635	21	19,5	18,1	16,8	74,8	91,3
55	41,04	431	671	508	21	19,9	18,3	17,0	66,6	84,7
56	47,37	431	577	462	21	19,7	18,3	17,1	70,1	87,6
57	53,51	431	496	419	22	20,0	18,4	17,1	68,4	83,1
58	63,80	431	393	361	22	20,3	18,5	17,1	65,8	81,0
59	73,55	430	320	317	21	20,6	18,7	17,2	64,0	78,4
60	86,43	430	245	278	21	21,0	18,7	17,3	62,7	76,3
61	108,34	430	156	229	20	21,3	18,8	17,3	61,7	74,7
62	137,92	430	76	191	21	21,6	18,8	17,4	60,4	73,0

TABELA 9.7 - Dados observados no ensaio à rotações constantes correspondente a 55 (%) da rotação nominal.

Obs.	t	R	T	Te	Ta	T	Tbs	tbu	Tar	Tom
63	37,51	364	820	600	23	21,6	19,1	17,7	76,8	77,1
64	49,88	363	669	490	22	21,5	19,1	17,6	76,5	76,3
65	57,24	364	673	429	23	21,5	19,2	17,6	71,8	77,7
66	63,91	364	600	387	21	21,5	19,3	17,7	68,8	76,4
67	74,89	363	411	342	23	21,7	19,3	17,8	67,1	75,5
68	88,00	364	319	295	21	21,8	19,4	17,8	65,5	74,3
69	107,28	364	237	253	22	22,2	19,4	17,8	64,2	72,7
70	131,89	363	159	212	21	22,8	19,5	17,9	62,9	70,5
71	173,77	363	76	172	21	23,2	19,6	19,0	62,1	69,3

TABELA 9.8 - Dados observados no ensaio à rotações constantes correspondente a 45 (%) da rotação nominal.

Obs	t	R	T	Te	Ta	Tc	Tbs	Tbu	Tar	Tom
72	46,21	298	787	565	23	23,0	19,7	18,0	77,6	74,3
73	61,38	298	641	467	22	23,0	19,8	18,1	77,3	74,2
74	73,30	299	540	406	23	23,0	19,9	18,2	74,7	73,5
75	81,91	299	473	365	23	23,1	19,1	18,2	71,8	72,8
76	94,07	298	400	323	23	23,2	20,0	18,3	69,2	72,4
77	115,7	298	301	276	24	23,5	21,6	18,4	67,9	71,8
78	136,75	298	232	241	22	23,8	19,7	18,4	66,5	70,5
79	163,10	298	165	211	23	24,1	20,2	18,5	65,7	69,6
80	223,17	299	71	168	23	24,4	20,2	18,5	64,5	67,9

TABELA 9.9 - Dados calculados de diferença de temperatura (DT), consumo horário (CH), densidade (D), potência (P) e de consumo específico (CE), para o ensaio de potência efetiva líquida observada, através da TDP.

OBS.	DT	CH	D	P	CE
1	638	15,58	844,84	47,27	278,39
2	638	15,45	845,27	47,26	278,33
3	619	14,35	845,13	46,05	263,35
4	629	13,42	845,13	45,01	251,62
5	622	12,16	845,13	40,65	251,63
6	617	11,59	845,13	38,43	254,78
7	613	11,19	845,13	37,07	255,02
8	606	10,66	845,13	36,06	254,44
9	609	10,67	845,13	34,78	256,77
10	595	10,32	845,05	34,18	255,19
11	588	10,12	844,98	33,66	253,62
12	584	9,49	844,98	31,01	258,70
13	572	8,59	844,91	27,85	250,61
14	578	14,17	843,84	42,63	280,47
15	508	11,62	843,70	32,39	302,77
16	425	9,12	843,56	21,84	352,36
17	340	8,92	843,35	10,89	536,34

TABELA 9.10 - Dados calculados de diferença de temperatura (DT), consumo horário (CH), densidade (D), potência (P) e de consumo específico (CE), para o ensaio de rotações constantes a 100 [%] da rotação nominal da TDP.

Obs.	DT	CH	D	P	CE
18	624	15,44	843,42	48,04	271,12
19	551	12,93	843,06	39,66	273,39
20	602	11,66	842,99	33,88	282,73
21	472	10,51	842,65	30,06	264,60
22	417	8,92	842,78	23,68	317,98
23	373	7,78	842,78	18,09	352,32
24	342	6,94	842,63	14,21	411,59
25	308	6,01	842,49	9,84	514,36
26	267	5,06	842,28	4,78	691,31

TABELA 9.11 - Dados calculados de diferença de Temperatura (DT), consumo horário (CH), densidade (D), potência (P) e de consumo específico (CE), para o ensaio de rotações constantes a 95 [%] da rotação nominal da TDP.

Obs.	DT	CH	D	P	CE
27	614	14,74	842,49	47,43	261,73
28	521	11,77	842,49	37,68	263,16
29	464	10,80	842,35	33,28	273,50
30	443	9,56	842,35	28,28	284,90
31	402	8,51	842,28	23,68	302,71
32	355	7,31	842,28	18,28	336,55
33	324	6,53	842,21	14,34	383,82
34	287	5,45	842,21	9,01	509,80
35	248	4,57	842,06	4,67	624,63

TABELA 9.12 - Dados calculados de diferença de temperatura (DT), consumo horário (CH), densidade (D), potência (P) e de consumo específico (CE), para o ensaio de rotações constantes a 85 [%] da rotação nominal da TDP.

Obs.	DT	CH	D	P	CE
36	614	13,85	842,42	46,13	252,87
37	512	11,02	842,56	37,08	250,29
38	469	9,72	842,35	31,84	257,08
39	422	8,63	842,35	27,30	256,21
40	381	7,63	842,42	23,11	278,19
41	336	6,49	842,28	17,86	306,11
42	296	5,67	842,06	13,71	348,36
43	255	4,63	842,06	8,67	450,17
44	223	3,88	841,99	4,78	684,34

TABELA 9.13 - Dados calculados de diferença de temperatura (DT), consumo horário (CH), densidade (D), potência (P) e de consumo específico (CE), para o ensaio de rotações constantes a 75 [%] da rotação nominal da TDP.

Obs.	DT	CH	D	P	CE
45	617	12,81	842,49	41,95	251,31
46	505	9,57	842,56	33,24	242,58
47	461	8,73	842,42	29,75	247,15
48	412	7,56	842,28	24,93	255,56
49	363	6,70	842,35	21,13	267,20
50	318	5,71	842,35	16,79	286,28
51	275	4,72	842,21	12,15	326,81
52	234	4,00	842,14	8,31	405,42
53	190	3,07	841,99	3,95	655,68

TABELA 9.14 - Dados calculados de diferença de temperatura (DT), consumo horário (CH), densidade (D), potência (P) e de consumo específico (CE), para o ensaio de rotações constantes a 55 [%] da rotação nominal da TDP.

Obs.	DT	CH	D	P	CE
54	614	11,15	848,12	36,78	256,98
55	487	8,77	847,83	30,29	245,57
56	441	7,60	847,97	26,04	247,46
57	397	6,73	847,76	22,39	254,77
58	339	5,64	847,55	17,74	269,62
59	296	4,89	847,33	14,41	287,82
60	257	4,17	847,05	11,03	319,60
61	209	3,32	846,83	7,02	400,68
62	170	2,61	846,62	3,42	645,73

TABELA 9.15 - Dados calculados de diferença de temperatura (DT), consumo horário (CH), densidade (D), potência (P) e de consumo específico (CE), para o ensaio de rotações constantes a 55 [%] da rotação nominal da TDP.

Obs.	DT	CH	D	P	CE
63	677	9,60	846,62	31,26	259,96
64	463	7,22	846,69	25,05	244,04
65	406	6,29	846,69	21,64	243,61
66	366	5,63	846,69	19,06	250,24
67	319	4,81	846,56	15,62	260,47
68	274	4,09	846,48	12,16	284,78
69	231	3,36	846,19	9,03	314,32
70	191	2,73	845,77	6,04	381,95
71	151	2,07	845,48	2,89	606,29

TABELA 9.16 - Dados calculados de diferença de temperatura (DT), consumo horário (CH), densidade (D), potência (P) e de consumo específico (CE), para o ensaio de rotação constante a 45 [%] da rotação nominal da TDP.

Obs.	DT	CH	D	P	CE
72	542	7,79	845,62	24,58	268,24
73	445	5,87	845,62	20,00	247,94
74	333	4,91	845,62	16,91	245,63
75	342	4,40	845,55	14,81	250,93
76	300	3,83	845,48	12,48	259,21
77	252	3,11	845,27	9,99	260,00
78	219	2,65	845,05	7,24	309,54
79	198	2,21	844,84	5,15	362,16
80	145	1,61	844,63	2,22	612,88

TABELA 9.17 - Dados do ensaio de potência efetiva líquida observada da TDP, transformados em porcentagem do valor nominal.

Obs.	Rr	Tr	Pr	CHr	CEr
1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	99,39	100,58	99,98	99,18	99,28
3	91,52	106,43	97,40	92,11	94,90
4	81,82	116,37	95,22	86,13	90,49
5	72,68	118,57	86,41	78,05	90,36
6	68,48	118,71	81,30	74,98	91,52
7	66,06	118,71	78,42	71,81	91,60
8	63,94	119,30	76,28	69,69	91,40
9	61,82	119,01	73,57	67,83	92,23
10	60,45	119,59	72,90	66,26	91,67
11	59,99	119,88	71,20	64,93	91,21
12	54,65	119,59	65,59	60,94	92,93
13	50,30	117,11	58,91	55,14	93,62
14	105,61	85,38	90,17	90,95	100,75
15	106,52	64,33	68,52	74,62	108,76
16	107,12	43,13	46,20	58,57	126,57
17	107,88	21,35	23,03	44,44	192,66

TABELA 9.18 - Dados, transformados em porcentagem do valor nominal, correspondentes ao ensaio de rotações constantes para o nível de 100 [%] da rotação nominal.

Obs.	Rr	Tr	Pr	CHr	CEr
18	100,45	101,17	101,63	99,14	97,39
19	100,30	84,06	84,32	52,98	98,20
20	100,45	71,35	71,67	72,95	101,66
21	100,45	63,30	63,59	67,45	105,82
22	100,45	49,65	50,08	57,23	114,00
23	100,30	38,16	38,27	49,94	130,15
24	100,30	29,97	30,06	44,56	147,65
25	100,30	20,76	20,82	38,58	164,76
26	100,30	10,09	10,12	32,49	320,17

TABELA 9.19 - Dados, transformados em porcentagem do valor nominal, correspondentes ao ensaio de rotações constantes para o nível de 95 [%] da rotação nominal.

Obs.	Rr	Tr	Pr	CHr	CEr
27	95,45	105,12	100,34	94,50	94,02
28	95,30	83,63	79,70	75,55	94,53
29	95,15	73,98	70,39	69,36	98,24
30	95,15	62,87	59,82	61,40	102,34
31	95,15	52,63	50,08	54,62	108,74
32	95,15	40,64	38,67	46,90	120,89
33	95,15	31,87	30,33	41,94	137,87
34	95,15	20,03	19,06	35,01	183,13
35	95,15	10,38	9,88	29,35	296,22

TABELA 9.20 - Dados, transformados em porcentagem do valor nominal, correspondentes ao ensaio de rotações constantes para o nível de 85 (%) da rotação nominal.

Obs.	Rr	Tr	Pr	CHr	CEr
36	85,45	114,18	97,57	88,83	90,83
37	85,30	91,96	78,44	70,72	89,91
38	85,30	78,95	67,34	62,38	62,35
39	85,30	67,69	67,74	55,38	65,63
40	85,30	67,31	48,89	48,99	99,63
41	85,30	44,30	37,79	41,68	109,96
42	85,15	34,06	29,01	36,42	125,13
43	85,30	21,49	18,33	29,74	161,71
44	85,30	11,84	10,10	24,92	245,83

TABELA 9.21 - Dados, transformados em porcentagem do valor nominal, correspondentes ao ensaio de rotações constantes para o nível de 75 (%) da rotação nominal.

Obs.	Rr	Tr	Pr	CHr	CEr
45	75,30	117,84	88,73	80,33	90,27
46	75,15	93,67	70,32	61,46	87,17
47	75,00	83,92	62,94	56,04	88,78
48	75,15	70,18	52,74	48,56	91,80
49	75,30	59,36	44,70	43,03	95,98
50	75,00	47,37	35,53	36,64	102,84
51	75,15	34,21	25,71	30,28	117,40
52	75,15	23,39	17,58	25,68	145,63
53	75,15	11,11	8,35	19,73	235,53

TABELA 9.22 - Dados, transformados em porcentagem do valor nominal, correspondentes ao ensaio de rotação constante para o nível de 65 [%] da rotação nominal.

Obs.	Rr	Tr	Pr	CHr	CEr
54	65,30	119,15	77,81	71,55	92,31
55	65,30	98,10	64,06	56,31	88,21
56	65,30	84,36	55,09	48,79	86,29
57	65,30	72,51	47,35	43,19	91,52
58	65,30	57,46	37,52	36,22	96,55
59	65,15	46,78	30,48	31,42	103,29
60	65,15	35,82	23,34	26,74	114,88
61	65,15	22,81	14,66	21,33	143,89
62	65,15	11,11	7,24	16,76	231,96

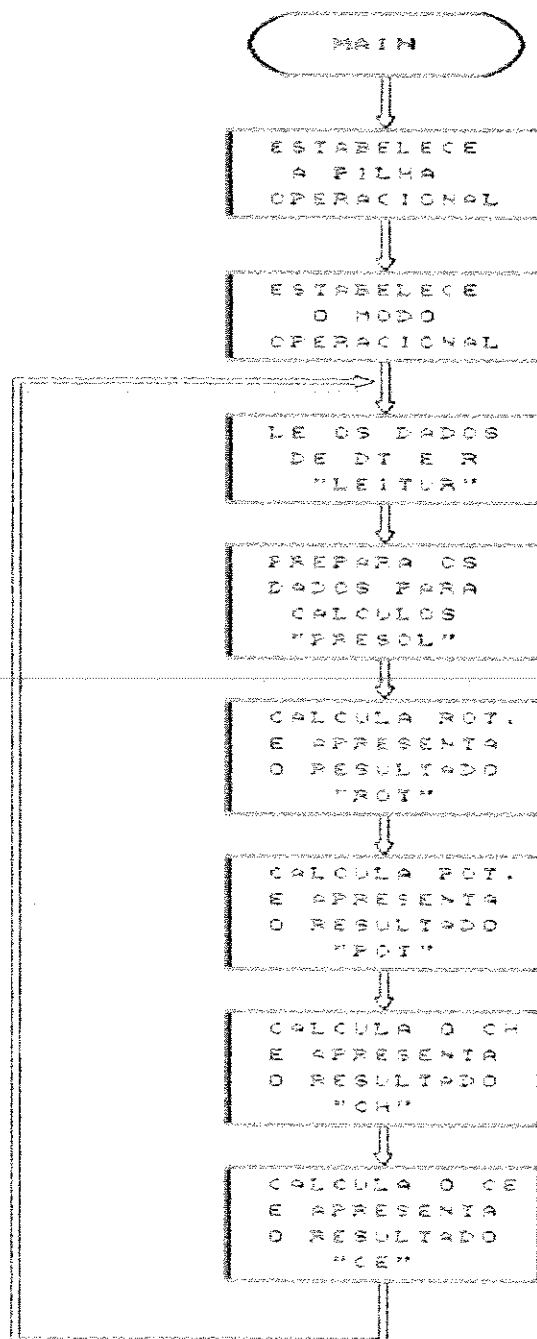
TABELA 9.23 - Dados, transformados em porcentagem do valor nominal, correspondentes ao ensaio de rotações constantes para o nível de 55 [%] da rotação nominal.

Obs.	Rr	Tr	Pr	CHr	CEr
63	55,15	119,68	66,12	61,61	93,38
64	55,00	98,35	52,99	46,36	87,66
65	55,15	83,77	43,20	40,37	87,68
66	55,15	73,10	40,32	36,16	89,89
67	55,00	60,09	33,05	30,86	93,56
68	55,15	46,64	25,72	26,26	102,30
69	55,15	34,65	19,11	21,54	112,91
70	55,00	23,25	12,79	17,52	137,20
71	55,00	11,11	6,11	13,30	217,79

TABELA 9.24 - Dados, transformados em porcentagem do valor nominal, correspondentes ao ensaio de rotações constantes para o nível de 45 (%) da rotação nominal.

Obs.	Rr	Tr	Pr	CHR	CEr
72	45,15	115,06	51,95	50,01	96,36
73	45,15	93,71	42,31	37,65	89,06
74	45,30	78,93	35,77	31,53	98,23
75	45,30	69,15	31,33	28,21	90,14
76	45,15	68,48	26,40	24,57	93,11
77	45,15	44,01	19,87	19,97	100,58
78	45,15	33,92	13,31	17,02	111,19
79	45,15	24,12	10,89	14,17	130,09
80	45,30	10,38	4,70	10,36	220,15

9.2 - Fluxograma do programa monitor.



9.3 - Programa monitor.

```

0000 ; *****
0000 ; LOCAL DESTINADO A PILHA OPERACIONAL
0000 ; *****
0000 ;
26E0 LOC EQU 26E0H
0000 ;
0000 ; *****
0000 ; DEFINIÇÃO DOS PORTS A, B E C.
0000 ; *****
0000 ;
0070 PORT A EQU 70H
0071 PORT B EQU 71H
0072 PORT C EQU 72H
0073 C PORT EQU 73H
0000 ;
0000 ; *****
0000 ; DEFINIÇÃO DAS MEMÓRIAS DE RASCUNHO (RAM)
0000 ; *****
0000 ;
277F ; SINPOP EQU 277FH
277E ; SENSOP EQU 277EH
277D ; SINRES EQU 277DH
277C ; NDECPO EQU 277CH
277B ; NDECSO EQU 277BH
277A ; NDECRE EQU 277AH
2779 ; MMMP3 EQU 2779H
2778 ; MMRS3 EQU 2778H
2777 ; MMSTH3 EQU 2777H
2776 ; MMSTB3 EQU 2776H
0000 ;
2769 ; MPOT EQU 2769H
2768 ; MPOTO EQU 2768H
2767 ; M4DT EQU 2767H
2766 ; M4DT0 EQU 2766H
2765 ; M4DT1 EQU 2765H
2764 ; M4DT2 EQU 2764H
2763 ; M4DT3 EQU 2763H
2762 ; M4DT4 EQU 2762H
2761 ; M4DT5 EQU 2761H
2760 ; M4DT6 EQU 2760H
2759 ; M4DT7 EQU 2759H
2758 ; M4DT8 EQU 2758H
2757 ; M4DT9 EQU 2757H
2756 ; M4DT10 EQU 2756H
2755 ; M4DT11 EQU 2755H
2754 ; M4DT12 EQU 2754H
2753 ; M4DT13 EQU 2753H
2752 ; M4DT14 EQU 2752H
2751 ; M4DT15 EQU 2751H
2750 ; M4DT16 EQU 2750H
2749 ; M4DT17 EQU 2749H
2748 ; M4DT18 EQU 2748H
2747 ; M4DT19 EQU 2747H
2746 ; M4DT20 EQU 2746H
2745 ; M4DT21 EQU 2745H
2744 ; M4DT22 EQU 2744H
2743 ; M4DT23 EQU 2743H
2742 ; M4DT24 EQU 2742H
2741 ; M4DT25 EQU 2741H
2740 ; M4DT26 EQU 2740H
2739 ; M4DT27 EQU 2739H

```

```

2735 ;MMRSC6 EQU 2735H
2731 ;MMRSC7 EQU 2731H
2728 ;MRS33 EQU 2728H
2722 ;MRS31 EQU 2722H
2721 ;MTP3 EQU 2721H
271B ;MRS3 EQU 271BH
2715 ;MMDIV EQU 2715H
0000 ;
2711 ;MMC1 EQU 2711H
270D ;MMC2 EQU 270DH
2709 ;MMC3 EQU 2709H
2708 ;MMC4 EQU 2708H
2701 ;MMC5 EQU 2701H
26FD ;MMC6 EQU 26FDH
26F9 ;MMC7 EQU 26F9H
0000 ;
26F4 ;BSDHL EQU 26F4H
26F2 ;LSBHL EQU 26F2H
26F0 ;BSDBC EQU 26F0H
26EE ;BSDDE EQU 26EEH
26E4 ;LSBDE EQU 26E4H
26EA ;HABIL EQU 26EAH
0000 ;
0000 ;*****
0000 ;CONSTANTES GRAVADAS NA EPROM
0000 ;*****
0000 ;
06EB ;MMJL EQU 06EBH ;000003EBH
06E7 ;MGR EQU 06E7H ;000000FFH
06E3 ;MFC8 EQU 06E3H ;800003EBH
06DF ;MFC9 EQU 06DFH ;0000009BH
0000 ;
06D3 ;MPC1 EQU 06D3H ;80FDD782H
06D7 ;MPC2 EQU 06D7H ;0000FDDBH
06D3 ;MPC3 EQU 06D3H ;000308EEH
06CF ;MPC4 EQU 06CFH ;8000013BH
06CB ;MPC5 EQU 06CBH ;80000814H
06C7 ;MPC6 EQU 06C7H ;0000083BH
06C3 ;MPC7 EQU 06C3H ;00008B80H
0000 ;
06BF ;MCC1 EQU 06BFH ;800F7A87H
06B3 ;MCC2 EQU 06B3H ;800003E1H
06B7 ;MCC3 EQU 06B7H ;00008E3BH
06B3 ;MCC4 EQU 06B3H ;0000002BH
06AF ;MCC5 EQU 06AFH ;8000007CH
06AB ;MCC6 EQU 06ABH ;0000011BH
06A7 ;MCC7 EQU 06A7H ;04000002H
0000 ;
06A3 ;MME00 EQU 06A3H ;F0H
06A2 ;MME05 EQU 06A2H ;F1H
06A1 ;MME10 EQU 06A1H ;F2H
06A0 ;MME15 EQU 06A0H ;F3H
069F ;MME20 EQU 069FH ;F4H
069E ;MME25 EQU 069EH ;F5H

```

```

089D      ;MME30      EQU      089DH      ;F6H
089E      ;MME35      EQU      089EH      ;F7H
089F      ;MME40      EQU      089FH      ;F8H
08A0      ;MME45      EQU      08A0H      ;F9H
08A1      ;MME50      EQU      08A1H      ;0FH
08A2      ;MME55      EQU      08A2H      ;1FH
08A3      ;MME60      EQU      08A3H      ;2FH
08A4      ;MME65      EQU      08A4H      ;3FH
08A5      ;MME70      EQU      08A5H      ;4FH
08A6      ;MME75      EQU      08A6H      ;5FH
08A7      ;MME80      EQU      08A7H      ;6FH
08A8      ;MME85      EQU      08A8H      ;7FH
08A9      ;MME90      EQU      08A9H      ;8FH
08AA      ;MME95      EQU      08AAH      ;9FH
08AF      ;MME100     EQU      08AFH      ;FFH
0000

```

```

;*****
;MAIN - PROGRAMA PRINCIPAL - LE DADOS DE
;      ROTAÇÃO E DIF. DE TEMP., CALCULA
;      E APRESENTA: ROTAÇÃO, POTÊNCIA,
;      CONSUMO HORÁRIO E CONSUMO ESPECÍ-
;      FICO EM PORCENTAGEM.
;*****

```

```

0000      31E026      LD      SP,LOC
0003      3E90        LD      A,90H
0005      D373        OUT     (CPORT),A
0007      CD3404      INICIO:  CALL  LEITUR
000A      CD3504      CALL  PRESOL
000D      CD3605      CALL  ROT
0010      CD3705      CALL  POT
0013      CD3805      CALL  CH
0016      CD3905      CALL  CE
0019      18EC        JR      INICIO

```

```

;*****
;AD4DAD - ADICIONA O CONTEUDO DE BC COM O
;      DE HL.
;ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;           - HL - APONTA O SEG. OPERANDO
;SAÍDA:    - DE - APONTA O RESULTADO
;*****

```

```

001B      CDC303      AD4DAD: CALL  ST3CHL
001E      CDFD02      CALL  I3NDEC
0021      FE01        CP      01H
0023      2005        JR      NZ,ADIC
0025      CD7703      CALL  DIMIN
0028      1803        JR      POSAD
002A      CD4203      ADIC:   CALL  SOMA
002D      CDCF01      POSAD:  CALL  INSIND
0030      CDDC03      CALL  LDBCHL
0033      C9          RET

```

```

*****
;ML4DAD - MULTIPLICA O CONTEUDO DE BC
;PELO DE HL.
;ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;           - HL - APONTA O SEG. OPERANDO
;SAIDA:    - DE - APONTA O RESULTADO
*****

```

```

0034 CDC303 ML4DAD: CALL STBCHL
0037 CD9E01 CALL TSTEND
003A CD1F08 CALL CARGA
003D D8 PUSH DE
003E 3A7F27 LD A,(SINPOP)
0041 57 LD D,A
0042 3A7E27 LD A,(SINSOP)
0045 82 ADD A,D
0046 FE01 CP D1H
-----
0048 2801 JR Z,RESNEG
004A AF XOR A
004B 327D27 RESNEG: LD (SINRESO),A
004E 3A7C27 LD A,(NDECPO)
0051 57 LD D,A
0052 3A7B27 LD A,(NDECSO)
0055 82 ADD A,D
0056 327A27 LD (NDECRED),A
-----
0059 D1 POP DE
005A AF XOR A
005B 060C LD B,0CH
005D 212227 LD HL,MRS31
0050 77 COD3: LD CHL,A
0061 23 INC HL
0062 06 DEC B
0063 20FB JR NZ,COD3
0065 2AF226 LD HL,CLSSHLD
0066 112227 LD DE,MRS33
0068 010400 LD BC,0004H
006E ED80 LDIR
0070 D9 EXX
0071 0618 LD B,18H
0073 D9 EXX
0074 ED4BF026 NOVSON: LD BC,(RSOBC)
0078 0B DEC BC
0079 0A LD A,(BC)
007A 1F RRA
007B 02 LD (BC),A
007C 0B DEC BC
007D 0A LD A,(BC)
007E 1F RRA
007F 02 LDX(BC),A
0080 0B DEC BC
0081 0A LD A,(BC)
0082 1F RRA
0083 02 LD (BC),A
0084 3022 JR NC,NOVROT
0086 112227 LD DE,MRS31

```

0089	21 2827		LD	HL, MRS33
008C	1A		LD	A, (DE)
008D	88		ADD	A, (HL)
008E	12		LD	(DE), A
008F	13		INC	DE
0090	23		INC	HL
0091	1A		LD	A, (DE)
0092	8E		ADC	A, (HL)
0093	12		LD	(DE), A
0094	13		INC	DE
0095	23		INC	HL
0096	1A		LD	A, (DE)
0097	8E		ADC	A, (HL)
0098	12		LD	(DE), A
0099	13		INC	DE
009A	23		INC	HL
009B	1A		LD	A, (DE)
009C	8E		ADC	A, (HL)
009D	12		LD	(DE), A
009E	13		INC	DE
009F	23		INC	HL
00A0	1A		LD	A, (DE)
00A1	8E		ADC	A, (HL)
00A2	12		LD	(DE), A
00A3	13		INC	DE
00A4	23		INC	HL
00A5	1A		LD	A, (DE)
00A6	8E		ADC	A, (HL)
00A7	12		LD	(DE), A
00A8	21 2827	NOVROT:	LD	HL, MRS33
00AB	7E		LD	A, (HL)
00AC	17		RLA	
00AD	77		LD	(HL), A
00AE	23		INC	HL
00AF	7E		LD	A, (HL)
00B0	17		RLA	
00B1	77		LD	(HL), A
00B2	23		INC	HL
00B3	7E		LD	A, (HL)
00B4	17		RLA	
00B5	77		LD	(HL), A
00B6	23		INC	HL
00B7	7E		LD	A, (HL)
00B8	17		RLA	
00B9	77		LD	(HL), A
00BA	23		INC	HL
00BB	7E		LD	A, (HL)
00BC	17		RLA	
00BD	77		LD	(HL), A
00BE	23		INC	HL
00BF	7E		LD	A, (HL)
00C0	17		RLA	
00C1	77		LD	(HL), A
00C2	D9		EXX	

```

00C3      05          DEC  B
00C4      09          EXX
00C5      20AD       JR   NZ,NOVSOM
00C7      CDD400     CALL ESTRO
00CA      CDS201     CALL AP3SD
00CD      CDCF01     CALL INSTND
00D0      CDD003     CALL LDBCHL
00D3      09          RET
;*****
;ESTRO - VERIFICA SE A MANTISSA DO CONTEU
;          DO APONTADO POR HL E POR DE É
;          MAIOR QUE 4 BYTES, SE FOR,ACERTA
;          PARA 4 BYTES.
;*****
00D4      05          ESTRO:  PUSH BC
00D5      0603       LD   B,03H
00D7      1A          LOOP6:  LD   A,(DE)
00D8      F800       OR   00H
00DA      280E       JR   Z,CONT3
00DC      EB          EX   DE,HL
00DD      CDFC00     CALL DIVM
00E0      EB          EX   DE,HL
00E1      3A7A27     LD   A,(NDECRD)
00E4      3C          INC  A
00E5      327A27     LD   (NDECRD),A
00E8      18ED       JR   LOOP6
00EA      13          CONT3:  DEC  DE
00EB      05          DEC  B
00EC      20B9       JR   NZ,LOOP6
00EE      212227     LD   HL,(MRS3)
00F1      EDSBEC26   LD   DE,(LSBDE)
00F5      010400     LD   BC,0004H
00F8      ED30       LDIR
00FA      C1          POP  BC
00FB      09          RET
;*****
;DIVM - DIVIDE O CONTEUDO DE HL POR 10
;          PARA EVITAR OVERFLOW NA MULTIPLI-
;          CAÇÃO.
;ENTRADA: - HL - APONTA O DIVIDENDO
;SAÍDA:   - DE - APONTA O RESULTADO
;*****
00FC      E5          DIVM:  PUSH HL
00FD      D6          PUSH DE
00FE      C3          PUSH BC
00FF      0630       LD   B,30H
0101      111B27     LD   DE,(MRS3)
0104      AF          XOR  A
0105      12          LD   (DE),A
0106      1B          DEC  DE
0107      12          LD   (DE),A
0108      1B          DEC  DE
0109      12          LD   (DE),A
010A      1B          DEC  DE

```

010B	12		LD	(DE), A
010C	13		DEC	DE
010D	12		LD	(DE), A
010E	13		DEC	DE
010F	12		LD	(DE), A
0110	212227	DML00P:	LD	HL, KRS31
0113	CB16		RL	(HL)
0115	23		INC	HL
0116	CB16		RL	(HL)
0118	23		INC	HL
0119	CB16		RL	(HL)
011B	23		INC	HL
011C	CB16		RL	(HL)
011E	23		INC	HL
011F	CB16		RL	(HL)
0121	23		INC	HL
0122	CB16		RL	(HL)
0124	EB		EX	DE, HL
0125	CB16		RL	(HL)
0127	23		INC	HL
0128	CB16		RL	(HL)
012A	23		INC	HL
012B	CB16		RL	(HL)
012D	23		INC	HL
012E	CB16		RL	(HL)
0130	23		INC	HL
0131	CB16		RL	(HL)
0133	23		INC	HL
0134	CB16		RL	(HL)
0136	05		PUSH	BC
0137	08		PUSH	DE
0138	112127		LD	DE, MTP3
013B	010800		LD	BC, 0008H
013E	ED58		LDDR	
0140	23		INC	HL
0141	D1		POP	DE
0142	EB		EX	DE, HL
0143	1A		LD	A, (DE)
0144	D80A		SUB	CAH
0146	12		LD	(DE), A
0147	13		INC	DE
0148	1A		LD	A, (DE)
0149	DE00		SBC	A, 00H
014B	12		LD	(DE), A
014C	13		INC	DE
014D	1A		LD	A, (DE)
014E	DE00		SBC	A, 00H
0150	12		LD	(DE), A
0151	13		INC	DE
0152	1A		LD	A, (DE)
0153	DE00		SBC	A, 00H
0155	12		LD	(DE), A
0156	13		INC	DE
0157	1A		LD	A, (DE)

```

0158      DE00          SBC  A,00H
015A      12          LD   C,DE,A
015B      13          INC  DE
015C      1A          LD   A,C,DE
015D      DE00          SBC  A,00H
015F      12          LD   C,DE,A
0160      3F          CCF
0161      380D        JR   C,STOK
0163      E5          PUSH HL
0164      21 21 27    LD   HL,MTP3
0167      01 0600    LD   BC,0006H
016A      ED98        LDDR
016C      13          INC  DE
016D      E1          POP  HL
016E      1805        JR   SUBAD
0170      1B          STOK: DEC  DE
0171      1B          DEC  DE
0172      1B          DEC  DE
0173      1B          DEC  DE
0174      1B          DEC  DE
0175      C1          SUBAD: POP  BC
0176      1098        DJNZ DMLOOP
0178      2B          DEC  HL
0179      2B          DEC  HL
017A      2B          DEC  HL
017B      2B          DEC  HL
017C      2B          DEC  HL
017D      C316        RL   (HL)
017F      23          INC  HL
0180      C316        RL   (HL)
0182      23          INC  HL
0183      C316        RL   (HL)
0185      23          INC  HL
0186      C316        RL   (HL)
0188      23          INC  HL
0189      C316        RL   (HL)
018B      23          INC  HL
018C      C316        RL   (HL)
018E      C1          POP  BCC
018F      D1          POP  DE
0190      E1          POP  HL
0191      C9          RET

```

```

;*****
;APBSD - APONTA O BYTE DE SINAL E DECIMAL
;          DE BC, HL E DE.
;*****

```

```

0192      ED4BF026    APBSD: LD   BC,(BSDBC)
0196      2AF426      LD   HL,(BSDHL)
0199      EDSBEE26    LD   DE,(BSDDE)
019D      C9          RET

```



```

;*****
;TSTSD - TESTA O SINAL E O NUMERO DE DE-
;          CIMAIS DOS OPERANDOS.
;ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;          - HL - APONTA O SEG. OPERANDO
;SAIDAS:   - SINPOP - SINAL DO PRIM. OP.
;          - SINSOP - SINAL DO SEG. OP.
;          - NDECPO - NUMERO DE DECIMAIS
;          -          DO PRIM. OPERANDO
;          - NDECSO - NUMERO DE DECIMAIS
;          -          DO SEG. OPERANDO
;          - BC - PRIMEIRO OPERANDO SEM
;          -          SINAL E DECIMAIS
;          - HL - SEGUNDO OPERANDO SEM
;          -          SINAL E DECIMAIS
;*****

```

```

019E 0A TSTSD: LD A,(BC)
019F 17 RLA
01A0 3007 JR NC,POSIT
01A2 3E01 LD A,01H
01A4 327F27 LD (SINPOP),A
01A7 1804 JR TSTNDP
01A9 AF POSIT: XOR A
01AA 327F27 LD (SINPOP),A
01AD 0A TSTNDP: LD A,(BC)
-----
01AE E67F AND 7FH
01B0 327C27 LD (NDECPO),A
01B3 7E LD A,(HL)
01B4 17 RLA
01B5 3007 JR NC,SINPOS
01B7 3E01 LD A,01H
01B9 327E27 LD (SINSOP),A
01BC 1804 JR TSTNDS
01BE AF SINPOS: XOR A
01BF 327E27 LD (SINSOP),A
01C2 7E TSTNDS: LD A,(HL)
01C3 E67F AND 7FH
01C5 327327 LD (NDECSO),A
01C8 0A LD A,(BC)
01C9 AF XOR A
01CA 02 LD (BC),A
01CB 7E LD A,(HL)
01CC AF XOR A
01DD 77 LD (HL),A
01DE 09 RET

```

```

*****
INSIND - INSERE SINAL E DECIMAIS NO
RESULTADO.
ENTRADAS: - DE - APONTA A VARIÁVEL
           - SINRES - INDICA O SINAL
           - NDECRE - INDICA O NÚMERO DE
                   DECIMAIS
SAÍDA:    - DE - APONTA A VARIÁVEL COM O
                   NÚMERO DE DECIMAIS E O
                   SINAL INSERIDOS
*****

```

```

01CF      08      INSIND:  PUSH BC
01D0      05      PUSH DE
01D1      1A      LD   A,(DE)
01D2      B7      OR   A
01D3      2012    JR   NZ,INSERE
-----
01D5      1B      DEC  DE
01D6      1A      LD   A,(DE)
01D7      B7      OR   A
01D8      200D    JR   NZ,INSERE
01DA      1B      DEC  DE
01DB      1A      LD   A,(DE)
01DC      B7      OR   A
01DD      2008    JR   NZ,INSERE
01DF      1B      DEC  DE
-----
01E0      1A      LD   A,(DE)
01E1      B7      OR   A
01E2      2003    JR   NZ,INSERE
01E4      D1      POP  DE
01E5      1814    JR   RETOR
01E7      D1      INSERE: POP  DE
01E8      3A7A27  LD   A,(NDECRE)
01EB      E67F    AND  7FH
01ED      47      LD   B,A
01EE      1A      LD   A,(DE)
01EF      90      OR   B
01F0      12      LD   (DE),A
01F1      3A7D27  LD   A,(SINRES)
01F4      B7      OR   A
01F5      2804    JR   Z,RETOR
01F7      1A      LD   A,(DE)
01F8      F690    OR   90H
01FA      12      LD   (DE),A
01FB      C1      RETOR: POP  BC
01FC      09      RET

```

```

;*****
;IGNDEC - IGUALA O NUMERO DE DECIMAIS DOS
;          OPERANDOS E ACHA O SINAL DO
;          RESULTADO.
;ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;          - HL - APONTA O SEG. OPERANDOP
;          - DE - APONTAO RESULTADO
;SAIDAS:   - SINPOP - SINAL DO PRIM. OP.
;          - SINSOP - SINAL DO SEG. OP.
;          - NDEGPO - NUMERO DE DECIMAL
;                  DO PRIM. OPERANDO
;          - NDECSO - NUMERO DE DECIMAL
;                  DO SEG. OPERANDO
;          - NDECRE - NUMERO DE DECIMAL
;                  DO RESULTADO
;*****

```

```

.....
01FD      E5      TGNDEC:  PUSH HL
01FE      D6      PUSH DE
01FF      CD9E01  CALL TSTEND
0202      3A7C27  LD   A,(NDECPO)
0205      67      LD   D,A
0206      3A7B27  LD   A,(NDECSO)
0209      5A      CP   D
020A      286B      JR   Z,TSTSI N
020C      F23F02  TSTQLM: JP   P,SEGMAI
-----
020F      0B      PRIMAT:  DEC  BC
0210      0B      DEC  BC
0211      0B      DEC  BC
0212      0A      LD   A,(BC)
0213      DE99      SUB  99H
0215      03      INC  BC
0216      0A      LD   A,(BC)
0217      DE99      SBC  A,99H
0219      03      INC  BC
021A      0A      LD   A,(BC)
021B      DE19      SBC  A,19H
021D      03      INC  BC
021E      0A      LD   A,(BC)
021F      DE00      SBC  A,00H
0221      380C      JR   C,MULPOP
0223      3A7B27  DIVSOP: LD   A,(NDECSO)
0226      3C      INC  A
0227      327B27  LD   (NDECSO),A
022A      CDD202  CALL DIVID
022D      183E      JR   TSTNDC
022F      3A7C27  MULPOP: LD   A,(NDECPO)
0232      3D      DEC  A
0233      327C27  LD   (NDECPO),A
0236      E5      PUSH HL
0237      60      LD   H,B
0238      69      LD   L,C
0239      CD6502  CALL MULTD
023C      E1      POP  HL
023D      182E      JR   TSTNDC

```

```

023F      23      SEGMAI:  DEC  HL
0240      23      DEC  HL
0241      23      DEC  HL
0242      7E      LD   A, (HL)
0243      D699     SUB  99H
0245      23      INC  HL
0246      7E      LD   A, (HL)
0247      DE99     SBC  A, 99H
0249      23      INC  HL
024A      7E      LD   A, (HL)
024B      DE19     SBC  A, 19H
024D      23      INC  HL
024E      7E      LD   A, (HL)
024F      DE00     SBC  A, 00H
0251      3810     JR   C, MULSOP
0253      3A7C27   DIVPOP: LD   A, CNDECPOD
0256      3C      INC  A
0257      327C27   LD   CNDECPOD, A
025A      E5      PUSH HL
025B      50      LD   H, B
025C      69      LD   L, C
025D      C0D202   CALL DIVID
025E      E1      POP  HL
0261      180A     JR   TSTNDC
0263      3A7327   MULSOP: LD   A, CNDECSD
0266      3D      DEC  A
0267      327327   LD   CNDECSD, A
026A      C08602   CALL MULTD
026D      3A7C27   TSTNDC: LD   A, CNDECPOD
0270      57      LD   D, A
0271      3A7327   LD   A, CNDECSD
0274      3A      CP   D
0276      2096     JR   NZ, TSTOLM
0277      327A27   TSTSIN: LD   CNDECRED, A
027A      3A7F27   LD   A, (SINPOP)
027D      57      LD   D, A
027E      3A7E27   LD   A, (SINSOP)
0281      92      ADD  A, D
0282      D1      POP  DE
0283      E1      POP  HL
0284      C9      RET

;*****
;MULTD - MULTIPLICA O MULTIPLICANDO APON-
;        TADO POR BC PELO MULTIPLICADOR
;        CONTIDO EM D E ARMAZENA O PROD-
;        TO NO PRÓPRIO BC. OS REGISTRADO-
;        RES HL CONTÉM UMA VARIÁVEL DE
;        RASCUNHO.
;ENTRADA: - BC - APONTA O MULTIPLICANDO
;SAÍDA:   - HL - APONTA O MULTIPLICANDO
;          MULTIPLICADO POR 10
;*****
0285      C5      MULTD:  PUSH BC
0286      D5      PUSH DE

```

0287	117627		LD	DE, MQRSC3
028A	23		DEC	HL
028B	23		DEC	HL
028C	23		DEC	HL
028D	AF		XOR	A
028E	CB18		RL	(HL)
0290	23		INC	HL
0291	CB16		RL	(HL)
0293	23		INC	HL
0294	CB16		RL	(HL)
0296	23		INC	HL
0297	CB18		RL	(HL)
0299	010400		LD	BC, 0004H
029C	ED33		LDDR	
029E	23		INC	HL
029F	13		INC	DE
02A0	0802		LD	B, 02H
02A2	AF	MATSUM:	XOR	A
02A3	CB16		RL	(HL)
02A5	23		INC	HL
02A6	CB16		RL	(HL)
02A8	23		INC	HL
02A9	CB16		RL	(HL)
02AB	23		INC	HL
02AC	CB16		RL	(HL)
02AE	23		DEC	HL
02AF	23		DEC	HL
02B0	23		DEC	HL
02B1	10EF		DJNZ	MATSUM
02B3	1A		LD	A, (DE)
02B4	96		ADD	A, (HL)
02B5	12		LD	(DE), A
02B6	23		INC	HL
02B7	13		INC	DE
02B8	1A		LD	A, (DE)
02B9	8E		ADC	A, (HL)
02BA	12		LD	(DE), A
02BB	23		INC	HL
02BC	13		INC	DE
02BD	1A		LD	A, (DE)
02BE	8E		ADC	A, (HL)
02BF	12		LD	(DE), A
02C0	23		INC	HL
02C1	13		INC	DE
02C2	1A		LD	A, (DE)
02C3	8E		ADC	A, (HL)
02C4	12		LD	(DE), A
02C5	EB		EX	DE, HL
02C6	010400		LD	BC, 0004H
02C9	EDB8		LDDR	
02CB	13		INC	DE
02CC	13		INC	DE
02CD	13		INC	DE
02CE	EB		EX	DE, HL

02CF	D1	POP	DE
02D0	C1	POP	BC
02D1	C9	RET	

```

*****
;DIVID - DIVIDE O DIVIDENDO CONTIDO EM HL
;        PELO DIVISOR (10). O QUOCIENTE E
;        ARMazenADO NO PRÓPRIO HL. OS RE-
;        GISTRADORES DE CONTEM UMA VARIÁ-
;        VEL DE RASCUNHO.

```

```

;ENTRADA: - HL - APONTA O DIVIDENDO

```

```

;SAÍDA:   - HL - APONTA O QUOCIENTE

```

```

;        (DIVIDENDO/10)

```

```

*****

```

02D2	D6	DIVID:	PUSH	DE
02D3	C5		PUSH	BC
02D4	0520		LD	B,20H
02D6	117627		LD	DE,MARS03
02D9	AF		XOR	A
02DA	12		LD	(DE),A
02DB	1B		DEC	DE
02DC	12		LD	(DE),A
02DD	1B		DEC	DE
02DE	12		LD	(DE),A
02DF	1B		DEC	DE
02E0	12		LD	(DE),A
02E1	2B	DVLOOP:	DEC	HL
02E2	2B		DEC	HL
02E3	2B		DEC	HL
02E4	0316		RL	(HL)
02E6	23		INC	HL
02E7	0316		RL	(HL)
02E9	23		INC	HL
02EA	0316		RL	(HL)
02EC	23		INC	HL
02ED	0316		RL	(HL)
02EF	EB		EX	DE,HL
02F0	0316		RL	(HL)
02F2	23		INC	HL
02F3	0316		RL	(HL)
02F5	23		INC	HL
02F6	0316		RL	(HL)
02F8	23		INC	HL
02F9	0316		RL	(HL)
02FB	C5		PUSH	BC
02FC	D6		PUSH	DE
02FD	117627		LD	DE,MXTMP3
0300	010400		LD	BC,0004H
0303	EDB8		LDDR	
0305	23		INC	HL
0306	D1		POP	DE
0307	EB		EX	DE,HL
0308	1A		LD	A,(DE)
0309	D60A		SUB	0AH
030B	12		LD	(DE),A

030C	13	INC	DE
030D	1A	LD	A, (DE)
030E	DE00	SBC	A, 00H
0310	12	LD	(DE), A
0311	13	INC	DE
0312	1A	LD	A, (DE)
0313	DE00	SBC	A, 00H
0315	12	LD	(DE), A
0316	13	INC	DE
0317	1A	LD	A, (DE)
0318	DE00	SBC	A, 00H
031A	12	LD	(DE), A
031B	3F	CCF	
031C	380D	JR	C, SUBTOK
031E	E5	PUSH	HL
031F	217927	LD	HL, MMEMP3
0322	010400	LD	BC, 0004H
0325	ED33	LDDR	
0327	13	INC	DE
0328	E1	POP	HL
0329	1803	JR	SUBBAD
032B	13	SUBTOK:	DEC DE
032C	1B		DEC DE
032D	1B		DEC DE
032E	01	SUBBAD:	POP BC
032F	1030	DJNZ	DVLOOP
0331	2B	DEC	HL
0332	2B	DEC	HL
0333	2B	DEC	HL
0334	0B16	RL	(HL)
0336	23	INC	HL
0337	0B16	RL	(HL)
0339	23	INC	HL
033A	0B16	RL	(HL)
033C	23	INC	HL
033D	0B16	RL	(HL)
033F	01	POP	BC
0340	01	POP	DE
0341	09	RET	

```

*****
;SOMA = SOMA O CONTEUDO DE BC AO DE HL E
;          COLOCA O RESULTADO EM DE.
;ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;          - HL - APONTA O SEG. OPERANDO
;          - DE - APONTA O RESULTADO
;          - SINPOP - INDICA O SINAL DO
;                  PRIM. OPERANDO
;SAÍDAS:  - DE - APONTA O RESULTADO
;          - SINRES - ARMAZENA O SINAL
;                  DO RESULTADO
*****

```

0342	0B	SOMA:	DEC BC
0343	0B		DEC BC
0344	0B		DEC BC

032D	1B		DEC	DE
032E	C1	SUBBAD:	POP	BC
032F	10B0		DJNZ	DVLOOP
0331	2B		DEC	HL
0332	2B		DEC	HL
0333	2B		DEC	HL
0334	C316		RL	(HL)
0336	2B		INC	HL
0337	C316		RL	(HL)
0339	2B		INC	HL
033A	C316		RL	(HL)
033C	2B		INC	HL
033D	C316		RL	(HL)
033F	C1		POP	BC
0340	D1		POP	DE
0341	C9		RET	

```

*****
;SOMA - SOMA O CONTEUDO DE BC AO DE HL E
;          COLOCA O RESULTADO EM DE.
;ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;          - HL - APONTA O SEG. OPERANDO
;          - DE - APONTA O RESULTADO
;          - SINPOP - INDICA O SINAL DO
;                   PRIM. OPERANDO
;SAIDAS:  - DE - APONTA O RESULTADO
;          - SINRES - ARMAZENA O SINAL
;                   DO RESULTADO
*****

```

0342	0B	SOMA:	DEC	BC
0343	0B		DEC	BC
0344	0B		DEC	BC
0345	2B		DEC	HL
0346	2B		DEC	HL
0347	2B		DEC	HL
0348	1B		DEC	DE
0349	1B		DEC	DE
034A	1B		DEC	DE
034B	0A		LD	A, (BC)
034C	86		ADD	A, (HL)
034D	12		LD	(DE), A
034E	03		INC	BC
034F	2B		INC	HL
0350	13		INC	DE
0351	0A		LD	A, (BC)
0352	8E		ADC	A, (HL)
0353	12		LD	(DE), A
0354	03		INC	BC
0355	2B		INC	HL
0356	13		INC	DE
0357	0A		LD	A, (BC)
0358	8E		ADC	A, (HL)
0359	12		LD	(DE), A
035A	03		INC	BC

035B	23	INC	HL
035C	13	INC	DE
035D	0A	LD	A, (BC)
035E	8E	ADC	A, (HL)
035F	12	LD	(DE), A
0360	FE01	CD	01H
0362	200C	JR	NZ, SEMCR
0364	EB	EX	DE, HL
0365	CD2202	CALL	DIVID
0368	EB	EX	DE, HL
0369	3A7A27	LD	A, (NDECRES)
036C	3C	INC	A
036D	327A27	LD	(NDECRES), A
0370	3A7F27	SEMCR:	LD A, (SINPOP)
0373	327D27		LD (SINRES), A
0376	09	RET	

```

;*****
;DIMIN - SUBTRAI O CONTEUDO APONTADO POR
;        HL DO CONTEUDO APONTADO POR BC E
;        COLOCA O RESULTADO EM DE.
;ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;           - HL - APONTA O SEG. OPERANDO
;           - SINPOP - INDICA O SINAL DO
;                PRIM. OPERANDO
;SAIDAS:  - DE - APONTA O RESULTADO
;           - SINRES - ARMAZENA O SINAL DO
;                RESULTADO
;*****

```

0377	0B	DIMIN:	DEC BC
0378	0B		DEC BC
0379	0B		DEC BC
037A	2B		DEC HL
037B	2B		DEC HL
037C	2B		DEC HL
037D	13		DEC DE
037E	13		DEC DE
037F	13		DEC DE
0380	0A		LD A, (BC)
0381	98		SUB (HL)
0382	12		LD (DE), A
0383	03		INC BC
0384	23		INC HL
0385	13		INC DE
0386	0A		LD A, (BC)
0387	8E		SBC A, (HL)
0388	12		LD (DE), A
0389	03		INC BC
038A	23		INC HL
038B	13		INC DE
038C	0A		LD A, (BC)
038D	9E		SBC A, (HL)
038E	12		LD (DE), A
038F	03		INC BC

0390	23	INC	HL
0391	13	INC	DE
0392	0A	LD	A, (BC)
0393	9E	SBC	A, (HL)
0394	12	LD	(DE), A
0395	3025	JR	NC, SINIGA
0397	1B	DEC	DE
0398	1B	DEC	DE
0399	1B	DEC	DE
039A	1A	LD	A, (DE)
039B	2F	CPL	
039C	0501	ADD	A, 01H
039E	12	LD	(DE), A
039F	13	INC	DE
03A0	1A	LD	A, (DE)
03A1	2F	CPL	
03A2	0E00	ADC	A, 00H
03A4	12	LD	(DE), A
03A5	13	INC	DE
03A6	1A	LD	A, (DE)
03A7	2F	CPL	
03A8	0E00	ADC	A, 00H
03AA	12	LD	(DE), A
03AB	13	INC	DE
03AC	1A	LD	A, (DE)
03AD	2F	CPL	
03AE	0E00	ADC	A, 00H
03B0	12	LD	(DE), A
03B1	3A7F27	LD	A, (SINPOP)
03B4	2F	CPL	
03B5	2501	AND	01H
03B7	327D27	LD	(SINRES), A
03BA	1808	JR	TERDIM
03BC	3A7F27	LD	A, (SINPOP)
03BF	327D27	LD	(SINRES), A
03C2	09	TERDIM:	RET

```

;*****
; STBCHL - ARMAZENA AS VARIÁVEIS APONTADAS
;          POR BC E HL EM MEMÓRIAS DE RAS-
;          CUNHO.
; ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;            - HL - APONTA O SEG. OPERANDO
; SAÍDAS:   - MMSTBX - ARMAZENA PRIM. OP.
;            - MMSTYX - ARMAZENA SEG. OP.
;*****

```

03C3	D5	STBCHL:	PUSH DE
03C4	E5		PUSH HL
03C5	C5		PUSH BC
03C6	117127		LD DE, MMSTH3
03C9	010400		LD BC, 0004H
03CC	EDB8		LDDR
03CE	E1		POP HL
03CF	E5		PUSH HL

```

03D0      118D27      LD   DE,MMSTB3
03D3      010400      LD   BC,0004H
03D6      ED88      LDDR
03D8      C1        POP  BC
03D9      E1        POP  HL
03DA      D1        POP  DE
03DB      C9        RET

```

```

;*****
;LDBCHL - RECUPERA OS OPERANDOS QUE ESTAO
;          EM MEMORIAS DE RASCUNHO APON-
;          TADAS POR BC E HL.
;ENTRADAS: - BC - APONTA O PRIM. OPERANDO
;          - HL - APONTA O SEG. OPERANDO
;          - MMSTBX - INDICA O VALOR ORI-
;                GINAL DO PRIM. OP.
;          - MMSTEX - INDICA O VALOR ORI-
;                GINAL DO SEG. OP.
;SAIDAS:  - BC - APONTA O VALOR ORIGINAL
;          DO PRIMEIRO OPERANDO
;          - HL - APONTA O VALOR ORIGINAL
;          DO SEGUNDO OPERANDO

```

```

03DC      D6      LDBCHL:  PUSH DE
03DD      E5      PUSH HL
03DE      C5      PUSH BC
03DF      E3      EX   DE,HL
03E0      217:27  LD   HL,MMSTB3
03E3      010400  LD   BC,0004H
03E6      ED88      LDDR
03E8      D1      POP  DE
03E9      D6      PUSH DE
03EA      218D27  LD   HL,,MMSTB3
03ED      010400  LD   BC,0004H
03F0      ED88      LDDR
03F2      C1      POP  BC
03F3      E1      POP  HL
03F4      D1      POP  DE
03F5      C9      RET

```

```

;*****
;DIVI - DIVIDE O CONTEUDO APONTADO POR BC
;        PELO DE HL E COLOCA O RESULTADO
;        EM DE.

```

```

;ENTRADAS: - BC - APONTA O DIVIDENDO
;          - HL - APONTA O DIVISOR
;SAIDA:    - DE - APONTA O QUOCIENTE

```

```

03F6      CDC303  DIVI:  CALL STBCHL
03F9      CDFD01  CALL IGDDEC
03FC      C6      PUSH BC
03FD      FE01      CP   01H
03FF      2007      JR  NZ,MESMO
0401      3E01      LD  A,01H
0403      327D27      LD  (SINRES),A

```

0406	1805		JR	PUL03
0408	3E00	MESMO:	LD	A, 00H
040A	327D27		LD	(SI, RESD), A
040D	3A7B27	PUL03:	LD	A, (NDECSD)
0410	47		LD	B, A
0411	3A7C27		LD	A, (NDECPOD)
0414	90		SUB	B
0415	327A27		LD	(NDECRED), A
0418	C1		POP	BC
0419	EB		EX	DE, HL
041A	CD8904		CALL	APAG
041D	EB		EX	DE, HL
041E	CD9404	PL10:	CALL	COMP
0421	FE00		CP	00H
0423	2001		JR	NZ, PL20
0425	05		PUSH	BC
0426	EB		PUSH	HL
0427	D9		EXX	
0428	E1		POP	HL
0429	C1		POP	BC
042A	111527		LD	DE, MM DIV
042D	CD7703		CALL	DI MEM
0430	05		PUSH	BC
0431	D8		PUSH	DE
0432	E1		POP	HL
0433	D1		POP	DE
0434	010400		LD	BC, 0004H
0437	ED88		LDDR	
0439	D9		EXX	
043A	EB		EX	DE, HL
043B	CD8D04		CALL	INCHL
043E	EB		EX	DE, HL
043F	1800		JR	PL10
0441	EB	PL20:	PUSH	HL
0442	05		PUSH	BC
0443	E1		POP	HL
0444	CD7804		CALL	DSEHL
0447	EB		PUSH	HL
0448	C1		POP	BC
0449	E1		POP	HL
044A	CD9404		CALL	COMP
044D	FE00		CP	00H
044F	2005		JR	NZ, PL30
0451	EB		EX	DE, HL
0452	CD8D04		CALL	INCHL
0455	EB		EX	DE, HL
0456	CD9F01	PL30:	CALL	INSTND
0459	CD8C03		CALL	LDBCHL
045C	C9		RET	
045D	EB	INCHL:	PUSH	HL
045E	05		PUSH	BC
045F	2B		DEC	HL
0460	2B		DEC	HL

0461	2B		DEC	HL
0462	0601		LD	B, 01H
0464	7E		LD	A, CHLD
0465	80		ADD	A, B
0466	77		LD	CHLD, A
0467	23		INC	HL
0468	0600		LD	B, 00H
046A	7E		LD	A, CHLD
046B	88		ADC	A, B
046C	77		LD	CHLD, A
046D	23		INC	HL
046E	7E		LD	A, CHLD
046F	88		ADC	A, B
0470	77		LD	CHLD, A
0471	23		INC	HL
0472	7E		LD	A, CHLD
0473	88		ADC	A, B
0474	77		LD	CHLD, A
0475	C1		POP	BC
0476	E1		POP	HL
0477	C9		RET	
0478	65	DSEHL:	PUSH	HL
0479	2B		DEC	HL
047A	2B		DEC	HL
047B	2B		DEC	HL
047C	CB2B		SLA	CHLD
047E	23		INC	HL
047F	CB1B		RL	CHLD
0481	23		INC	HL
0482	CB1B		RL	CHLD
0484	23		INC	HL
0485	CB1B		RL	CHLD
0487	E1		POP	HL
0488	C9		RET	
0489	65	APAG:	PUSH	HL
048A	AF		XOR	A
048B	77		LD	CHLD, A
048C	2B		DEC	HL
048D	77		LD	CHLD, A
048E	2B		DEC	HL
048F	77		LD	CHLD, A
0490	2B		DEC	HL
0491	77		LD	CHLD, A
0492	E1		POP	HL
0493	C9		RET	
0494	D5	COMP:	PUSH	DE
0495	65		PUSH	HL
0496	C5		PUSH	BC
0497	1604		LD	D, 04H
0499	04	PL40:	LD	A, (BC)
049A	BE		CP	CHLD
049B	2007		JR	NZ, PL50
049D	2B		DEC	HL

```

049E      0B          DEC    BC
049F      15          DEC    D
04A0      280C       JR     Z, PL60
04A2      L8F5       JR     PL40
04A4      3004       PL50:  JR     NC, PL70
04A6      3E01       LD     A, 01H
04A8      L806       JR     PL80
04AA      3E00       PL70:  LD     A, 00H
04AC      1802       JR     PL80
04AE      3E02       PL80:  LD     A, 02H
04B0      C1         PL80:  POP   BC
04B1      E1         POP   HL
04B2      D1         POP   DE
04B3      09         RET

;*****
;LEITUR - LE DADOS CONTIDOS NO BARRAMENTO
;*****
04B4      3E00       LEITUR: LD     A, 00H
04B6      217FB7     LD     HL, SINPOP
04B9      0594       LD     B, 94H
04BB      77         PL2:   LD     (HL), A
04BC      2B         DEC   HL
04BD      06         DEC   B
04BE      20FB     JR     NZ, PL2
04C0      3E02       LD     A, 02H
-----
04C2      D372       OUT   (PORTC), A
04C4      CD7806     CALL  TEMPO
04C7      DB70       IN    A, (PORTA)
04C9      328827     LD    (MMROT), A
04CC      328827     LD    (MMROT2), A
04CF      3E01       LD    A, 01H
04D1      D372       OUT   (PORTC), A
04D3      CD7806     CALL  TEMPO
04D6      DB70       IN    A, (PORTA)
04D8      328827     LD    (MMDT0), A
04DB      328827     LD    (MMDT20), A
04DE      3E03       LD    A, 03H
04E0      D372       OUT   (PORTC), A
04E2      CD7806     CALL  TEMPO
04E5      09         RET

;*****
;PRESOL - PREPARA DADOS PARA RESOLUÇÃO DA
;          EQUAÇÃO.
;*****
04E8      016827     PRESOL: LD    BC, MMROT
04E9      216827     LD    HL, MMROT2
04EC      116127     LD    DE, MMRT
04EF      CD3400     CALL  ML4DAD
04F2      016527     LD    BC, MMDT
04F5      215127     LD    HL, MMDT2
04F8      115D27     LD    DE, MMT2
04FB      CD3400     CALL  ML4DAD
04FE      016927     LD    BC, MMROT

```

```

0501      21 6527      LD   HL,MMDT
0504      11 6927      LD   DE,MMPT
0507      CD3400      CALL ML4DAD
050A      C9           RET

;*****
;ROT - CALCULA VALOR DA ROTAÇÃO
;*****
0503      01 6627      ROT:  LD   BC,MMROT
050E      21 6906      LD   HL,MMML
0511      11 4527      LD   DE,MMRE
0514      CD3400      CALL ML4DAD
0517      01 4527      LD   BC,MMRE
051A      21 E706      LD   HL,MMMR
051D      11 4027      LD   DE,MMPE2
0520      CD7503      CALL DIVI
0523      3E07      LD   A,07H
0526      32EA26      LD   (HABLD),A
0529      CD3806      CALL PREPSO
052B      C9           RET

;*****
;POT - CALCULA VALOR DA POTÊNCIA
;*****
052C      21 D306      POT:  LD   HL,MMPC1
052F      111127      LD   DE,MMC1
0532      011C00      LD   BC,001CH
0535      ED38      LDDR
0537      CD9305      CALL EQU
053A      21 4127      LD   HL,MMROT
053D      CD0C06      CALL TABRA
0540      3E03      LD   A,03H
0542      32EA26      LD   (HABLD),A
0545      CD3806      CALL PREPSO
0548      C9           RET

;*****
;CH - CALCULA VALOR DO CONSUMO HORARIO
;*****
0549      21 3F06      CH:  LD   HL,MMCC1
054C      111127      LD   DE,MMC1
054F      011C00      LD   BC,001CH
0552      ED38      LDDR
0554      CD9305      CALL EQU
0557      21 3D27      LD   HL,MMCH
055A      CD0C06      CALL TABRA
055D      3E13      LD   A,13H
055F      32EA26      LD   (HABLD),A
0562      CD3806      CALL PREPSO
0565      C9           RET

;*****
;CE - CALCULA VALOR DO CONSUMO ESPECIFICO
;*****
0566      01 3D27      CE:  LD   BC,MMCH
0569      21 DF06      LD   HL,MMC9
056C      11 3927      LD   DE,MMRSC5

```

056F CD3400
 0572 013527
 0575 214127
 0578 113527
 057B CDF503
 057E 013527
 0581 215306
 0584 114227
 0587 CD1B00
 058A 3E23
 058C 32EAC6
 058F CD3806
 0592 C9

CALL ML4DAD
 LD BC,MMRSC6
 LD HL,MMROT
 LD DE,MMRSC6
 CALL DIVI
 LD BC,MMRSC6
 LD HL,MMAC8
 LD DE,MYR32
 CALL AD4DAD
 LD A,23H
 LD CHABILD,A
 CALL PREPSO
 RET

 ;EQU - ROTINA DE RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO
 ;*****

0593 215527
 0596 010227
 0599 113527
 059C CD3400
 059F 213527
 05A2 011127
 05A5 113527
 05A8 CD1B00
 05AB 215927
 05AE 010527
 05B1 113527
 05B4 CD3400
 05B7 213527
 05BA 013527
 05BD 113127
 05C0 CD1B00
 05C3 215227
 05C6 010527
 05C9 113527
 05CC CD3400
 05CF 213527
 05D2 013127
 05D5 113527
 05D8 CD1B00
 05DB 216127
 05DE 010127
 05E1 113527
 05E4 CD3400
 05E7 213527
 05EA 013527
 05ED 113127
 05F0 CD1B00
 05F3 215927
 05F6 01FD26
 05F9 113927
 05FC CD3400
 05FF 213927

EQU: LD HL,MMDT
 LD BC,MMC2
 LD DE,MMRSC6
 CALL ML4DAD
 LD HL,MMRSC6
 LD BC,MMC1
 LD DE,MMRSC6
 CALL AD4DAD
 LD HL,MMROT
 LD BC,MMC3
 LD DE,MMRSC6
 CALL ML4DAD
 LD HL,MMRSC6
 LD BC,MMRSC6
 LD DE,MMRSC7
 CALL AD4DAD
 LD HL,MMT2
 LD BC,MMC4
 LD DE,MMRSC6
 CALL ML4DAD
 LD HL,MMRSC6
 LD BC,MMRSC7
 LD DE,MMRSC6
 CALL AD4DAD
 LD HL,MMR2
 LD BC,MMAC6
 LD DE,MMRSC6
 CALL ML4DAD
 LD HL,MMRSC6
 LD BC,MMRSC6
 LD DE,MMRSC7
 CALL AD4DAD
 LD HL,MMRT
 LD BC,MMC6
 LD DE,MMRSC6
 CALL ML4DAD
 LD HL,MMRSC5


```

0602      013127      LD   BC, MGRSC7
0603      114827      LD   DE, MMEQU
0608      CD1B00      CALL AD40AD
0603      09          RET

;*****
;TABRA - ACERTA A CONSTANTE DE CONVERSAO
;*****
060C      EB          TABRA:  EX   DE, HL
060D      010400      LD   BC, 0004H
0610      ED88          LDDR
0612      014827      LD   BC, MMEQU
0613      21F826      LD   HL, MGR7
0618      114827      LD   DE, MMEB2
061B      CDFA03      CALL DIVI
061E      09          RET

;*****
;CARGA - APONTA BSD DE BC, HL E DE E LSB
;
;
;*****
061F      ED43F026    CARGA: LD   (BSDBC), BC
0623      22F426      LD   (BSDHL), HL
0626      ED73E326    LD   (BSOHL), DE
062A      2B          DEC  HL
062B      2B          DEC  HL
062C      2B          DEC  HL
-----
062D      1B          DEC  DE
062E      1B          DEC  DE
062F      1B          DEC  DE
0630      22F226      LD   (LSBHL), HL
0633      ED33E026    LD   (LSBDE), DE
0637      09          RET

;*****
;PREPSO - LE VALORES DE SAIDA NA TABELA
;*****
0638      A7          PREPSO: AND  A
0639      2A4A27      LD   HL, CMRE200
063C      01E803      MAISUM: LD  BC, 03E8H
063F      ED42          SBC  HL, BC
0641      3906          JR   C, CONT.N
0643      118F06      LD   DE, MME100
0646      038006          JP   FIM
0649      11A306      CONTIN: LD  DE, MME90
064C      013200      LD   BC, 0032H
064F      2A4A27      MAISUM: LD  HL, CMRE200
0652      ED42          SBC  HL, BC
0654      390A          JR   C, FIM
0656      1B          DEC  DE
0657      213200      LD   HL, 0032H
065A      09          ADD  HL, BC
065B      44          LD   B, H
065C      4D          LD   C, L
065D      C34F06          JP   MAISUM
0660      1A          FIM:  LD   A, (DE)

```

```

0651 0E71          OUT  (PORTB),A
0653 0D7606       CALL TEMPO
0655 3AEAE6       LD   A,CH4B1D
0659 0B72          OUT  (PORTC),A
065B 0D7606       CALL TEMPO
065E 3E03         LD   A,03H
0670 0B72          OUT  (PORTC),A
0672 0D7606       CALL TEMPO
0675 09           RET

```

```

;*****
;TEMPO - ROTINA DE ATRASO PARA ESTABILIZACAO DOS DADOS NO BARRAMENTO
;*****

```

```

0676 FS          TEMPO:  PUSH AF
0677 3E9F         LD   A,9FH
0679 3D          LP1:   DEC  A
067A 20FD         JR   NZ,LP1
067C F1          POP  AF
067D 09           RET

```

9.4 - Dados do teste de verificação.

TABELA 9.4.1 - Dados observados no dinamômetro.

OBS:	RD	PD	CHD	CED
1	2201,8	44,1	14,0	264,2
2	2198,2	39,2	12,8	271,2
3	2199,5	29,5	10,4	293,2
4	2198,5	28,0	9,5	306,2
5	2198,5	16,2	7,3	375,2
6	2085,8	46,4	14,3	296,8
7	2082,4	39,0	10,0	267,0
8	2089,1	27,6	9,4	281,0
9	2089,1	23,6	8,4	300,3
10	2085,8	16,6	6,6	366,4
11	1870,2	45,4	13,7	251,3
12	1870,2	37,2	11,1	246,5
13	1873,5	32,6	10,0	253,1
14	1873,5	26,2	9,6	270,1
15	1865,8	16,6	6,4	317,1
16	1841,4	41,2	12,4	250,6
17	1839,1	29,7	9,6	246,6
18	1841,4	18,4	6,6	284,2
19	1844,7	12,4	4,6	322,2
20	1423,6	36,1	10,6	251,3
21	1429,2	23,6	7,0	247,6
22	1419,2	16,6	6,6	267,3
23	1415,6	11,6	4,6	303,1

TABELA 9.4.2 - Dados observados do SITA.

Obs:	PS	PS	CHS	CHS
1	01,70	24,7	10	030,1
2	01,70	40,0	10	030,1
3	01,70	26,2	11	008,4
4	01,70	08,0	10	010,0
5	01,70	10,0	7	412,0
6	01,40	24,7	15	007,0
7	01,40	00,0	11	030,1
8	01,40	00,0	10	001,0
9	01,40	05,0	6	007,0
10	01,40	18,1	7	412,0
11	1,000	24,7	14	004,0
12	1,000	01,0	11	004,0
13	1,000	00,0	10	001,0
14	1,000	00,0	6	000,1
15	1,000	10,0	0	001,0
16	1,004	20,0	10	004,0
17	1,004	00,0	0	004,0
18	1,004	10,0	0	011,0
19	1,004	11,0	0	001,0
20	1,410	00,0	11	040,7
21	1,410	05,0	7	040,7
22	1,410	10,0	0	004,0
23	1,410	11,0	4	001,0

6.5 - Lista de materiais.

QUANT.	DESCRIÇÃO
01	CI 74LS00 4 PORTAS NAND
01	CI 74LS14 6 INVERSORES SCHMITT-TRIGGER
04	CI 74LS30 PORTA NAND 8 ENTRADAS
08	CI 74LS45 DECODIFICADOR BCD/DECIMAL
08	CI 74LS75 LATCHES 4-BIT
06	CI 74LS90 DECADA CONTADORA
04	CI 74LS93 CONTADOR BINÁRIO 4-BIT
01	CI 74LS123 MONOESTÁVEL
04	CI 74LS373 8 LATCHES TIPO D
05	AMP. OP. CA 8140
01	AMP. INST. μ A 723
03	CONVERSOR V/F F/V LM331
02	RESISTOR 1% 1/8W 0,33 Ω
01	RESISTOR 1% 1/8W 33 Ω
10	RESISTOR 1% 1/8W 1K Ω
01	RESISTOR 1% 1/8W 1,2K Ω
01	RESISTOR 1% 1/8W 1,8K Ω
01	RESISTOR 1% 1/8W 4,7K Ω
06	RESISTOR 1% 1/8W 6,81K Ω
02	RESISTOR 1% 1/8W 9,09K Ω
07	RESISTOR 1% 1/8W 10K Ω
03	RESISTOR 1% 1/8W 12K Ω
06	RESISTOR 1% 1/8W 100K Ω
02	TRIMPOT DE PRECISÃO 1K Ω
03	TRIMPOT DE PRECISÃO 5K Ω
03	TRIMPOT DE PRECISÃO 10K Ω
01	TRIMPOT DE PRECISÃO 100K Ω
18	CAPACITOR CERÂMICO 100pF
02	CAPACITOR CERÂMICO 12pF
01	CAPACITOR CERÂMICO 100pF
01	CAPACITOR CERÂMICO 470pF
03	CAPACITOR DE POLIÉSTER 10 μ F
05	CAPACITOR DE TANTALO 1 μ F
02	CAPACITOR DE TANTALO 4,7 μ F
42	LED VERMELHO
08	LED AMARELO
34	LED VERDE
01	CRISTAL 1MHz
01	TRANSISTOR TIP 121
01	DISSIPADOR RR22A
01	PORTA FUSÍVEL
01	FUSÍVEL 2A
02	CONECTOR 2x17
01	CONECTOR 2x25
01	CHAVE LIGA/DESLIGA
01	KIT DGP 80
02	PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO
01	CAIXA METÁLICA