



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO

LABORATÓRIO FERROVIÁRIO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE AUTOMÁTICO DE ENSAIOS DE
FRENAGEM

WEISNER A. A. M. CALAFIORI RESENDE

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR WEISNER A. A. M.
M. C. RESENDE E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 02, 9, 1996.


ORIENTADOR

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica - Unicamp, como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica

Campinas, 02 de setembro de 1996

R311a

29602/BC



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R311a Resende, Weisner A. A. M. Calafiori
Aquisição de dados e controle automático de ensaios de
frenagem / Weisner A. A. M. Calafiori Resende.--
Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: Fausto Rodrigues Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica

I. Freios. 2. Aquisição de dados. 3. Controle
automático. I. Rodrigues Filho, Fausto. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica.
III. Título.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE AUTOMÁTICO DE ENSAIOS DE
FRENAGEM

Autor : Weisner A. A. M. Calafiori Resende

Orientador : Prof. Dr. Fausto Rodrigues Filho

Aprovada por :

Prof. Dr. Fausto Rodrigues Filho - Presidente

Prof. Dr. Cássio Eduardo Lima de Paiva

Prof. Dr. Akebo Yamakami

Campinas, 02 de setembro de 1996

DEDICATÓRIA

A meu avô, Dr. Sebastião de Paula Resende, que em vida, com seu trabalho incansável e extrema competência, salvou tantas vidas.

Muito me alegraria sua presença física durante a apresentação deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Prof Dr. Fausto Rodrigues Filho, aos amigos Prof. Auteliano Antunes dos Santos Jr, Emerson Carlos Villa, e Rosângela A. D. C. Silva, que muito contribuíram para tornar possível este trabalho..

A minha mãe, Dr^a Ana Dorotéia Arantes Medeiros, que sozinha muito trabalhou, sofreu e lutou para dar as oportunidades que hoje tenho. Que Deus, um dia, a recompense à altura de seus méritos.

À minha avó, Adelaide Arantes de Medeiros, pelas orações, à Márcio Calafiori Resende, Juliana Sebusiani e José Lino C. Nieto pelo apoio recebido.

À Deus e à sua mãe Maria Santíssima.

“Quando te entregares a Deus, não haverá dificuldade que possa abalar o teu otimismo.”

Beato José Maria Escrivá - Caminho, nº 476

Resumo

Os problemas relacionados à frenagem são uma das principais áreas de estudo da engenharia ferroviária. O Laboratório Ferroviário da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp tem como principal área de pesquisa o estudo dos processos de frenagem, que envolve os problemas de materiais de atrito e rodas ferroviárias. Para o desenvolvimento destes estudos, foram construídos três dispositivos de ensaios de frenagem, o Dispositivo de Ensaios de Amostras - D.E.A.; a Máquina de Ensaio de sapatas - M.E.S. e o Banco Dinamométrico. O objetivo deste trabalho é apresentar um procedimento para a automação na aquisição de dados e no controle destas máquinas de ensaio e sua integração com os outros equipamentos de medição existentes. Para isto, foi desenvolvido um programa de computador que foi denominado de PROCAD (Programa para Controle e Aquisição de Dados).

Neste trabalho, apresentam-se os conceitos, tipos de comando e formas construtivas dos sistemas de frenagem e algumas de suas aplicações no estudo de frenagem. Seguem-se a descrição da instrumentação eletrônica existente nos dispositivos de ensaio, o programa desenvolvido e a sua utilização. Apresentam-se ainda alguns resultados de ensaios já realizados.

Abstrat

The problems related to braking consist on a mean area of study on railway. Braking processes study is one of mean areas of research at the Engineering Railway Lab at Mechanical Engineer School at State University of Campinas - Unicamp. This includes friction material and railway wheel problems. For the development of this studies, 3 braking test machine were developed : one Sample Test Device (D.E.A.); one Break Shoes Test Machine (M.E.S.) and a Inertia Dynamometer. The objective of this work is to present a procedure to automatize data acquisition and control of braking test machines and the connection of them to other instruments of the Engineering Railroad Lab. For achieving this goal, a computer program called PROCAD (Programa para Controle e Aquisição de Dados) was developed.

Breaking concepts, command types and constructive forms and some of their applications are presented. Friction material and railway wheels are studies. Test Machine for breaking process and material research, existing at Mechanical Engineer School at Unicamp, and their application on the breaking studies are present, too. A description of electronic instrumentation, the program developed and it's usage follows on the job, which is includes by, resultant applications for research considering.

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Sistemas de freios.....	10
2.1 Princípios de funcionamento.....	10
freios de atrito.....	10
Freio elétrico.....	15
Outros tipos de freios.....	16
2.2 Freios ferroviários.....	17
2.3 Rodas ferroviárias.....	21
2.3.1 Problemas em rodas ferroviárias.....	25
2.4 Material de atrito.....	30
3. Ensaios de materiais de atrito.....	34
3.1 Ensaios em campo.....	34
3.2 Ensaios de laboratório.....	36
4 Equipamentos de ensaios de frenagem.....	44
4.1 Dispositivo de Ensaios de Amostra.....	44
4.2 Máquina de Ensaio de Sapatas.....	47
4.3 Banco Dinamométrico.....	49
5 Instrumentação utilizada.....	52
5.1 Medidas de força.....	52
5.2 Medidas de torque.....	57
5.3 Medidas de pressão.....	58
5.4 Medidas de rotação.....	59
5.5 Medidas de temperatura.....	60
5.6 A aquisição de dados.....	63
5.7 O controle de ensaios.....	65
5.8 Armazenamento de dados e apresentação de resultados.....	66
6 O programa desenvolvido.....	69
6.1 Programação de ensaios.....	78
6.1.1 Programação de ciclos.....	80

6.1.2 Programação de relés.....	82
6.1.3 Programação de sinais.....	83
6.1.4 Programação de gráficos.....	86
6.1.5 Geração de arquivo definitivo e verificação de programação.....	87
6.1.6 Verificação de configuração anterior.....	89
6.2 Execução de ensaios.....	89
6.2.1 Verificação de sinais.....	90
6.2.2 Teste do sistema de aquisição e do plotter.....	91
6.2.3 Realização de novo ensaio.....	93
6.2.4 Continuação de ensaios interrompido.....	95
6.2.5 Medidas de material de atrito e análise de ensaio.....	96
6.3 A sistemática de apresentação de resultados.....	96
6.3.1 Alteração de apresentação de parâmetros de sinais.....	97
6.3.2 impressão de relatórios e gráficos.....	97
6.3.3 Geração de arquivo ASCII.....	98
7. Resultados de ensaio.....	99
8. Comentário e conclusões.....	104
9. Bibliografia.....	108
Apêndice A.....	I
Apêndice B.....	XX
Apêndice C.....	XXIII
Apêndice D.....	XXV
Apêndice E.....	XXVIII
Apêndice F.....	XXX
Apêndice G.....	XXXIII
Apêndice H.....	XLI

Lista de figuras

Fig 2.1 Freios simplex e seus componentes	12
Fig 2.2 Freios a disco de cliper dos tipos fixo, flutuante e punho	13
Fig 2.3 Conjunto motriz de uma locomotiva diesel elétrica	16
Fig 2.4 Freio a ar direto	18
Fig 2.5 Freio automático	19
Fig 2.6 Válvula de freio ferroviário FE117	20
Fig 2.7 Regiões de uma roda ferroviária	22
Fig 2.8 Modelamento de aquecimento de roda ferroviária	25
Fig 2.9 Shelling	27
Fig 2.10 Roda fraturada devido a propagação de trincas	28
Fig 2.11 Acidentes decorrentes de fratura de roda	29
Fig 4.1 Foto do Dispositivo de Ensaio de amostra	46
Fig 4.2 Sistema pneumático do Dispositivo de ensaio de Amostra	47
Fig 4.3 Foto da Máquina de Ensaio de Sapatas	48
Fig 4.4 Sistema pneumático da Máquina de Ensaio e Sapatas	49
Fig 5.1 Esquema de ligação dos instrumentos para aquisição de dados e controle dos ensaios	53
Fig 5.2 Ponte de Wheatstone	55
Fig 5.3 Corrente de Seebeck	61
Fig 5.4 Tensão de Seebeck	61
Fig 5.5 A) Coeficiente de Seebeck x Temperatura ; B) Tensão de Seebeck x Temperatura	62
Fig 5.6 Painéis frontal e traseiro de sistema de aquisição de dados e controle	65
Fig 6.1 Menu principal do Procad	76
Fig 6.2 Fluxograma geral do PROCAD	77
Fig 6.3 Tela do Procad mostrando matriz de configuração de ciclos	81
Fig 6.4 Tela do Procad mostrando a programação de relés	83
Fig 6.5 Tela do Procad mostrando a tela de programação de sinais	84
Fig 6.6 Gráfico produzido de acordo com os dados da tabela 6.2	89

Fig 6.7 Tela do Procad mostrando a verificação de sinais de um determinado tipo de ensaio	91
Fig 6.8 Tela do Procad mostrando teste do sistema de aquisição de dados	92
Fig 6.9 Tela do Procad após o usuário ter verificado todos os equipamentos listados pelo programa	95
Fig 7.1 Resultados do ensaio E95152.ENS	101
Fig 7.2 Relatório do ensaios E95152.ENS - parte 1	102
Fig 7.3 Relatório do ensaios E95152.ENS - parte 2	103

Lista de tabelas

Tabela 2.1 Parâmetros de modelamento de roda ferroviária em Ansys 5.0	24
Tabela 3.1 Principais ensaios físico-químicos dos materiais de atrito	36
Tabela 3.2 Velocidades de parada constantes na norma A.A.R. - M 926 - 92	42
Tabela 3.3 Intervalos de distâncias de parada para os ensaios com aplicação leve segundo a norma A.A.R. - M 926 - 92	42
Tabela 3.4 Intervalos de distâncias de parada para os ensaios com aplicação pesada segundo a norma A.A.R. - M 926 - 92	43
Tabela 6.2 Canais do sistema de aquisição e respectivos dispositivos de ensaio conectados	85
Tabela 6.3 Dados de programação de eixos de gráficos no PROCAD	88

Lista de Abreviações

AAR - Association of American Railroads

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CVRD - Companhia Vale do Rio Doce

DEA - Dispositivo de Ensaio de Amostras

FEM - Faculdade de Engenharia Mecânica

FEPASA - Ferrovias Paulistas Sociedade Anônima

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

MES - Máquina de Ensaio de Sapatas

PROCAD - Programa para Controle e Aquisição de Dados

1. Introdução

As ferrovias são um dos meios mais baratos de transporte, e como tal, desempenham um importante papel econômico. Esta importância é reconhecida principalmente nos países onde lhe é dada a devida prioridade. A maioria das ferrovias no Brasil, com algumas exceções, passou por um processo de sucateamento ao longo das últimas décadas. Ultimamente, principalmente com as privatizações, se vislumbra uma mudança na situação atual, com novos investimentos e conseqüente necessidade de melhoramento tecnológico. Neste contexto, torna-se ainda mais importante as pesquisas ligadas às ferrovias.

As ferrovias, tanto no Brasil como no exterior, apresentam problemas típicos, dentre estes estão os relacionados às frenagens. Este trabalho é parte das pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório Ferroviário da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp, que tem sua área de atuação ligada às frenagens ferroviárias, com ênfase aos materiais de atrito e às rodas ferroviárias.

As pesquisas em rodas ferroviárias normalmente se concentram em identificar as causas e encontrar soluções para problemas que acabam por tornar necessária a retirada de serviço de um alto número de rodas antes que elas causem danos aos veículos e à via permanente. É importante identificar o momento exato no qual as rodas devem ser substituídas, independentemente dos motivos desta troca. A retirada prematura eleva desnecessariamente os custos e a tardia aumenta os riscos de acidentes (BRAGA et alii, 1994). As pesquisas sobre rodas, (SANTOS, 1992) de maneira geral, também se relacionam a identificação de geometrias e propriedades mecânicas que aumentem a sua vida útil com segurança e diminua os custos de manutenção (LEARY, 1990) (SHARSKI, 1986). Além disto, estão ligadas aos materiais de atrito, pois grande parte dos problemas com as rodas são decorrência de frenagens.

Para controle de qualidade dos materiais de atrito, são feitos testes para determinação de características físico-químicas, bem como ensaios de desempenho.(SANTOS, 1992)

(PAIXÃO, 1984) Estes últimos podem ser feitos em campo ou em laboratório. Quer sejam normatizados ou não, os ensaios de desempenho realizados em laboratório (SAE, 1971) (A.A.R., 1992) (ABNT, 1985) necessitam de dispositivos específicos para sua execução. No Brasil não existe um banco dinamométrico, que é um equipamento necessário para a execução dos ensaios M926-92 (A.A.R., 1992) do tipo recomendado pela Association of American Railroads, A.A.R., para os ensaios de sapatas de freio ferroviário. Este banco deve ser dotado de inércias mecânicas capazes de simular a energia de movimento de um veículo. Os ensaios realizados atualmente no país, quando executados, ou são ensaios de campo ou valem-se de corpos de prova, que nem sempre retratam os valores reais. Há que se notar que a Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, não trata de valores específicos de coeficiente de atrito para aceitação ou rejeição de material, sendo que há muita discussão a este respeito. As empresas continuam preferindo as normas preconizadas pela A.A.R..

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, IPT, possui um equipamento, de instalação relativamente recente, apto a realizar ensaios em real grandeza, mas que não é dotado de um sistema de volantes de inércia, sendo esta simulada através de controles eletrônicos do torque fornecido pelo motor do equipamento.

Visando suprir esta lacuna, a Unicamp, através de seu Laboratório Ferroviário, tem se empenhado na construção de três equipamentos dedicados à realização dos ensaios necessários à determinação das características dinâmicas dos materiais de atrito: um Dispositivo de Ensaio de Amostras (D.E.A) - em operação; uma Máquina de Ensaio de Sapatas (M.E.S.) - em operação; e um Banco Dinamométrico - em fase final de construção - que possui inércias mecânicas e atende as especificações da A.A.R.

Estes três equipamentos, por se destinarem à pesquisa e à prestação de serviços, não podem ser dedicados a um tipo exclusivo de ensaio, como são os normalmente empregados na indústria. Devem ter flexibilidade suficiente para fazer ensaios normatizados, respeitando as determinações das respectivas normas, como também devem permitir que pesquisadores possam livremente determinar novos tipos de ensaios ou alterar os parâmetros de execução dos existentes.

A indústria normalmente possui máquinas dedicadas, já compradas prontas e pré-programadas (quando há algum tipo de programa), possuindo características específicas para atender a determinada norma técnica. Os equipamentos mais modernos são dotados de Controladores Lógicos Programáveis (C.L.P.) que são responsáveis pelo controle dos ensaios. Estes controladores, como o próprio nome indica, possuem um programa em sua memória responsável pela lógica da operação do equipamento. Teoricamente, podem ser reprogramados a cada ensaio diferente, mas este é um processo que requer um certo grau de especialização técnica.

Para a indústria, a flexibilidade de execução de ensaios diferentes em uma mesma máquina não é uma característica importante, pois sempre necessita tipos específicos de ensaios para caracterizar o material produzido e, dado o alto volume de produção, as máquinas existentes já são ocupadas durante a maior parte do tempo no mesmo tipo de ensaio.

As características das máquinas comerciais de ensaios não satisfazem as necessidades de um laboratório de pesquisa, pois seu objetivo não é fazer repetitivamente tipos específicos de ensaios para controle de lotes diferentes saídos de uma linha de produção.

No meio acadêmico, são pesquisadas características de materiais de atrito e suas influências nos componentes dos freios, bem como os próprios componentes. Há a necessidade de se testar tipos diferentes de ensaios, pois os estudos desenvolvidos em uma pesquisa podem ser direcionados, inclusive, para verificar se determinado tipo de ensaio realmente atende as necessidades das indústrias. O pesquisador deve ter a liberdade de criar ensaios segundo padrões que lhes seja adequados.

O trabalho desenvolvido durante esta dissertação de mestrado visa dar ao Laboratório Ferroviário flexibilidade e facilidade de utilização dos seus equipamentos de ensaios de frenagem. Para isto foi feita a integração dos instrumentos eletrônicos de aquisição de dados e

controle por meio de um programa de computador, permitindo que todos os equipamentos possam operar conjunta e harmonicamente.

Este programa foi desenvolvido com uma interface amigável ao usuário, evitando que este necessite configurar manualmente a maioria dos equipamentos, especialmente o sistema de aquisição de dados e controle. Se optou pela utilização de um sistema de aquisição de dados e controle por meio de cartões de reles e fontes de alimentação programáveis, ao invés de C.L.P., dada a frequência de realizações de ensaios diferentes, com conseqüente necessidade de reprogração dos padrões de aquisição de dados e controle. Além disto, há a necessidade de análise de resultados e emissão de relatórios, o que não é possível utilizando-se um C.L.P.

Para se realizar um ensaio, é necessário o controle de parâmetros como forças de frenagem (força normal à sapata e força de atrito) e tempos de aplicação e alívio dos freios das máquinas de ensaios, bem como o registro das grandezas que se deseja medir.

Nos ensaios executados no Laboratório Ferroviário anteriormente a este trabalho, o controle dos tempos de aplicação e alívio dos freios era feito por um gerador de funções, que criava uma onda quadrada onde os sinais altos correspondiam às aplicações e os sinais baixos ao alívio dos freios. Havia a necessidade de se monitorar a onda em um osciloscópio para garantir a adequação de seu formato, pois era freqüente a necessidade de ajustes no gerador de funções. Dada as dificuldades técnicas, não era possível se criar qualquer combinação de tempos de aplicação e alívio dos freios, limitando a utilização das máquinas de ensaios de frenagem a alguns tipos de ensaios cíclicos, ou seja, que repetiam os tempos de aplicação e alívios dos freios. Não seria possível, por exemplo, a simulação de uma viagem de um veículo ferroviário por um trecho de determinada via.

Este método de controle se mostrou inadequado, pois além das limitações já citadas, implicava em reajustar o gerador de funções a cada novo tipo de ensaio a ser feito, perdendo-se todo o trabalho de regulagem para um tipo anterior, o que era relativamente lento e trabalhoso, prejudicando a produtividade. Além disto, pequenas diferenças no comprimento

recorrer a fotocópias, com possível perda de qualidade. A criação de um banco de dados com o histórico dos resultados obtidos se torna um processo trabalhoso e de difícil manipulação. Além disto, a inércia mecânica das penas do registrador pode mascarar resultados.

Normalmente, para cada ensaio realizado, se deseja informações diferentes, como número de pontos de medição de temperaturas. O emprego de registradores implicaria em mudanças em ligações elétricas a cada ensaio, aumentando as probabilidades de falhas, acidentes e perda de informações. Além disto, seria necessário regular suas escalas, para ajustar o deslocamento da pena em função da tensão elétrica de resposta do transdutor, a cada ensaio diferente do anteriormente executado.

A solução encontrada para dar às máquinas de ensaio a flexibilidade necessária, facilitar sua utilização, aumentar a produtividade e a segurança, diminuir ou eliminar a probabilidade de erros no controle das máquinas, na execução de ensaios e na obtenção e registro dos resultados e integrar os equipamentos de medida e de controle a um Sistema de Aquisição de Dados e Controle (modelo HP3852A), foi desenvolver um programa para a aquisição de dados e o controle automático dos ensaios de frenagem que integrasse o próprio sistema de aquisição de dados a um computador. Este programa foi denominado de PROCAD (Programa para Controle e Aquisição de Dados).

Este programa foi desenvolvido como uma ferramenta de trabalho do usuário das máquinas de ensaios do Laboratório Ferroviário, tornando a execução de ensaios mais fácil e menos sujeita a falhas. Com ele, não é necessário se alterar ligações elétricas para se efetuar ensaios com diferentes formas, nem ajustar ou regular quaisquer equipamentos. Com um mesmo programa, é possível se executar ensaios diferentes, sendo necessário a especificação de suas características somente por ocasião de sua primeira execução. Isto permite que o pesquisador se concentre na análise dos resultados, que em última instância é o que lhe interessa, e não na execução em si do teste, que por sinal pode ser agora feita por um técnico.

O controle das aplicações e alívios dos freios não é mais feito por um gerador de funções e sim por relés. A pressão pneumática e conseqüentemente a força de aplicação dos

freios é controlada por sinais analógicos. Ambos, os relés e os sinais analógicos, são comandados pelo programa desenvolvido.

A aquisição de dados é feita pelo computador, utilizando um sistema de aquisição de dados, que será apresentado no capítulo 5. Como os dados são armazenados no disco rígido do computador, se obtém uma maior precisão dos dados obtidos, bem como sua reprodução a qualquer tempo, eliminando os inconvenientes de se ter os dados exclusivamente em registros sobre papel.

Esta dissertação, antes de descrever propriamente o PROCAD, objetiva também mostrar o seu funcionamento e os resultados de ensaios realizados com ele, apresenta os conceitos, os tipos de comando, as formas construtivas dos sistemas de frenagem e algumas de suas aplicações. Dos componentes dos sistemas de freio, são estudados os materiais de atrito e as rodas ferroviárias. São mostrados os dispositivos de ensaios existentes na F.E.M., suas aplicações no estudo de frenagem e a descrição da instrumentação eletrônica existente nas máquinas de ensaio.

Detalhando o parágrafo anterior, o próximo capítulo identifica os princípios de funcionamento e tipos de comando dos principais sistemas de freios e mostra as aplicações rodoviárias e ferroviárias. Dentro deste mesmo capítulo, as atenções se voltam para os dois componentes dos freios ferroviários que são objeto de estudo do laboratório : as rodas ferroviárias e o material de atrito.

Na parte referente às rodas, procede-se uma breve explanação sobre seu aquecimento durante a frenagem. Mostra-se um modelamento de roda para elementos finitos, utilizando-se o programa ANSYS 5.0, e o resultado do aquecimento após uma frenagem de 45 min e cita-se os principais problemas de origem térmica.

Posteriormente detalha-se as características desejáveis dos materiais de atrito, seus elementos constituintes e suas influências no comportamento das sapatas e pastilhas de freio. Descreve-se os ensaios de materiais de atrito, o ensaio que se realiza em campo, e os

principais ensaios de laboratório. Estes últimos se dividem em dois tipos, os empregados para determinação de características físico-químicas e os de desempenho. Os ensaios de desempenho são normalmente empregados na indústria para controle de qualidade e valem-se de máquinas dedicadas a cada tipo diferente de ensaio.

São apresentados os equipamentos de ensaio do Laboratório Ferroviário, o Dispositivo de Ensaio de Amostras, a Máquina de Ensaio de Sapatas e o Banco Dinamométrico, identificando-se as principais características técnicas destes equipamentos.

Após os equipamentos de ensaio, são mostradas as principais grandezas, como força, pressão, torque e temperatura, medidas durante os ensaios de frenagem efetuados com equipamentos descritos, bem como são apresentados os instrumentos utilizados e suas interligações.

No capítulo referente ao Programa de Aquisição de Dados e Controle - PROCAD, são detalhadas as partes referentes à programação de ensaios, sua execução com aquisição e controle simultâneos e a apresentação de resultados.

Em “Resultados de ensaios”, são apresentados resultados de um ensaio executado utilizando-se o PROCAD. Foram selecionados 12 ensaios de mais de 250 já executados, que são representativos das muitas finalidades e todos utilizando o mesmo programa, sendo que 11 deles são mostrados em apêndices.

São apresentados comentários e conclusões a cerca do trabalho desenvolvido, com suas características favoráveis, restrições e sugestões de futuras possibilidades de expansão.

Finalmente, no apêndice A mostram-se os fluxogramas de cada opção existente no menu principal. a partir do qual o usuário tem acesso às potencialidades do PROCAD.

Nos apêndices B até H são apresentados alguns resultados de ensaios realizados com a utilização do PROCAD.

2. Sistemas de freios

Os sistemas de freios classificam-se segundo critérios como finalidade, princípios de funcionamento, modos de acionamento e formas construtivas. Podem ser adotados ainda outros critérios complementares, como as aplicações por tipos de veículos ou equipamentos nos quais são instalados.

Conforme as finalidades, os sistemas de freios podem ser divididos em três tipos básicos : de controle de velocidade, de parada e de estacionamento. Há sistemas que podem ter mais de uma função.

2.1 Princípios de funcionamento

A grande maioria dos sistemas de freios de veículos terrestres baseiam-se na utilização de forças de atrito para a conversão da energia cinética em térmica ou no emprego de equipamentos que convertem a energia cinética em elétrica nos processos de frenagem. Este último item será visto no tópico referente aos freios elétricos. Há outros tipos diferentes, como os que utilizam as forças geradas em um motor a combustão interna, todavia, este trabalho se concentrará nas áreas de estudo relacionadas aos freios ferroviários de atrito.

Freios de atrito

Nos freios de atrito, a energia cinética do veículo é convertida em energia térmica pela fricção de um material de atrito contra um elemento girante, controlando o movimento deste último. O elemento girante normalmente constitui-se dos discos e dos tambores de freio.

A energia cinética de um corpo é decorrente dos movimentos de rotação e translação. Em um veículo em movimento, predomina a energia devido à translação, embora em alguns tipos, principalmente os veículos ferroviários, a parcela correspondente a movimentos de rotação de partes girantes, rodas e eixos, também deva ser considerada.

As principais formas construtivas do freio de atrito são os freios a tambor, a disco e a disco-tambor.

Os freios a tambor são caracterizados pelo atrito do material de fricção contra um tambor de freio. Esta classificação inclui diferentes formas construtivas de sistemas mecânicos, que podem ser subdivididos em dois tipos básicos : o freio a tambor de sapatas internas, onde estas são comprimidas contra as paredes internas dos tambores de freio e o freio a tambor de sapatas externas, onde a compressão se dá contra as paredes externas do tambor.

Os principais tipos de construção de freio a tambor de sapatas internas são : simplex, duplex, twinplex, uni-servo e duo-servo. Cada um deles é utilizado baseando-se nas características como direção de movimento, capacidade do freio, tipo de acionamento e custos.

O freio simplex é composto de duas sapatas dispostas com simetria vertical e apoiadas em pinos independentes. Uma das sapatas, dependendo do sentido de rotação do tambor, é energizada, ou seja, a própria força de atrito contribui para pressioná-la mais contra o tambor, ocorrendo o fenômeno do auto-acionamento, o que não acontece com a sapata não energizada. O freio duplex possui ambas as sapatas energizadas para um dado sentido de rotação do tambor e nenhuma no sentido inverso. No freio twinplex, dois cilindros hidráulicos de duplo sentido, dispostos simetricamente, aplicam a mesma força nos dois lados de cada sapata, que são energizadas independentemente do sentido de rotação. Nestes sistemas de freios, a energização se dá pela força do pistão hidráulico.

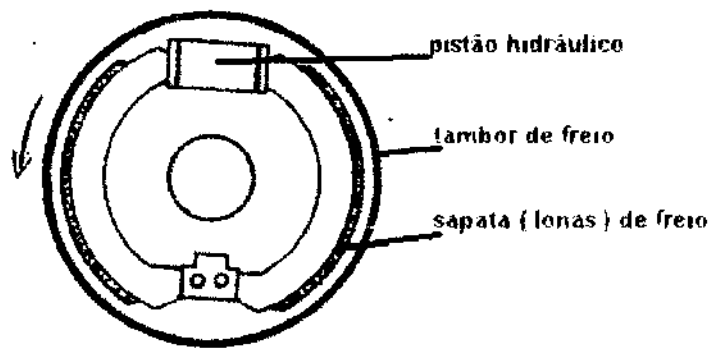


Figura 2. 1 Freios simplex e seus componentes

O freio uni-servo baseia-se na ação de uma sapata sobre a outra durante o processo de frenagem, ocasionando o auto-acionamento o que se convencionou chamar de efeito servo. Neste tipo de construção, tal efeito servo está presente em somente um sentido de rotação do tambor. O efeito servo é distinto dos sistemas de acionamento com auxílio de vácuo oriundo do coletor de admissão dos motores, que são conhecidos vulgarmente como *Servo-Freio*. Nos freios duo-servo, há o efeito servo em quaisquer dos sentidos de rotação do tambor de freios

A exemplo dos freios de sapatas internas, os freios de tambor com sapatas externas são empregados para qualquer uma das finalidades de redução de velocidade, estacionamento e de segurança. Um exemplo de freio de sapatas externas é o freio ferroviário de sapatas. Neste caso as sapatas são pressionadas contra a pista de rolamento das rodas e estas acabam funcionando como tambor de freio.

Já os freios a disco se caracterizam pelo fricção do material de atrito - as pastilhas de freio - contra discos de freio. São utilizados duas pastilhas em cada disco, uma de cada lado.

Os discos podem ser simples, ventilados ou duplos ventilados. Este sistema de freio se divide basicamente em três tipos : com cáliper fixo, flutuante e tipo punho. O cáliper também é conhecido como “pinça de freio” ou “cavalete”.

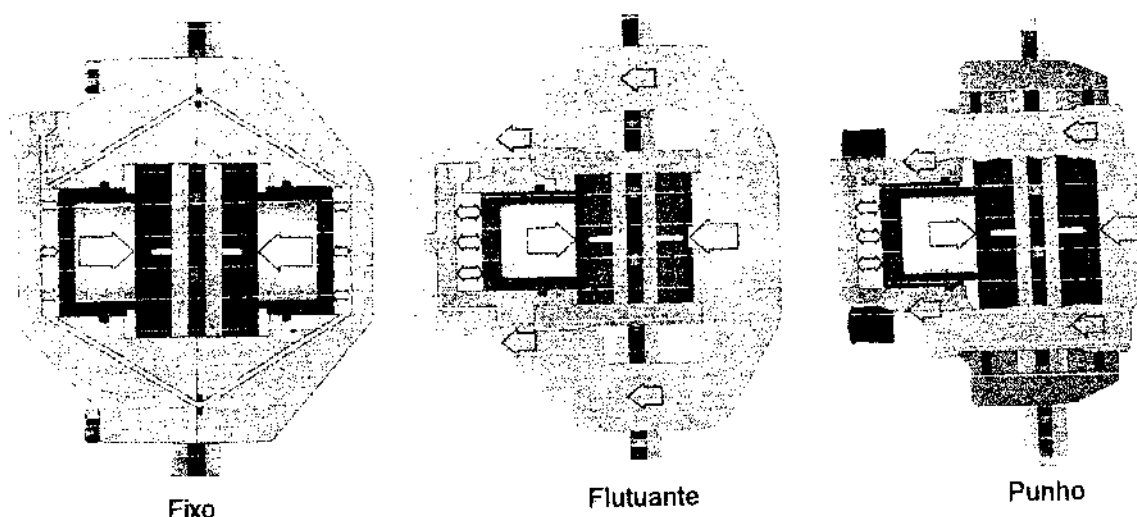


Figura 2. 2 Freios a disco de câliper dos tipos fixo, flutuante e punho.

No câliper fixo, dois pistões hidráulicos idênticos pressionam cada uma das pastilhas contra o disco de modo independente, embora com a mesma força. Ambos se apoiam no câliper que permanece fixo.

No câliper flutuante, um único cilindro de freio, ao ser acionado, comprime a pastilha no disco. A reação da força aplicada no disco impele a parte superior do câliper a se deslocar no sentido oposto ao movimento do êmbolo. Quando este se desloca, a pastilha do lado oposto encosta no disco e aplica sobre este a mesma força que a primeira.

O câliper tipo punho tem o mesmo princípio de funcionamento do câliper flutuante, sendo um melhoramento deste último, porém se diferencia pela possibilidade de aceitar pistões com diâmetros maiores e pastilhas com área de contato com o disco também maiores.

O freio disco-tambor é um sistema que combina, em uma única unidade, um freio a disco e um a tambor. O freio a tambor das rodas traseiras possibilita a frenagem de estacionamento bem como a de controle ou diminuição de velocidade. A adoção de freio a disco nas quatro rodas de um veículo, como se verá neste mesmo capítulo, exigiu a construção do sistema disco-tambor para possibilitar também a frenagem de estacionamento.

Neste sistema, mais recente, o mesmo conjunto possui um freio a disco convencional para as frenagens de controle e diminuição de velocidade e um freio a tambor de sapatas internas utilizado nas frenagens de estacionamento, acionado por um sistema convencional de alavanca e cabo de aço. O cubo do disco é, ao mesmo tempo, o tambor de freio.

Os principais sistemas de acionamento de freios de atrito são : o hidráulico, o hidro-vácuo, o pneumático, o eletromagnético e o mecânico.

Os sistemas hidráulicos utilizam um fluido especial, oleoso, para a transmissão da força necessária à compressão do material de atrito. Nestes sistemas, um cilindro primário, ou principal, conhecido como cilindro mestre, é acionado pela haste do pedal de freio. A ação de um pistão interno localizado no cilindro mestre pressuriza o fluido de freio, que uma vez sob pressão, aciona o pistão hidráulico responsável pela compressão do material de atrito contra o elemento girante do freio.

Os sistemas hidráulicos modernos, utilizados em veículos rodoviários, possuem mecanismos que aumentam a força exercida no cilindro mestre pela haste de freio. Para isto aproveitam o *vácuo* (pressão menor do que a atmosférica) existente no coletor de admissão do motor. São denominados sistemas hidro-vácuo ou servo-freio.

O servo-freio possui uma câmara com diafragma ligado à haste do pedal de freio. Quando os freios não estão aplicados, há vácuo dos dois lados do diafragma. Ao pisar no pedal de freio, uma válvula libera a passagem de ar atmosférico para um dos lados do diafragma, criando uma diferença de pressão que gera uma força no mesmo sentido da exercida pelo motorista e que se soma a ela. Isto diminui o esforço do motorista e proporciona um aumento do conforto e da segurança. Em veículos que possuem compressor de ar, o servo pode valer-se de uma linha de alta pressão para gerar o gradiente de pressão desejado no diafragma.

Os freios pneumáticos utilizam ar comprimido para gerar a força necessária à compressão do material de atrito contra o tambor ou disco de freios. Constituem-se

basicamente de compressor de ar, reservatórios para a armazenagem do ar comprimido, válvulas e câmaras ou pistões pneumáticos. Ao se aplicar os freios, as válvulas liberam o ar comprimido contido nos reservatórios para os pistões ou câmaras pneumáticas, que ao se movimentarem, acionam os tambores de freios.

Um exemplo de freios eletromagnéticos são os freios magnéticos de trilhos que são empregados em alguns tipos de trens. Neles, cada truque pode ter 2 ou 4 unidades de freios magnéticos. Constituem-se de bobinas que, quando energizadas, são atraídas em direção aos trilhos. Possuem em sua parte inferior placas de atrito, ou sapatas, que atritam com os trilhos e geram uma força em sentido contrário ao movimento do trem, forçando a diminuição da velocidade do veículo.

O freio de acionamento mecânico foi o primeiro sistema utilizado em veículos. Utiliza cabos de aço ou barras para o acionamento dos freios. Atualmente são empregados como freios de estacionamento. Nos veículos rodoviários utiliza-se cabos de aço e nos veículos ferroviários utiliza-se uma corrente. Aplicam-se apenas para freios a tambor, não sendo possível uma utilização em freios a disco.

Freio elétrico

Embora haja outros tipos, (VALGHAIN, 1979) as locomotivas atualmente em uso são basicamente diesel-elétricas ou puramente elétricas. Nas diesel-elétricas, um motor a diesel movimenta um gerador elétrico que produz a eletricidade necessária aos motores de tração. Nas puramente elétricas, a energia para os motores de tração é captada diretamente da rede eletrificada que está localizada ao longo da via férrea.

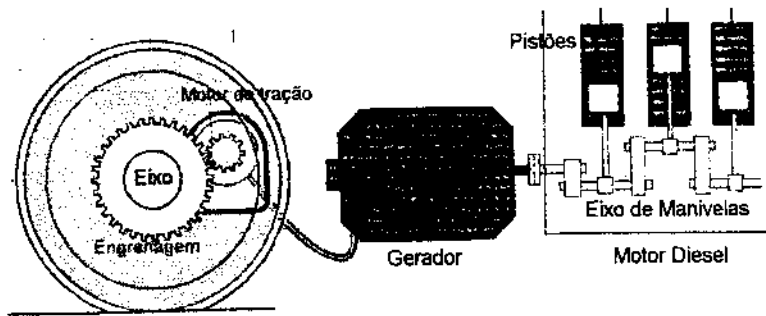


Figura 2.3 Conjunto motriz de locomotiva diesel-elétrica

A figura 2.3 mostra um desenho esquemático do conjunto motriz de uma locomotiva diesel-elétrica.

Os motores elétricos, enquanto utilizados como tal, fazem uma conversão de energia, no caso da elétrica para mecânica. Todavia, eles podem ser operados como geradores elétricos, ou seja, transformar energia mecânica em elétrica. Sendo a energia mecânica, para o caso de uma locomotiva, a sua própria energia de movimento, tem-se então um sistema de freio pois este consome a energia de movimento do veículo.

Para a conversão do motor em gerador, para que ele possa atuar como freio, são feitos chaveamentos nas ligações internas do motor, passando-o de campo série para campo independente. Foge ao escopo deste trabalho o detalhamento de um motor e de um gerador elétrico e de suas ligações.

Outros tipos de freio

Existem inúmeros tipos diferentes de freios, se considerarmos como tais todos os sistemas de transformação da energia de movimento em outro tipo de energia. Por este critério, os flaps em aeronaves, os pára-quedas, podem ser considerados como freios que funcionam modificando o coeficiente de penetração aerodinâmica. A reversão de turbinas feitas por uma aeronave logo após o pouso, bem como os retro-foguetes em espaçonaves são também exemplos de freios.

Dentre os tipos mais comuns, destaca-se um de aplicação primordialmente rodoviária, o freio motor. Consiste basicamente no fornecimento de forças exigidas pelo motor do veículo para se manter em movimento, após o corte no fornecimento de combustível e restrição à saída de gases das câmaras de combustão por válvula tipo borboleta. Esta restrição gera um maior esforço dos pistões do motor nos ciclos de exaustão. As forças fornecidas ao motor são oriundas da energia de movimento do veículo, o que torna o motor um dissipador desta energia e portanto um freio.

Sua utilização restringe-se ao controle de velocidade e se dá em veículos pesados como auxiliar do freio de atrito, poupando este último em aplicações prolongadas onde as altas temperaturas geradas pelo atrito são prejudiciais ao seu desempenho. No freio motor, não há atrito entre um elemento girante e um material de fricção.

2.2 Freios ferroviários

Nos veículos ferroviários anteriores a 1870, um dos fatores que limitou a ampliação da capacidade de carga e velocidade foi a inexistência de um sistema seguro e eficaz de frenagem. Evidentemente que os freios são apenas um dos limitantes, não devendo ser desprezados os outros aspectos tecnológicos. Até então era necessário que os guarda-freios corresse por cima de todos os vagões e aplicassem os freios de mão todas as vezes que se quisesse parar o trem. Os acidentes, apesar da baixa velocidade, eram constantes.

Em 1869, George Whestinghouse, influenciado por um artigo que relatava a utilização, em minas européias, de perfuradoras a ar comprimido canalizado a longa distância em mangueiras, concebeu o que viriam a ser os modernos freios de acionamento pneumático.

O primeiro equipamento consistia em um compressor movido pelo vapor gerado na caldeira da locomotiva, um reservatório de ar comprimido e um manipulador (válvula de três vias) também na locomotiva e cilindros de freio nos vagões. Quando o maquinista desejava aplicar os freios, acionava o manipulador ligando o reservatório de ar ao cilindro de freio.

Este, ao ser pressurizado, comprimia a sapata de freio contra a roda, freando-a. Para aliviar o freio, interrompia esta ligação e colocava o cilindro de freio em contato com a atmosfera, depressurizando-o e aliviando os freios. Este primeiro sistema ficou conhecido como freio a ar direto e é mostrado esquematicamente na figura 2.4.

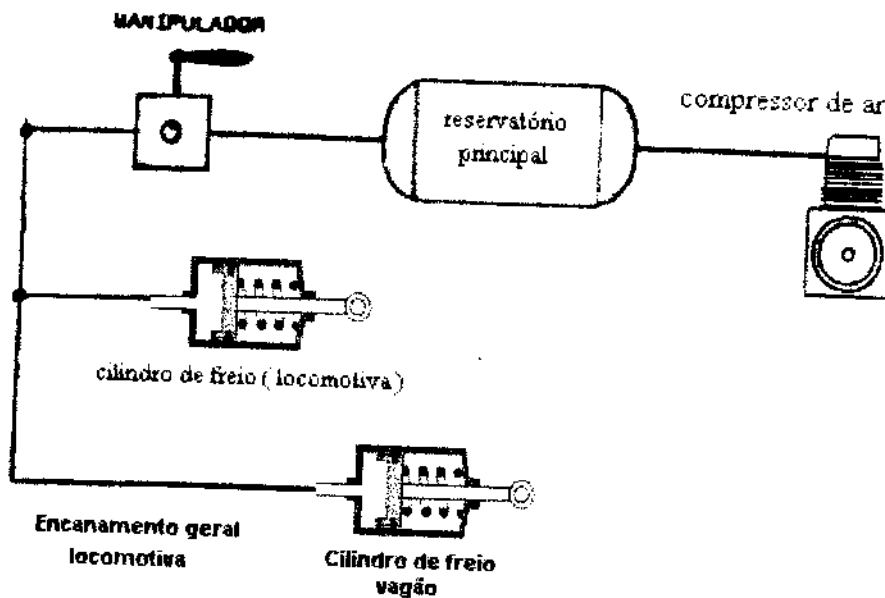


Figura 2.4 Freio a ar direto

Este projeto foi gradativamente sendo melhorado, primeiramente na locomotiva e posteriormente nos vagões, pois originalmente o rompimento das mangueiras implicava na perda total da capacidade de frenagem. Introduziram-se posteriormente os sistemas automáticos, mostrados esquematicamente na figura 2.5, que são assim conhecidos porque a perda de pressão do sistema (vazamentos, rompimentos ...) acarreta o acionamento dos freios.

Nos freios automáticos, cada vagão possui seu próprio reservatório de ar comprimido e uma válvula tríplice, assim denominada por comandar o carregamento deste reservatório, a aplicação e o alívio dos freios.

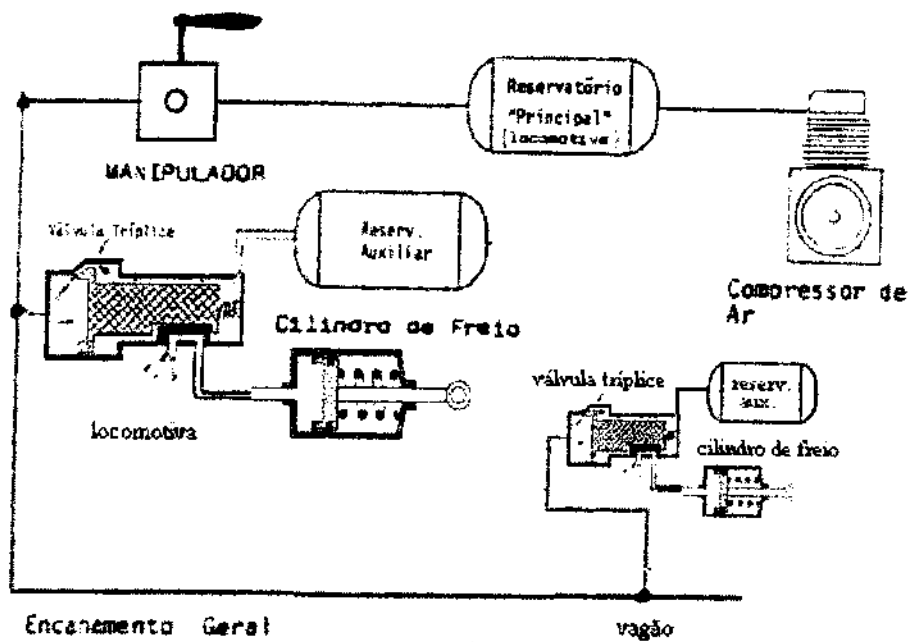


Figura 2. 5 Freio automático

As etapas de frenagem iniciam-se com a pressurização do encanamento geral que liga a locomotiva aos vagões. A válvula triplice carrega os reservatórios dos vagões com o ar comprimido oriundo do encanamento geral. Ao término do carregamento, a válvula triplice isola o reservatório do encanamento geral. Esta etapa é feita com o trem parado.

Na frenagem, a pressão do encanamento geral é reduzida e a válvula triplice libera o ar armazenado nos reservatórios de cada vagão para os respectivos cilindros de freio, ou seja, estes não mais dependem do ar do encanamento geral no momento exato da frenagem e sim do previamente armazenado.

No alívio dos freios, o encanamento geral tem novamente a pressão aumentada e a válvula triplice libera o ar dos cilindros de freios para a atmosfera e recarrega os reservatórios com o ar do encanamento geral.

Os freios automáticos continuam sendo usados até hoje, embora tenham recebido inúmeros avanços. A figura 2.6 é de uma válvula de freio atual, cujo projeto originou-se da válvula triplice.

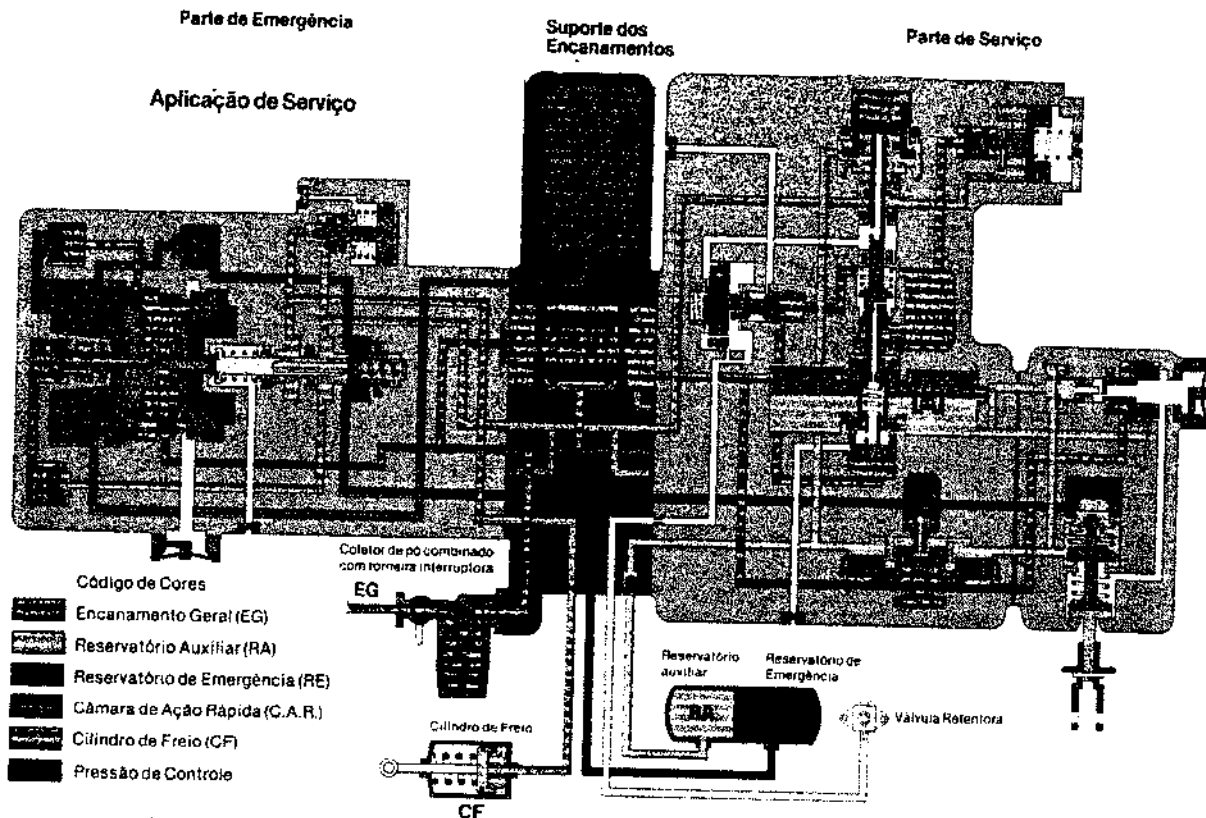


Figura 2. 6 Válvula de freio ferroviário FE 117

A figura da válvula de freio FE117 mostra o suporte dos encanamentos, onde são conectadas as partes de serviço e de emergência. A parte de serviço é responsável pelas frenagens normais (de serviço) e a de emergência atua conjuntamente com a de serviço nas frenagens de emergência aumentando a pressão no cilindro de freio.

Além das frenagens por atrito, há também a frenagem elétrica, onde a energia cinética do veículo é convertida em energia elétrica. Geralmente a energia gerada é dissipada em um banco de resistências e o sistema é chamado de freio dinâmico ou freio reostático.

Este tipo de freio possui a desvantagem de ter a sua força de frenagem dependente da velocidade da composição, já que para velocidades muito baixas ou muito altas, a energia produzida é pequena. Isto implica em baixa capacidade de frenagem em velocidades extremas. Em locomotivas mais antigas, a força de frenagem máxima se dava por volta de 33 km/h. Algumas mais recentes são dotadas de “freio dinâmico de faixa ampliada”, que conseguem

manter a frenagem máxima desde 90 até aproximadamente 10 Km / h, valores estes para metros e trens de subúrbio (ROZA et alii, 1989a). A principal vantagem deste sistema de freio é atuar como auxiliar dos freios de atrito, diminuindo o seu aquecimento, o que é especialmente importante em frenagens prolongadas.

As principais vantagens do freio dinâmico estão na redução do desgaste das rodas e das sapatas e demais componentes do sistema de freio, o que aumenta os intervalos de manutenção destes itens, redução do aquecimento de rodas, eliminando a necessidade de paradas no fim das rampas prolongadas para resfriamento das rodas, com conseqüente redução do tempo de operação dos trens.

Em casos de locomotivas elétricas, a energia gerada pode ser devolvida a rede de alimentação ao invés de ser dissipada em um banco de resistores e então aproveitada por outra locomotiva.

Este sistema possui praticamente as mesmas características dos freios reostáticos, porém somente podem estar presentes em locomotivas elétricas equipadas com características adequadas. O uso é restrito onde as redes de alimentação possuem características que as possibilitam receber a energia elétrica gerada, ou seja, devem ser redes receptivas.

A economia de energia elétrica gerada pelos uso dos freios regenerativos pode chegar à ordem de 30%. Seu emprego se dá em sistemas de alta demanda como o metrô e os trens de subúrbio.

2.3 Rodas ferroviárias

Nos freios ferroviários de sapatas, as rodas são parte integrante do sistema de freio por serem o próprio tambor de freio, sofrendo diretamente os efeitos das frenagens, tais como o aquecimento e danos mecânicos decorrentes de possíveis travamentos.

As rodas ferroviárias são usualmente fabricadas por forjamento ou fundição e em sua geometria são identificadas diversas regiões como mostradas na figura 2.7

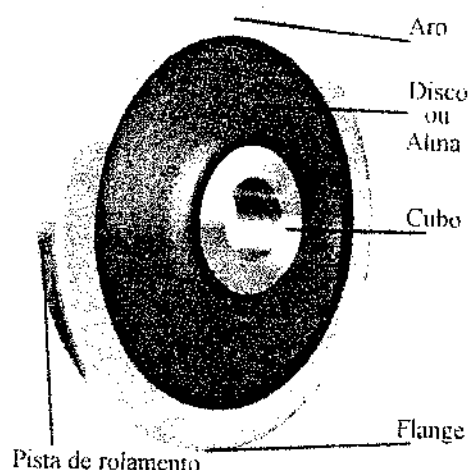


Figura 2. 7 Regiões de uma roda ferroviária

As rodas são um elemento vital em uma composição ferroviária, pois sua falha pode provocar acidentes com expressivos prejuízos financeiros e até com perdas de vidas humanas. Elas devem (LEARY, 1990) possibilitar um desgaste mínimo de si mesmas e do trilho com o qual estão em contato, devem possuir segurança contra descarrilamento, desempenho estável na faixa normal de velocidade dos trens e características de tensão de contato favoráveis.

Além de parte do sistema de freio, são também elementos de apoio e sustentação, recebendo esforços mecânicos devido ao peso do veículo e a sua movimentação. Estes fatores propiciam o aparecimento de uma série de problemas nas rodas.

Os estudos sobre as rodas, somente citando algumas das áreas de estudo, envolvem tanto a identificação dos problemas , como os relacionados a níveis de carregamento e suas causas (WETENKAMP,1987) (WETENKAMP,1992), as tensões internas e suas conseqüências (RODRIGUES, 1994), a fadiga (FERREIRA, 1994a), o superaquecimento, suas causas e conseqüências (RODRIGUES et alii, 1985) (SANTOS, 1995), como a obtenção de novos modelos construtivos (LEARY, 1990) (SHARSKI, 1986).

Como parte dos esforços de obtenção de novos modelos, destaca-se a mudança efetuada pela A.A.R. no contorno das rodas (LEARY, 1990), abandonando o perfil de banda de rodagem de roda cônico 1:20, que originou-se de uma versão padronizada em 1928. O modelo atualmente adotado, o A.A.R.-1B, é obrigatório desde 01 / set / 1990 para todas as rodas novas colocadas sob veículos que trafegam pelas ferrovias da América do Norte. As pesquisas para obtenção deste novo modelo se basearam no perfil de rodas desgastadas e em modelos que assegurassem ponto único de contato roda-trilho.

Além de alterações no aro, tem-se sugerido (SHARSKI, 1986) modificações no disco da roda, visando novos perfis que suportem melhor as tensões residuais e variações dimensionais oriundas dos gradientes térmicos existentes após as frenagens.

Tensões residuais de compressão no aro da roda, especialmente na superfície de rolamento (FERREIRA, 1994a), são induzidas em uma roda nova pelos tratamentos térmicos e processos de usinagem existentes durante a sua fabricação. A indução proposital destas tensões de compressão tem o objetivo de evitar o surgimento de trincas e sua propagação em serviço.

Além das tensões induzidas pelo fabricante, pode-se destacar como geradores de tensões internas (RODRIGUES et alii, 1985) o processamento da roda para a prensagem ou a própria operação de prensagem no eixo do rodeiro, as cargas mecânicas (estáticas e dinâmicas) pertinentes ao próprio veículo, as operações de usinagem intermediárias, isto é, usinagens para restabelecer o contorno do aro de uma roda de várias vidas e as elevadas cargas térmicas introduzidas pelas frenagens prolongadas, pelas frenagens de emergência, por defeitos nos equipamento de freio, ou ainda, por utilização inadequada dos freios.

A determinação do sentido das tensões residuais é importante no estudo das rodas ferroviárias, uma vez que elas podem ou não ser benéficas dependendo de seu sentido. A determinação experimental pode ser feita através do método de corte de serra, onde a roda é cortada em sentido radial, após a colagem de extensômetros (o capítulo sobre instrumentação irá discorrer sobre o emprego de extensômetros). Os extensômetros indicam

se, após a passagem da serra, o corte abriu ou fechou. A abertura ou fechamento ocorre em função do sentido da força residual existente. Determinações teóricas de tensões internas (WETENKAMP,1992) (RODRIGUES, 1994) (FERREIRA, 1994a) podem ser feitas através de modelagem por elementos finitos

Com a utilização do programa Ansys V 5.0, SANTOS modelou, em 1995, uma roda após um processo de frenagem com as seguintes características :

Tabela 2. 1 Parâmetros de modelamento de roda ferroviária em Ansys 5.0 (SANTOS, 1995)

Dados de ensaio		
Duração da frenagem	45	min
Força normal	650	kgf
Velocidade	32	km/h
Diâmetro da roda	33	pol.
Variáveis utilizadas		
Condutividade térmica	$k = 48.29 - 0.0187 * T$	W/m °C
Calor específico	$C = 434 + 0.3919 * T$	J / kg °C
Temperatura inicial	$T_i = 40$	°C
Densidade	$D = 7833.4$	kg / m ³
Coeficiente combinado de troca de calor por convecção e radiação	$h = 22.708$	W / m ² °C
Coeficiente de Poisson	$u = 0.3$	
Módulo de elasticidade	$E = 200$	GPA
Coeficiente de expansão térmica	$a = 11.8 e^{-6}$	1 / °C

A distribuição de temperatura na direção radial da roda obtida no modelamento é a mostrada na figura 2.8.

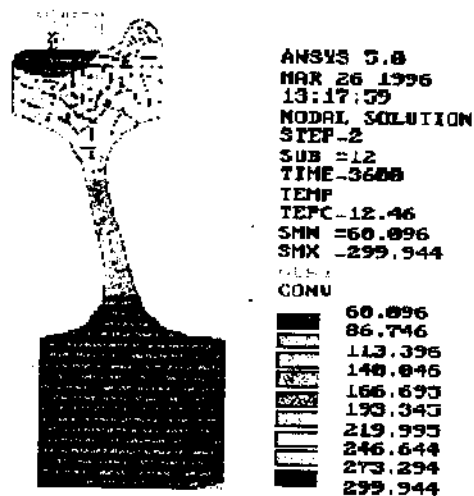


Figura 2. 8 Modelamento de aquecimento de roda ferroviária.

O modelamento mostrado é um bom indicativo do valor da temperatura alcançada nas frenagens normais em uma ferrovia. Todavia algumas situações podem causar um superaquecimento das rodas, chegando-se a temperaturas superiores as indicadas. Dentre as causas destes superaquecimentos podemos citar (ROZA et alii, 1989a) as descidas de rampas acentuadas e longas com alta aplicação dos freios, velocidades excessivas para condições de rampa e peso do trem, uso incorreto dos freios e defeitos nos sistemas de freios, principalmente devido a falhas em sua manutenção.

2.3.1 Problemas em rodas ferroviárias

O calor gerado na superfície de rolamento pelo atrito roda-sapata flui para o interior da roda por condução e é dissipado pelas superfícies externas por radiação e convecção. “Frenagens excessivas (SANTOS, 1995) podem provocar o escoamento do material em porções localizadas, que após o alívio provocam a inversão das tensões residuais, que passam então a ser tensões de tração. Qualquer trinca superficial se propaga então com facilidade ao atingir estas regiões, provocando trincas bruscas com conseqüências catastróficas.”

A grande maioria dos problemas de rodas ferroviárias se deve ao superaquecimento, que normalmente é decorrência da junção de dois ou mais dos fatores citados como suas

causas. Os principais danos às rodas são : escamação (*shelling*), cavitação (*spalling*), esferoidização e trincas.

Cavitação (*Spalling*)

A cavitação (STONE , 1992a) (STONE , 1992b) é um tipo de dano de origem térmica que se caracteriza pela formação de cavidades na superfície da roda. A A.A.R. a caracteriza como resultado de perda de pequenas porções de metal pela roda, devido a deslizamento (STONE, sd).

Se durante uma frenagem a roda travar, o atrito roda-trilho gera uma grande quantidade de calor na pequena porção de contato entre ambos, o que pode elevar a temperatura deste ponto a níveis superiores a necessária à formação de austenita.

Com o alívio dos freios e término do travamento da roda, cessa a produção do calor na porção de contato roda-trilho, seguindo-se então um resfriamento rápido. A velocidade alta de resfriamento se deve à existência de regiões não aquecidas adjacentes ao ponto onde a roda arrastou, para onde o calor flui rapidamente por condução, além de haver o contato desta área com o trilho frio devido a rotação da roda, bem como a perda de calor para a atmosfera por convecção.

A queda abrupta de temperatura pode provocar transformações estruturais no aço, com a formação de martensita. Na região de interface entre a estrutura transformada e a original, há a propagação de trincas que acabam por provocar o destacamento de porções de material da roda, originando a cavitação.

Escamação (*Shelling*)

A exemplo do *spalling*, o *shelling* também se caracteriza pelo destacamento de pequenas porções de metal da banda de rodagem da roda, porém com características e mecanismos de surgimento diferentes.

A escamação se origina a partir de uma trinca que se propaga pelo aro em um ângulo entre 30 e 50°. Nas rodas onde há frenagem, elas normalmente se originam em regiões onde houve o superaquecimento. A expulsão do material da roda, originando a escamação, se dá quando duas trincas que se propaga em direções opostas se encontram.

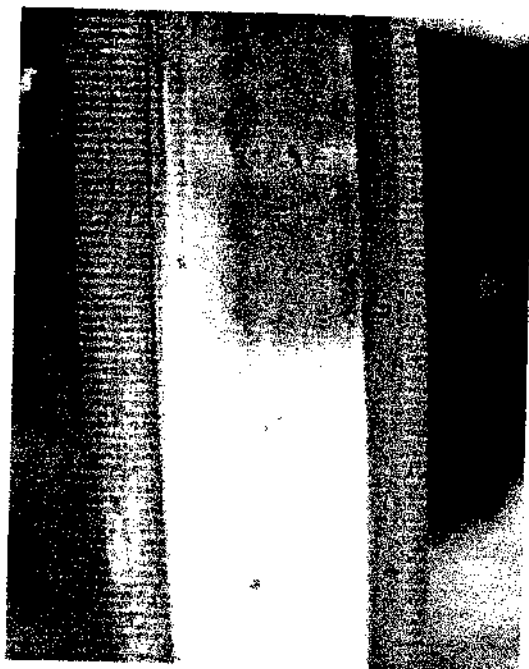


Figura 2.9 Shelling

O mecanismo de formação das escamações se relaciona às tensões de origem mecânica exercidas sobre as rodas. Já foram observadas (WANDRISCO, 1960) escamações em rodas que não tinham freios aplicados à sua superfície, pois usavam freios a disco. Todavia as altas temperaturas em uma frenagem favorecem o aparecimento de shelling, surgindo daí o termo thermal shelling ou escamações térmicas.

Esferoidização

É um típico defeito de origem térmica. Consiste em formação de estruturas esferoidizadas nos aços das rodas. A estrutura resultante apresenta baixa resistência, alta ductilidade e baixa dureza, o que favorece o desgaste e o aparecimento de shellign.

O tempo de transformação estrutural é relativamente alto, em relação aos tempos de frenagem normalmente empregados, daí acreditar-se que este fenômeno aconteça nos casos onde a sapata ficou presa à roda, o que resulta na manutenção de altas temperaturas por longos períodos.

A esferoidização pode ser considerada um problema nas rodas ferroviárias na medida que ela interfere com as suas propriedades, possibilitando o aparecimento de outros problemas mais sérios.

Trincas

As trincas são um sério problema que ocorrem nas rodas ferroviárias, pois estão presentes em escamações, cavitações e até em rupturas de rodas em serviço, fato que implica em perdas financeiros e até de vidas humanas.

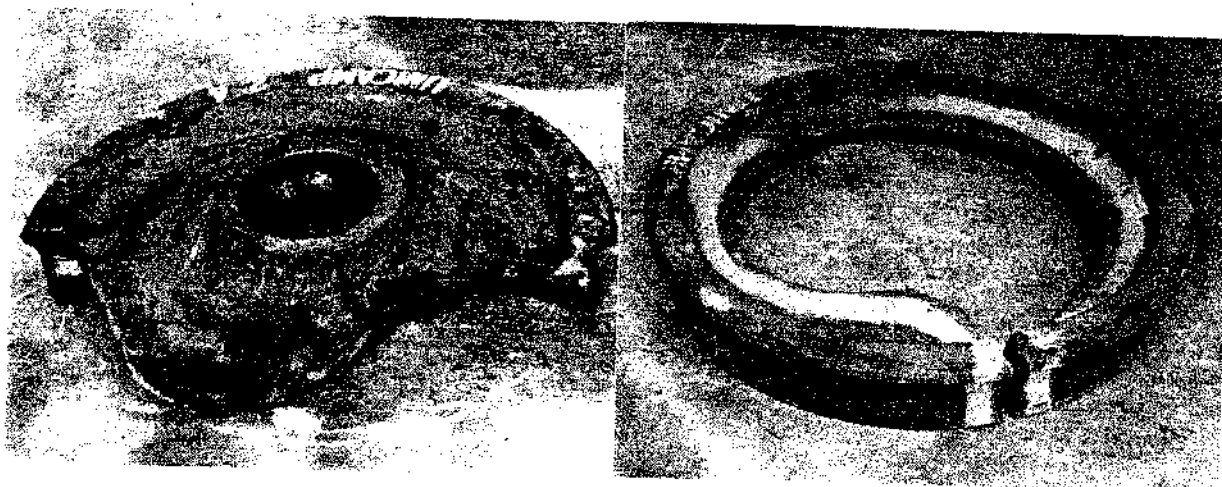


Figura 2.10 Roda fraturada devido a propagação de trincas

A figura 2.10 mostra duas rodas que fraturaram devido a propagação de trincas. Casos semelhantes podem acarretar até o descarrilhamento da composição ferroviária.

São muitos os estudos sobre trincas, mas a determinação exata de suas causas é complexa. Cada uma das ferrovias possui características operacionais distintas, com variações

de carga, velocidade, diâmetro e tipo de rodas, condições de frenagem, dentre outros fatores. Os resultados de estudos realizados em determinadas condições não podem ser aplicados diretamente a outras condições diferentes, mas servem para mostrar tendências no aparecimento do problema.

Deformações plásticas cíclicas decorrentes de tensões igualmente cíclicas podem propiciar a formação de trincas por fadiga. Riscos e marcações na roda causam regiões de concentração de tensão em seus fundos, propiciando o início de trincas. Problemas térmicos, mais precisamente os relacionados a formação de martensita, também são aceitos como hipóteses quanto a origem das trincas

Próximo à banda de rodagem, normalmente, há uma camada submetida a uma tensão de compressão, onde a dureza é maior devido ao encruamento superficial decorrente do carregamento. A existência deste fenômeno dificulta a propagação de trincas que venham a se formar na superfície de rolamento. Todavia, pode ocorrer a propagação instável de trincas, levando até à fratura das rodas. Isto acontece quando a trinca atinge uma região onde, por circunstâncias diversas, predominam as tensões de tração.

A figura 2.11 (BRAGA et alii, 1994) mostra a gravidade do problema decorrente da propagação de trincas que levam a fratura de rodas.

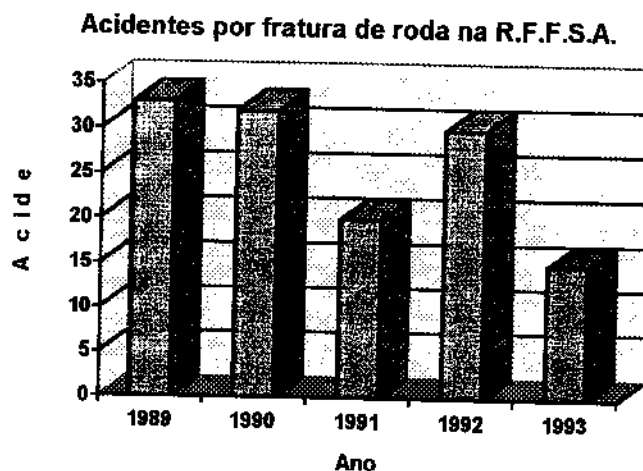


Figura 2.11 Acidentes decorrentes de fratura de roda

2.4 *Material de atrito*

As sapatas de freio que existem hoje, são resultados de quase 200 anos de evolução. Nos primórdios do século XIX, as sapatas de madeira então utilizadas em veículos de tração animal foram adaptadas para uso ferroviário. Para as condições dos veículos da época, obtinham-se bons resultados quanto a fricção e desgaste.

Com o aumento do peso e da velocidade, tornou-se necessária a pesquisa de novos materiais em substituição à madeira. Em meados do século XIX surgiram as sapatas de ferro fundido, ferro forjado e aço fundido. Dentre as três, a que apresentou melhores resultados foram as de ferro fundido, que praticamente passaram a ser padrão nas ferrovias.

No século XX, foram iniciadas as pesquisas de sapatas de composição orgânica, ou sapatas não metálicas (SNM), cujas vantagens básicas são a maior resistência à temperatura e maior durabilidade. O desenvolvimento das sapata não metálicas está intimamente relacionado às evoluções na indústria química e em setores automotivos e aeronáuticos, sendo que este último desde muito utiliza materiais de atrito não metálicos.

No Brasil, as pesquisas preliminares basearam-se em lotes de sapatas não metálicas importadas e seus resultados propiciaram um produto disponível atualmente com uma durabilidade 5 a 10 vezes superior as de ferro fundido. Como exemplo, tem-se a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) onde 90% das sapatas ultrapassam os 60000 Km garantidos. Há que se lembrar que tal durabilidade está intimamente ligada as condições de operação, tais como velocidade, carga, via permanente, distâncias entre paradas, etc..

Alguns tipos de sapatas de freio podem ter até cerca de trinta compostos diferentes, dependendo do fabricante e do tipo de sapata, (PAIXÃO, 1984) entretanto os principais produtos presentes nas sapatas de freio são o amianto (asbesto), fibras de vidro, materiais metálicos, resinas termifixas, elastômeros e plásticos, lubrificantes sólidos e agentes dissipadores de calor.

O amianto (asbesto) é utilizado na forma de crisotila (amianto branco), foi desde o início e até recentemente uma das principais fibras que entram na composição da massa, por ser termicamente estável e conferir resistência estrutural. A tendência mundial é pela substituição do amianto por outras fibras, pois se trata de um produto cancerígeno.

Um tipo especial de fibra de vidro está sendo utilizada como substituto do amianto, garantindo ao material as mesmas propriedades conferidas por este último. As fibras de aço também são empregadas como reforço estrutural da massa.

Os materiais metálicos ajudam no ajuste do coeficiente de atrito que se quer obter da sapata, todavia os metais apresentam a desvantagem de ter esta grandeza variável e dependente da temperatura, além de aumentarem a temperatura e o desgaste das rodas.

As resinas termofixas tem como principal função a aglutinação dos componentes. As mais utilizadas são as derivadas do fenolformaldeído, daí serem as sapatas não metálicas também conhecidas como sapatas fenólicas.

Os elastômeros e plásticos são aplicados para o equacionamento entre estabilidade térmica e resistência da massa. A sua escolha deve ser criteriosa, pois o degra damento devido ao aquecimento irá provocar excessivo endurecimento do composto.

Os lubrificantes sólidos são utilizados no controle do coeficiente de atrito e na sua estabilidade em função da temperatura. O grafite é um dos principais lubrificantes sólidos utilizados. Já os agentes dissipadores de calor ajudam a dissipação de calor pela sapata, reduzindo o aquecimento em excessivo da roda.

O desenvolvimento tecnológico visa a obtenção de um conjunto de características do material de atrito fundamentais para que as frenagens atendam às exigências de segurança, bem como represente menor custo, tanto de aquisição, como de manutenção dos elementos mecânicos envolvidos nos processos de frenagem.

Há uma gama muito grande de características desejáveis deste material (LEAL, 1986) (OLSGANSKI et alii, s.d.) (PAIXÃO, 1984), porém dentre elas se destacam o coeficiente de atrito, fade e recuperação, durabilidade, estabilidade dimensional, qualidade de fabricação, dissipação de calor, interação com a superfície de contato e efeitos externos.

O valor do coeficiente de atrito e a sua constância, são as principais propriedades a serem controladas. Ele deve ser estável ao longo de toda a vida útil do material, bem como não deve sofrer grandes variações em função da temperatura, forças de frenagem, velocidade, pressão e fatores externos. O coeficiente de atrito não pode ser obtido a partir dos componentes e suas proporções. A sua determinação é obtida por ensaios de desempenho para cada tipo de mistura.

Fade e recuperação devem ser controlados, pois com o aquecimento, normalmente se verifica uma certa redução no coeficiente de atrito. A sapata, ao ser resfriada, deve retornar a valores mais próximos possíveis aos obtidos antes do aquecimento. Não deve ocorrer o fenômeno conhecido como "vidramento".

Durabilidade corresponde a vida útil do material, a qual se relaciona com a temperatura de utilização, superfície da pista de atrito e condições gerais do sistema de freio (manutenção), dentre outros fatores. A temperatura, isoladamente, tem a maior influência (LEAL, 1986) no desgaste, pois os materiais moldados utilizam resinas orgânicas como aglomerantes, o que lhes impõem restrições (PAIXÃO, 1984) a valores máximos de temperatura sob pena de degradação .

A estabilidade dimensional deve ser a maior possível. Após um ciclo de aquecimento e resfriamento, as características dimensionais não podem sofrer variações significativas sob pena de comprometimento do sistema de freio. O processo de cura do material, dentre outros fatores, deve ser controlado, para evitar estas variações.

A qualidade de fabricação decorre da necessidade de se fabricar os componentes dos materiais de atrito em escala industrial, com qualidade e nível de refugo admissíveis.

A dissipação de calor é muito importante, pois uma maior capacidade de dissipação de calor reflete em um menor aquecimento das rodas, aumentando a vida útil destas. (OLSGANSKI et alii, s.d.)

A interação com superfície de contato deve ser mínima. O atrito provoca tanto desgaste da sapata quanto da pista de rolamento. As características do material de atrito influenciam no desgaste presente na roda. (LEAL, 1986) (PAIXÃO, 1984). É desejável que se altere menos possível as características originais das rodas

Dentre os efeitos externos, merecem destaque o ruído, o cheiro e a fumaça, que devem ser diminuídos ao máximo. O ruído de frenagem é um fator importante, principalmente em sistemas metroviários, sendo inclusive um dos critérios de rejeição de lotes pelo comprador. O cheiro e a fumaça são decorrência do aquecimento.

3 . Ensaios de materiais de atrito

Uma série de testes é efetuada pelos fornecedores de materiais de atrito durante a sua fabricação e pelo comprador quando do recebimento do lote adquirido, (PAIXÃO, 1984) para verificar se as características dos materiais estão dentro dos padrões desejados. Estes ensaios podem ser divididos em dois grupos : ensaios de laboratório e ensaios de campo.

Os ensaios de laboratório podem ser subdivididos em dois tipos : os de determinação de características físico-químicas e os de desempenho. Os ensaios de campo são de desempenho e realizados com a utilização de um veículo ferroviário real trafegando em via permanente.

3.1 . Ensaios em campo

O ensaio de parada (desaceleração) é um teste não normalizado feito pelas ferrovias brasileiras e consiste na determinação da distância de parada de uma composição real trafegando em via permanente sob certas condições de deslocamento e de via. Este ensaio tem a finalidade de testar as características de desempenho dos materiais de atrito (as sapatas de freio). Na prática, infelizmente, se torna o único ensaio de desempenho realizado pelas ferrovias.

Após a aprovação do lote nos ensaios físico-químicos, que serão vistos neste capítulo, amostras do lote de sapatas são montados em unidades ferroviárias isoladas. São observados alguns critérios como a determinação de um mesmo trecho de via para diferentes ensaios, revisão dos sistemas de freio dos veículos utilizados e das condições das rodas para verificação da necessidade de usinagem. São controlados os parâmetros de ensaio como a velocidade inicial do veículo, a pressão do sistema pneumático antes e durante a aplicação dos freios, o peso do veículo, a distância de parada e a temperatura nas sapatas e nas rodas

Devido a não uniformidade dos critérios de recepção de materiais de atrito entre as ferrovias, alguns dos parâmetros de ensaio podem sofrer variações de uma empresa para outra. Conhecendo-se a velocidade inicial, peso, tempo e distância de parada, pode-se determinar o coeficiente de atrito médio do conjunto de sapatas utilizadas. O monitoramento de temperatura permite que sejam estimadas as condições às quais as rodas serão submetidas.

Tem-se como principais desvantagens do ensaio em campo :

- A retirada de um trem de serviço especificamente para o ensaio, o que implica em sua paralisação, gastos com mão de obra na instalação de sapatas, de instrumentação, etc ...
- Necessidade de se reservar um trecho de via para os ensaios, o que tem alto custo indireto, pois significa a interrupção do tráfego normal. Uma maneira encontrada para minimizar este problema é a realização dos teste no período noturno, mas isto aumenta as dificuldades em sua realização.
- Necessidade de se reservar um trecho de via para os ensaios, o que tem alto custo indireto, pois significa a interrupção do tráfego normal. Uma maneira encontrada para minimizar este problema é a realização dos teste no período noturno, mas isto aumenta as dificuldades em sua realização.
- Necessidade de criação de uma equipe técnica apta a realização dos ensaios e interpretação de resultados. Há um custo inerente a isto, pois tal quadro de funcionários fatalmente está sendo deslocado de outras atividades produtivas.
- Caso ocorra travamento das rodas durante o ensaio, poderão ser criados os “calos térmicos” ou “covas”, sendo então necessária a imobilização do veículo para trabalhos de usinagem de rodeiros. Os custos envolvidos são altos, pois além dos inerentes aos da imobilização de uma locomotiva ou vagão, há os referentes a própria operação de retorneamento das rodas.
- Nem todas as variáveis podem ser controladas durante um ensaio em campo, o que pode dificultar a comparação entre resultados de ensaios diversos. Os ensaios estarão sujeitos as condições dos trilhos, estado da superfície de rolamento das rodas, características atmosféricas do momento de realização dos ensaios, etc. As condições de

ensaio são de difícil controle, assim como os instrumentos de medição atualmente utilizados no Brasil são precários.

3.2 . Ensaio de laboratório

Dentre os ensaios de laboratório, os físico-químicos tem como função a determinação das características físicas e químicas do material de atrito a partir de corpos de prova retirados do lote a se testar (ABNT, s.d. f) . As características físico-químicas são as primeiras a serem determinadas e após a aprovação, o material de atrito segue para os teste de desempenho.

Os principais testes utilizados são mostrados na tabela 3.1 :

Tabela 3. 1 Principais ensaios físico-químicos dos materiais de atrito

Tipo de ensaio	Norma regulamentadora
Absorção de água ou óleo	NBR 11645
Absorção de água	NBR 8942
Dureza Shore D	NBR 5518
Densidade relativa	NBR 854
Resistência à flexão	NBR 7908
Resistência ao choque	NBR 7909
Resistência à compressão	NBR 11569
Resistência à temperatura	6:08.08-203
Determinação dos constituintes solúveis em acetona	6:08.08-206
Determinação do teor de cinzas, perda por ignição e teor de umidade	6:08.08-204

A finalidade principal destes testes é a detecção de anomalias no processo de fabricação. Possibilitam determinar a correção de fatores como o processo de compactação

da mistura da qual é feita o material de atrito, a proporção dos componentes, identificando alterações significativas, a resistência mecânica e seu enquadramento aos padrões aceitáveis, a sensibilidade do material à degradação por aumento de temperatura, o processo de cura e se está corretamente encaixado aos valores de tempo e temperatura necessários, o grau de absorção de fluidos como água e óleo, além de outros fatores. Os valores coletados nestes ensaios devem ser comparados aos valores históricos de cada tipo de material e de cada fabricante, pois fornecedores diferentes apresentam médias diferentes de cada um deles.

Estas normas, isoladamente dos ensaios de desempenho, não atendem a todas as necessidades de controle de qualidade de material de atrito (KELUG, 1986) (GAIANI, 1986). Elas não permitem comparação entre características dinâmicas, como o coeficiente de atrito e a resistência ao desgaste entre diversos lotes de diferentes composições. Constatou-se (GAIANI, 1986) inclusive, que nem sempre é possível relacionar a dureza com o coeficiente de atrito e a vida útil. Na prática, tem-se verificado que nem sempre as empresas fabricantes seguem estritamente normas ABNT. Algumas utilizam normas próprias e outras que não ABNT.

A não obtenção de dados conclusivos unicamente por meio dos testes físico-químicos, exige que se faça os ensaios de desempenho para obtenção de informações quanto ao enquadramento ou não das sapatas às condições exigidas.

Os testes de desempenho são vitais na análise dos materiais de atrito, pois possibilitam uma melhor previsão do comportamento do veículo ferroviário que o utiliza bem como o do próprio material ao longo de sua vida.

Os ensaios em campo, como mencionado neste mesmo capítulo, possuem como principais desvantagens : os custos envolvidos e a impossibilidade prática de se observar estritamente as mesmas condições para ensaios realizados em datas diferentes, dada a influência das condições meteorológicas. Este último fato, repercute na validade das comparações entre diferentes ensaios.

Em laboratório, é possível um controle mais rigoroso das variáveis envolvidas em um teste, a um custo consideravelmente menor, possibilitando melhores condições de comparação de ensaios diferentes.

Dentre os ensaios de materiais de atrito na área rodoviária, tem-se o ensaio Krauss (ABNT, 1985) e o Chase (SAE, 1971). Para aplicações ferroviárias, tem-se o A.A.R. M-926-92 (A.A.R., 1992). Na falta de um banco dinamométrico no Brasil, segundo as especificações da A.A.R., a NBR 9071 / 85 determina o ensaio de amostras de sapatas ferroviárias na máquina Krauss para a obtenção do coeficiente de atrito.

Ensaio Krauss

O ensaio Krauss é regido pela NBR 6143 / 95 (ABNT, 1995), que especifica o método para a determinação das características de fricção e desgaste dos materiais de fricção utilizados em pastilhas de freio a disco de automóveis, camionetas e utilitários e é realizado em equipamento especialmente projetado para este fim, a Máquina de Ensaio Krauss.

Consiste de 10 ciclos de frenagem, sendo cada ciclo composto de 10 aplicações dos freios, com duração de 5 segundos e intervalo de alívio de 10 segundos. Portanto o ensaio completo normal consiste de 100 aplicações de 5 segundos cada.

Utiliza o conjunto calíper / disco de freio normal de produção para cada tipo de veículo. O disco pode ser reutilizado até que apresente uma rugosidade R_a de no máximo 15 μm . Se retificado, a retirada de material não pode ultrapassar 0.6 mm em relação a um disco novo.

Os corpos de prova são as pastilhas de freio acabadas fabricadas no máximo a 180 dias e ensaiadas aos pares. Embora o ensaio do material de sapata ferroviária não esteja nos objetivos do ensaio Krauss, a NBR 9071/85 determina que se pode ensaiá-los na máquina Krauss mediante a retirada de amostra, obedecendo os critérios determinados nesta norma, e

ensaiá-los como se fossem pastilhas rodoviárias, seguindo-se os demais preceitos da norma Krauss.

O ensaio é realizado a uma rotação de 610 ± 10 rpm independentemente do tipo de veículo e a temperatura deve ser medida na circunferência externa do disco. O 1º e 4º ciclos somente devem ser iniciados quando a temperatura for inferior a 50°C e para os demais ciclos, este limite é de 100°C . Entre os ciclos, o disco deve ser resfriado mediante giro livre.

Os 3 primeiros ciclos correspondem a fase de assentamento e devem ser executados com sistema de ventilação ligado. A temperatura máxima permitida nesta fase é de 345°C . Caso esta temperatura possa ser ultrapassada, é admissível a substituição dos 3 ciclos de 10 aplicações por 6 ciclos de 5 aplicações ou 10 ciclos de 3 aplicações. Ao término do assentamento, deve ser feita uma inspeção visual das pastilhas visando a determinação de sua área de assentamento e a identificação de possíveis defeitos como trincas, rachaduras na estrutura, inclusões de ferro fundido, desprendimento da guarnição da sapata ou outros defeitos que possam afetar o funcionamento do material. Caso ocorra alguns destes defeitos ou a área de assentamento seja inferior a 80%, o par de pastilhas deve ser abandonado e o teste reiniciado com novo jogo. Nos ciclos que não de assentamento, a temperatura máxima permitida sem que seja necessária a interrupção do ensaio é de 600°C .

Devem ser feitas medições de espessura (precisão de 0.01 mm) e peso (precisão de 0.01g) das pastilhas (ou amostras de sapatas) em três momentos e com o material à temperatura ambiente antes do início do 1º ciclo, após o término do 3º ciclo e ao final do teste.

Deve ser efetuado registro gráfico do coeficiente de atrito e da temperatura em função do tempo e serem calculados os seguintes valores de coeficiente de atrito :

Coeficiente de atrito médio - μ_m - tomado considerando-se o valor instantâneo do coeficiente de atrito após 1 segundo de início da 1ª freada do 3º ciclo e do 5º ao 10º ciclos. Estes 7 pontos devem ser ligados por meio de segmentos de reta, obtendo-se uma linha

quebrada. O cálculo de μ_m é feito através da média aritmética destes pontos e seu valor deve ser mostrado com uma reta ao longo de todo o gráfico e paralela ao eixo X (de tempo). O mesmo deve ser feito com os valores correspondentes a $1.1 \mu_m$ e $0.9 \mu_m$.

Coefficiente de atrito a frio - μ_f - adquirido na 1ª frenagem do 4º ciclo, que se iniciou a temperatura inferior a 50 °C. Evidencia possível sensibilidade a frio eventualmente existente.
 μ_{\min} - coeficiente de atrito mínimo - corresponde ao valor mínimo obtido em qualquer frenagem do 3º ao 10º ciclos

No relatório de resultados do ensaio Krauss, devem constar como dados de ensaio a pressão hidráulica, pressão específica na pastilha de freio, raio de atuação do freio a disco e disco de freio. Como resultados de ensaio deve haver o registro gráfico de coeficiente de atrito e temperatura, conforme descrição anterior, coeficiente de atrito médio - μ_m , coeficiente de atrito a frio - μ_f , coeficiente de atrito mínimo - μ_{\min} , coeficiente de atrito máximo - μ_{\max} . Deve constar também o desgaste em espessura, que é a perda de espessura das pastilhas em mm, o desgaste em massa, que corresponde a perda de massa das pastilhas em g, além do nome do executante, nome do responsável e a data do ensaio.

Ensaio Chase

O ensaio Chase (SAE, 1971) obtém como resultado o coeficiente de atrito e consiste na compressão de amostra de secção quadrada (25,4 mm) e espessura de 6.1 mm do material de atrito contra um tambor de freios. O raio de curvatura da superfície de atrito deve ser o mesmo que o do tambor e a rotação deste é mantida constante em 417 rpm e a força sobre o corpo de prova também é constante em 667,7 N.

O ensaio Chase é utilizado como controle de qualidade pelo fabricante e como índice de qualidade pelo usuário.

Ensaio A.A.R. M926 - 92

Um ensaio específico para sapatas ferroviárias é o A.A.R. - M 926 - 92. Ele é realizado em banco dinamométrico e se divide em três partes : manutenção de força de atrito (força de retardamento) a velocidade constante - ensaio de rampa (grade); ensaio de parada a partir de velocidades determinadas e verificação do coeficiente de atrito estático.

São ensaiadas três sapatas do mesmo tipo para cada lote de 50, devendo estas ter o mesmo raio de curvatura da roda. É permitido se desbastar as sapatas caso esta condição não esteja previamente atendida. São utilizadas rodas de 9392 mm (33 pol.) polida. Os ensaios somente podem se iniciar se a temperatura da roda estiver abaixo de 51,7 °C (125 °F).

O ensaio de rampa consiste em duas séries de aplicações dos freios para cada sapata ensaiada, uma leve e outra pesada, durante 45 min cada aplicação. A roda deve girar a uma rotação correspondente a 32.2 ± 0.8 km / h (20 ± 0.5 mph), sendo necessário insuflamento de ar com velocidade entre 24.13 e 32.17 km / h (15 e 20 mph) para resfriamento (simulando o movimento de translação da roda em um vagão)

As aplicações leves são de 281.9 ± 7.62 Kgf (925 ± 25 lbs) e a força de atrito em cada uma das sapatas ensaiadas não pode ser inferior a 91.44 Kgf (300 lbs). Nas aplicações pesadas, o carregamento utilizado é de 441.9 ± 7.62 kgf (1450 ± 25 lbs) e a força de atrito em cada uma das sapatas ensaiadas não pode ser inferior a 121.9 Kgf (400 lbs).

Os testes de parada obedecem a seguinte seqüência de velocidades :

Tabela 3. 2 Velocidades de parada constantes na norma A.A.R. - M 926 - 92

Número da frenagem	Velocidade em km/h	Velocidade em mph	Número da frenagem	Velocidade em km/h	Velocidade em mph
1	128.7	80	7	96.5	60
2	96.5	60	8	128.7	80
3	64.3	40	9	128.7	80
4	32.2	20	10	96.5	60
5	32.2	20	11	64.3	40
6	64.3	40	12	32.2	20

O desgaste em massa da sapata deve ser determinado pela pesagem antes do primeiro teste de parada com aplicação leve e após o último com aplicação pesada. A diferença, que deve ser calculada para cada sapata, indica a perda de material sofrida. Deve ser observado o mesmo procedimento para os ensaios de rampa.

Para os ensaios de parada, as aplicações leves são de $907 \pm 4,5$ Kgf (2000 ± 10 lbs). Nas aplicações pesadas, o carregamento utilizado é de $2722 \pm 13,6$ Kgf (6000 ± 30 lbs).

A média dos resultados dos três testes de parada feitos com cada uma das sapatas a partir de cada velocidade especificada, devem estar de acordo com a tabela :

Tabela 3. 3 Intervalos de distâncias de parada para os ensaios com aplicação leve segundo a norma A.A.R. - M 926 - 92

Aplicação leve					
Velocidade mph	Distância mínima de parada - pés	Distância máxima de parada - pés	Velocidade km / h	Distância mínima de parada - m	Distância máxima de parada - m
80	5890	8090	128.7	1795.3	2465.8
60	2690	4080	96.5	819.9	1243.6
40	1090	1630	64.3	332.2	496.8
20	280	420	32.2	85.3	128.0

Tabela 3. 4 Intervalos de distâncias de parada para os ensaios de aplicação pesada constantes na norma A.A.R. - M 926 - 92

Aplicação pesada					
Velocidade mph	Distância mínima de parada - pés	Distância máxima de parada - pés	Velocidade km / h	Distância mínima de parada - m	Distância máxima de parada - m
80	4070	6110	128.7	1240.5	1862.4
60	1800	2710	96.5	548.6	826.0
40	690	1080	64.3	210.3	329.2
20	190	280	32.2	57.9	85.3

Os ensaios de determinação do coeficiente de atrito estático seguem a seguinte seqüência. Com a roda parada, é efetuado um carregamento de 1678 Kgf (3700 lbs) e posteriormente gerado torque a razão de 2036 N.m/s (1500 ft.lb / s) até que a roda se mova. Deve ser anotado o coeficiente de atrito no instante do início do movimento. Este procedimento é repetido 9 vezes, sendo que o valor mínimo da média dos 9 ensaios deve ser igual ou superior a 0.38.

4. Equipamentos de ensaios de frenagem

Foram projetadas três máquinas de ensaios de freios para serem construídas no Laboratório Ferroviário da Unicamp : um Dispositivo de Ensaio de Amostra (D.E.A.) - baseado na máquina de ensaio Krauss, para ensaios de amostras de material de atrito retiradas de sapatas de freio ferroviárias, da mesma formas que se ensaiam amostras de material de atrito de freios automobilísticos nos ensaios Fast e Chase; uma Máquina para Ensaios de Sapatas (M.E.S.) - para ensaios de sapatas de freio ferroviário em tamanho real aplicadas contra uma roda ferroviária real, da mesma forma que no ensaio Krauss se aplicam as pastilhas de veículos rodoviários contra os discos de freios correspondentes em tamanho real e um Banco Dinamométrico - para ensaios completos de sapatas de freios ferroviários, conforme norma A.A.R. M-926 / 92

4.1 . Dispositivo de Ensaio de Amostra

O Dispositivo de Ensaio de Amostra (D.E.A.) destina-se a realização de ensaios de amostra de material de atrito de sapatas de freios ferroviários baseados nas normas ABNT - NBR 6143 / 95 : Verificação das características de fricção e desgaste das guarnições de freios a disco - Ensaio Krauss e ABNT - NBR 9071 / 85 : Sapata não metálica para freio ferroviário - determinação do coeficiente de atrito através da Máquina Krauss .

A norma NBR 6143 / 95, conforme descrita no capítulo 3, se destina ao ensaio de pastilhas de freios a disco de veículos rodoviários. Determina que se utilizem o disco e o calíper originais do veículo cujas pastilhas se desejam ensaiar, adquiridas no mercado de reposição.

A norma NBR 9071 / 85, também conforme descrição contida no capítulo 3 na parte referente ao ensaio Krauss, é um modo encontrado pela ABNT para viabilizar algum tipo de

ensaio de desempenho em laboratório para as sapatas de freio ferroviário, pois não existe no Brasil um Banco Dinamométrico segundo as especificações da A.A.R. Origina-se da NBR 1318 / 80 e não possui equivalente na A.A.R. ou nas normas europeias. Para os materiais de atrito rodoviários, a máquina Krauss ensaia pastilhas reais de freios a disco ao passo que a Chase e Fast ensaiam amostras. Quanto aos ferroviários, o Banco Dinamométrico ensaia sapatas reais enquanto a máquina Krauss trabalha com amostras.

A máquina Krauss descrita na NBR 6143 / 95 deve ter um motor com potência suficiente para garantir uma velocidade angular de ensaio de 660 ± 10 rpm com um momento de força máxima de 647 N m. A força de atrito é medida por um sistema de alavanca e célula de força, a força normal na pastilha é obtida indiretamente pelo valor da pressão hidráulica que chega ao calíper e a temperatura é através de um termopar do tipo fita que fica encostado no disco de freio.

O Dispositivo de Ensaio de Amostra, que é mostrado na figura 4.1, foi desenvolvido pelo Laboratório Ferroviário a partir da Máquina Krauss. Possui um motor elétrico General Electric, CC, campo independente, com tensão de armadura de 220 V, potência máxima de 25 HP e faixa de rotação de até 3000 rpm. Seu controle é feito por um conversor Telemecanique, mod Rectivar 4-RTV 54/C18Q. O motor é ligado, por acoplamento Teteflex D6, a um redutor que é adaptação de um câmbio de veículo GM - OPALA com relações de transmissão de 1:3.39 (normalmente utilizada), 1:4.35; 1:9.741 e 1:2.11. O redutor é ligado, por acoplamento Teteflex D6, a um torquímetro rotativo sem escovas com capacidade de 450 Nm e rotação máx de entrada de 3000 rpm. O torquímetro é ligado, por acoplamento Teteflex D6, ao calíper. Para alterações de conjunto disco / calíper, foi desenvolvido um suporte intermediário que permite a adaptação do calíper ao suporte fixo à base. Igualmente, o eixo é dotado de adaptadores que permitem a instalação de discos diferentes.

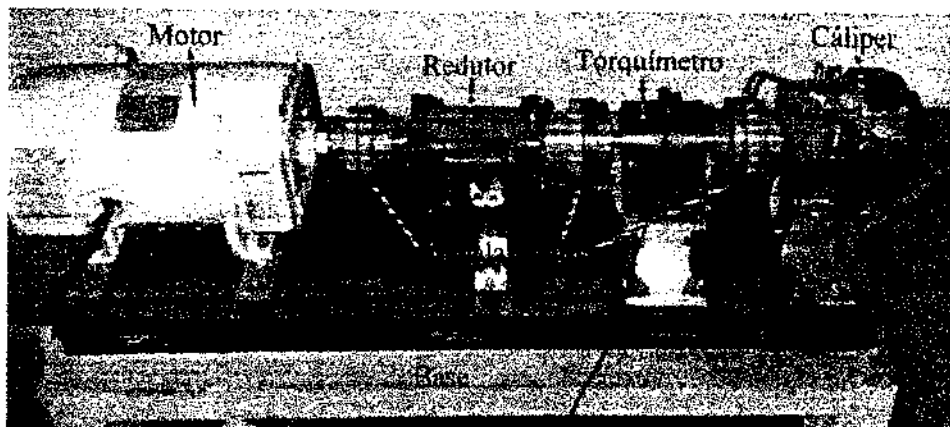


Figura 4. 1 Foto do Dispositivo de Ensaio de Amostra

A aplicação do freio é feita por um sistema pneumático mostrado na figura 4.2. O ar comprimido, vindo do reservatório acoplado ao compressor, passa por um regulador de pressão manual. Através de sua regulagem é que se determina o valor da força normal aplicada contra as pastilhas ou amostras de sapatas ensaiadas. Depois do regulador, o ar é armazenado em um reservatório antes de chegar a uma válvula solenóide. Esta válvula de acionamento elétrico é comandada automaticamente por um relê de um sistema de aquisição de dados que será descrito no próximo capítulo ou manualmente por um interruptor. Ela permite ou não a passagem do ar para um pistão pneumático, que quando pressurizado, transmite força para um cilindro mestre responsável pela pressurização de fluido hidráulico que aciona o cáliper.

O projeto do Dispositivo de Ensaio de Amostra permite a realização tanto do ensaio Krauss padronizado como outros em condições diferentes, com valores de rotação, pressão, duração dos intervalos de aplicação e alívio dos freios que não os do Krauss.

Os parâmetros que podem ser obtidos em ensaios com o D.E.A. são o coeficiente de atrito instantâneo e em função de : tempo de frenagem, velocidade, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, temperatura da pastilha e do disco, material da pastilha, pressão específica sobre a pastilha e corrente de ar junto ao disco e pastilha. Temperatura do material de atrito e do disco, bem como gradiente térmico existente em cada um e taxa de desgaste do material de atrito e do disco.

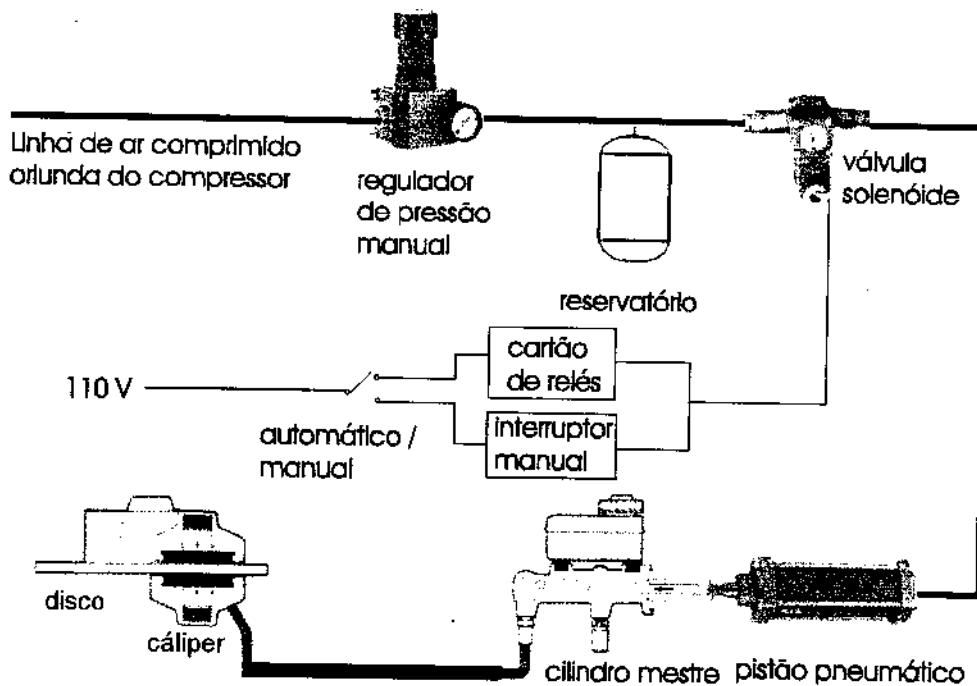


Figura 4. 2 Sistema pneumático do Dispositivo de Ensaio de Amostra

4.2 . Máquina de Ensaio de Sapatas

A construção da Máquina de Ensaio de Sapatas (M.E.S.) se deu a partir da necessidade de se pesquisar ensaios de sapatas ferroviárias em tamanho real, bem como fazer comparações com os valores obtidos em resultados de ensaios que utilizam amostras, pois a M.E.S. faz ensaios com sapatas de freios em tamanho real. Todavia, suas características não estão previstas em nenhuma norma técnica, sendo um projeto do Laboratório Ferroviário. No tópico seguinte, que trata do Banco Dinamométrico de Inércias Mecânicas do Laboratório Ferroviário, são enumeradas as possibilidades de estudo com emprego da M.E.S., pois a rigor, ela é capaz de realizar todas as etapas de ensaios que necessitam de um banco dinamométrico de inércias mecânicas, cuja especificação é feita pela A.A.R., com exceção das partes de ensaios que necessitam de simulação de inércia de veículo ferroviário.

A Máquina de Ensaio de Sapatas, mostrada na figura 4.3, possui um motor Garret, CC com campo independente, potência máxima de 100 kW, rotação máxima de 3000 rpm e é controlado por um conversor Maxitron S - GR 8000. Acoplado ao motor está um redutor Sauer, MOD B 125-SH, com capacidade de 190 HP a 3200 rpm, velocidade de entrada de até 3200 rpm e relação de transmissão de 5:1. Junto ao redutor está um torquímetro Himmelstein MCRT 8-02 TA (5-4). Os acoplamentos utilizados são o Falk Steelflex 13F. Os mancais do eixo da roda são FRM mod SNH 532 TS com vedação por labirinto utilizando rolamentos SKF autocompensadores de rolos 22232 CCK/C3W33. O bloco de freio é o SAB BF2S / 90 - 178.

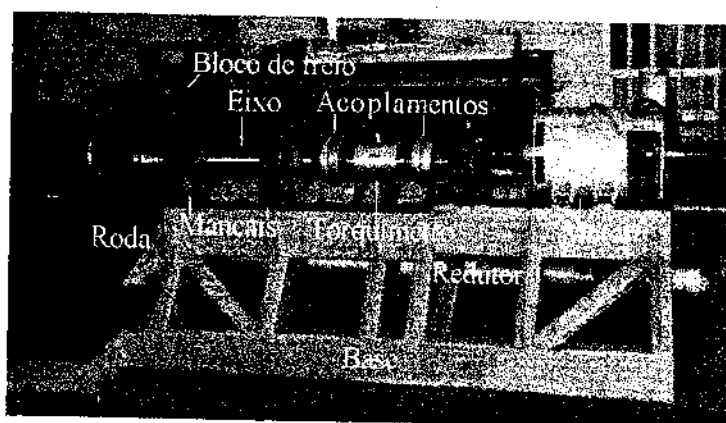


Figura 4. 3 Foto da Máquina de Ensaio de Sapatas

A aplicação do freio é feita por um sistema pneumático mostrado na figura 4.4. O ar comprimido, vindo do reservatório do compressor, passa por um regulador de pressão manual e segue para uma válvula solenóide. Esta válvula de acionamento elétrico é comandada automaticamente por um relê de um sistema de aquisição de dados ou manualmente por um interruptor e permite ou não a passagem do ar comprimido. Após esta válvula, há uma válvula proporcional, que controla a diferença de pressão entre sua entrada e a saída em função da tensão elétrica que lhe é fornecida. Após esta, o ar segue para o bloco de freio, que possui um pistão pneumático responsável pela aplicação da sapata contra a roda.

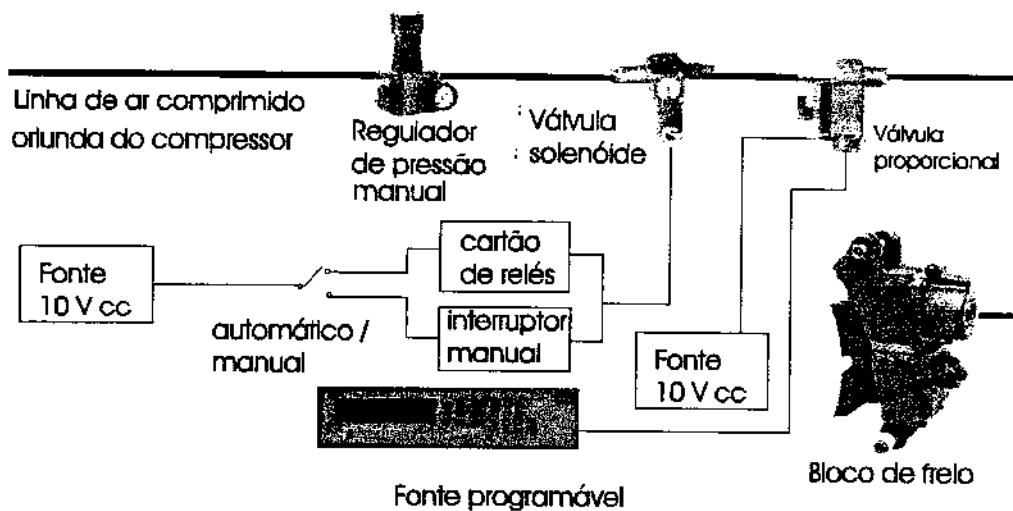


Figura 4. 4 Sistema pneumático da Máquina de Ensaio de Sapatas

4.3 . Banco Dinamométrico

O Banco Dinamométrico consiste basicamente na Máquina de Ensaio de Sapatas equipada com volantes de inércia para simular a massa do veículo cuja frenagem se quer reproduzir. Seus componentes são exatamente os mesmos, com exceção da base e dos volantes propriamente dito.

As características do Banco Dinamométrico, além de atenderem plenamente as exigências da norma A.A.R. M-926 / 92, permitem a realização de ensaios e pesquisas simulando as condições de operações das ferrovias brasileiras. Dentre estas condições, destacam-se :

- Simulação de cargas reais de até 30 t por eixo, abrangendo assim a faixa de utilização de locomotivas e vagões
- Utilização de rodas de 717,6 mm (28 ¼ ”) a 1016 mm (40”) de diâmetro
- A força de frenagem pode ser variada de modo contínuo, permitindo a cobertura de toda a faixa de uso em aplicações de freio de serviço e de emergência

- Utilização de torquímetro rotativo sem escovas, para determinação exata da força de frenagem, minimizando as perdas e imprecisões do sistema
- Simulação de condições de frenagem contínua em descida de serra
- Simulação das condições de frenagens intermitentes nas descidas de rampas prolongadas, método de controle de velocidade conhecido nos meios ferroviários como “ciclagem curta”
- Estuda-se a possibilidades de ser simulada frenagem reostática ou regenerativa e de frenagem combinada, freio de atrito em conjunto com freio dinâmico
- Poderão ser adaptados discos de freio para ensaios de sapatilhas de freio a disco para subúrbio e metrô

Desta forma, permitirá a realização de ensaios estritamente de acordo com a norma A.A.R. M-926 / 92, o que até o momento não é possível na América Latina, além da sua finalidade principal que é o desenvolvimento de trabalho de pesquisas.

As informações obtidas são muito úteis na determinação da velocidade ideal de descida em função de parâmetros tais como a inclinação da rampa, do sistema de freio instalado e tipo de sapata instalada nos vagões e aquecimento das rodas.

Além do aspecto relacionado a segurança, a determinação da velocidade ideal de descida permite que se evite situações de superaquecimento das rodas, aumentando sua vida útil, diminuindo custos e riscos de acidentes.

Poderão ser estudados o coeficientes de atrito para vários tipos diferentes de sapatas de freios em função de diversos discos e rodas, suas variações com : velocidade, tempo de frenagem, temperatura, material da sapata, condições ambientais (temperatura ambiente, umidade relativa do ar, corrente de ar junto à roda e sapata) e forças de frenagem. Determinação de distâncias de parada do veículo ferroviário em função do peso total e do material de atrito ensaiado também poderão ser estudadas e com estes resultados pode-se determinar o coeficiente de atrito médio necessário ao projeto e utilização de freios ferroviários e sua adequação às condições de operação simuladas. Será possível também o estudo dos fenômenos de aquecimento durante a frenagem que conduzem a falhas de rodas.

Para estes estudos, poderão ser realizados os ensaios de parada, de velocidade constante, aplicação do freio com velocidade constante ou variável.

A utilização combinada das três máquinas de ensaio possibilita a ampliação das pesquisas de problemas de rodas ferroviárias, de materiais de atrito, bem como de aspectos operacionais das ferrovias. A comparação de dados obtidos com o Banco Dinamométrico com os da M.E.S. e do D.E.A., possibilitarão se determinar a validade dos ensaios com amostras e orientar o pesquisador em novos tipos de ensaios. que possibilitem a resolução de problemas que atualmente ocorrem e outros que possam existir no futuro.

5 . Instrumentação utilizada

Durante a realização dos ensaios, diversas grandezas de interesse precisam ser medidas e registradas, ou apenas monitoradas ou ainda utilizadas para controle do processo. Em qualquer hipótese, são necessários sensores, medidores e amplificadores adequados, além de registradores e outros dispositivos.

No caso deste trabalho, devem ser efetuadas medidas de força, torque, pressão, rotação e temperatura. A rotação da roda, a pressão no cilindro de freio e a força normal de aplicação na sapata ou das pastilhas de freio devem ser controladas por se constituírem em condições de realização dos ensaios. O Torque e a temperatura são valores que precisam ser processados para a apresentação dos resultados dos ensaios.

A Figura 5.1, representa o esquema de ligação dos instrumentos utilizados para a aquisição de dados e controle dos ensaios.

5.1 . Medidas de força

Durante as frenagens, conforme visto em capítulos anteriores, a força normal sobre a sapata é exercida por um bloco de freio, o qual possui um cilindro pneumático que, ao ser acionado, comprime a sapata contra a roda.

Como a força normal é proporcional à pressão no cilindro de freio, seu valor é obtido indiretamente pela da medição da pressão pneumática no cilindro de freio. Para isso é necessário conhecer a curva que relaciona a pressão pneumática do cilindro de freio com a força normal. Para se obter esta relação, uma célula de carga é inserida na contra-sapata e o freio é aplicado com diferentes valores de pressão. Para cada valor da pressão, anota-se o valor correspondente indicado pela célula de carga, obtendo-se a curva desejada.

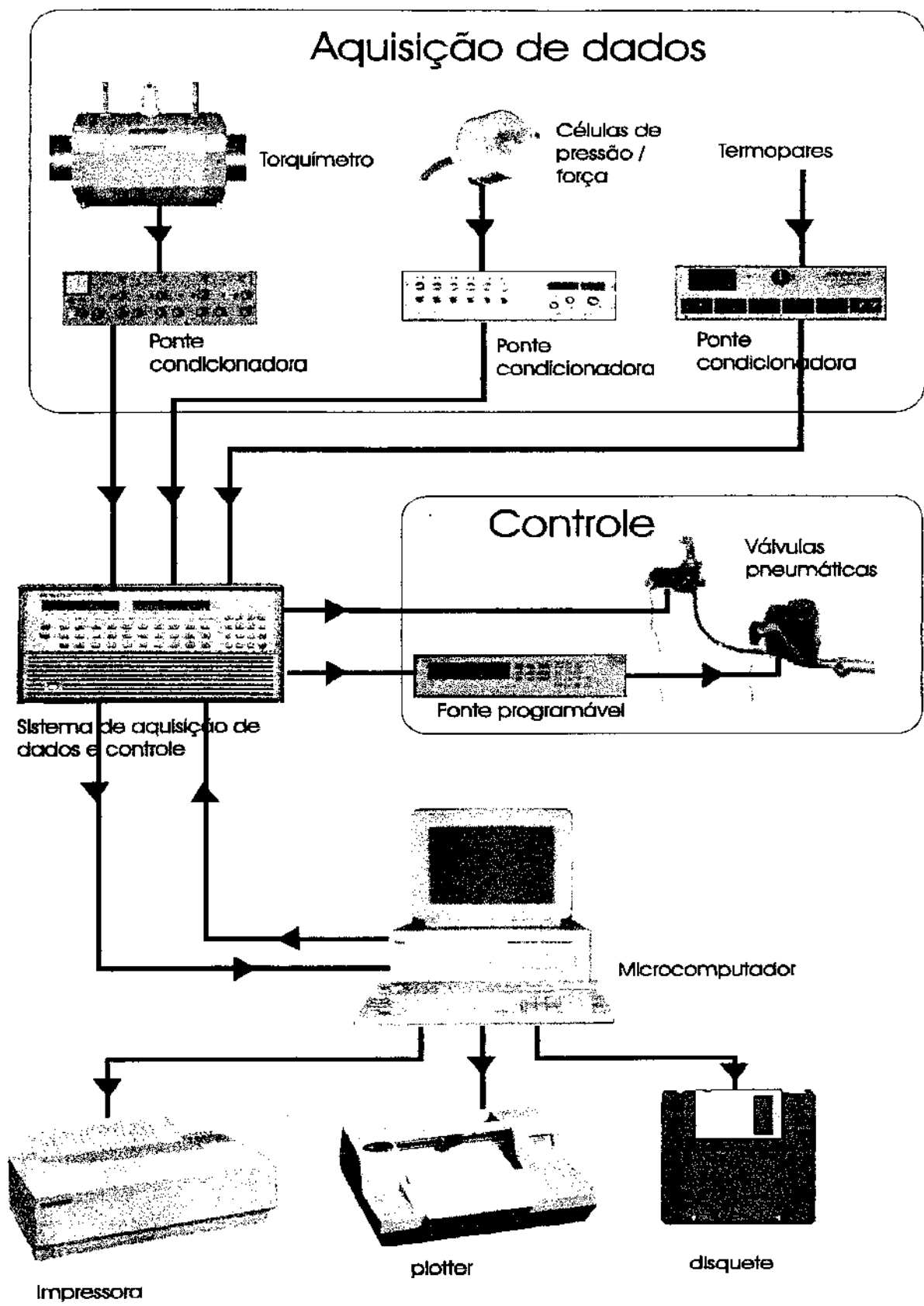


Figura 5. 1 Esquema de ligação dos instrumentos para aquisição de dados e controle dos ensaios

O mesmo procedimento é adotado para o caso do DEA, substituindo as pastilhas por célula de carga de dimensões e capacidade de carga apropriadas.

As medidas de força, a exemplo de outras grandezas físicas, são sempre efetuadas através da análise dos efeitos que ela produz sobre determinados instrumentos, os transdutores, pois é impossível obter diretamente seu valor. No caso de força, são medidas as deformações que os corpos sofrem sob sua ação, que são proporcionais à força exercida.

O transdutor atualmente mais utilizado para a medição de força é o extensômetro elétrico (*strain gage*). Seu princípio de funcionamento foi inicialmente descrito por Kelvin em 1856, quando observou as relações entre a resistência elétrica de um condutor, suas características dimensionais e a resistividade do material com o qual é fabricado.

Os extensômetros elétricos são utilizados na prática porque os esforços mecânicos alteram suas dimensões físicas, o que implica em variação proporcional de sua resistência elétrica em relação às deformações a que foram submetidos.

Os extensômetros são colados ao corpo em que se deseja medir os esforços. Este, ao se deformar sob a ação das forças a serem quantificadas, provoca igualmente uma deformação no sensor que lhe está solidário e ambos possuirão a mesma deformação específica. Medindo-se a variação das propriedades elétricas do extensômetro, se determina sua deformação específica. Com este valor e o módulo de elasticidade do material que compõem o corpo ao qual está colado o extensômetro, se determina o valor das forças a serem medidas.

A variação de resistência elétrica do extensômetro entretanto, é muito pequena, o que acarreta dificuldades práticas em sua medição direta. Comumente se utiliza a conexão elétrica de transdutores sob o arranjo de ponte aos instrumentos de medida, sendo a Ponte de Wheatstone, desenvolvida em 1883 por S. H. Christie, o circuito mais empregado no arranjo dos extensômetros. A principal vantagem deste método consiste em que pequenas variações

de resistência de cada resistor , ou extensômetro, causam um desbalanceamento na ponte facilmente detectável, ou seja, induzem uma tensão de resposta V_{out} .

A figura 5.2 mostra uma Ponte de Wheatstone onde um de seus resistores foi substituído por um extensômetro.

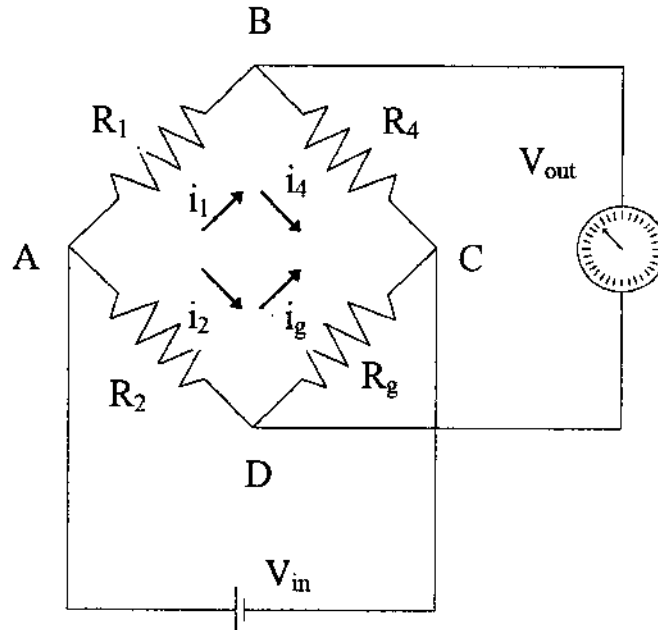


Figura 5. 2 Ponte de Wheatstone

Na figura 5.2, R_1 , R_2 e R_4 são valores de resistores teoricamente invariáveis, R_g é a resistência do extensômetro e V_{in} a tensão de alimentação da ponte.

A configuração da Ponte de Wheatstone mostrada é conhecida como $\frac{1}{4}$ de ponte, pois somente um dos braços é um extensômetro ativo. Há ainda os modelos de $\frac{1}{2}$ ponte e ponte completa, onde respectivamente 2 e 4 braços são substituídos por extensômetros. O emprego de mais de um extensômetro é útil quando se quer uma maior sensibilidade do instrumento em relação as deformações que se quer medir.

As principais vantagens dos extensômetros elétricos são : a constante de calibração é praticamente independente do tempo e da temperatura, fornecem como sinal de resposta uma

função linear entre tensão e deformação, possuem grande precisão, as respostas a solicitações dinâmicas praticamente não possuem distorções ou amortecimentos, há a possibilidade de se levar o sinal até certa distância do transdutor, o que é útil quando os extensômetros são instalados em locais inacessíveis ao voltímetro e a fonte de alimentação. Além disto, são de utilização simples e apresentam baixo custo.

Um emprego dos extensômetros é em células de carga, que são sensores de força. Elas possuem extensômetros colados sob o arranjo de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ ou ponte completa a um elemento que é submetido à força que se quer quantificar. Ao se aplicar a força em uma célula de carga, o elemento ao qual estão colados os extensômetros se deforma, desbalanceando a ponte e gerando uma tensão de saída V_{out} proporcional à força aplicada.

As células de força devem ser ligadas eletricamente à uma ponte amplificadora de sinais, pois a tensão elétrica de resposta das células é baixa, da ordem de milivolts. Além de amplificar o sinal de resposta das células de carga, a ponte é responsável pela alimentação e balanceamento.

Neste trabalho foi utilizada uma ponte Measurement Group série 2100. É um sistema modular, onde cada módulo possui 2 canais com controles de balanceamento, ganho (amplificação) e tensão de alimentação próprios. Pode ser montada em gabinetes de 3 ou de 5 módulos, resultando em até 6 ou 10 canais.

A ponte amplificadora de sinais pode ser acoplada a diferentes células de carga. Cada uma pode exigir valores diversos de tensão elétrica de alimentação. O equipamento utilizado possui tensão de excitação máxima de 17.5 V, com ajuste contínuo para cada um dos canais independentemente.

A amplificação ou ganho consiste na multiplicação da tensão elétrica de resposta das células de carga por um valor previamente ajustado. A ponte amplificadora em uso permite ganho contínuo entre 0.5 e 2100. A amplificação é necessária para permitir uma leitura mais

fácil de seu sinal, bem como leva-lo a distâncias maiores com menos problemas de perdas e interferências de ruídos eletromagnéticos.

5.2 . Medidas de torque

O torque é medido com a utilização de torquímetros instalados entre os redutores e as rodas (M.E.S.) ou disco de freio (D.E.A.). Dividindo-se o torque pelo raio efetivo da roda ou disco de freio, se obtêm a força de atrito.

O método utilizado na medição de torque possui o mesmo princípio básico de funcionamento empregado na obtenção de força.

O torque provoca deformações no eixo do torquímetro, onde são colados extensômetros ligados eletricamente em configuração tal a formar uma ponte de Wheatstone do tipo completa. O sinal de resposta da ponte de Wheatstone é proporcional a deformação do eixo que por sua vez o é em relação ao torque.

Os contatos elétricos com os transdutores existentes no eixo e as partes não girantes do equipamento podem ser feitas por escovas (torquímetros de escovas) ou através de transformadores rotativos (torquímetros sem contato). Este último possui como principal vantagem a geração de sinal de resposta com menos ruídos elétricos em relação ao primeiro.

O torquímetro utilizado no DEA é o modelo T450DPM0693, fabricado pela Universidade Federal de Uberlândia, é do tipo sem contato com a alimentação por sinal AC de 2 kHz até 5 kHz de onda quadrada ou senoidal com 10 V RMS máx, com faixa de operação situada entre 0 e 450 Nm. A ponte é o modelo CST / 4-0, do mesmo fabricante do torquímetro, que fornece um sinal de 3 KHz e 6V pico a pico.

O torquímetro utilizado na M.E.S. é um modelo MCRT - S. Himmelstein, para aplicações de até 50000 lb in, com ponte amplificadora Philips, modelo PR9330, de 4 canais e tensão de alimentação de 1 a 10 V.

5.3 . Medidas de pressão

O acionamento dos freios das máquinas de ensaio, conforme descrito no capítulo 4, é feito por um sistema pneumático. Uma mesma linha de ar comprimido, ligada a reservatório e compressor externos, abastece os equipamentos do laboratório. Sua pressão é estabelecida em um patamar superior a necessária à operação dos diversos equipamentos existentes. Em cada máquina, existe um regulador de pressão que permite o ajuste da pressão adequada a cada ensaio.

Durante as aplicações dos freios, é necessário se conhecer a força normal que está sendo exercida sobre o material de atrito. Conforme descrito no item 5.1, a força normal é obtida indiretamente pelo valor da pressão existente nos cilindros pneumáticos responsáveis pela compressão do material de atrito nas frenagens.

Pela inserção de células de carga na contra-sapata na M.E.S. ou substituindo as pastilhas no DEA e aplicando-se os freios para diferentes valores de pressão, se obtêm a curva pressão x força normal. Juntando-a com a relação V_{out} (da célula de pressão) x pressão, tem-se a relação V_{out} x força normal. O valor de V_{out} é medido para se determinar a força normal.

A pressão é medida pela célula de pressão através de extensômetros que são colados a um diafragma e ligados eletricamente segundo uma Ponte de Wheatstone. Os extensômetros são colados em um lado do diafragma, que recebe a pressão a ser medida no lado oposto. O diafragma, ao se deformar devido a pressão, provoca o mesmo efeito nos extensômetros, causando um desbalanceamento na Ponte de Wheatstone. A tensão de saída (V_{out}) da ponte

é um sinal proporcional à pressão, segundo os mesmos princípios expostos na parte referente à medidas de força.

As células de pressão, a exemplo da células de força, necessitam de uma ponte condicionadora, responsável pela alimentação, balanceamento e amplificação do sinal gerado por elas. Neste trabalho, foi utilizada a mesma ponte amplificadora empregada nas células de força e descrita no item 5.1

5.4 . Medidas de rotação

Em todos os ensaios realizados até o momento, ainda não se fez o registro via computador dos valores de rotação, pois até agora foram executados somente ensaios com rotação constante. Todavia, a rotação das máquinas de ensaio é medida.

A M.E.S. possui um tacogerador, que produz uma tensão de saída proporcional a rotação do motor ao qual está acoplado. O tacogerador na verdade é um gerador elétrico, que utiliza ímã permanente. Seu sinal realimenta o conversor responsável pela alimentação do motor e é através dele que o conversor controla a velocidade do motor.

Ao ser aplicada carga ao motor, ou seja, quando os freios são aplicados, a tendência é a queda da rotação. Esta diminuição produz uma alteração do sinal do tacogerador que é percebida pelo circuito eletrônico do conversor. Este aumenta a alimentação do motor de maneira a compensar a queda de rotação e estabiliza-la nos níveis desejados.

O alívio dos freios, que produz uma tendência de elevação da rotação, desencadeia o processo inverso, ou seja, diminuição da alimentação do motor, para adequar a sua rotação.

O D.E.A. não possui este sistema de realimentação do conversos instalado, pois foi verificado que a rotação permanece dentro dos limites aceitáveis mesmo sem este tipo de controle.

Além do tacogerador na M.E.S., a rotação é medida pelos torquímetros dos dois dispositivos de ensaio. Internamente, os torquímetros são dotados de tacômetros de pulsos. Estes dispositivos possuem uma coroa dentada acoplada ao eixo, juntamente com um sensor óptico. Toda vez que um dente da coroa passa pelo sensor, ele produz um sinal baixo, quando não há dente, tem-se um sinal alto. Com a coroa em rotação, é gerado um trem de pulsos. Determinando-se a sua frequência e dividindo-a pelo número de dentes, tem-se a rotação por segundo do eixo.

5.5. Medidas de temperatura

As medidas de temperatura são importantes porque ela influencia na degradação do material de atrito, no comportamento do coeficiente de atrito, bem como é fator fundamental na aparição dos problemas relacionados as rodas ferroviárias. São feitas medições de temperatura na roda e nas sapatas da M.E.S. e pastilhas do D.E.A.

O sensor de temperatura utilizado são os termopares, baseados no princípio da termoeletricidade, descoberta em 1821 pelo físico alemão Thomas J. Seebeck. Os trabalhos do francês Jean Charles Althanase Pletier em 1834 e do inglês Willian Thompson (Lord Kelvin) em 1851, também físicos, acrescentaram contribuições significativas no seu conhecimento.

Seebeck observou que em dois condutores metálicos feitos de materiais homogêneos diferentes e unidos em suas extremidades (J_1 e J_2), há o aparecimento de uma corrente elétrica (i) quando suas junções estão a temperaturas distintas (T_1 e T_2).

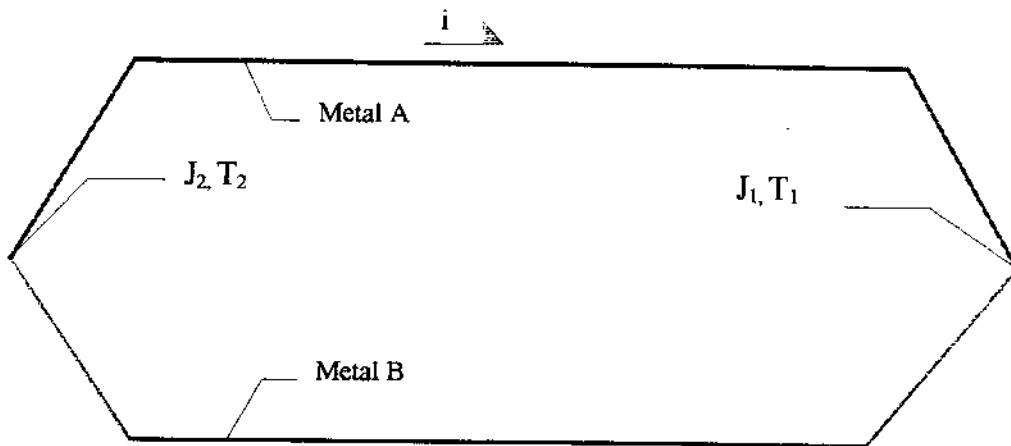


Figura 5. 3 Corrente de Seebeck

Se os dois condutores tiverem somente uma de suas extremidades unidas, sendo a temperatura das que ficaram livres distinta da existente na junção, haverá o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico (E_{AB}) entre as extremidades livres, fenômeno conhecido como Tensão de Seebeck.

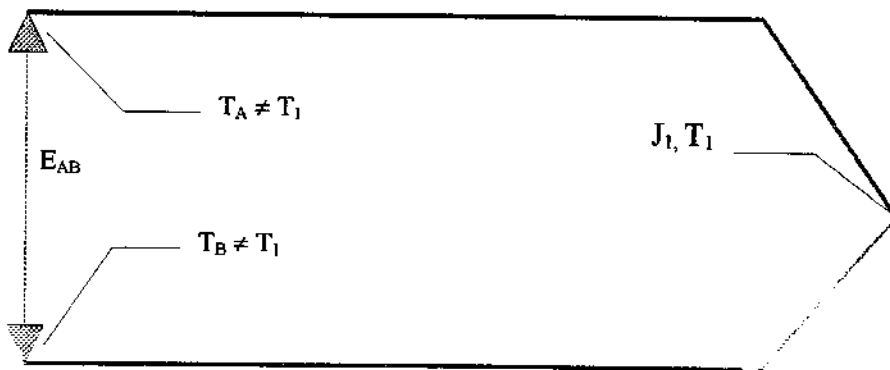


Figura 5. 4 Tensão de Seebeck

A junção que está na temperatura a ser medida denomina-se de junção de medição ou junta quente. As extremidades que são ligadas aos instrumentos de medição são denominadas de junção de referência ou junta fria. A figura 5.5-b mostra o valor da tensão de Seebeck para os termopares mais comuns em função da temperatura da junta quente.

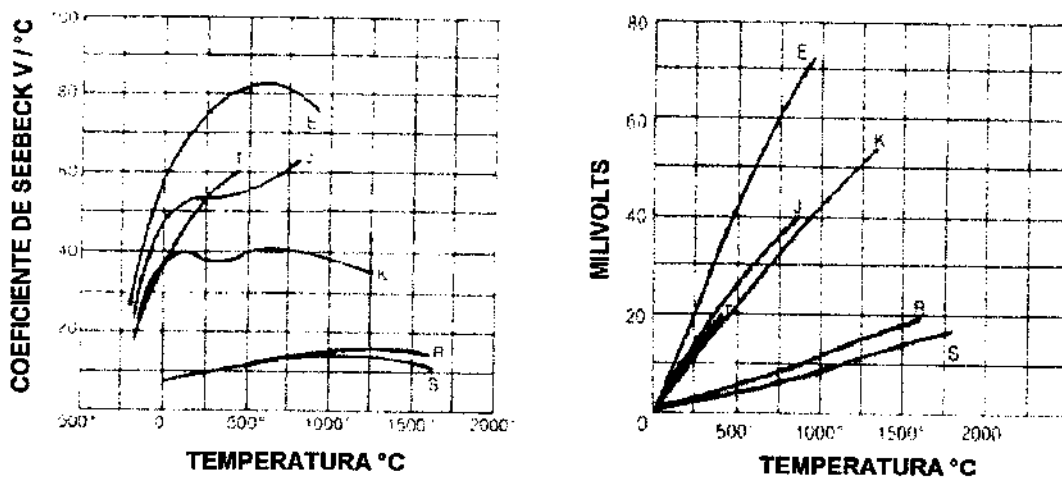


Figura 5.5 a) Coeficiente de Seebeck x temperatura. b) Tensão de Seebeck x temperatura

O coeficiente que relaciona a Tensão de Seebeck com a Temperatura é conhecido como Coeficiente de Seebeck. Infelizmente a relação Coeficiente de Seebeck x Temperatura não é linear, conforme mostra a figura 5.5 a.

Para cada tipo de termopar, cuja identificação se dá por letras, foi determinado seu polinômio de linearização. Para o tipo K, obteve-se um de 8° grau, que cobre toda sua faixa de utilização. Caso o uso se dê em faixas menores, onde o Coeficiente de Seebeck apresenta-se mais constante, é possível a utilização de polinômios de 3° grau.

Nos ensaios de frenagem, é possível a existência de valores de temperatura que variam desde a ambiente até a ordem de 600° C, dependendo de condições operacionais. Optou-se então por termopar do tipo K, considerando-se os custos e facilidade de encontra-lo no mercado, além dos limites de temperatura que ele pode operar.

Para a emprego dos termopares, pode-se utilizar uma ponte de termopares, que é um equipamento que fornece uma tensão elétrica de resposta proporcional a temperatura a ser medida, ou seja, a temperatura na junta quente, independentemente da existente na junta fria.

Para a leitura do sinal proveniente do termopar, foi utilizada uma ponte Sensotec, específica para termopares tipo K, com 10 canais independentes e 8 pontos de linearização e que fornece um sinal de resposta de acordo com uma equação de primeiro grau.

5.6 . A aquisição de dados

Os sinais analógicos de força, torque, pressão e temperatura são digitalizados por um sistema de aquisição de dados e controle, mostrado na figura 5.6. O sistema utilizado é fabricado pela Hewlett Packard, modelo HP3852A, e consiste de um gabinete (mainframe) com fonte, portas para comunicação com outros equipamentos, soquetes (slots) para instalação de cartões e painel frontal com visores de cristal líquido (LCD) e botões para entrada de comandos.

Os valores registrados pelo sistema de aquisição de dados são transferidos para um microcomputador, que comanda o sistema de aquisição bem como armazena os dados obtidos em disco rígido.

A utilização de microcomputador no gerenciamento de ensaios, realizando a programação do sistema de aquisição de dados e armazenando as informações digitalizadas, permite uma série de avanços, com possibilidades até então não disponíveis nos métodos mecânicos tradicionais.

Algumas das vantagens são :

- Possibilidade de várias cópias de mesmo resultado.
- Reprodução, a qualquer tempo, de ensaios anteriores para efeito de comparações.
- Menor acúmulo de documentos.

- Análise de dados mais precisa, eliminando erros inerentes a avaliações visuais de traços em papel.
- Eliminação de erros cometidos por operador, dada a automação de processo.
- Facilidade e agilização de troca de informações com clientes, pela possibilidade de utilização de disquetes ou mesmo telefone (moddem).
- Flexibilidade em novas análises de dados, por permitir utilização de pacotes matemáticos existentes no mercado.
- Criação de muitos formatos de apresentação de dados, tais como listagem de números, gráficos e fichas de ensaio. Pode ser ampla a utilização de recursos gráficos, permitindo melhor adequação dos resultados às necessidades do cliente.
- Criação de diferentes testes em uma mesma máquina de ensaio de frenagem, pois a programação do HP 3852A pelo microcomputador, permite que se altere diversas condições de ensaios, dada a capacidade do sistema de aquisição de dados de controlar processos simultaneamente à aquisição de dados.
- Redução de custos, pois com um mesmo equipamento de ensaio são realizados tipos diversos de testes, não sendo mais o equipamento dedicado a um tipo específico de ensaio.
- Incremento à pesquisa, dada as flexibilizações permitidas.

O sistema de aquisição utilizado pode ser configurado segundo as necessidades através dos cartões, ou módulos, que lhe são inseridos, conforme mostra a figura 5.6. O equipamento utilizado foi montado com um voltímetro HP44702A, com 13 bits de resolução, leitura diferencial, sinal de entrada máximo de 10.24 V e taxa de amostragem de até 100 Khz. Acoplado ao voltímetro, foi instalado um Multiplexador Sólido de Alta Velocidade, HP44711A, de 24 canais, o que possibilita a obtenção de dados de tensão e corrente elétrica AC e DC, resistência elétrica e temperatura. (por RTDs e termistores).

O sistema de aquisição de dados possui uma linguagem de programação própria, cujas instruções são alimentadas por uma porta tipo IEEE - 488 (HPIB / GPIB) ou pelo painel frontal. Para a aquisição de dados dos ensaios de frenagem, configura-se basicamente quantos e quais canais a serem lidos, a duração da aquisição, a taxa de amostragem dos dados, o local

de armazenagem temporária destes dados (se no buffer do voltímetro, na memória principal do sistema ou diretamente no microcomputador) e o modo de transferência dos dados para o microcomputador, pois estes podem ser transferidos compactados ou não.

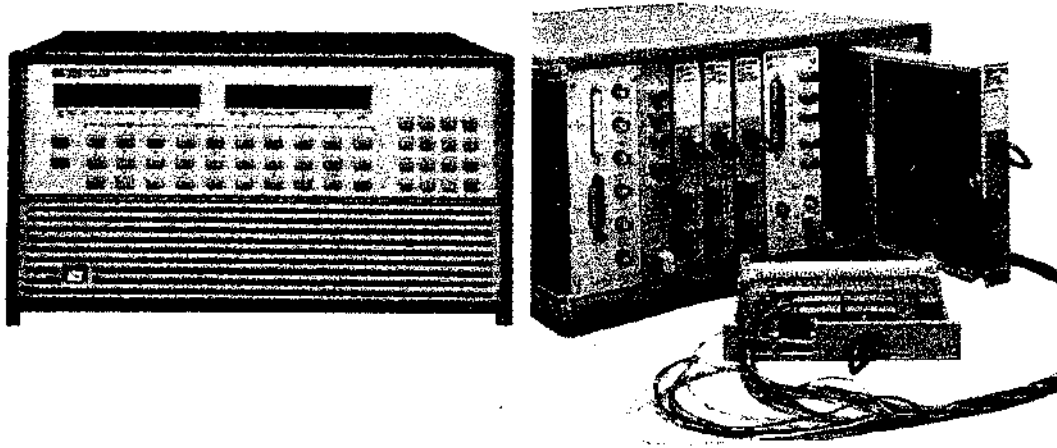


Figura 5. 6 Painéis frontal e traseiro do sistema de aquisição de dados e controle

Além de gerenciar a aquisição de dados, o sistema de aquisição também é responsável pelo controle dos ensaios de frenagem. A sua programação para este ensaios, bem como algumas configurações de *hardware*, foi idealizada de modo a permitir que o voltímetro opere autonomamente e armazene os dados colhidos em sua memória, liberando o sistema de aquisição para controle.

5.7. O controle de ensaios

O controle de dispositivos externos feito pelo sistema de aquisição pode se dar basicamente pela emissão de pulsos, chaveamentos tipo liga / desliga via cartão de relés, sinais digitais ou sinais analógicos. A emissão de pulsos pode ser feita diretamente pelo mainframe. Os demais tipos de controle necessitam de cartões específicos.

O controle automático de ensaios de frenagem, até o presente momento, consiste na aplicação e alívio dos freios e controle da força normal exercida sobre a sapata contra a roda

através do valor da pressão pneumática no cilindro de freios. Outros parâmetros, tais como controle de sistemas de exaustão e refrigeração podem vir a ser automatizados de acordo com as necessidades. o mesmo se aplica a rotação das máquinas de ensaio que atualmente possuem controles manuais.

A aplicação e alívio dos freios é controlada pelo sistema de aquisição utilizando o módulo de relés modelo HP44728A, que é um cartão controlador de 8 relés NA (normal abertos), com limite de operação de 300 Vcc, 2A ou 250 Vac, 3A RMS.

Nas frenagens, o relé é fechado permitindo a alimentação de uma válvula solenóide que permite a passagem de ar comprimido para o cilindro de freio. O alívio do freio se dá pela abertura do relé, com interrupção da alimentação desta válvula e conseqüente descarga para a atmosfera do ar contido no cilindro de freio.

O controle da força normal é exercido mediante variação do sinal de controle da válvula solenóide instalada na linha de ar comprimido depois da válvula responsável pelo alívio e aplicação dos freios.

A fonte de alimentação programável, modelo HP 6632A, fornece a energia para a válvula solenóide de controle de pressão. Sua programação é feita via HPIB pelo sistema de aquisição de dados, utilizando o cartão de comunicação IEEE 488 modelo HP44788A.

5.8 . Armazenamento de dados e apresentação de resultados

As leituras efetuadas nos ensaios devem ter seus valores processados e armazenados para posterior apresentação dos resultados. Os equipamentos envolvidos em tais operações são descritos a seguir.:

Microcomputador HP Vectra QS / 16S, que recebe os sinais digitalizados pelo sistema de aquisição de dados, converte-os de seus respectivos valores em volts para a grandeza correspondente, processa-os para posterior emissão de relatórios de ensaio, bem como os mostra na tela sob a forma de gráficos e os armazena em disco rígido para utilização futura.

O microcomputador utilizado, o HP Vectra QS / 16 S, é o modelo 86, fabricado pela Hewlett Packard. É um PC 386 SX, com co-processador 80387, frequência de 16 Mhz, 2Mb de memória RAM, 80 Mb de disco rígido, 2 portas paralelas e 1 serial, 1 Mb de memória de vídeo, monitor SVGA com *dot pitch* 0.28 mm.

Evidentemente que o funcionamento do microcomputador depende da utilização de um software. O software desenvolvido, PROCAD, foi escrito na linguagem HP BASIC, sendo necessário o HP BLP (Hewlett Packard Basic Language Processor) para operá-lo. Este equipamento é uma placa que se instala nos slots do microcomputador. A configuração utilizada possui memória própria de 1 Mbytes, porta IEEE 488 para a conexão de cabos para comunicação HPIB. O HP BASIC possui comandos que podem transmitir automaticamente informações entre os equipamentos conectados à saída HPIB, formando uma rede local de instrumentos.

Os resultados dos ensaios são mostrados na forma de relatórios, contendo fichas com as principais informações e gráficos. As fichas são impressas em uma impressora de impacto RuggedWriter 480, fabricada pela Hewlett Packard ligada à saída paralela do microcomputador. Possui 9 agulhas e 132 colunas.

Os gráficos de resultados são mostrados na tela do microcomputador ou traçados em folhas de papel. Para tal, se utiliza o plotter modelo 7090A fabricado pela Hewlett-Packard. Este equipamento que pode funcionar como plotter ou como um sistema de aquisição de dados.

Nos ensaios de frenagem, ele é utilizado somente para traçado de eixos de gráficos e de sinais, uma vez que a aquisição de dados está a cargo do sistema de aquisição de dados HP 3852A, conforme descrição anterior.

O plotter HP 7090A possui carretel com capacidade para 6 penas, podendo utilizar folhas nos padrões ISO A4 (210 x 297 mm) e ISO A3 (297 x 420 mm) Sua programação e controle pode ser executada por microcomputador via HPIB, obedecendo às instruções no formato HP-GL (Hewlett Packard Graphics Language).

6 . O programa desenvolvido

O trabalho desenvolvido, para esta dissertação de mestrado, foi a integração dos equipamentos de medição, fonte de alimentação, transdutores e respectivas pontes condicionadoras de sinais, com um sistema de aquisição de dados e um microcomputador. Isto foi feito por meio de um programa de computador, responsável por gerar a programação do sistema de aquisição de dados além de armazenar os dados de ensaio e analisá-los e emitir os relatórios de ensaios.

As indústrias fabricantes de materiais de atrito realizam rotineiramente os ensaios padronizados, para controle de qualidade de sua produção, em equipamentos dedicados para cada tipo de ensaio, como por exemplo as máquinas Krauss e Chase. As máquinas de ensaio de um laboratório de pesquisa, como o Laboratório Ferroviário da Unicamp, devem ser dispositivos versáteis, que além dos ensaios padronizados por normas, devem possibilitar que sejam alteradas algumas de suas condições, bem como realizar ensaios com características diferentes, incluindo-se a medição de outros parâmetros e a utilização de sensores diferentes

Com a montagem e início das operações do Dispositivo de Ensaio de Amostras (D.E.A.), que foi o primeiro equipamento da Laboratório Ferroviário a ser concluído, foi notada a dificuldade para se fazer ensaios em condições diferentes uns dos outros e o alto tempo gasto em sua implementação. Uma primeira versão de programa de aquisição de dados para esta máquina de ensaio tinha pouco mais de 300 linhas de programação e somente fazia a aquisição de um número fixo de sinais. Não realizava o controle de aplicações e alívio dos freios, o que era feito por meio de um gerador de função, ajustado manualmente para gerar uma onda quadrada, cujos tempos de sinal “alto” e “baixo” podiam ser regulados para respectivamente aplicar e desaplicar os freios, e nem controlava a força de aplicação dos freios ou qualquer outro equipamento, como os ventiladores, por exemplo.

A solução de se usar um gerador de função para controlar os freios não poderia ser utilizada sempre, dado as dificuldades e até impossibilidade de se programar uma forma de onda, com o equipamento disponível, que coincidissem com os tempos de alívio e aplicação para todos os ensaios, principalmente quando estes tempos não eram constantes ao longo do ensaio.

Este primeiro programa de aquisição de dados foi feito para o ensaio Krauss. Quaisquer modificações exigiam uma intervenção direta no programa, uma característica ruim, pois somente um membro da equipe do Laboratório Ferroviário conhecia a linguagem de programação e este não podia dispor suficientemente de seu tempo para se dedicar a este tipo de trabalho. Mesmo que pudesse, sempre seria necessário uma espera considerável até que um programa fosse terminado para se rodar um tipo novo de teste.

Para facilitar a aquisição em ensaios realizados em condições diferentes, decidiu-se desenvolver um programa para automatizar todos os ensaios, evitando os erros relativamente comuns em processos manuais, possibilitando sua rápida implementação com segurança e a operação por técnicos que não conheçam a linguagem de programação tanto do microcomputador quanto do sistema de aquisição de dados.

Tornou-se necessário, para isto, que os recursos disponíveis no novo programa permitisse a realização de ensaios com características muito diferentes entre si, com o monitoramento dos sinais, aquisição de dados, automatização de alguns procedimentos e controle das condições de ensaio, tais como os tempos de aplicação e alívio dos freios, a força normal, coeficiente de atrito, temperaturas, velocidades, bem como proporcionar a apresentação de resultados de forma compatível e adequada. Deve proporcionar também o controle de equipamentos agregados às máquinas de ensaio, tais como ventiladores e exaustores.

O programa foi denominado de Programa de Controle e Aquisição de Dados e identificado pela sigla PROCAD. Foi desenvolvido em HPBASIC, que é uma linguagem de

programação estruturada, criada pela Hewlett Packard, baseada no Basic padrão. A sua principal característica é permitir fácil comunicação através do protocolo HP-IB (GP-IB), o que a torna adequada para programar os instrumentos HP existentes no Laboratório Ferroviário e utilizados nos ensaios, assim como quaisquer outros com porta IEEE 488 e que sejam compatíveis com HP-IB.

O PROCAD tem como funções principais a configuração de ensaios, sua execução com aquisição de dados e controle simultâneos e apresentação, de diversas maneiras, dos resultados obtidos. Estas funções estão disponíveis ao usuário sem que haja necessidade dele conhecer qualquer linguagem de programação, mas somente responder as perguntas que o programa vai fazendo, seja durante a programação e execução de ensaios ou durante a apresentação de resultados. Nas próximas páginas, serão detalhados os aspectos referentes a aquisição de dados, ao controle de ensaios e a apresentação de resultados.

No PROCAD, podem ser configurados os seguintes parâmetros de aquisição de dados:

Números de sinais a serem adquiridos :

Durante a programação dos ensaios, é determinado o número máximo de sinais que se irá necessitar para o tipo de ensaio em questão. Durante a execução dos ensaios, são adquiridos tantos canais quanto o máximo programado. Todavia, nem todos são visualizados, mas somente os selecionados. Será mostrado neste capítulo, na parte referente a alteração de apresentação de parâmetros de sinais, como ocorre este processo. Este recurso permite que uma mesma programação de ensaios possa ser usada para apresentar números diferentes de canais de leitura, o que é especialmente útil quando se trata de temperaturas, pois nem sempre se quer medir mesmo número delas.

Duração total do ensaios :

O usuário irá programar o tempo de aplicação e alívio dos freios. O programa fará a aquisição desde o início da primeira aplicação até o instante que terminar o último alívio.

Taxa de aquisição :

Os ensaios tem durações muito diferentes entre si. Um ensaio longo, com alta taxa de aquisição de dados (número de vezes por segundo que o sistema de aquisição de dados fará a conversão do sinal analógico em digital para cada canal) poderá criar um arquivo muito grande sem necessidade. Um ensaio curto, a uma taxa de aquisição baixa, poderá ter muitos dos fenômenos que ocorrem não detectados. Cabe ao usuário encontrar uma taxa de aquisição que satisfaça as suas necessidades com melhor relação possível entre tamanho do arquivo x refinamento dos dados. Somente como exemplo, os ensaios A.A.R. M 926 são atualmente feitos a uma taxa de uma aquisição por segundo por canal e os ensaios Krauss a dez por segundo.

Fatores de conversão dos valores em volts das grandezas lidas para as unidades correspondentes :

O PROCAD assume como uma equação de primeiro grau a relação entre o valor em volts do sinal adquirido com o valor deste mesmo sinal na sua unidade de medida. O usuário deve informar os coeficientes linear e angular desta reta, que o próprio programa já grava no disco rígido o valor na unidade de medida correspondente.

Quanto ao controle de ensaios, o PROCAD está apto a controlar :

Tempos de aplicação e alívio dos freios :

O usuário pode programar quantas aplicações e quantos alívios de freio desejar, bem como o tempo de cada aplicação e cada alívio, respeitando as limitações do cartão de relés do sistema de aquisição de dados.

Força normal :

Há ensaios, como o Krauss, que são executados a uma força normal constante. Já outros, como o Fast, seu valor deve variar para que a força de atrito permaneça estável, de onde vem a necessidade de seu controle. Atualmente o controle automático da força normal pode somente ser executado na M.E.S., pois ainda é o único dispositivo dotado de uma válvula proporcional.

Força de atrito :

As máquinas de ensaios são dotadas de torquímetros, sendo a força de atrito obtida pela aquisição do valor de torque e posterior divisão pelo raio efetivo da roda ou disco de freio, conforme descrição no capítulo sobre a instrumentação utilizada. O valor da força de atrito (ou torque) pode ser mantido constante mediante variações na força normal.

Coefficiente de atrito :

Em ensaios onde seu valor deve ser constante, o seu controle pode ser executado através de variações na força normal.

Equipamentos secundários :

Podem se constituir em equipamentos como os sistemas de exaustão e resfriamento. Atualmente o seu controle pode ser feito pelo cartão de relés.

Velocidades :

A execução de ensaios se faz a velocidades pré-estabelecidas. Até setembro de 1996 , os ensaios foram todos realizados a velocidade constante, sendo esta controlada pelos próprios conversores que alimentam os motores dos dispositivos de ensaio, sem a interferência do PROCAD. Todavia, o PROCAD foi estruturado de maneira a permitir este controle futuramente, com pouquíssimas modificações na versão atual, através de comandos digitais ou sinais analógicos.

Quanto a apresentação de resultados, o PROCAD foi desenvolvido para poder operar independentemente de outro programa, embora possa fornecer um arquivo ASCII com os valores obtidos nos ensaios para posterior processamento externo. Para ser possível esta independência, é necessário que ele apresente os resultados obtidos na forma de relatórios, contendo gráficos e fichas de resultados, sendo que alguns destes resultados são obtidos após processamento dos dados adquiridos, como é o caso de valores médios de coeficiente de atrito.

A apresentação de resultados não se restringe somente a relatórios e arquivos ASCII. Durante a própria execução de ensaios, são traçados no monitor do computador os valores adquiridos. O usuário pode configurar o modo de apresentação destes valores. A configuração de apresentação de resultados envolve os seguintes aspectos :

Parâmetros de gráficos :

Os gráficos, tanto os mostrados no monitor quanto os traçados pelo plotter, não possuem necessariamente os mesmos parâmetros, tais como valores máximos e mínimos, escalas e números de divisões dos eixos, bem como seus respectivos títulos. Para cada ensaio que o usuário programa, ele pode configurar os gráficos da forma que achar melhor.

Sinais a serem traçados em gráficos :

Conforme já descrito, um ensaio pode adquirir um número maior de sinais do que o efetivamente necessário naquele momento, caso tenha sido especificado um número maior de sinais durante a programação de ensaios. Normalmente não se deseja que todos os sinais sejam traçados simultaneamente, bem como pode se reservar um gráfico para um tipo específico de grandeza, como o coeficiente de atrito. O usuário pode configurar o PROCAD para mostrar os sinais que ele deseja antes de iniciar um teste, mesmo que este ensaio já tenha sido programado com uma configuração diferente..

Relatórios de ensaios :

As necessidades de cada ensaio são diferentes, uma vez que devem conter informações específicas. Por exemplo, a norma Krauss exige o cálculo do coeficiente de atrito a frio, o que não ocorre em outras normas. O tipo de relatório também pode variar em função do destinatário dos resultados. O usuário, que conheça a linguagem de programação HPBasic, pode criar rotinas específicas para apresentar as fichas de resultados da forma que achar conveniente.

As potencialidades do programa estão disponíveis ao usuário através de itens em um menu principal, cujo acesso se dá pela seleção da primeira letra de cada um deles. O menu principal fica imediatamente disponível no início da execução do programa e é mostrado na figura 6.1. A tabela 6.1 mostra a relação de teclas com os comandos correspondentes que elas acessam. A figura 6.2, é um fluxograma resumido do PROCAD. As letra existentes nas linhas indicam a opção escolhida pelo usuário no menu correspondente segundo a tabela 6.1

Tabela 6. 1 Teclas e respectivos comandos ativos no menu principal do PROCAD

Letra teclada	Opção correspondente
R	Realização de novo ensaio
C	Continuação de ensaio interrompido
M	Medidas de material de atrito e análise de ensaio
I	Impressão de relatórios e gráficos
G	Geração de arquivo ASCII
V	Verificação dos sinais que chegam ao HP3852A
T	Teste de plotter e HP3852A
P	Programação de ensaio
A	Alteração de apresentação de parâmetros de sinais
E	Escolha do arquivo ativo (p/ medidas, impressão, geração, alteração)
F	Fim

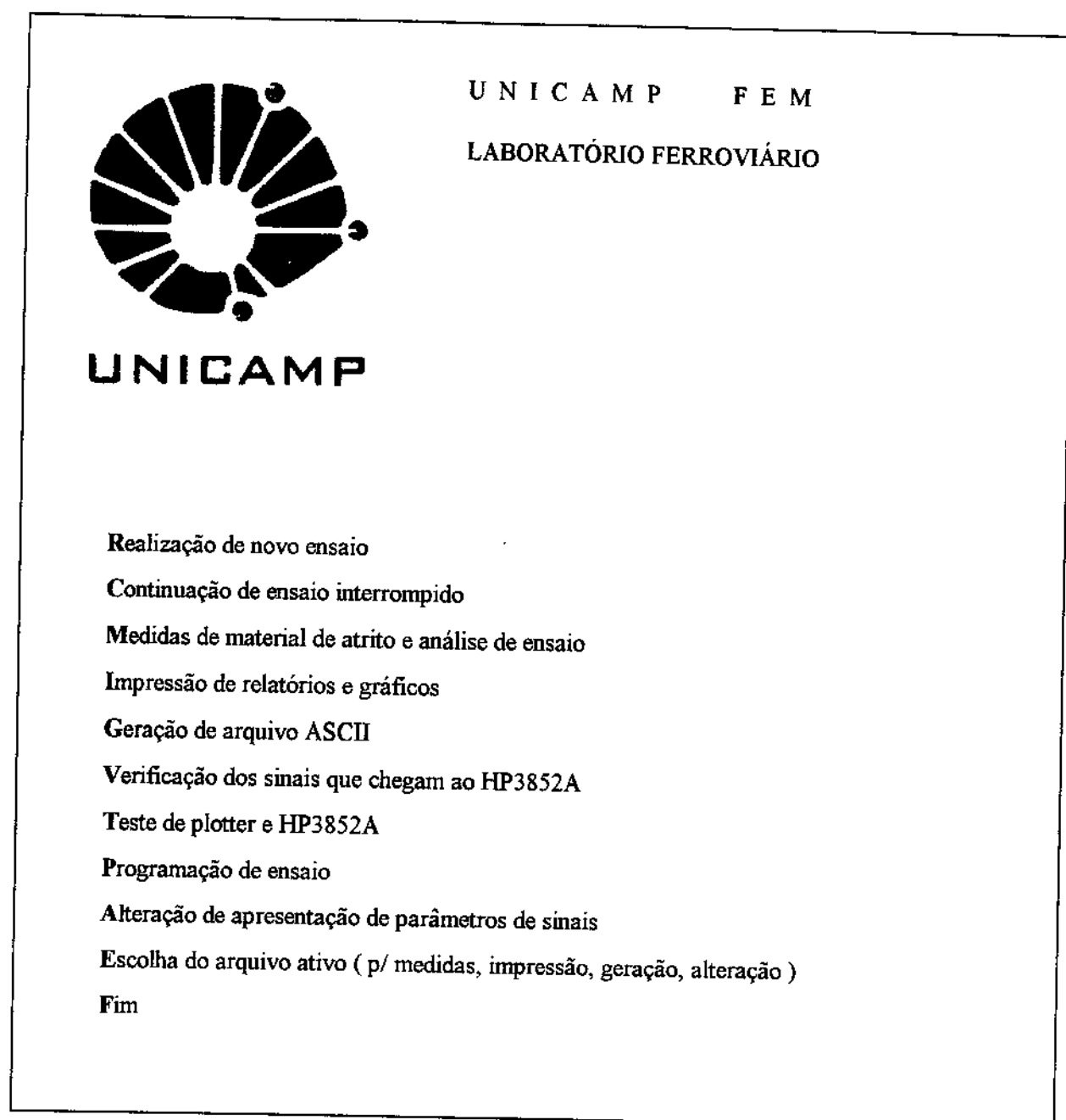


Figura 6.1 Menu principal do PROCAD

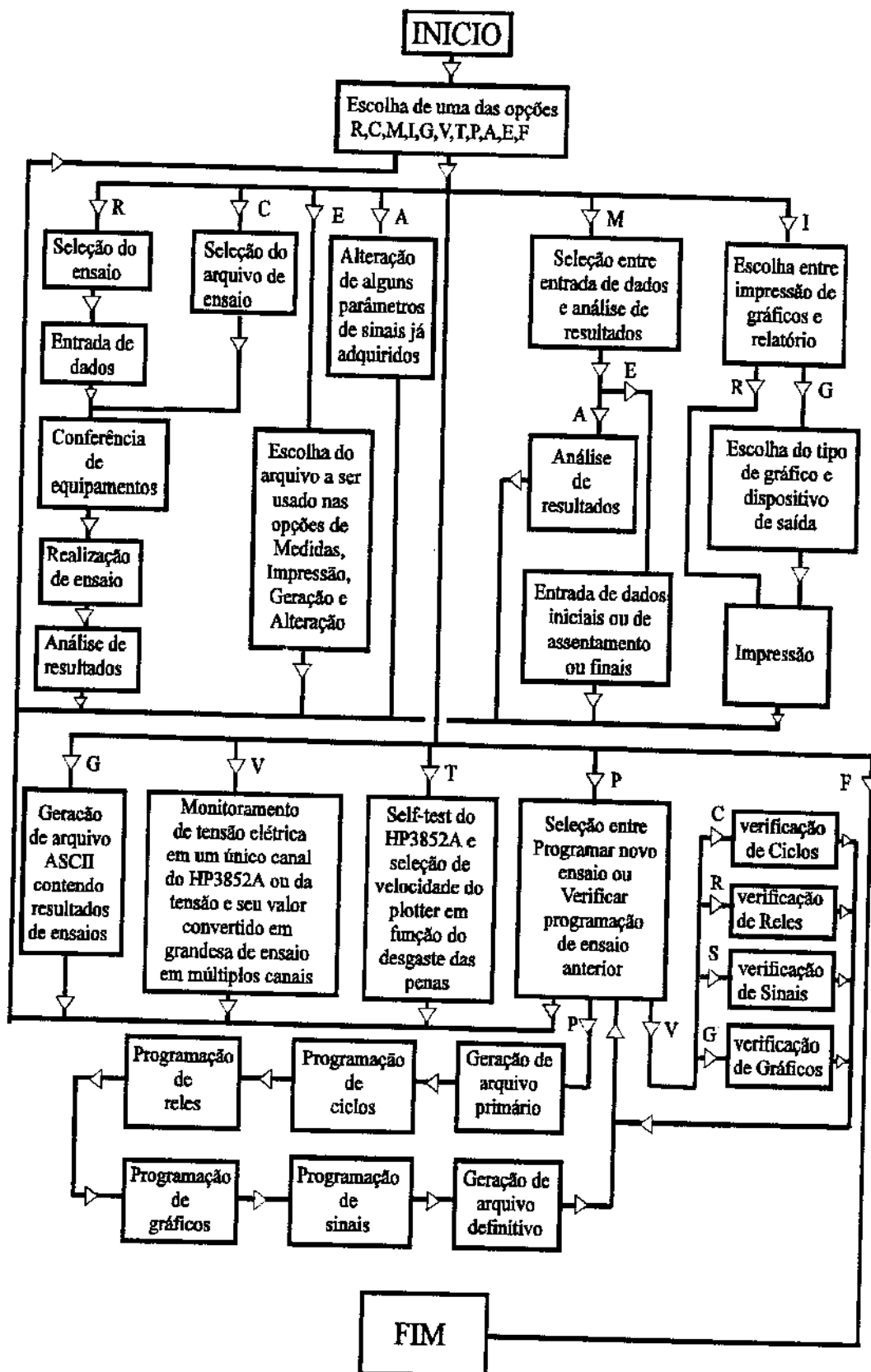


Figura 6. 2 Fluxograma geral do PROCAD

Os itens do menu principal aparecem na ordem de interesse de sua utilização, não na ordem de execução lógica, assim o primeiro item é Realização de um novo ensaio, seguido de Continuação de ensaio interrompido, etc..

Se deseja que PROCAD é a execução de ensaios de freios. Uma vez que o ensaio tenha sido anteriormente programado, o item realização de novo ensaios deve ser selecionado sempre que se deseje inicia-lo.

Alguns ensaios podem ser interrompidos ou realizados em diversas etapas, como por exemplo o ensaio Krauss. Nestas condições, o ensaio pode ser suspenso e retomado posteriormente. O programa pode ser então encerrado e reiniciado a partir do ponto de encerramento.

A utilização do PROCAD pode ser compreendida em três fases ; a programação de ensaios, a execução de ensaios e a apresentação de resultados, sendo cada uma executada por meio de diversas ações. A seguir será apresentada cada uma destas fases.

6.1 . Programação de ensaios

A programação de ensaios consiste na criação de um arquivo que contenha as informações necessárias para a execução de cada tipo diferente de ensaio, o qual é armazenado em um diretório específico para os arquivos de programação de ensaios. Cada arquivo é subdividido em registros, numerados seqüencialmente, capazes de armazenar um número real ou seqüência (*string*) com até 4 letras.

O número total de registros necessários em um arquivo que possibilite realização de ensaios é igual a soma dos registros que contém os dados de configuração da aquisição e do controle do ensaio com os necessários para conter as informações obtidas como resultados dos testes. Este número varia consideravelmente em função da taxa de aquisição de dados, da

duração do ensaio e do número de canais utilizados. Cada leitura que o sistema de aquisição de dados realiza em um de seus canais gera um número real para ser arquivado. Um ensaio que possua um total de leituras maior do que outro, vai necessitar de mais registros para armazenagem de dados.

Para se otimizar o tamanho dos arquivos de resultados, de modo que ocupem o mínimo indispensável de espaço em disco, a programação de ensaios é dividida em duas fases. Na primeira, as informações que se referem exclusivamente à execução do ensaio, ou seja, os dados de aquisição e controle (tais como : tempos de frenagem, canais de medição e parâmetros dos sinais), são fornecidas pelo usuário e armazenadas temporariamente em um arquivo de tamanho fixo e pré-dimensionado, aqui denominado de arquivo primário. Na segunda fase, que se inicia após o usuário ter fornecido todas as informações pedidas pelo programa, este calcula o tamanho do arquivo que será necessário para conter todos os dados inseridos na primeira fase, mais os dados obtidos com a aquisição de sinais, acrescidos do espaço extra destinado à análise dos resultados. Este arquivo, aqui denominado de arquivo definitivo, é o que efetivamente será utilizado pelo PROCAD. Toda vez que se iniciar um novo ensaio, o arquivo definitivo será copiado para o diretório de resultados de ensaios, terá seu nome alterado de acordo com o número do ensaio corrente e receberá o resultado das aquisições de dados.

Os arquivos dos ensaios tem seus nomes implementados automaticamente obedecendo ao padrão Eaaannn.ENS, onde *aa* são os dois últimos dígitos do ano corrente e *nnn* o número seqüencial do ensaio, independentemente de qual dispositivo ou tipo de ensaio utilizado. Por exemplo, o vigésimo ensaio executado no laboratório no ano de 1996 será denominado de E96020.ENS.

As denominações “primário” e “definitivo” são utilizadas neste texto apenas para diferenciar tipos diferentes de arquivos, pois cada ensaio terá o seu próprio nome para o definitivo e o primário, podendo este último ser eliminado após o término da programação.

As informações necessárias para a programação de ensaios são agrupadas em 4 grupos distintos : ciclos, relés, sinais e gráficos.

6.1.1 . Programação de ciclos

Os ensaios de frenagem podem ser agrupados em três tipos básicos : acíclicos, cíclicos e cíclicos com tempos de frenagem diferentes.

Os acíclicos são ensaios que consistem em uma aplicação do freio por um período único e determinado. Os cíclicos com tempos de frenagem constantes são ensaios em que o tempo de aplicação e alívio em cada ciclo são constantes, bastando especificar esses tempos e o número de vezes que ocorrem. Exemplo típico é o ensaio Krauss, que consiste em 10 ciclos com tempos de frenagem e alívio constantes. Os cíclicos com tempos de frenagem diferentes são ensaios em que os tempos de aplicação e alívio podem ser diferentes dentro de um mesmo ciclo, como por exemplo no ensaio A.A.R. M 926, que se constitui de uma fase com ensaios de parada e outra com ensaios de frenagem a velocidade constante durante um período determinado de tempo.

Para efeito de programação e execução, o PROCAD divide todos os ensaios em ciclos, mesmo que haja somente um ciclo com uma única aplicação do freio. Cabe ao usuário fazer a divisão dos ciclos de acordo com as suas conveniências ou exigências das normas utilizadas. Tomando como exemplo o ensaio padronizado conforme norma A.A.R. M 926, os testes de parada a partir de velocidades pré-estabelecidas tanto podem ser divididos de forma que cada um deles seja um ciclo, como também se pode programar o ensaio como um único ciclo com duração suficiente para abranger todas as paradas. No primeiro caso, cada ciclo deve ter sua duração estimada de maneira a permitir que a aquisição de dados dure desde o momento inicial de frenagem até pouco após a parada. No segundo caso, deve ser estimado um tempo de ciclo que permita as sucessivas paradas e acelerações do Banco Dinamométrico.

Na programação dos ciclos, o usuário deve informar o número total de ciclos e para cada um destes, o número de frenagens bem como as suas durações e de seus alívios

correspondentes. Para um ensaio com diversos ciclos iguais, como o tipo Krauss, basta fornecer o número de ciclos, número de frenagens por ciclo e duração das frenagens e dos alívios.

As aplicações e alívios dos freios são controladas pelos relés números 1, 2 e 3 do cartão de relés do HP3852A dedicados respectivamente para D.E.A., M.E.S e Banco Dinamométrico. Ao programar os ciclos tem-se na verdade uma programação das aberturas e fechamentos do relé dedicado a bancada em questão, e que foi separado da programação normal de relés.

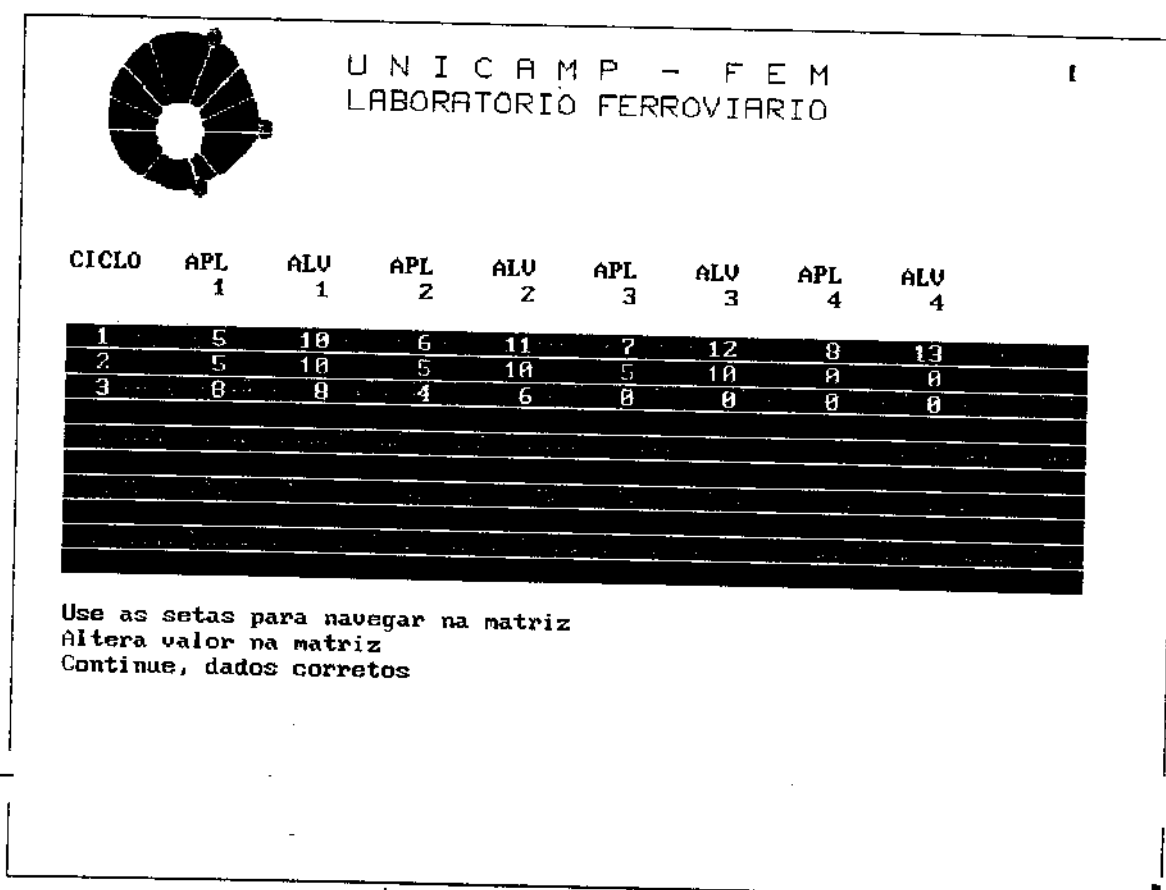


Figura 6.3 Tela do PROCAD mostrando matriz de configuração de ciclos

A figura 6.3 mostra a tela do PROCAD após o usuário ter informado o número de ciclos e os tempos, sempre expressos em segundos, de cada alívio a aplicação dos freios. As palavras APL e ALV mostradas na figura 6.3 significam aplicação e alívio respectivamente.

Os dados mostrados na matriz não se referem a nenhum ensaio normatizado. Se o usuário tiver errado algum valor durante a entrada de dados, ele poderá alterá-lo na própria matriz através da seleção da opção "Altera valor na matriz" e informando o número do ciclo e o número da aplicação / alívio correspondente.

As figuras que mostram as telas do PROCAD neste capítulo representam o negativo da imagem vista no monitor, portanto suas cores estão alteradas em relação às reais.

6.1.2 . Programação de relés

Consiste na configuração dos tempos de abertura e fechamento dos relés de número 4 em diante do cartão HP 44728A. Estes chaveamentos são os responsáveis por ligar e desligar equipamentos utilizados durante os ensaios. Exemplos de aplicações deste recurso são ligar ou desligar automaticamente sistemas de ventilação e exaustão.

Durante a programação de relés, devem ser fornecidas as informações referentes ao número de relés ativos em cada ciclo, número de chaveamentos de cada relé em cada ciclo, posição do relé no início do ciclo (aberto ou fechado) e duração de cada chaveamento.

A programação de relés exige cuidados especiais, pois o cartão de relés, HP 44728A, apresenta intervalo de aproximadamente 2,3 segundos entre 2 chaveamentos consecutivos. Por exemplo, 10 segundos após o início de um ensaio se acionar 1 relé, o próximo somente poderá ser acionado no tempo de 12,3 segundos a contar do início do teste. Havendo comando para chaveamento simultâneo de 3 relés, o de menor número será acionado no instante determinado, o de segundo menor número 2,3 segundos após o primeiro e o último 2,3 segundos após o segundo. Estes intervalos, entretanto, não afetam as demais funções do sistema. Por exemplo, a aquisição de dados continua a ser executada normalmente sem perder qualquer informação.

A figura 6.4 mostra a tela de programação de relés. O tempo e opção número zero, referem-se ao status (aberto ou fechado) do relé imediatamente antes de se iniciar o respectivo ciclo. Há uma tela igual a esta para cada ciclo do ensaio. A tela referente a programação de ciclos, mostrada no tópico anterior, já é única para todo o ensaio.

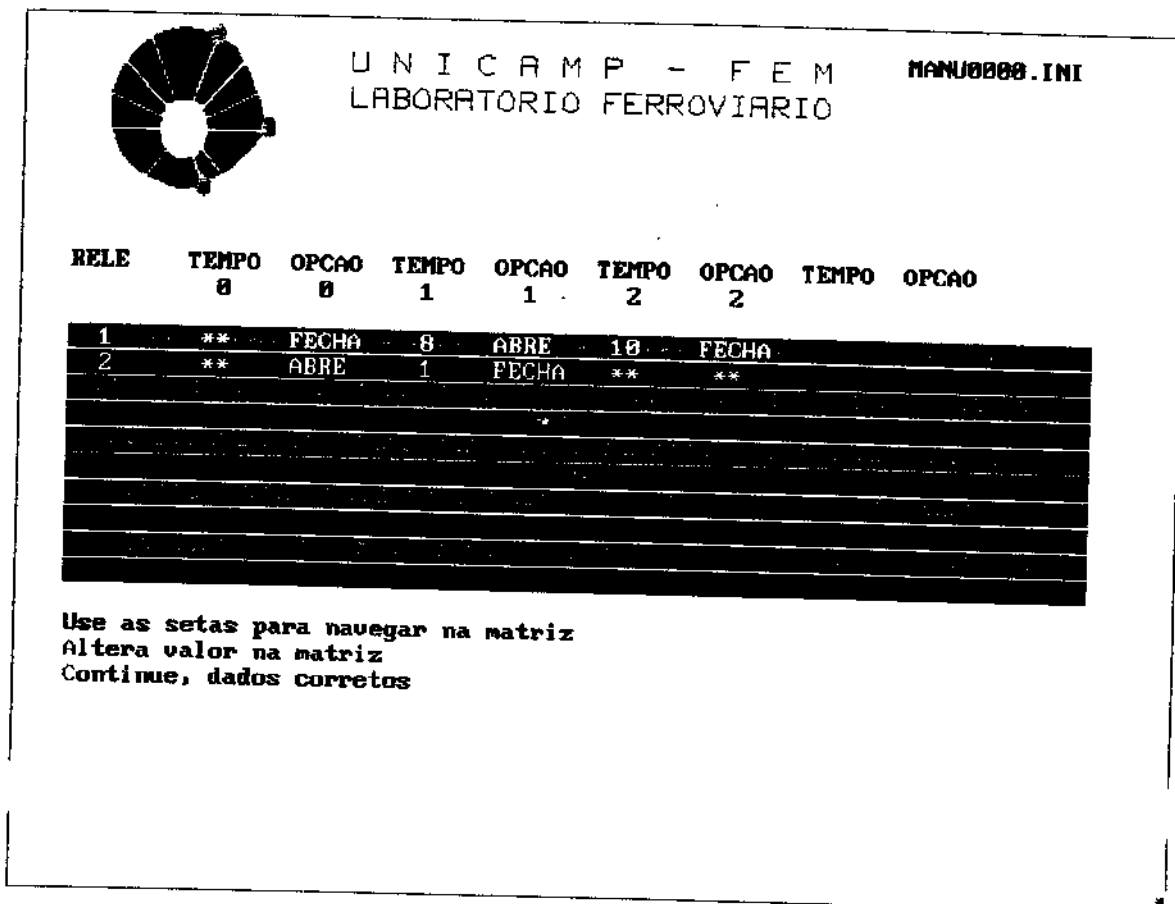


Figura 6. 4 Tela do PROCAD mostrando a programação de relés

6.1.3 . Programação de sinais

Nesta fase é necessário informar qual das bancadas de ensaio vai ser utilizada, quantas leituras por segundo deverá ser feita por canal, quantos serão os sinais a serem adquiridos e para cada um deles, o seu título, coeficiente angular e linear da curva utilizada para a conversão de volts para a grandeza correspondente, valores máximos e mínimos esperados,

bem como número da cor para sua apresentação em gráfico na tela e número da pena do plotter a ser utilizada para sua apresentação em gráfico no papel.

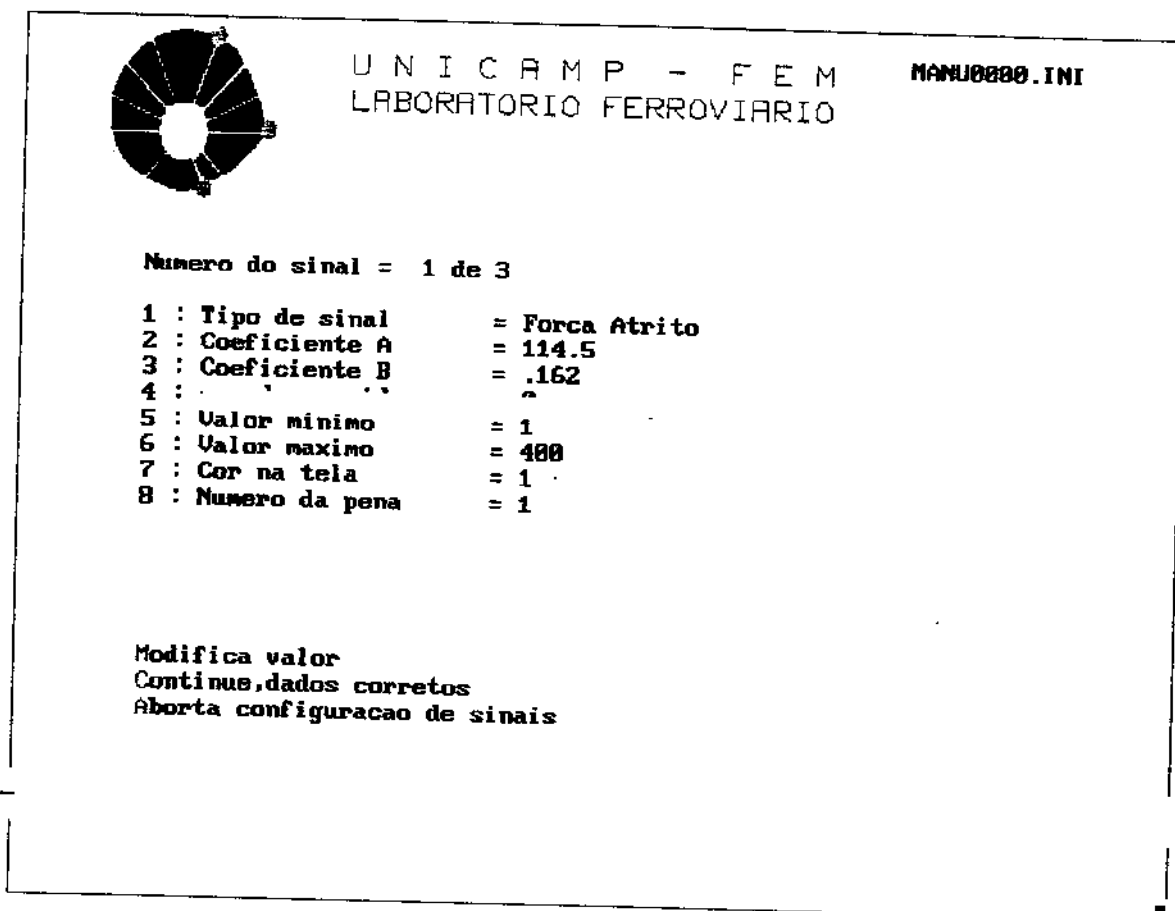


Figura 6. 5 tela do PROCAD mostrando a tela de programação de sinais

A figura 6.5 mostra uma tela de programação de sinais. Há uma igual para cada um dos sinais que se quer adquirir.

O título do sinal é necessário para sua identificação quando apresentado em papel. Como pode haver mais de um sinal exibido simultaneamente em um mesmo gráfico, estes são mostrados em cores ou penas diferentes segundo a opção feita pelo usuário durante a programação de sinais. Caso se queira que um sinal não seja mostrado durante a execução do ensaio, basta escolher cor zero ou pena zero. O PROCAD fornece ao usuário, no momento que ele vai selecionar a cor, uma tabela relacionando as cores disponíveis e os seus

respectivos números. O número da pena indica qual das 6 penas o plotter vai usar para traçar o sinal em questão. Posteriormente estes parâmetros podem ser alterados mesmo para apresentação de um ensaio já realizado. Isto será visto posteriormente quando se tratar da opção "Alteração de apresentação de parâmetro de sinal" do menu principal.

Ao término de cada ciclo, os valores em volts das leituras efetuadas pelo sistema de aquisição de dados são transferidas para o microcomputador que os converterá segundo uma equação de 1º grau, cujos coeficientes angular e linear são os coeficientes A e B mostrados na fig 6.5. Os sinais adquiridos podem sofrer interferências elétricas, os ruídos elétricos, e apresentarem valores às vezes absurdos. Se após a conversão, for obtido um número além do máximo esperado ou aquém do mínimo, o programa substitui, durante a gravação dos dados em disco rígido, este valor pelo limite estabelecido. Isto é feito para se evitar problemas na apresentação dos sinais em gráficos, sem contudo mascarar a presença dos ruídos, permitindo ao usuário a identificação de eventuais problemas. Métodos matemáticos para eliminação de ruídos, se adotados, são implementados nas rotinas de análise dos resultados e não durante a gravação dos dados.

Os sinais (torque, força, temperatura, etc..) são programados e numerados seqüencialmente e correspondem a um canal de leitura do sistema de aquisição de dados. O PROCAD reservou 5 canais exclusivos para cada uma das máquinas de ensaio. Como o sistema de aquisição tem um total de 24 canais, pode-se utilizar mais 9 comuns a todas elas, o que permite a utilização de até 14 canais simultaneamente.

Tabela 6. 2 Canais do sistema de aquisição e respectivos dispositivos de ensaio conectados.

Número do canal do sistema de aquisição de dados	Destino
0 a 4	cinco primeiros sinais a serem adquiridos no D.E.A.
5 a 9	cinco primeiros sinais a serem adquiridos no M.E.S.
10 a 14	cinco primeiros sinais a serem adquiridos no Banco Dinamométrico
15 a 23	sinal 6 em diante comuns a qualquer bancada.

A partir das informações referentes a programação de ciclos, relés e sinais, o PROCAD elabora um programa na linguagem do sistema de aquisição de dados (HP3852A), para cada um dos ciclos do ensaio. Este equipamento é programado para fazer uma aquisição de dados durante o tempo de duração do ciclo, que é obtido pela somatória da duração de todas as frenagens e alívios, a uma taxa de aquisição determinada e lendo os canais correspondentes aos sinais programados, segundo a tabela 6.1. Simultaneamente à aquisição, deve ser feito o controle do cartão de relés, comandando as suas aberturas e fechamentos em função do tempo.

6.1.4 . Programação de gráficos

Como mencionado anteriormente, os sinais obtidos são mostrados na forma de gráficos. É necessário, portanto, que se programe todos os eixos dos gráficos utilizados no plotter e na tela. Para cada ensaio, têm-se duas séries de gráficos.

A primeira, denominada “gráficos padrão”, apresenta, durante a execução do ensaio, os sinais na tela após cada ciclo. Pode também ser utilizada, posteriormente, para o registro de cada ciclo segundo o modelo utilizado nesta mesma execução. Foi padronizado que a parte superior da folha de papel ou da tela exiba o gráfico de temperaturas e a inferior, o coeficiente de atrito. O número total de gráficos, para cada uma das duas séries, corresponde a dois gráficos para exibição de temperaturas e coeficiente de atrito abrangendo todo o ensaio mais dois gráficos por ciclo. Por exemplo, para um ensaio de 10 ciclos, tem-se 22 gráficos de cada série.

A segunda série de gráficos, denominada de “outros gráficos”, tem como objetivo permitir maior flexibilidade na exibição de dados. Possui o mesmo número de gráficos da primeira série e permite que se trace qualquer dos sinais obtidos em função do tempo, já que na primeira série se tem somente a exibição de temperatura e coeficiente de atrito. Durante a

programação, os gráficos são identificados somente com o número do ciclo e posição, superior ou inferior. Todavia, o usuário tem a opção para a segunda série, quando do traçado dos eixos no dispositivo de saída, de posicioná-los segundo a sua conveniência.

Estas duas séries não esgotam todas as possibilidades de manipulação de dados em um gráfico. O PROCAD não permite, por exemplo, que se trace um sinal em função de outro. Como há no mercado programas específicos para manipulação de dados e traçado de gráficos, como o Haward Graphics por exemplo, o PROCAD permite que se gere arquivos de dados no formato ASCII para a utilização, caso seja necessário, de resultados nestes programas comerciais. Esta possibilidade será vista com mais detalhes no decorrer deste capítulo na parte referente à geração de arquivos ASCII.

A tabela 6.3 fornece os dados utilizados pelo usuário para configurar os eixos de gráficos mostrados na figura 6.6

Os ajustes dos numerais em relação aos eixos (dois últimos itens na configuração dos eixos) se referem ao posicionamentos em relação aos eixos. Os numerais que compõem as escalas podem ser deslocados, evitando-se que as linhas de escalas dos eixos (as divisões dos eixos) se sobreponham a eles, como aconteceu no exemplo mostrado.

6.1.5 . Geração do arquivo definitivo e verificação da programação.

Após a programação do último gráfico, o usuário deve informar quantos são os registros que ele deseja reservar para utilização em um possível programa de análise de resultados. O programa calcula então o total de registros necessários no arquivo definitivo de ensaio, gera um arquivo desse tamanho, preenche todos os registros com o valor zero. Isto permite, posteriormente, acesso aleatório e não somente seqüencial aos registros. A seguir, o programa copia todas as informações que estavam no arquivo primário, transferindo-as para o definitivo, encerrando-se a fase de programação de ensaios.

Tabela 6. 3 Dados de programação de eixos de gráficos no PROCAD

Configuração do eixo X	
Valor máximo do eixo X	170
Valor mínimo do eixo X	-17
Número de divisões na parte positiva do eixo X	34
Espaçamento entre divisões principais do eixo X	2
Posição do eixo X no eixo Y	0
Ajuste em X dos numerais do eixo X	0
Ajuste em Y dos numerais do eixo X	0
Configuração do eixo Y	
Valor máximo do eixo Y	500
Valor mínimo do eixo Y	-50
Número de divisões na parte positiva do eixo Y	15
Espaçamento entre divisões principais do eixo Y	3
Posição do eixo Y no eixo X	0
Ajuste em X dos numerais do eixo Y	0
Ajuste em Y dos numerais do eixo Y	0
Configuração geral	
Título do eixo X	Tempo (seg)
Mostra numerais na parte negativa do eixo X	não
Título do eixo Y	Temperatura (C)
Mostra numerais na parte negativa do eixo Y	não
Configuração de cores e penas	
Nº da cor dos eixos na tela	5
Nº da pena do plotter para os eixos	6
Nº da pena do plotter para os títulos	6

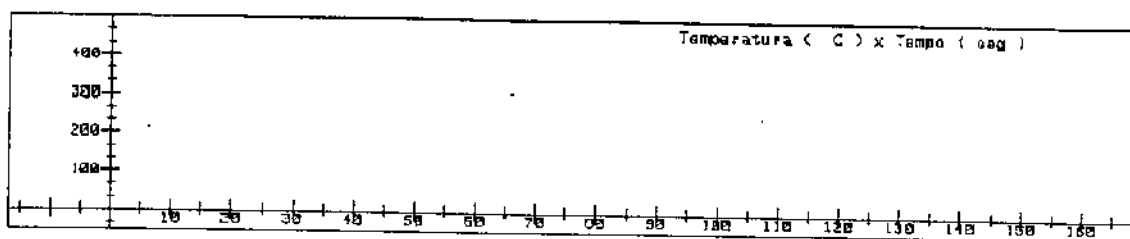


Figura 6. 6 Gráfico produzido de acordo com os dados da tabela 6.2

Não é necessário que toda a programação seja feita de uma única vez. Caso seja interrompida, as informações já fornecidas são preservadas, podendo se continuar do ponto onde se parou.

6.1.6 . Verificação de configuração anterior

Há situações em que o usuário deseja verificar ou até mesmo alterar uma determinada informação da programação. Há no menu de programação uma opção de verificação de configuração anterior, que permite a visualização das informações de ciclos, relés, sinais e gráficos e inclusive a alteração de algumas delas, o que pode tanto ser feito no arquivo primário quanto no definitivo. Como exemplo de sua utilização, tem-se a ativação de um sinal quando este foi deixado ocioso em uma programação anterior. Considera-se um sinal ocioso quando não é permitida a sua exibição nos gráficos através da seleção de cores e número de pena, todavia a aquisição de seus dados é efetuada mesmo que não utilizada.

6.2 . Execução de ensaios

Para a realização de um ensaio, deve ser feito o teste de plotter para determinação da melhor velocidade de traçado em função dos desgastes das penas. Pode ser feito também um "self-test" do sistema de aquisição de dados e teste de cada um de seus cartões para identificação de problemas no equipamento. Posteriormente se verifica as condições de chegada dos sinais elétricos e correspondentes grandezas a serem medidas, para identificação

de possíveis falhas na comunicação com os dispositivos de ensaio. Ao término da verificação dos sinais, inicia-se a realização propriamente dita do ensaio ou continuação de um anterior que porventura tenha sido interrompido. Após o término do ensaio ou de fase de acentamento, é feita a entrada de valores medidos no material de atrito, tais como as espessuras, pesos e áreas. Por último, vem a análise de resultados obtidos.

A seguir, serão detalhadas cada uma destas fases.

6.2.1 . Verificação de sinais

Todos os sinais de medição utilizados podem ser conhecidos antes de se iniciar os ensaios. O usuário pode escolher entre o monitoramento da tensão elétrica recebida em um único canal do sistema de aquisição de dados, cujo valor em volts é mostrado no próprio equipamento, ou a averiguação de todos os canais utilizados especificamente em um ensaio.

Na segunda hipótese, para um determinado ensaio escolhido, são listados na tela do microcomputador, conforme figura 6.7, na forma de colunas, o número do sinal, o seu canal correspondente no sistema de aquisição de dados, seu título, a tensão em volts que está sendo medida e o valor já convertido na grandeza correspondente. Este procedimento visa eliminação de erros como a não conexão de transdutores, identificação de algum mal contato elétrico, ruídos, falhas nas ligações e comunicações entre os equipamentos ou outros problemas quaisquer. Evita-se a invalidação de ensaios devido a problemas técnicos, o que se traduz em economia de tempo e recursos.

Algumas ajustes podem ser efetuadas durante o monitoramento, como é o caso da pressão pneumática.

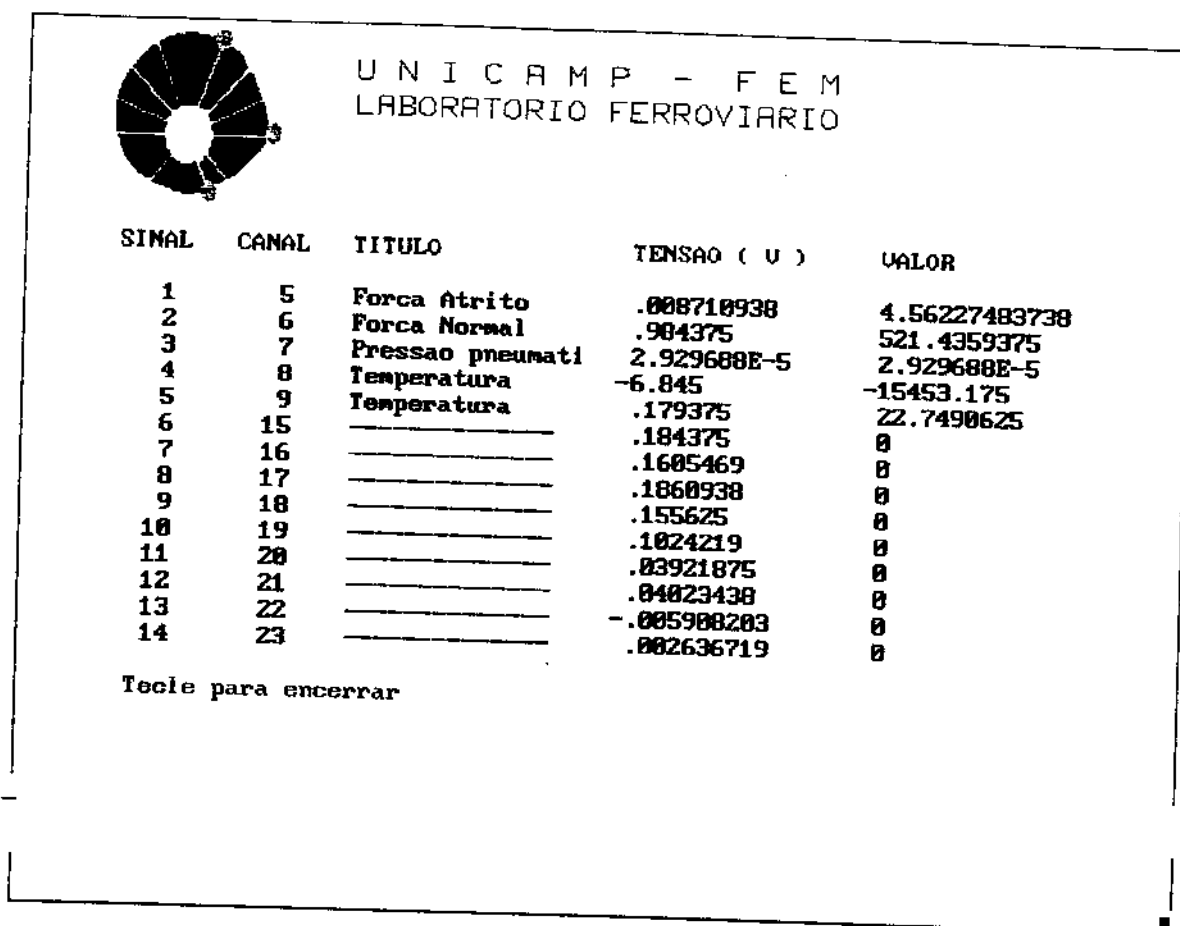


Figura 6. 7 Tela do PROCAD mostrando a verificaco de sinais de um determinado tipo de ensaio

6.2.2 . Teste do sistema de aquisico e do plotter

O sistema de aquisico de dados, HP 3852A, possui recursos para a deteco de possíveis falhas em sua operao mediante auto-teste. São checados o funcionamento de seus principais componentes e para cada item testado, quer seja o próprio sistema de aquisico de dados ou um de seus cartões,  emitido uma mensagem que indica a presença ou não de problemas.

Caso seja encontrado algum problema, o PROCAD indica o código do erro ocorrido. A figura 6.8 mostra a tela do computador após o teste. Verifica-se a mensagem número 32 para o slot zero do sistema de aquisico de dados. Com o código fornecido, se consulta os manuais do equipamento para identificar a origem do problema. Neste caso específico, o código 32 indica ausência de cartão no slot zero.

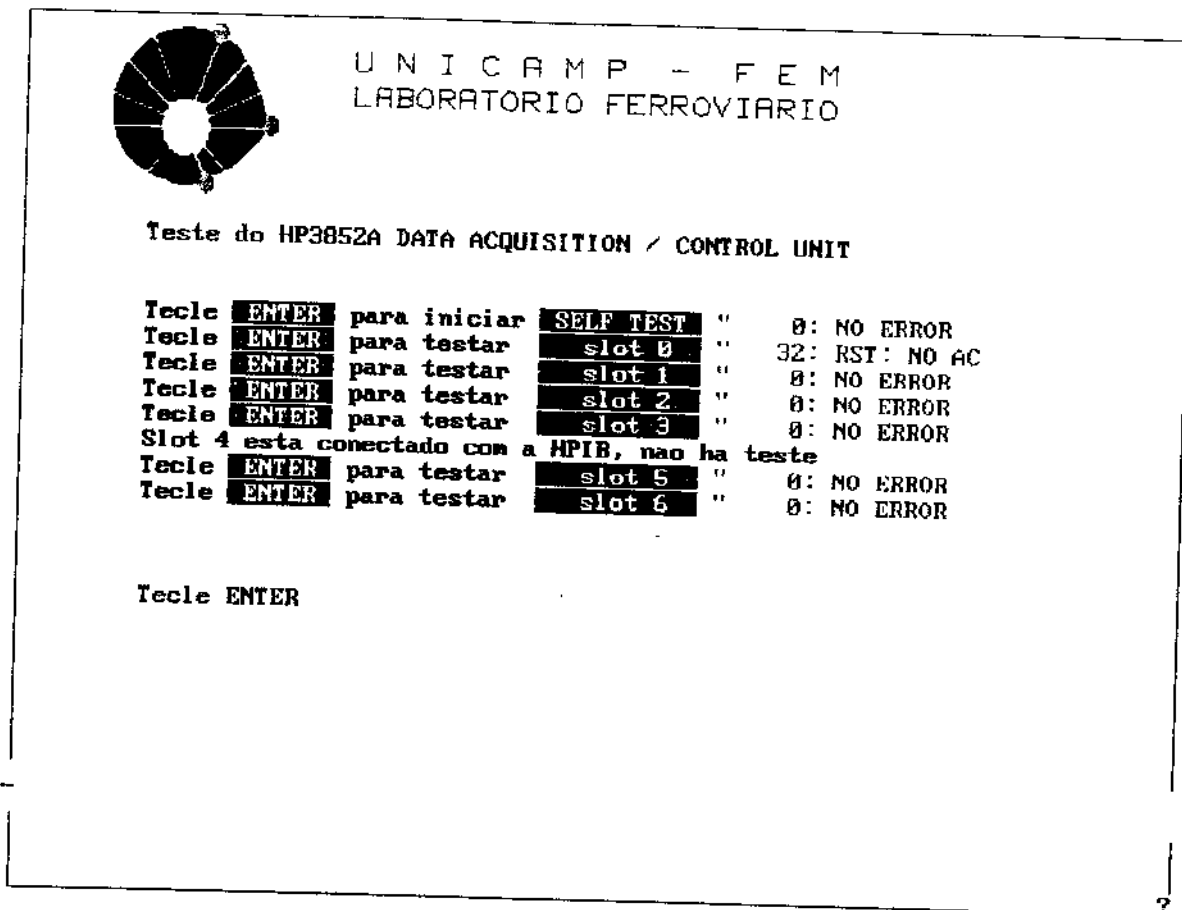


Figura 6. 8 Tela do PROCAD mostrando teste do sistema de aquisição de dados

O teste garante ao usuário a integridade do sistema de aquisição de dados e a partir disto, pode se ter certeza que possíveis leituras de dados que não estejam dentro de faixas de valores esperados não são falhas deste equipamento.

O plotter utilizado para traçado em folhas de papel é o HP 7090A Measurement Plotting System de sinais, utiliza um carretel com 6 penas. Com o uso, estas penas sofrem um desgaste natural. O teste de plotter, que é opcional na realização de um ensaio, é útil na determinação da maior velocidade que ainda permita um traço de boa qualidade, pois quanto maior a velocidade da pena, mais claro o traço. O valor escolhido fica armazenado e continua a ser utilizado até que um outro seja escolhido.

6.2.3 . Realização de novo ensaio

Os ensaios previamente programados são exibidos na tela. O usuário seleciona qual o ensaio a ser executado através do número correspondente na lista. Após a escolha, devem ser fornecidas as seguinte informações, divididas em grupos :

Identificação do ensaio.

Identificam-se o interessado na realização do ensaio, o material de atrito que está sendo utilizado, a finalidade do ensaio, o responsável pela sua realização e o supervisor.

Variáveis do equipamento.

Correspondem a informações sobre a bancada de ensaio que está sendo utilizada. O programa solicita as informações necessárias a partir dos dados fornecidos durante a programação do ensaio. Para o D.E.A. é necessário se informar o calíper (pinça de freio) e disco de freio utilizados. Para a M.E.S. ou Banco Dinamométrico são necessárias informações sobre a roda utilizada, o bloco de freio, a velocidade que está sendo simulada e área da sapata.

Espessuras.

Corresponde ao número de medições de espessura efetuadas antes do início do ensaio em cada parte da sapata (M.E.S ou Banco dinamométrico) ou em cada pastilha (D.E.A.) bem como os seus valores correspondentes.

Peso e área.

Peso e área da sapata ou de cada pastilha.

Assentamento, temperatura e raio efetivo.

Deve ser informado quantos são os ciclos de assentamento; o raio efetivo da roda ou disco de freio; a temperatura máxima permitida para início do ensaio, para início do primeiro após a fase de assentamento e para início dos demais ciclos. Caso a temperatura esteja acima desses valores, deve-se esperar o resfriamento até atingir valores aceitáveis. Como pode

haver mais de um canal de leitura de temperaturas, é necessário especificar qual a ser utilizado na checagem dos valores de referência.

Após a entrada destes dados, o programa fornece um lista de equipamentos cujo funcionamento deve ser verificado. Caso tenha sido feita a verificação dos sinais antes de se iniciar o ensaio, bem como o teste de plotter e sistema de aquisição de dados, a checagem dos equipamentos torna-se um procedimento redundante, mas que visa assegurar a não rejeição de um ensaio por problemas operacionais. A tela do programa após a verificação dos equipamentos é mostrada na figura 6.9.

No início de cada ciclo, o PROCAD faz a programação do sistema de aquisição de dados para monitoramento da temperatura do canal de referência. Se ela estiver dentro dos patamares aceitáveis, esta condição é informada ao usuário e se tem automaticamente a programação deste equipamento com as instruções para controle e aquisição de dados referente ao ciclo em andamento. Verificando-se que a temperatura está fora dos limites desejados, é feito o seu acompanhamento até seu enquadramento, todavia o usuário pode prosseguir o ensaio independentemente desta condição.

Antes do início dos ciclos, são ligados ou desligados os equipamentos acionados pelo sistema de aquisição de dados, tais como os ventiladores e exaustores para posterior início da primeira frenagem e da aquisição de dados.

Os ensaios podem ser executados no modo automático ou manual. No primeiro, o programa monitora a temperatura de referência e dá prosseguimento ao ensaio quanto esta estiver abaixo do valor máximo especificado. No modo manual, o início de cada fase se dá após comando do usuário.

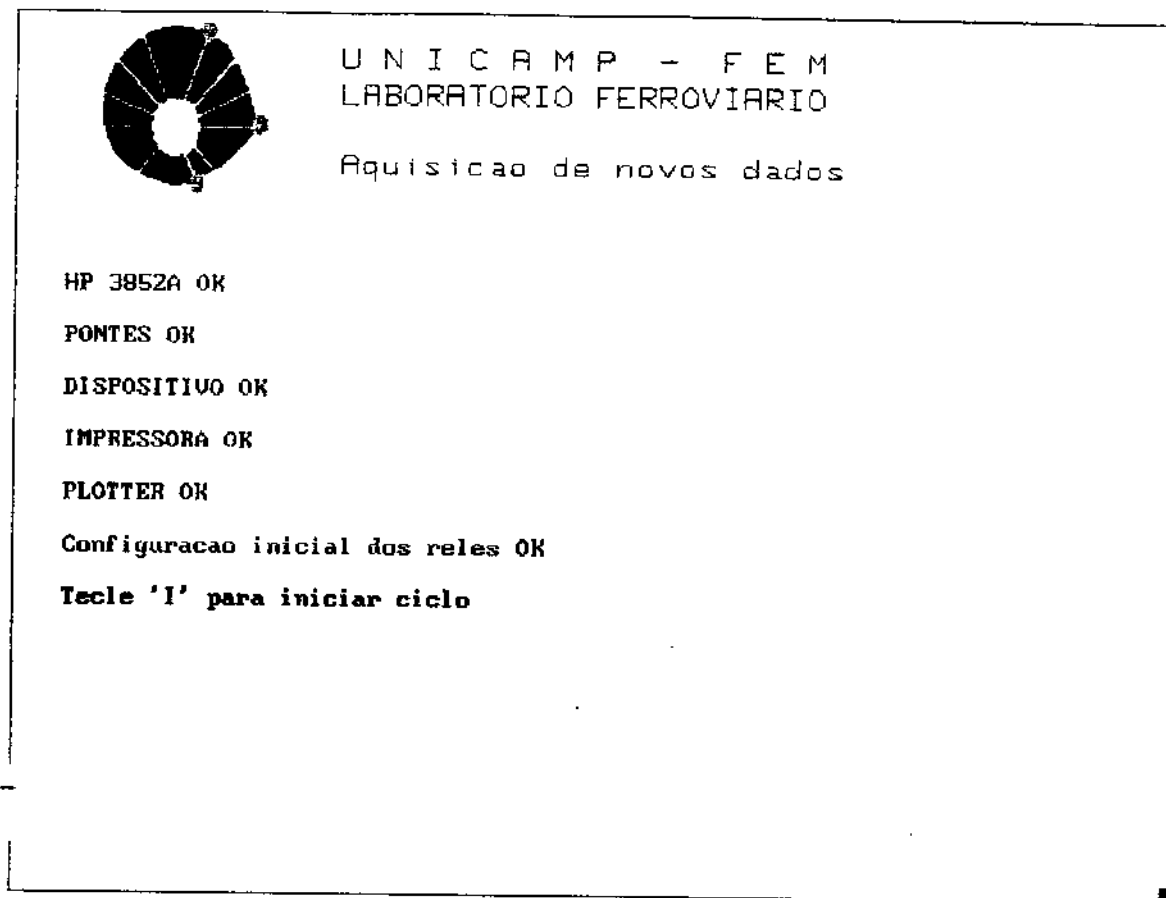


Figura 6.9 Tela do PROCAD após o usuário ter verificado todos os equipamentos listados pelo programa

Após o término da fase de assentamento e ao final do ensaio, pode-se registrar os valores da espessura, peso e área do material de atrito. Ao término do ensaio há também a opção de se fazer a análise dos resultados obtidos.

6.2.4 . Continuação de ensaio interrompido

É possível que ocorram situações em que os ensaios venham a ser interrompidos. Por exemplo, ao término da fase de assentamento, é necessário aguardar o resfriamento do material de atrito e da roda ou disco de freio para a retirada das sapatas ou pastilhas para que sejam efetuadas as medidas de peso, área e espessura bem como a avaliação visual de seu estado físico e isto é um processo demorado, principalmente o resfriamento das rodas. O usuário pode optar, por exemplo, em fazer o assentamento e continuar o restante do ensaio

em outro dia ou utilizar o computador para outras finalidades enquanto se espera o resfriamento e se realizam as medições necessárias.

O programa permite encerrar a execução e até desligar toda a instrumentação pois mesmo assim possibilita a continuação dos ensaios interrompidos. Neste caso, não é necessário que se forneça novamente as informações iniciais, pois elas já estão armazenadas em disco. Já é apresentado ao usuário a lista de equipamentos a serem verificados para que em seguida se reinicie o ensaio a partir do ponto onde foi interrompido.

6.2.5 . Medidas de material de atrito e análise de resultados

O usuário pode fornecer as informações iniciais, de assentamento ou finais, referentes ao peso, área e espessura do material de atrito de ensaios já realizados, bem como conferir os valores anteriormente armazenados e alterá-los, se necessário, através da opção "Medidas de material de atrito e análise de resultados". Este mesmo item permite também a análise dos resultados de ensaios anteriormente realizados, que consiste no processamento dos dados obtidos para a determinação de valores característicos, tais como valores mínimos, médios e máximos de temperaturas e coeficiente de atrito. Para isso é necessário a elaboração de uma rotina específica para cada tipo de ensaio. Os resultados deste procedimento normalmente são mostrados nos relatórios de ensaios.

6.3 . A sistemática de apresentação de resultados

Os resultados dos ensaios de frenagem efetuados em qualquer uma das três bancadas podem ser apresentados de três modos diferentes : gráficos, relatórios e arquivos ASCII

6.3.1 . Alteração de apresentação de parâmetros de sinais

Durante a programação de ensaios, é possível que se configure um determinado sinal de maneira a se fazer sua aquisição sem traça-lo na tela ou no plotter durante a execução dos ensaios. Para isto, basta que se programe a cor número 0 (zero) para a tela e pena 0 (zero) para o plotter. Este é um recurso útil quando se vai variar o número de sinais a serem efetivamente usados para um determinado tipo de ensaio, o que é comum especialmente quando se trata de temperaturas ou em casos onde não se deseja traçar determinado sinal nos gráficos feitos durante a execução do ensaio e sim em um separado.

As modificações feitas somente estarão ativas para ensaio já realizado e especificado através de seu número. Querendo-se mudar as informações de um sinal para todos os ensaios futuros, é necessário fazer as alterações na programação do ensaio, conforme item 6.1.6 anteriormente descrito.

6.3.2 . Impressão de relatórios e gráficos

Os relatórios são documentos impressos fornecidos pelo programa contendo os resultados do ensaio e informações relevantes, sendo que algumas destas inclusive são previstas em normas para constarem como resultados dos ensaio.

Assim como as rotinas de análise de resultados, que são as responsáveis, dentre outros, pelos cálculos dos valores mínimos, médios e máximos de coeficiente de atrito e temperatura, é necessário que se implemente uma rotina dedicada à geração de relatórios específicos para cada tipo de ensaio, pois o seus formatos são variáveis, bem como as informações neles constantes.

Para a impressão dos relatórios, é necessário que seja feita a análise dos dados de ensaio mediante opção existente no menu principal. Esta análise, calcula os valores que se necessita para o relatório e os grava no próprio arquivo de ensaio. Com isto, é necessário que

se faça a análise uma única vez para um ensaio específico. Para a emissão dos relatórios, o PROCAD irá ler os registros preenchidos pela rotina de análise e utilizar estas informações na montagem do relatório.

6.3.3 . Geração de arquivos ASCII

Arquivos ASCII de resultados são a terceira forma de apresentação dos valores obtidos, além dos relatórios e gráficos.

Os resultados de ensaios são gravados no formato BDAT, que é um padrão próprio desenvolvido pela Hewlett Packard para o HPBasic. Todavia, outros programas que não utilizam esta linguagem, como o Harvard Graphics e Excel, por exemplo, não conseguem ler os dados diretamente neste padrão. É necessário resolver este problema de incompatibilidade, pois estes programas permitem acesso a recursos não disponíveis no PROCAD. Para isto, o PROCAD permite que o usuário gere arquivos de dados de ensaios no formato ASCII, que é aceito pela quase totalidade dos programas comerciais existentes.

Na geração de arquivo ASCII, o usuário escolhe entre gravar os dados de um único ciclo ou ensaios completos, bem como quais os sinais que deseja. Cada sinal é formatado, dentro do arquivo, como uma coluna. Um arquivo que contenha 4 sinais diferentes adquiridos durante um ensaio terá 4 colunas de dados além de uma outra que numera seqüencialmente cada linha das colunas de dados.

O PROCAD coloca no início do arquivo ASCII, antes das colunas de dados propriamente dito, uma série de informações, uma por linha, que permitem ao usuário relacionar as colunas com os sinais, além de informações como a taxa de aquisição de dados, o número de dados existentes nas colunas e o tempo de aquisição correspondente. Com estas informações, mais o número da linha onde o dado se situa, é possível se determinar o instante do ensaio onde o dado foi adquirido.

7. Resultados de ensaios

Foram realizados diversos ensaios de materiais de atrito com o D.E.A. e M.E.S., utilizando-se procedimentos normatizados e outros não normatizados, perfazendo um total aproximado de 150 testes em 1995 e 107 até 18 de julho de 1996. Dentre estes 257 ensaios, os que são mostrados neste trabalho foram destinados a verificação das características de desempenho dos materiais de atrito, a pedido de seus fornecedores, bem como por solicitação de fabricante de locomotivas, desenvolvimento de novas composições para as pastilhas de freio automobilístico, além de pesquisas relacionadas aos problemas relacionados ao aquecimento, resfriamento e gradiente térmico em rodas ferroviárias devido às frenagens. Neste capítulo será mostrado somente os resultados de um ensaio, o restante se encontra em apêndice.

Programou-se no PROCAD um ensaio segundo a norma AAR 926 - 92, na parte referente aos ensaios realizados em Banco Dinamométrico a velocidade constante (ensaios de rampa ou *grade*), para ser utilizado na MES. Foi feita também a programação de dois relatórios diferentes deste ensaio e que são emitidos pelo próprio PROCAD, dispensando a utilização de outros programas para análise dos resultados, a não ser que se queira um tipo muito específico de análise que não consta em relatórios padrões.

O resultado do ensaio nº 95152, figura 7.1, e os respectivos relatórios , figuras 7.2 e 7.3, emitidos pelo PROCAD são mostrados a seguir nas figuras 7.1, 7.2 e 7.3. Foram registrados os sinais de 3 temperaturas, uma em cada parte da sapata e outra na superfície de rolamento da roda além dos valores de força de atrito e força normal que determinam o coeficiente de atrito.

O coeficiente de atrito atingiu seu valor máximo por volta de 8 min de aplicação e depois foi caindo até o término do ensaio. É possível que este comportamento se deva a mudanças no material de atrito que vai se desgastando no decorrer do ensaio, e não tanto a

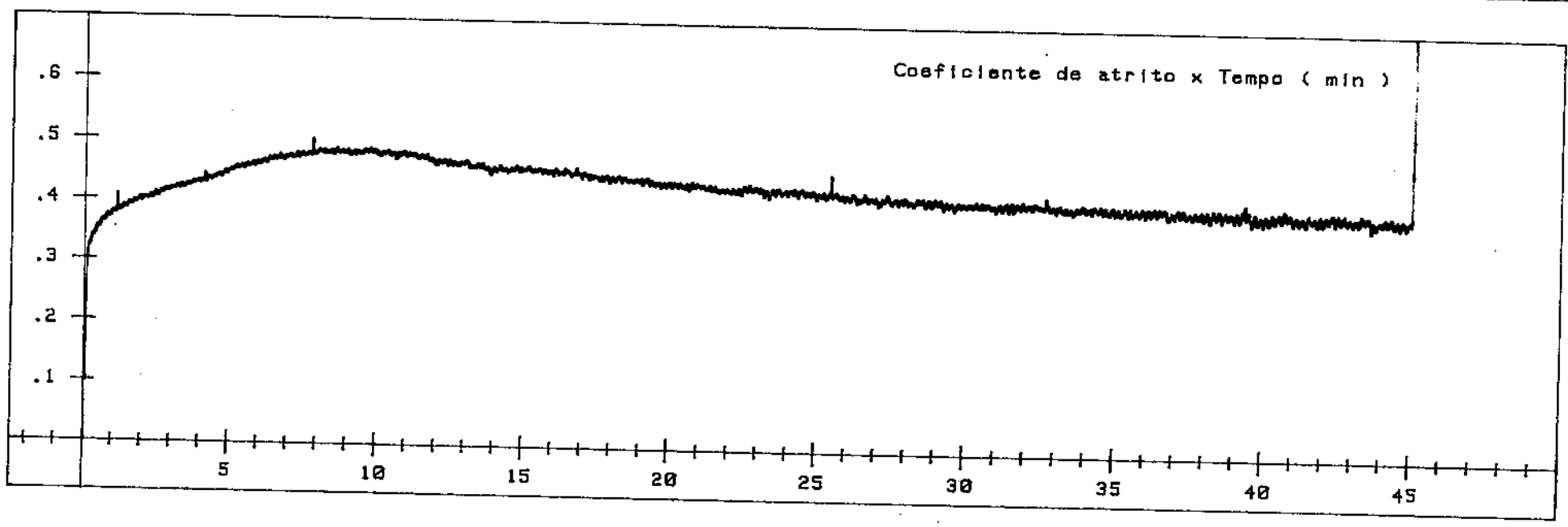
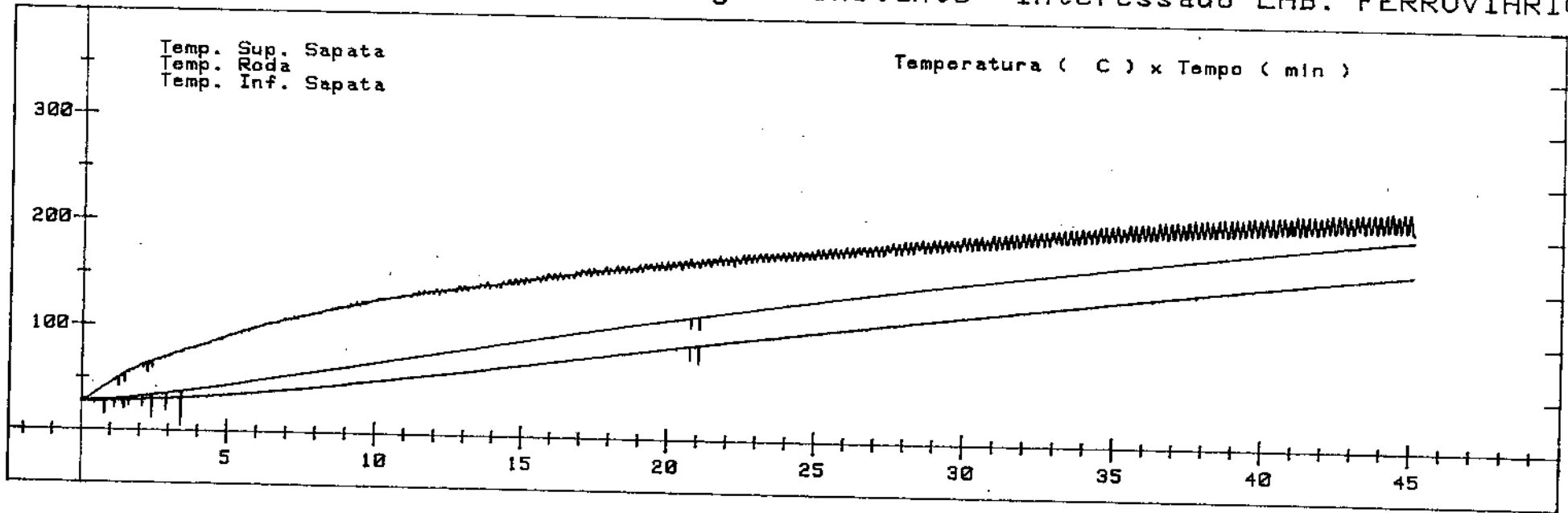
influência da temperatura da sapata, pois não se observa nenhuma mudança na inclinação da linha de temperatura.

Todavia é possível que o coeficiente de atrito desta mesma sapata tenha seu valor dependente da temperatura e que seu valor máximo ocorra por volta de 45° C. Não se verificaria portanto, mudança na estrutura do material na linha radial da sapata. Para confirmar tal hipótese, seriam necessárias análises de outros ensaios sob as mesmas condições para verificar um comportamento semelhante. Caso ele ocorresse, estaria afastada a hipótese de heterogeneidade do composto da sapata ao longo de sua linha radial. Qualquer que seja a explicação, observa-se uma variação significativa do coeficiente de atrito, de 0.3 a 0.5.

O tipo de análise feito nos dois parágrafos anteriores somente podem ser feitas mediante um procedimento, no caso um programa de computador, que registre o valor da temperatura e coeficiente de atrito ao longo do tempo. Foram apresentas aqui somente como exemplos de análises possíveis de resultados de ensaios de frenagem.

Ensaio N. 95152 19 Jan 1996 Frenagem Constante Interessado LAB. FERROVIARI

Figura 7.1 Resultados do ensaio E95152.ens



Capítulo 7 - Resultados de ensaios

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
 FACULDADE DE ENGENHARIA MECANICA
 LABORATORIO FERROVIARIO

ENSAIO DE FRENAGEM CONSTANTE

Realizacao : Ensaio n. 95152 19 Jan 1996 15:17:43
 Interessado : LAB. FERROVIARIO
 Material : SAPATA COBREQ S3501S Finalidade : ENSAIO
 Responsavel : PROF. FAUSTO
 Supervisor : ROSENGELA

PARAMETROS DO ENSAIO

Roda : A400-LFO1 Pressao do ar Bar : 1.06
 Diam. efetivo mm : 2032 Forca normal kgf : 354
 Bloco de freio : SABEF25-178 Duracao ensaio min : 45
 Area sapata mm2 : 2143 Velocidade km/h : 32,4

RESULTADOS

Coef atr ini : 0.295 Temp. Roda
 min : 0.295 Temp min : 28
 med : 0.428 med : 160
 max : 0.503 max : 225

DESGASTES

Pontos de medicao :	01	02	03	04	05	06
Parte superior :						
Espes. inicial mm :	45.85	42.39	49.80	47.57	--	--
final mm :	45.65	41.65	44.80	47.55	--	--
Desgaste mm :	.30	.74	5.00	-.08	--	--
Parte inferior :						
Espes. inicial mm :	48.17	45.10	44.20	47.95	--	--
final mm :	48.22	45.12	43.45	47.35	--	--
Desgaste mm :	-.05	-.02	.75	.70	--	--
Peso inicial g :	3778.8					
final g :	3768.3					
Desgaste g :	10.5					
Assentamento % :	2143					

PROF. FAUSTO

ROSENGELA

figura 7. 2 Relatório do ensaio E95152.ENS - parte 2

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECANICA
LABORATORIO FERROVIARIO

Arquivo : E95152.ENS
Data : 19 Jan 1996
Hora : 15:17:43

	INICIAL	MINIMO	MEDIO	MAXIMO
Coef. atrito	.295	.295	.428	.503
Temp. Sup. Sapata	26	4	94	166
Temp. Roda	28	28	160	225
Temp. Inf. Sapata aberto	27	15	118	199
Temperatura 4	---	---	---	---
Temperatura 5	---	---	---	---
Temperatura 6	---	---	---	---
Temperatura 7	---	---	---	---

figura 7. 3 Relatório do ensaio E95152.ENS - parte 3

8. *Comentários e conclusões*

O PROCAD atingiu o escopo inicialmente proposto, tendo em vista que ele foi idealizado para ser utilizado especificamente no Laboratório Ferroviário e empregado com instrumentos já existentes. Chegou-se a um programa de computador que possibilita o controle de todos os parâmetros de ensaio para os quais o D.E.A. e M.E.S. e futuramente do Banco Dinamométrico permitem controle.

Já foram executados mais de 250 ensaios por técnicos e engenheiros do Laboratório Ferroviário. Algumas modificações, no PROCAD, foram implementadas durante este período, à medida que sugeridas pelos usuários. A versão atualmente apresentada é a quarta.

A programação de ensaios, que é um tópico ao qual se dedicou uma atenção especial pela sua dificuldade intrínseca, foi utilizada com sucesso por usuários do Laboratório Ferroviário que não estavam habituadas a nenhuma linguagem de programação.

O PROCAD é uma ferramenta de trabalho para pesquisa e não um fim em si. Pelos ensaios apresentados, percebe-se que o PROCAD já foi utilizado em ensaios com as mais diversas finalidades, que vão desde o controle de qualidade de material de atrito, desenvolvimento de novos compostos, determinação de origens de problemas em veículo ferroviário, até pesquisas relacionadas às rodas ferroviárias. Ele também já foi usado para determinar características dos próprios dispositivos de ensaio, que não foram apresentados neste trabalho, como as condições de início e final de frenagem na M.E.S.

irão surgir novos limites para as pesquisas com o término da construção de todos os equipamentos planejados para o Laboratório Ferroviário, especialmente o Banco Dinamométrico, e instalação de equipamentos de apoio, como os sistemas de exaustão, ventilação e simuladores de chuva.

Dentro deste horizonte que se vislumbra, está a simulação de viagens de composições ferroviárias em trechos de determinadas vias permanentes. Seriam reproduzidas, em laboratório, as condições às quais são submetidas as rodas e os materiais de atrito. Para que isto possa se tornar realidade, será necessária a aquisição de equipamentos para o controle de velocidade dos motores das máquinas de ensaio pelo computador, dentre outras melhorias. Será possível, com o acréscimo de algumas rotinas de programação específicas para este fim, a utilização do PROCAD nesta fase das pesquisas. Todavia, é provável que se desenvolva uma nova versão, talvez até escrita em outra linguagem de programação, com nova interface visual, mas aproveitando o algoritmo do programa atual. Grande parte do trabalho de desenvolvimento do PROCAD esteve ligado a concepção de quais recursos seriam necessários ao programa, de maneira a atender as necessidades específicas do Laboratório Ferroviário.

Há no mercado uma quantidade muito grande de programas que permitem a análise e apresentação de dados em inúmeras formas. São programas que fazem análises estatísticas, traçam gráficos em muitos padrões diferentes, geram apresentações, transparências, etc... Não há razões lógicas, considerando-se os recursos disponíveis e as finalidades do Laboratório Ferroviário, para se tentar desenvolver um programa que suplante todos os outros existentes. Por outro lado, o PROCAD deve ter certa autonomia na análise e apresentação de resultados, principalmente de utilização imediata. A versão apresentada do PROCAD neste trabalho, apresenta a capacidade de operar independentemente de outro programa de apoio, sendo que os relatórios que ele emite possuem qualidade superior aos normalmente emitidos pelas máquinas de ensaios da maioria das empresas. Todavia, possibilita a comunicação com os programas existentes no mercado através de arquivo ASCII. Os dados obtidos pelo PROCAD podem então ser utilizados como entrada para análises e apresentações mais laboriosas em outros aplicativos.

Uma das desvantagens do PROCAD está ligado à velocidade. Por não se tratar de um programa compilado, mas sim interpretado, ou seja, não há arquivo executável do tipo .EXE ou .COM, ele somente pode ser executado em microcomputadores que possuam a placa HP-BLP. Essa placa é indispensável para a utilização do HPBasic. O Basic comum não aceita os arquivos escritos para HPBasic, sendo que o inverso não é verdadeiro. O HP-BLP limita

muito a velocidade do microcomputador, não havendo grandes diferenças em termos de tempo de processamento, se o computador utilizado for um AT-286 com 1 Mb de RAM ou um Pentium de 100 MHz com 16 Mb de RAM. Esta característica acaba se refletindo no tempo gasto para se descompactar, converter e gravar os valores dos parâmetros adquiridos de volts para as respectivas unidades. Esta operação pode demorar alguns minutos nos ensaios AAR 926 ou Krauss, todavia isto acontece enquanto se espera o resfriamento da máquina de ensaio para se iniciar o próximo ciclo ou para retirada do material de atrito para medição, não aumentando o tempo total de execução do ensaio.

A interface apresentada para a programação de reles requer especial atenção por parte do usuário para evitar a perda do ensaio. O programa não irá funcionar corretamente se ele programar um chaveamento de reles durante o período no qual a placa de reles não aceita nenhum comando. Este tempo é de aproximadamente 2,3 segundos após cada operação dos reles. Esta interface poderia ter ficado melhor não permitindo que o usuário cometesse erros.

O emprego de plotter para traçar os gráficos às vezes se torna um processo lento. Durante a realização dos ensaios, não há inconveniente algum em sua utilização, pois ele realiza esta operação enquanto o ensaio é executado. Todavia quando se quer muitas cópias dos gráficos, o traçado pelo plotter torna-se um processo lento. O ideal seria o uso de uma impressora a jato de tinta ou laser, apesar da desvantagem de que elas somente fariam o gráfico ao término de todo o ensaio. Apesar disto, seu emprego seria mais vantajoso do que o plotter.

Neste trabalho não foi apresentado nada referente ao condicionamento dos sinais, seu tratamento, problemas de ruídos apresentados durante a aquisição e medidas adotadas para solucioná-los. Todavia, o tema é objeto de uma tese de doutorado do Laboratório Ferroviário, mas para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário se estudar o assunto.

Possíveis continuções deste trabalho provavelmente não se relacionariam exatamente ao PROCAD. Ele, conforme dito anteriormente, é simplesmente uma ferramenta para se fazer pesquisa. Outros trabalhos terão finalidades próprias e irão utiliza-lo como meio de atingir os seus respectivos objetivos. No Laboratório Ferroviário, são muitas as áreas de atuação hoje

existentes, todas relacionadas com o seu fim último, e que irão se ampliar à medida que este laboratório for se consolidando.

9. Bibliografia

- A.A.R. - MANUAL OF STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES, USA. M-926-92, High friction composition type, USA, 1992. p.E-53-E58.
- ANDREWS, C. *Black Boxes for Rail Vehicles*, s.d. p. 47-49.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA FERROVIÁRIA- ABFER. *Relatório anual 1990/1991*, São Paulo, s.d. p.46.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 5518, Determinação da dureza Shore D de materiais de fricção tipo orgânico para sistemas de freio. Rio de Janeiro, 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. EM-828, Freio Ferroviário: sapatas não metálicas . Rio de Janeiro, 1978.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 7603, Freio ferroviário. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 7743, Freio Ferroviário - frenagem. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 7908, Freio Ferroviário - sapata não metálica - determinação da resistência à flexão. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 7909, Freio Ferroviário - Sapata não metálica - Determinação da resistência ao choque. Rio de Janeiro , 1983.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 7908, Freio ferroviário - sapata não metálica - determinação da resistência à flexão. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7909, Freio Ferroviário : sapata não metálica - Determinação da resistência ao choque. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 5544, Materiais de fricção tipo orgânico para guarnições de embreagem e de freio - Determinação da densidade relativa. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. PROJETO 6:08.08-203, Freio ferroviário : SNM e sapatilha - Determinação da resistência a temperatura. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 8942, Sapata não metálica para freio ferroviário - determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 9071, Sapata não metálica para freio ferroviário - determinação do coeficiente de atrito através da máquina krauss, Rio de Janeiro, 1985.p.3.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 5537, Materiais de fricção - Verificação, por cisalhamento, da aderência para guarnições de freio. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. CB-57, Sapata para freio ferroviário. Rio de Janeiro, 1988

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 6023, Referências Bibliográficas. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 6609; Níveis de atrito para materiais de fricção para guarnições de freio. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 6143, Pastilha de freio a disco - Determinação do atrito e desgaste através da bancada de ensaio Krauss. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 11569, Sapata não metálica e sapatilha para freio ferroviário -Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro,s.d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. MB-1016-n., Determinação da dureza Gogan de materiais de fricção tipo orgânico para sistemas de freios. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 11645, Sapata não metálica e sapatilha para freio ferroviário- Determinação da absorção de água e óleo. Rio de Janeiro, s.d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. PROJETO 6:08.08.206, Material de fricção - Determinação dos constituintes solúveis em acetona. Rio de Janeiro, s.d. p. 1-3.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. PROJETO 6:08 :08.204, Material de fricção- Determinação do teor de cinzas, perda por ignição e teor de umidade. Rio de Janeiro, s.d. p. 1-4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR 7535, Freio Ferroviário - sapata não metálica - Corpo de prova. Rio de Janeiro, s.d.

- ASSOCIATION OF AMERICAN RAILROADS RESEARCH DEPARTMENT, Report No. Mr-451, Laboratory Investigation of Wheel Sections Submitted by Union Pacific Railroad, Illinois. 1969, p. 52499.1-52499.19.
- BARBOSA, R. S.. Estudo do Processo de Frenagem com Auxilio de Computador. In: V ENFRE - ENCONTRO NACIONAL DO FREIO. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, COMITÊ BRASILEIRO DO EQUIPAMENTO E MATERIAL FERROVIÁRIO CB6-SCB-6:08. São Paulo, 1991. p. 1-7 .
- BERG, N.A., ALBER, R.H. *A Primer on Thermal Damage in Railroad Wheels*. Illinois, 1974, p. 1-8.
- BRAGA, J. P. A.; OLIVEIRA, N. C.; MONTEIRO, O. L.; et al. Sistema de medição de temperatura de roda ferroviária. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE MATERIAL RODANTE E VIA PERMANENTE, 1994, Brasília. Anais, 1994.
- FERREIRA, I., RODRIGUES, F. F. , SANTOS, A.A. J. Fadiga em rodas ferroviárias. In: III CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE-NORDESTE. Belém, 1994.
- FERREIRA, I., RODRIGUES, F. F., SANTOS, A. A. Fadiga em rodas ferroviárias. In: III CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE - NORDESTE, 1994, BELEM, PA. Anais 1994. V.2. p.478-471 Pará: Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Mecânica, 668 p.
- FREIOS KNNOR. Válvulas de Controle Knnor tipos Fe-117 DB-2 e Fe-117 D-2 . São Paulo, 1981. p. 3-27.
- GAIANI, José H, AUGUSTO, Marco P. Considerações sobre testes físicos e químicos para o recebimento de sapatilhas de freio. São Paulo. 1986.

- HEWLETT PACKARD. *Basic Language Reference*. v.1. Colorado. 1988.
- HEWLETT PACKARD. *Basic Language Reference*. v.2. Colorado. 1988.
- HEWLETT PACKARD. *HP3852A / 3853A Assembly Level Service Manual*. 3 ed. USA, 1988
- HEWLETT PACKARD. *HP3852A Data Acquisition / Control Unit - Comand reference Manual*. 2 ed., v.1. USA, 1987.
- HEWLETT PACKARD. *HP3852A Data Acquisition / Control Unit - Comand reference Manual*. 2 ed., v.2. USA, 1987.
- HEWLETT PACKARD. *HP3852A Data Acquisiton / Control Unit - Mainframe Configuration and Programming Manual*. 2 ed. USA, 1987.
- HEWLETT PACKARD. HP3852A. *Pratical Strain Gage Measurement*. Aplication note 290-1, 1981.
- HEWLETT PACKARD. *Integrating HP Basic with MSDOS Applications*. 1 ed. USA, 1989.
- IDEAL STANDARD WABCO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. *Sistema de freio convencional*, 1995. p. 1-55.
- INSTRUMENTS DIVISION MEASUREMENTS GROUP, INC. *Strain gage conditioner and amplifier system*. USA, 1988. p. 2-23.
- IOPE INSTRUMENTOS DE PRECISÃO LTDA. *Catálogo de termometria*. São Paulo. p. 1-194.
- ITT AUTOMOTIVE DO BERASIL LTDA. *Manual de treinamento*. Campinas, 1995. p. 2-56.

- JUVINAL, R. C., MARSHECK, K. *Fundamental of Machine Components Design*. Singapore : John Wiley & Sons, 1991:
- KALKER, Joost. *Wheel - Rail rolling contact theory* . WEAR, v.144, p.243-261, 1991.
- KELUG, S., NORIYUKI, N. K.. Considerações sobre Desenvolvimento de Testes de Sapatas Não Metálicas. In: 24a. REUNIÃO TÉCNICA SCB 6:08. São Paulo, 1986.
- KEUNG, S. K., NORIYUKI, N. K. Materiais e componentes para freio de atrito. In: 24^A REUNIÃO TÉCNICA SCB 6:08 . São Paulo, 1986. p. 1-13.
- KEUNG, S. K., NORIYUKI, N. K.. Considerações sobre desenvolvimento e testes de sapatas de freio não metálicas. In: 24^A REUNIÃO TÉCNICA SCB 6:08. São Paulo, 1986 a. p.1-13.
- KUMAR, S., RAO, D.L. Prassanna, *Wheel Rail Wear and Adhesion With and Without Sand for a North American Locomotive*. Illinois, 1985, p. 41-46.
- LEAL, Hamilton M. Material de fricção para sapata metroviária - Relato de um desenvolvimento. In: 25^A REUNIÃO TÉCNICA SCB 6:08. São Paulo. 1986. p. 1-9.
- LEARY, John F. *America Adopts Worn Wheel Profiles*. 1990. p. 1-13
- MEASUREMENT GROUP. *Strain Gage Conditioner and Amplifier System*. EUA, 1988. p.3-A-1.
- NIPPON AIR BRAKE CO, LTDA. *Cobreq Composition Brake Shoe S-8 e S-40 Dynamometer Test Results (By Aar Wheel)* , Kobe, 1979.
- OLIVER, J.D., WETENKAMP, H.R., DAHLMAN, G. et al. . *Wheel and Brake Shoe Field Tests (1980)*. USA, 1982. p. 1-6.

OLSGANSKI, E.F.; KATANO, O. J. Bancada para ensaio de freio. In: 23a. REUNIÃO TÉCNICA DA ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, CENTRO DE DESENVOLVIMENTO FERROVIÁRIO.s. d. p. 1-17.

OMEGA , *The temperature handbook*, v. 29. USA, 1995

OPINSKY,A.J. *Fracture Mechanics Data for Three Classes of Railroad Wheel Steels*, Illinois,s.d. p.S.1- S.13.

PAIXÃO, Amauri.. Sapatas de composição não metálicas - Fatores a serem considerados no seu desenvolvimento tecnológico.In: CONGRESSO DA ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS E SUBCOMITÊ BRASILEIRO DO EQUIPAMENTO E MATERIAL FERROVIÁRIO - CB6. Divinópolis, 1984.

PINHEIRO, Luis Carlos. M. SNM e sapatilha - Normalização. ENGENHEIRO FERROVIÁRIO - *Revista da Associação dos Engenheiros da Noreoste*, n. 3 , p 27-37, abr/mai/jun 1984.

PINHEIRO, Luiz Carlos M. *SNM e sapatilha* - Normatização. São Paulo, 1984. p. 2-31. [324](PINHEIRO, 1984b)

POLSIN, M. A., GALLAGHER, M.T. *Wheel Flange Failures: Methods of Prevention*, s.d. p. 107-109.

PUBLICAÇÃO TÉCNICA TRANSPORTE SOBRE TRILHOS *Sapatas de Freios para TUE's e Carros de Passageiros-Padrões Técnicos para Aquisição Ferrovia*, São Paulo, SP, No. 139, set/ dez 1991.

RODRIGUES, F. F. , ROZA, L. C. Conseqüências das elevadas temperaturas nas rodas dos veículos ferroviários. In: III ENFRE - ENCONTRO NACIONAL DO FREIO, ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS SCB6:08. Porto Alegre,

1985 b. p. 1-20 e x-4.

RODRIGUES, F. F. As condições atuais para ensaios de freios ferroviários. In: 27^ª REUNIÃO TÉCNICA DA ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, SUBCOMITÊ BRASILEIRO DO FREIO E SCB6:08. Rio de Janeiro, 1987. p. 1-15.

RODRIGUES, F. F. ROZA, L. C. e RODRIGUES, C. Dispersão do Esforço Real de Frenagem na Composição e suas Consequências. In: REUNIÃO DA ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - COMITÊ BRASILEIRO DO EQUIPAMENTO E MATERIAL FERROVIÁRIO. SCB 6:08. Tubarão, 1989a. p. 1-16.

RODRIGUES, F. F., RODRIGUES, A. V., RODRIGUES, R. V. *Instrumentação básica para instrumentação e controle, teoria e prática*. Campinas, 1979.

RODRIGUES, F. F.; RODRIGUES, A. V. *Instrumentação e controle - Teoria e prática, fundamentos de Instrumentação Geral*. São Paulo.

RODRIGUES, Fausto F. Problemas decorrentes das tensões térmicas em rodas ferroviárias. In: III CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE-NORDESTE. Belém, 1994 b.

ROZA, L. C.; RODRIGUES, F. F. *Freios Ferroviários*. Curso de Extensão Universitária - RFFSA. São Paulo, 1989. p. 1-203.

ROZA, L. C., PLAZA, J. Considerações sobre a frenagem de trens de altas velocidades. In: 30^ª REUNIÃO TÉCNICA DA ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, COMITÊ BRASILEIRO DO EQUIPAMENTO E MATERIAL FERROVIÁRIO CB6. Campos do Jordão, 1990. p.1-14.

ROZA, L. C., RODRIGUES, F. F.. *Freios Ferroviários*. Curso de extensão Universitária da Rede Ferroviária Federal S.A. Divinópolis, 1989.

SAE - RECOMMENDED PRACTICE, USA. SAE J66 1a, Brake lining quality control. USA, 1971. s.d.

SANTOS, A. A., RODRIGUES, F. F.. Problemas decorrentes das tensões térmicas em rodas ferroviárias. In: III CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE - NORDESTE, 1994, BELEM, PA. Anais. V.2. p. 482-485. Pará: Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Mecânica, 668 p.

SANTOS, Auteliano. Antunes .J. *Aquecimento em rodas ferroviárias e após frenagens contínuas prolongadas*. Campinas, 1995.

SANTOS, Auteliano. Antunes. J. *Problemas causados pelo aquecimento em rodas ferroviárias: O ensaio Krauss*. Campinas: Faculdade de engenharia mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1992. p.1-168. Tese (Mestrado).

SAYAR, A. K, COMUCCI, A.F. *Uso e aplicações de termopares*. In: IOPE - INSTRUMENTOS DE PRECISÃO LTDA. São Paulo, 1992.

SHARSKI, Bolislaw. *A importância da Configuração do disco no desempenho das rodas ferroviárias*. Campinas, 1986. p.37-39

SILVA, C. A. MACIEL, C. Sapatas não metálicas. Fatores a serem considerados na aquisição, recebimento e desempenho. In: 28^A REUNIÃO TÉCNICA DO SCB 6:08 - CB-6. Tubarão, 1989.

SIMMONS,C.W, ROBINSON,P.A. , NEIL,G.S. *Operational Experience in the Use of a Wheel Stress Measurement Device*. Australia. 1992, p.145-150.

SISDELLI, Armando . Resultados práticos de ensaios em sapatas de freio realizados no

- dinamômetro do IPT. In: IV-ENFRE - ENCONTRO NACIONAL DO FREIO. Rio de Janeiro, 1988. p. 1-21.
- SISDELLI, Armando. Estudos para o desenvolvimento de normas para ensaio de sapatas de freio em dinamômetro. In: 27a. REUNIÃO TÉCNICA DO SCB 6:08. Rio de Janeiro, 1987. p. 1-40.
- STONE, D. H. *An Interpretative Review of Wheel Failure performance with Respect to Design and Heat treatment*. Illinois, 1988. p. 43-53.
- STONE, D. H. , RAJKUMAR, B., BELPORT, S. et. al. *Theoretical and experimental study of wheel spalling in Heavy Haul Hopper Cars*. Sysdney, 1992.
- STONE, D. R. , RAJKUMAR, B. R., BELPORT S. M. et al. *Theorycal and experimental study of wheel spalling in heavy haul hopper cars*. In: INTERNATIONAL WHEELSET CONGRESS. Sydney, 1992. p. 1-8.
- STONE, D.H., CARPENTER, G.F. *Effect of High Horsepower Grade Braking on AAR High Friction Composition Brake Shoes*. EUA, 1994. p. 1-26.
- STONE,D.H., PELLINI,W.S. , HARRIS, W.J.J. *North American Wheel Failure Experience*, s.d. p. 205-213.
- THE AIR BRAKE ASSOCIATION. *Engineering and Design of Railway Brake Systems*, EUA,1990. p. III/18 -III/21
- VARGA, *Freios Hidráulicos - Princípios de funcionamento, Diagnóstico de defeitos, cuidados*, s.d. p. 2-13.
- VARGA, *Freios Pneumáticos - Princípios de Funcionamento, diagnóstico de defeitos cuidados*, s.d. p. 2-13.

VARGA. *Sistemas de freios hidráulicos, influência do veículo, considerações físicas, dimensionamento*, s.d. p. 1-19.

VAUGHAIN, A. *Diesel Hydraulic locomotive*, s.d.. p.65-78.

WANDRISCO, J. M., DEWEZ, J. R. Study of the defects that originate and develop in the treads of railroad wheels during service. In: RAILROAD CONFERENCE - ASME, IEEE, PITTSBURG -PA. ASME Paper (60-RR-1), 1960.

WETENKAMP, H.R., KIPP, R. M. Safe Thermal Loads. In: INTERNATIONAL WHEESET CONGRESS. COLORADO, 1987.

WETENKAMP, H.R., KIPP, R.M. *Safe Thermal Loads for a 33 Inch Railroad Wheel*. Illinois, 1975. p. 1-13.

WETENKAMP, H.R., ECK, B.J., RHINE P.E.. *The Influence of Brake Shoes on the Temperatures of Wheels in Railroad Service*, v.102, n.1, EUA.1980. p. 32-36.

WETENKAMP, H.R., POLZIN M. A. , GALLAGUER M. T. Aumento de carga em rodas de 36 polegadas : considerações mecânicas e técnicas. In: REUNIÃO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO DOS OFICIAIS DO DEPARTAMENTO DE CARROS. TRAD. da FNV- Veículos e Equipamentos S.A. Chicago, 1992.

WETENKAMP, R.J., ECK, B.J. *Weell Damage Caused by Overheating*. Illinois, 1982. p.1-9.

Apêndice A

Todas as funções do PROCAD estão disponíveis a partir de seu menu principal, que é mostrado assim que ele é iniciado. Para acessar cada um de seus itens, o usuário deve digitar a primeira letra correspondente. Dependendo da opção escolhida, aparecem novos sub-menus onde o procedimento é o mesmo.

Nos fluxogramas mostrados, as letras que aparecem nos possíveis caminhos, indicam a opção feita pelo usuário no menu precedente. A figura A.1 mostra a tela do menu principal do PROCAD A figura A2 mostra o fluxograma geral do PROCAD. A seguir será detalhado cada uma das opções do menu principal, na ordem que são mostradas no monitor.

A realização de novo ensaio, figuras A3 e A4, começa com um menu mostrando os vários tipos de informações que o usuário deverá fornecer, como dados de identificação, peso e área do material ensaiado, dentre outras informações. Alguns desses dados irão constar nos relatórios emitidos pelo PROCAD.

Depois que as informações iniciais são fornecidas, o PROCAD mostra, no monitor, uma lista de equipamentos que devem ser verificados para se evitar possíveis falhas de operação. O ideal é que antes de se iniciar um ensaio, o usuário faça uma verificação dos sinais que chegam ao sistema de aquisição de dados e controle. Esta opção de verificação será mostrada no decorrer deste anexo.

Antes de iniciar o ensaios propriamente, o PROCAD faz uma verificação da temperatura do dispositivo de ensaio, para se evitar que ele comece com um valor maior do que o permitido. Todavia, é facultado ao usuário, após ser avisado que a temperatura está alta, começar o ensaio assim mesmo.

Para cada ciclo do ensaio, o sistema de aquisição de dados é reprogramado automaticamente, faz a aquisição e o controle automático do dispositivo de ensaio utilizado e após o término do ciclo, transfere os dados obtidos para o microcomputador. Ao término da fase de acatamento e ao final do ensaio, o programa pede informações a cerca do material ensaiado. Estes dados, se o operador preferir, podem ser fornecidos posteriormente.

Caso o ensaio tenha sido interrompido em qualquer de seus ciclos, a opção de "Continuação de ensaio interrompido", figura A5, reinicia-o a partir do ponto de parada. Normalmente a interrupção se dá ao término da fase de assentamento, mas pode ocorrer a qualquer momento. O PROCAD somente considera um ciclo concluído ao término da gravação, em disco rígido, de seus dados. Se o programa foi interrompido antes da gravação, o ciclo deverá ser refeito.

As informações pedidas no início do ensaio não precisam mais ser fornecidas. O ensaio recomeça no início do ciclo seguinte ao último finalizado com sucesso.

Ao término da fase de assentamento, caso ela exista e ao final do ensaio, são realizadas medidas como a espessura, peso e área de assentamento do material de atrito no início do ensaio. A opção de "Medidas de material de atrito e análise de ensaio", figura A6, permite que sejam fornecidas e alteradas estas informações referentes a qualquer fase do ensaio.

Quando o ensaio já terminou e os dados estão completos, é necessário a análise para se obter as informações que irão constar nos relatórios, como os valores mínimos, médios e máximos do coeficiente de atrito. Neste mesmo item do menu principal, é possível que o usuário mande o programa fazer estas análises e gravar os dados calculados. É necessário uma rotina específica de análise para cada tipo diferente de ensaio.

Com a opção de "Impressão de relatórios e gráficos", figura A7, o usuário imprime os relatórios dos ensaios bem como os gráficos. Para cada ciclo, há um gráfico específico para coeficiente de atrito e outro para os demais sinais. Há ainda outros dois que podem ser

configurados livremente. Existe as mesmas opções para os gráficos que abrangem todo o ensaio.

Os “valores finais “ que constam no fluxograma correspondem a relatórios extras gerados pelo programa e que não se baseiam necessariamente nas respectivas normas. Geralmente apresentam detalhes dos valores de análise que não constam nos relatórios que seguem as normas. Por exemplo, para o ensaio Krauss, mostra os valores mínimos, médios e máximos da temperatura e coeficiente de atrito de cada ciclo, o que não consta no relatório entregue ao cliente, a não ser que ele peça.

Na geração de arquivo ASCII, figura A8, são criados arquivos onde cada sinal adquirido é colocado na forma de coluna. Na parte inicial do arquivo, constam informações que possibilitam identificação do ensaio e dos sinais correspondentes a cada coluna.

A opção “Teste de plotter e HP3852A” , figura A9, dá ao usuário a possibilidade de programar uma velocidade do plotter que seja compatível com o grau de desgaste de suas penas. Isto possibilita uma melhor impressão.

O teste do Sistema de Aquisição de Dados consiste em um self-test para verificar a presença ou não de problemas com o equipamento. São testados individualmente o HP3852A bem como cada um dos cartões instalados

Em “Programação de ensaios”, figuras A10, A11 e A12, é possível se programar um ensaio totalmente novo ou se alterar alguns parâmetros de ensaios já prontos.

Em “verificação de configuração anterior” são alterados os ensaios existentes e as modificações efetuadas passam a surtir efeito nos ensaios futuros. Os já efetuados não sofrem modificação, já que todos os parâmetros que foram utilizados durante as suas execuções ficam gravadas nos arquivos de resultados.

Em “configurar todos os itens”, são criados ensaios novos. A programação se divide em blocos, correspondendo a configuração de ciclos, relés, sinais e gráficos.

Na parte de ciclos, devem ser informados o número de ciclos e as durações das frenagens e dos alívios correspondentes.

A programação dos relés, que podem ser usados para controle de equipamentos acessórios como os ventiladores, consiste em se informar o estado (aberto ou fechado) que se deseja para cada relé em função do tempo decorrido desde o último chaveamento.

Após a programação dos relés, inicia-se a configuração de sinais. Aqui serão especificados qual o número máximo de sinais que o ensaio em questão irá adquirir. Para cada sinal, deve ser fornecido o seu título, coeficiente angular e linear da curva usada para converter os valores em Volts lidos para as respectivas unidades, bem como os valores máximos e mínimos esperados, a cor que será mostrado na tela e o número da pena do plotter para seu traçado.

Quaisquer valores passados pelo sistema de aquisição para o micro e que estejam fora da faixa entre o mínimo e máximo especificado será considerado ruído elétrico. O PROCAD irá substituir o valor considerado como ruído pelo máximo ou mínimo correspondente.

Caso o usuário não queira que um sinal fique ativo, ou seja, não quer sua exibição, basta colocar zero como número da cor ou pena do plotter e ele não será exibido no respectivo dispositivo. No monitor, são listadas as cores disponíveis e seus respectivos números.

Após a programação de sinais, inicia-se a de gráficos. O usuário deve informar parâmetros dos gráficos como escalas, títulos, valores de referência para os eixos, etc. Caso haja mais de um gráfico com o mesmo aspecto, basta programar um único e indicar quais são suas réplicas.

Todas as informações de programação de ensaios fornecidas até este ponto da programação foram gravadas em um arquivo provisório, ou primário. Ao término da programação de gráficos e após o usuário especificar quantos registros quer reservar para uso de futura rotina de análise de resultados de ensaios, o programa tem condições de dimensionar o arquivo definitivo onde serão gravadas as informações referentes ao ensaio. Para cada novo ensaio realizado, será feita uma cópia deste arquivo com nome alterado e aí gravados os resultados do ensaio.

O menu “Alteração de apresentação de parâmetros de sinais”, figura A13, permite ao usuário alterar o título do sinal, a cor de sua exibição no monitor e o número da pena no plotter. Ela é utilizada para permitir ou não a exibição do sinal adquirido.

As alterações feitas neste menu não afetam os ensaios futuros e sim somente um específico já realizado

A opção “Escolha do arquivo ativo”, figura A14, permite a escolha de qual arquivo de ensaio estará sendo alterado nas opções de “Medidas de material de atrito e análise de ensaio”, “Impressão de relatórios e gráficos”, “Geração de arquivo ASCII” e “Alteração de apresentação de parâmetros de sinais”.

A opção “Fim” encerra a execução do PROCAD.

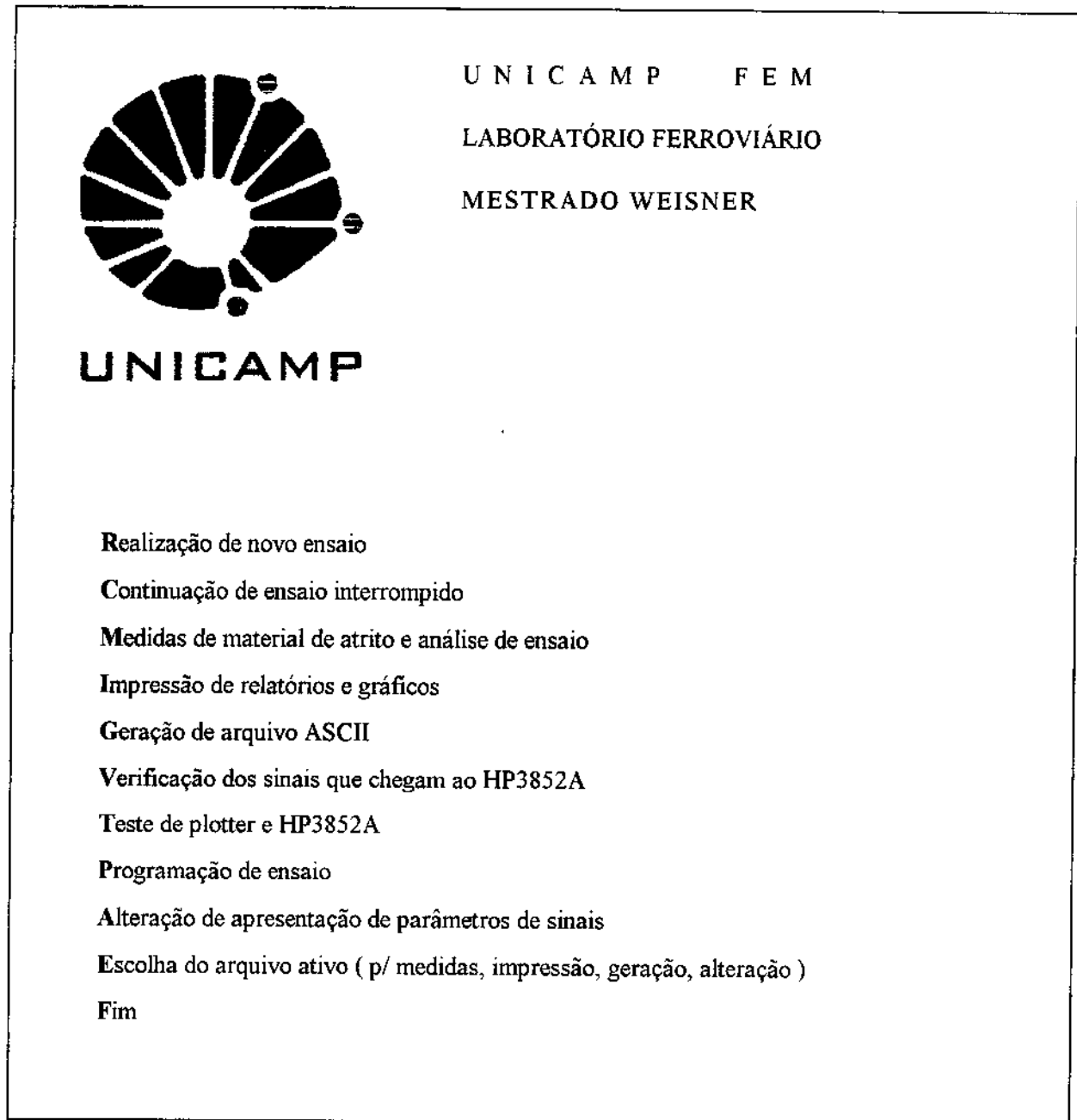


Figura A 1 Tela do menu principal do PROCAD

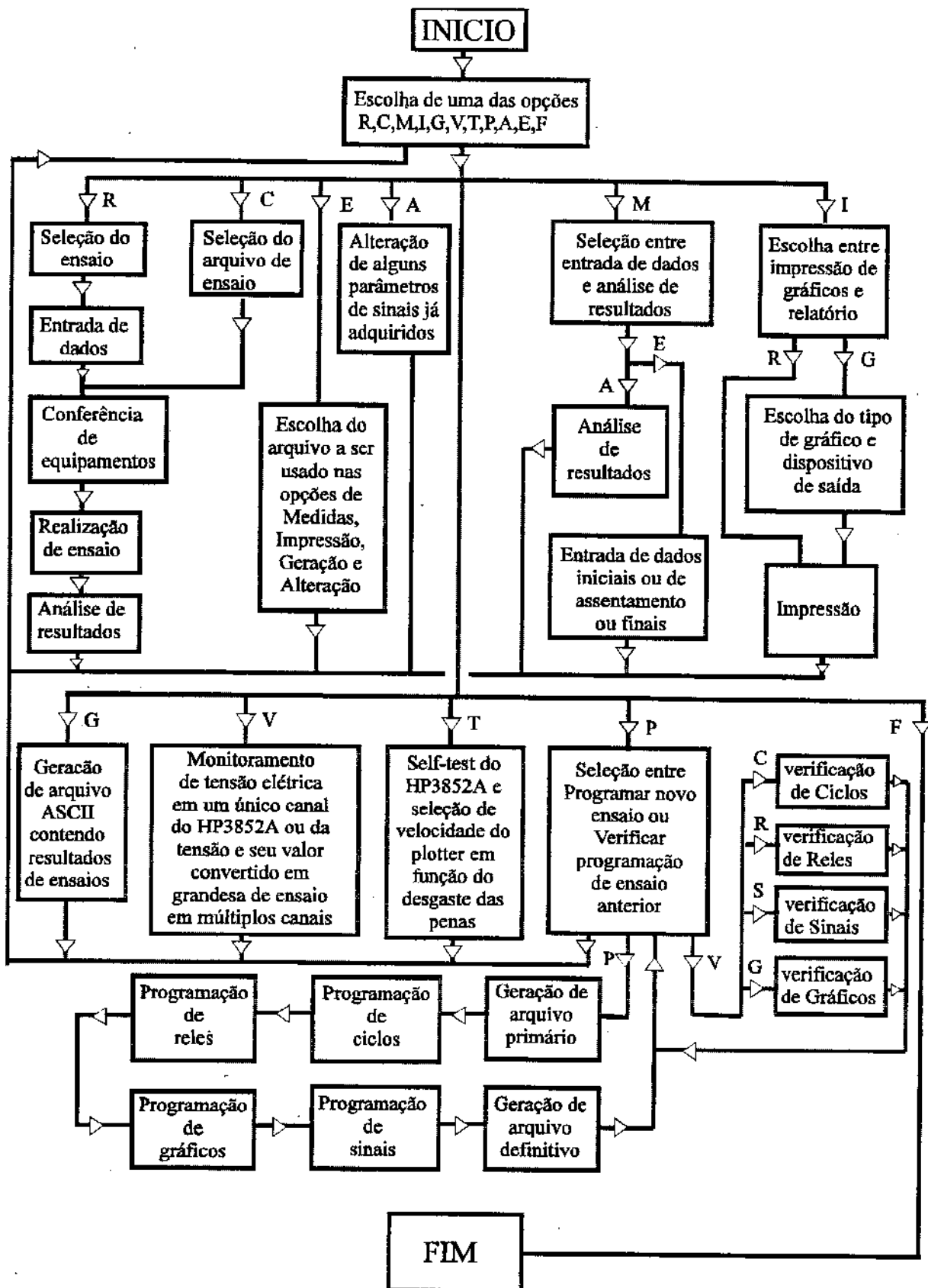


Figura A 2 Fluxograma geral do PROCAD

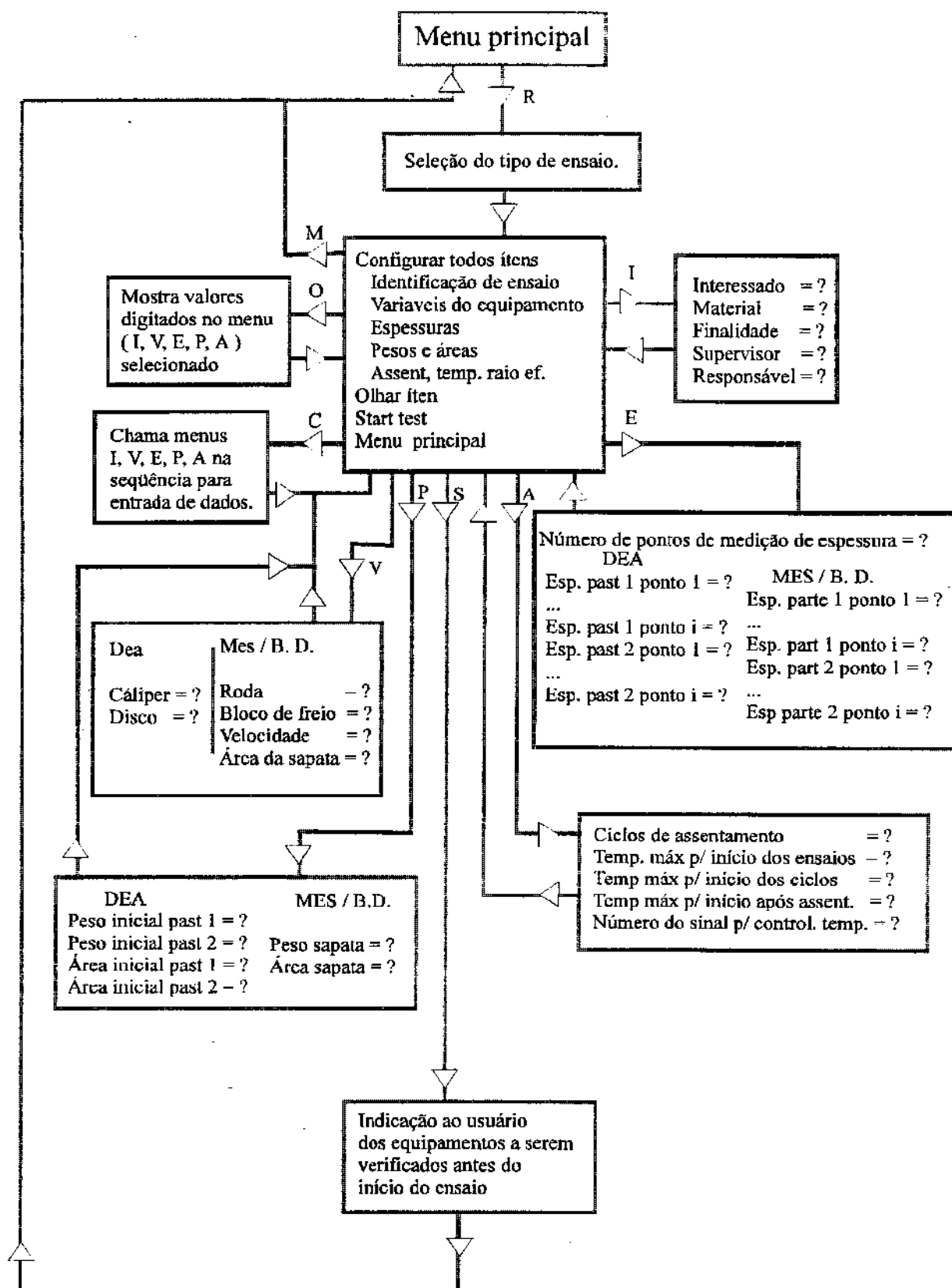


Figura A 3 Realização de ensaios - parte 1

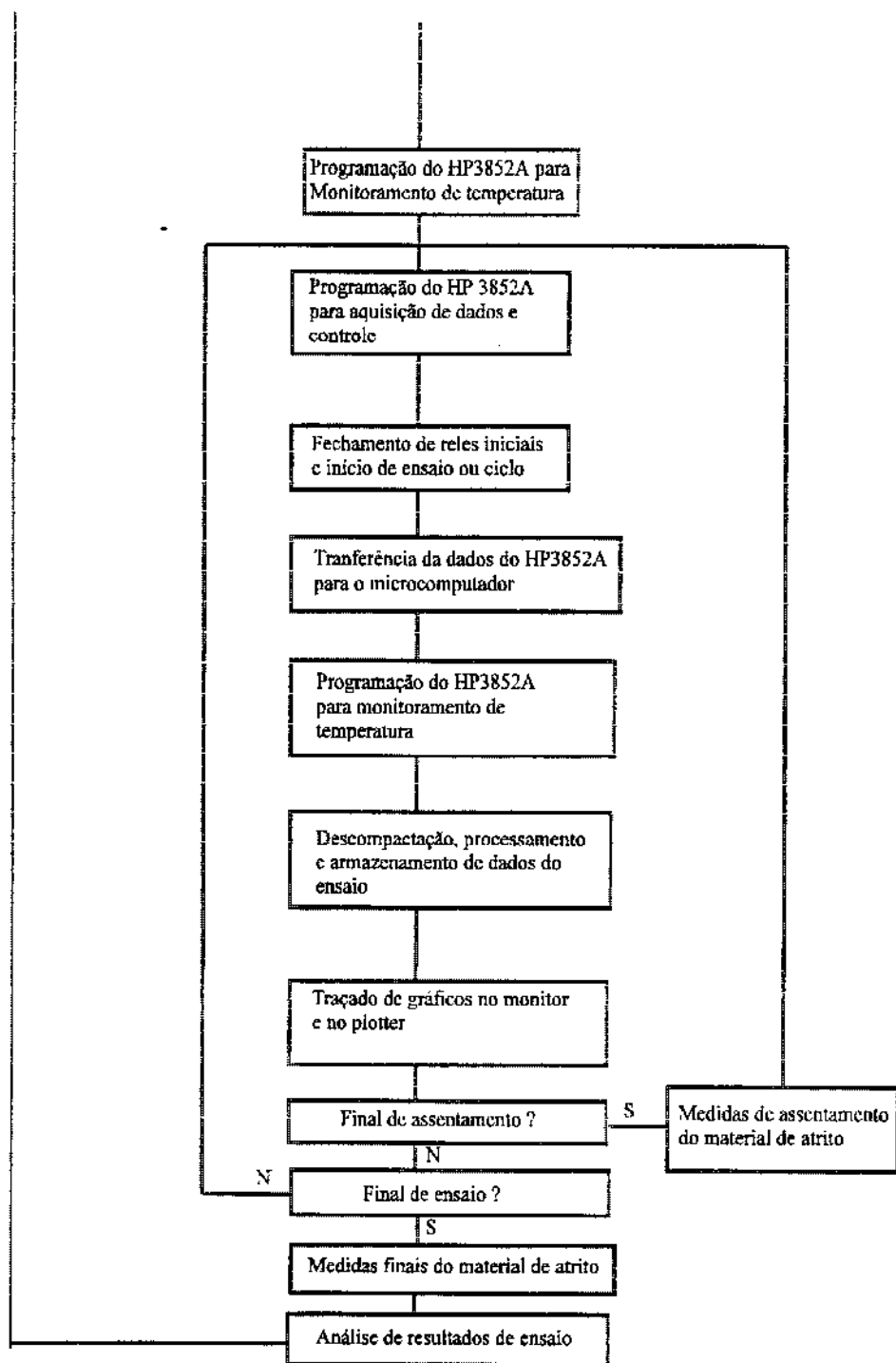


Figura A 4 Realização de ensaios - parte 2

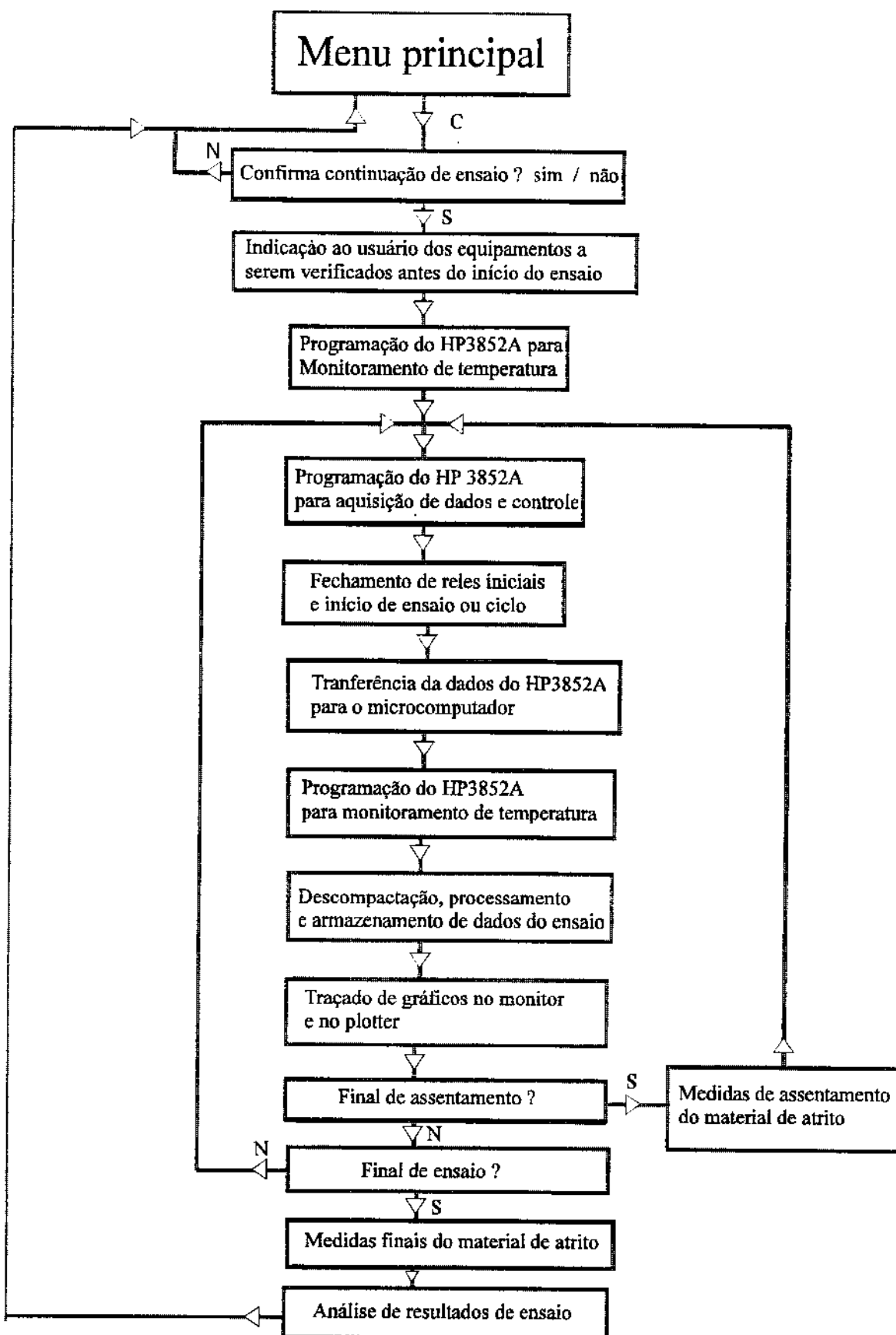


Figura A 5 Continuação de ensaio interrompido

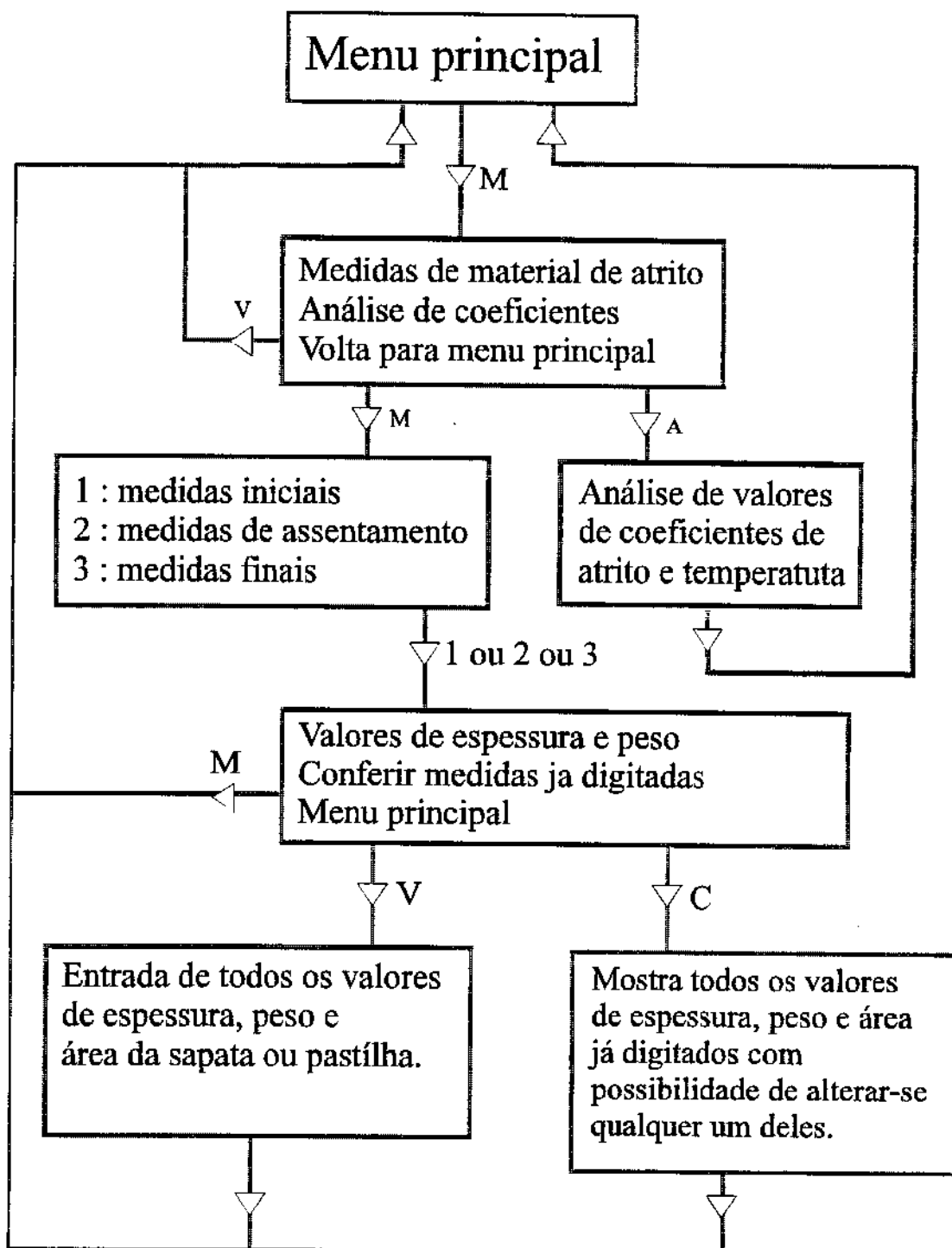


Figura A 6 Medidas de material de atrito e análise de ensaio

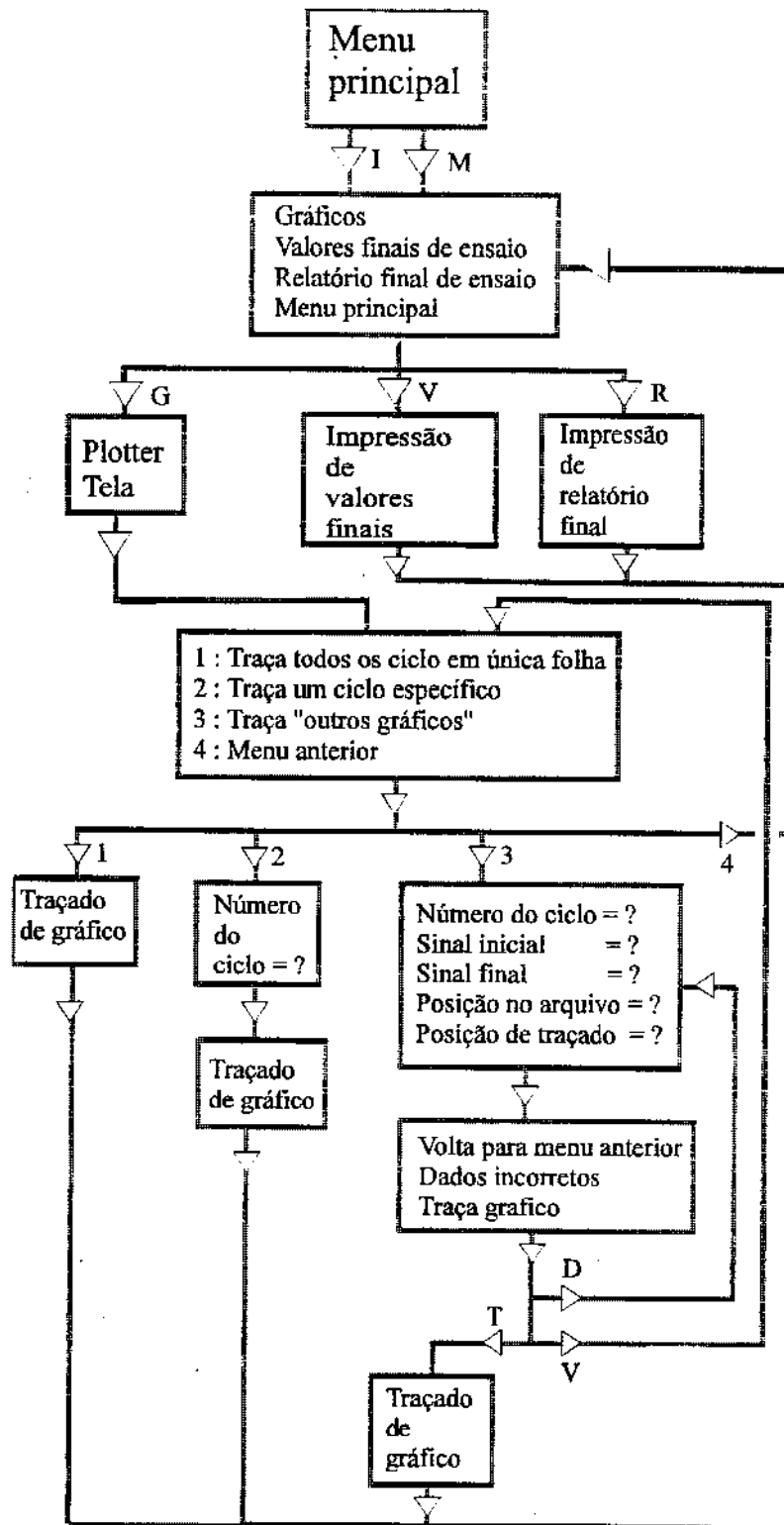


Figura A 7 Impressão de relatórios e gráficos

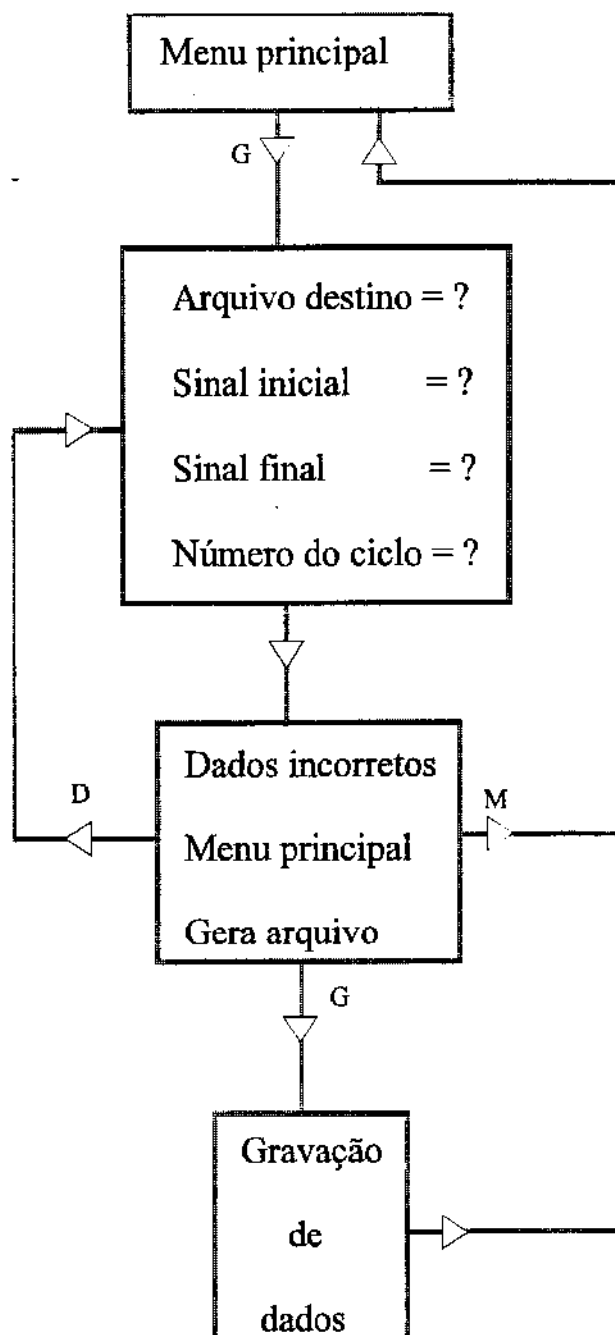


Figura A 8 Geração de arquivo ASCII

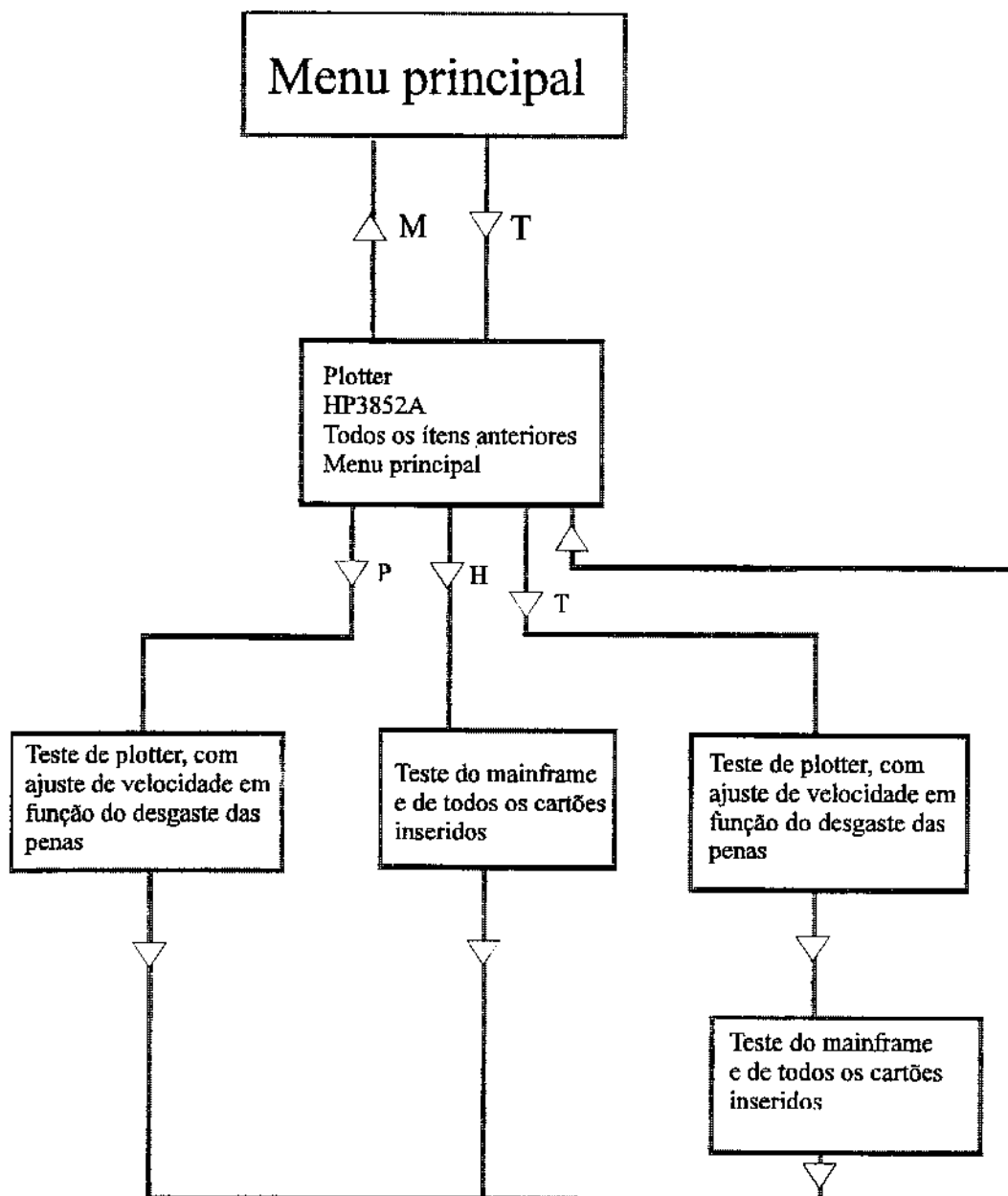


Figura A 9 Teste do plotter e do sistema de aquisição de dados (HP 3852)

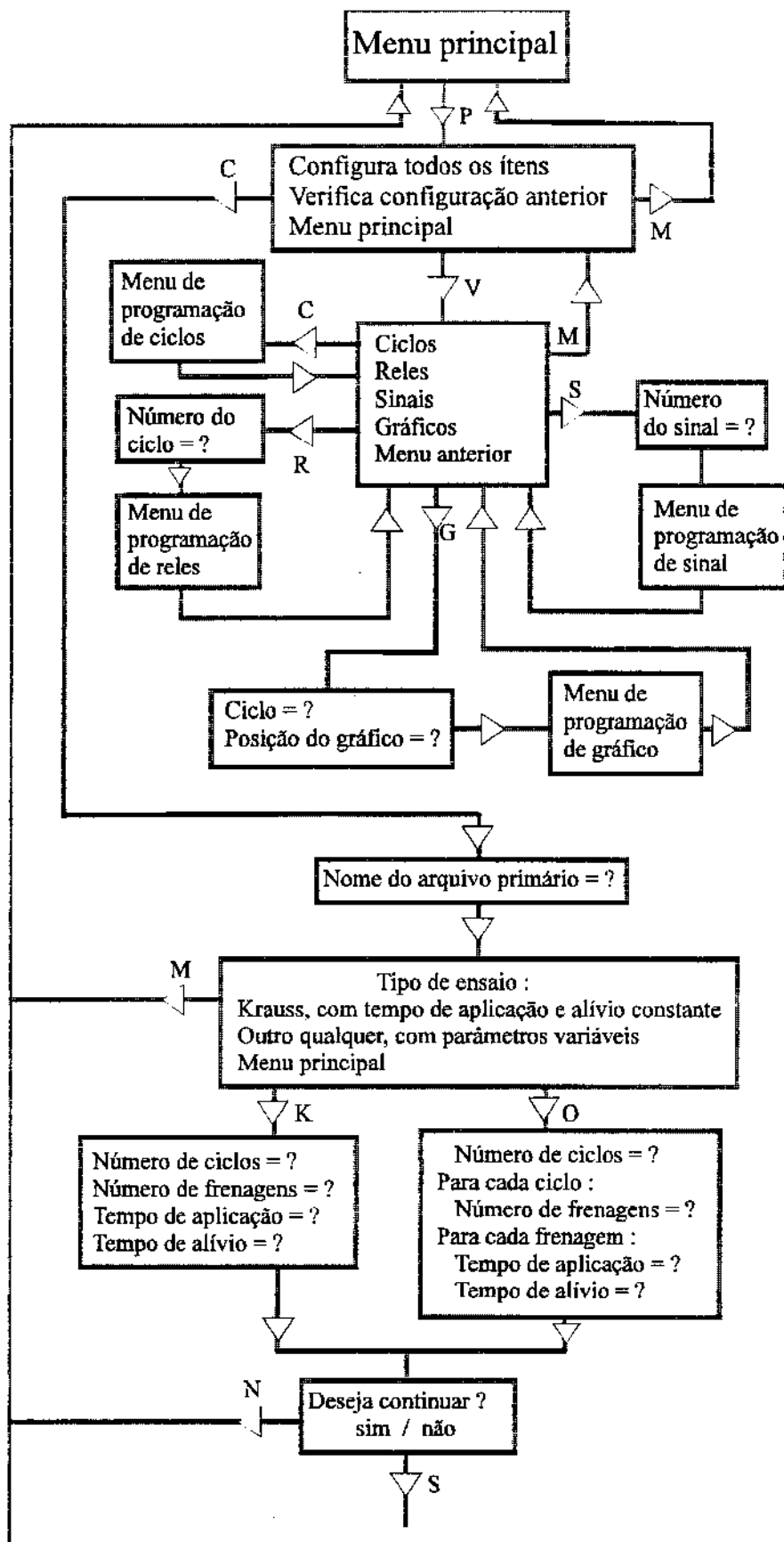


Figura A 10 Programação de ensaios - parte 1

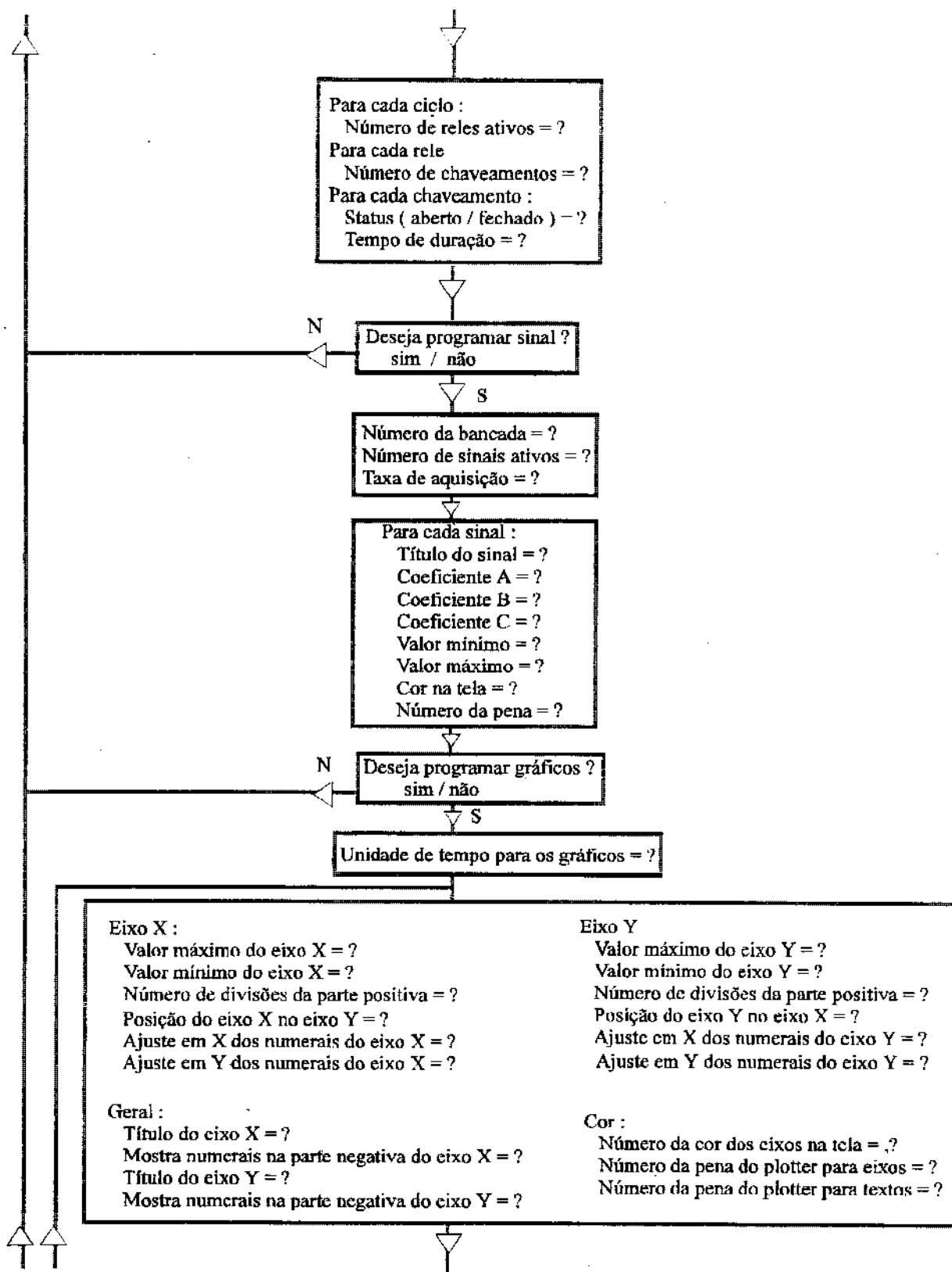


Figura A 11 Programação de ensaios - parte 2

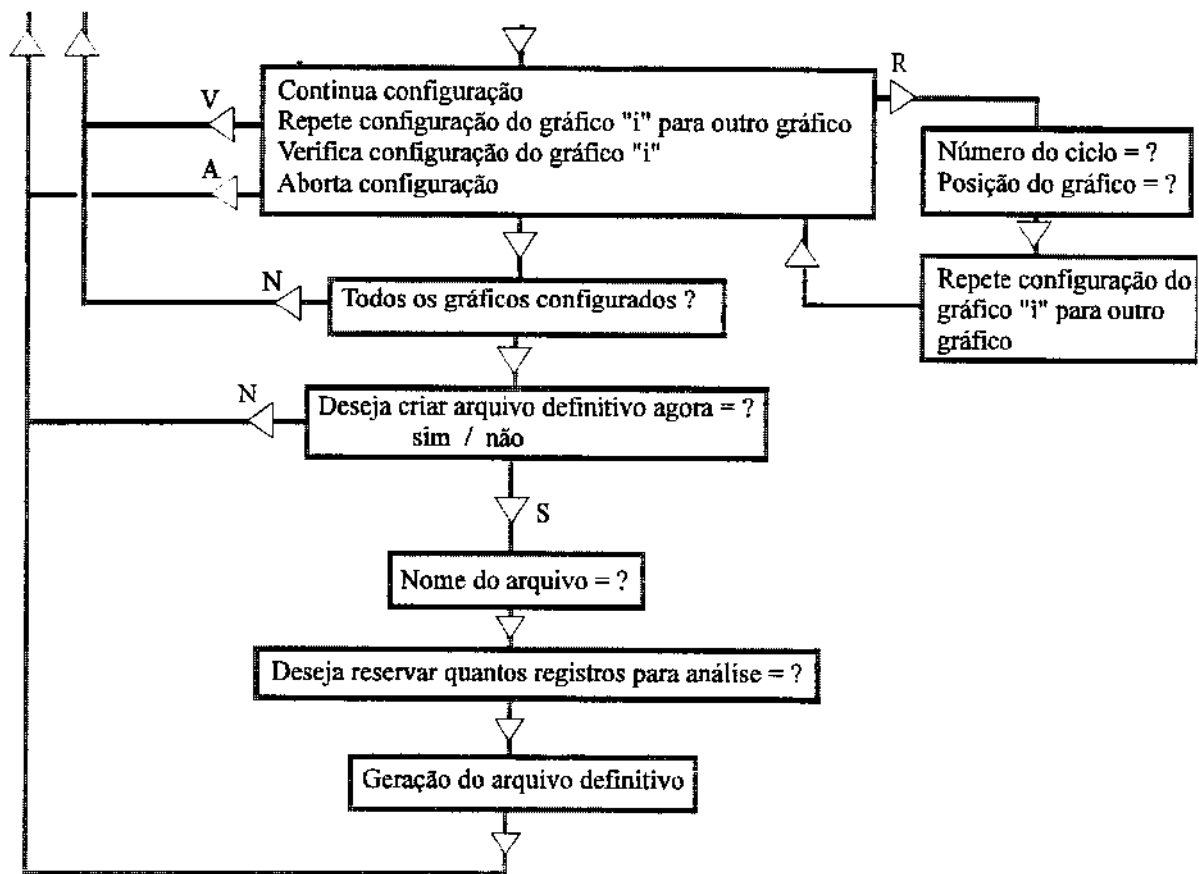


Figura A 12 Programação de ensaios - parte 3

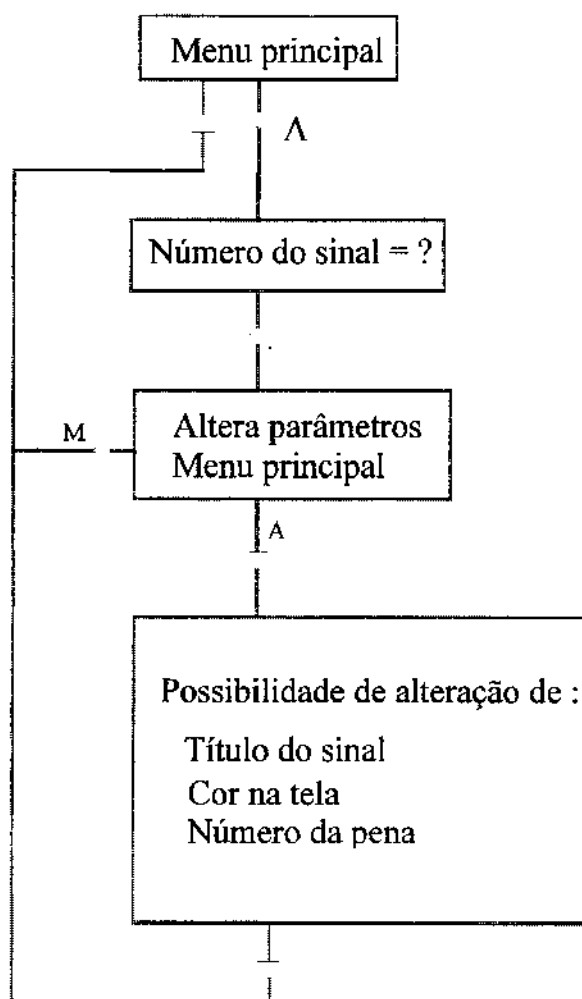


Figura A 13 Alteração de apresentação de parâmetros de sinais

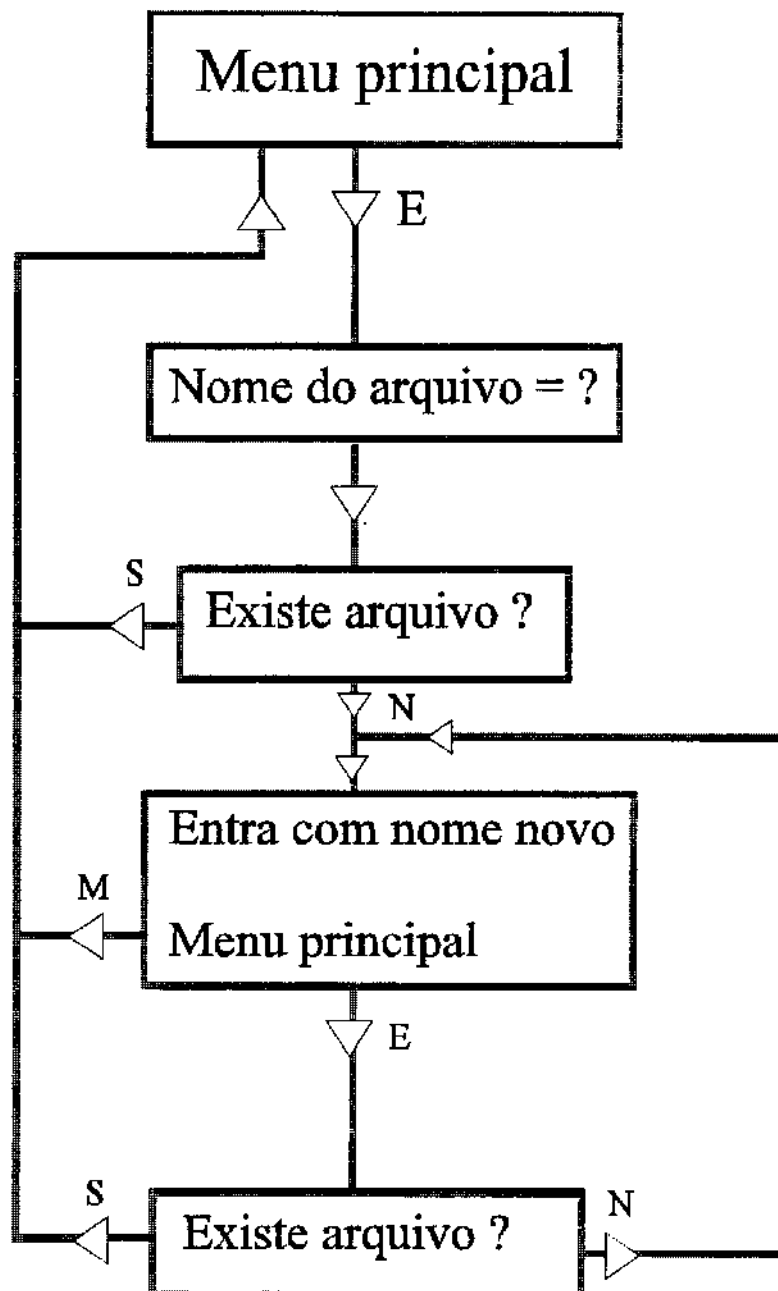


Figura A 14 Escolha do arquivo ativo

Resultados do ensaio E96026

O ensaio nº 96026, cujo resultado é mostrado na figura B.2, foi realizado com sapata diferente da empregada no nº 95152, mostrado no capítulo 7, mas utilizou a mesma programação do PROCAD, todavia registrando mais valores de temperatura, pois uma escova foi instalada no eixo da MES para permitir o registro de temperatura em pontos fixos ao longo da linha radial da roda, conforme mostrado na figura B.1 Foi medida também a temperatura ambiente. O registro de temperaturas que não constam na norma AAR 926 - 92 foi feito para se aproveitar o ensaio feito a pedido do fabricante do material ensaiado para pesquisas referentes aos problemas em rodas ferroviárias devido ao aquecimento.

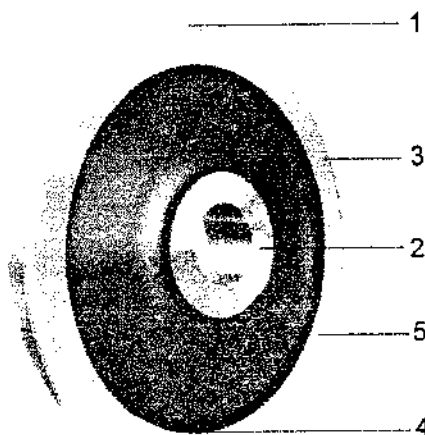


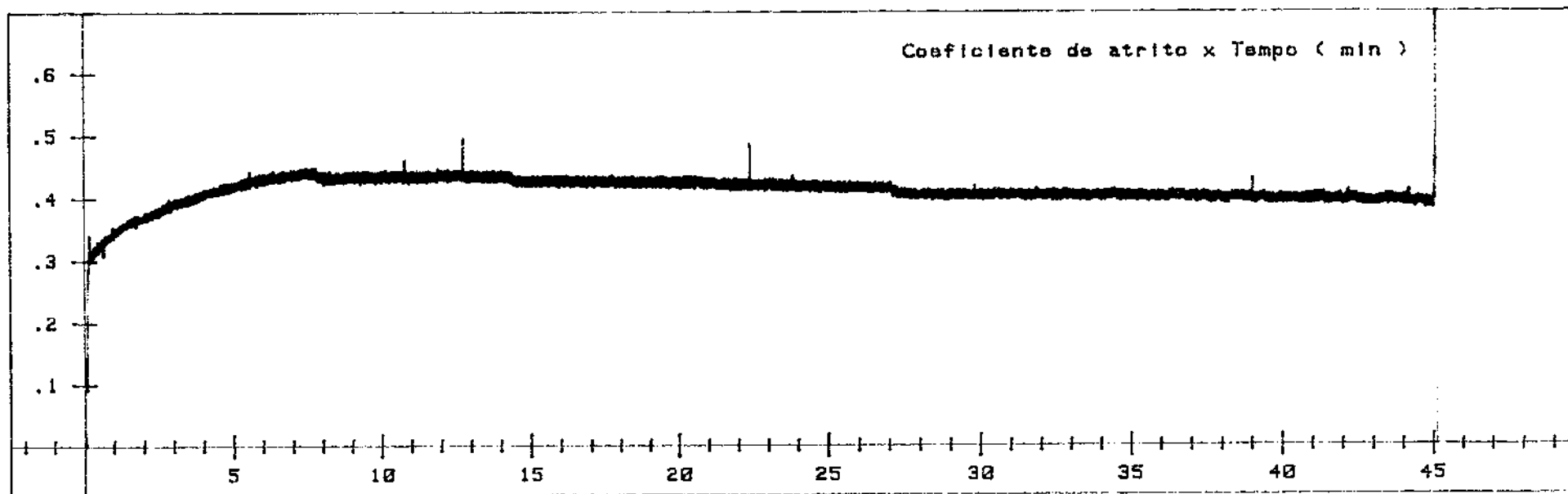
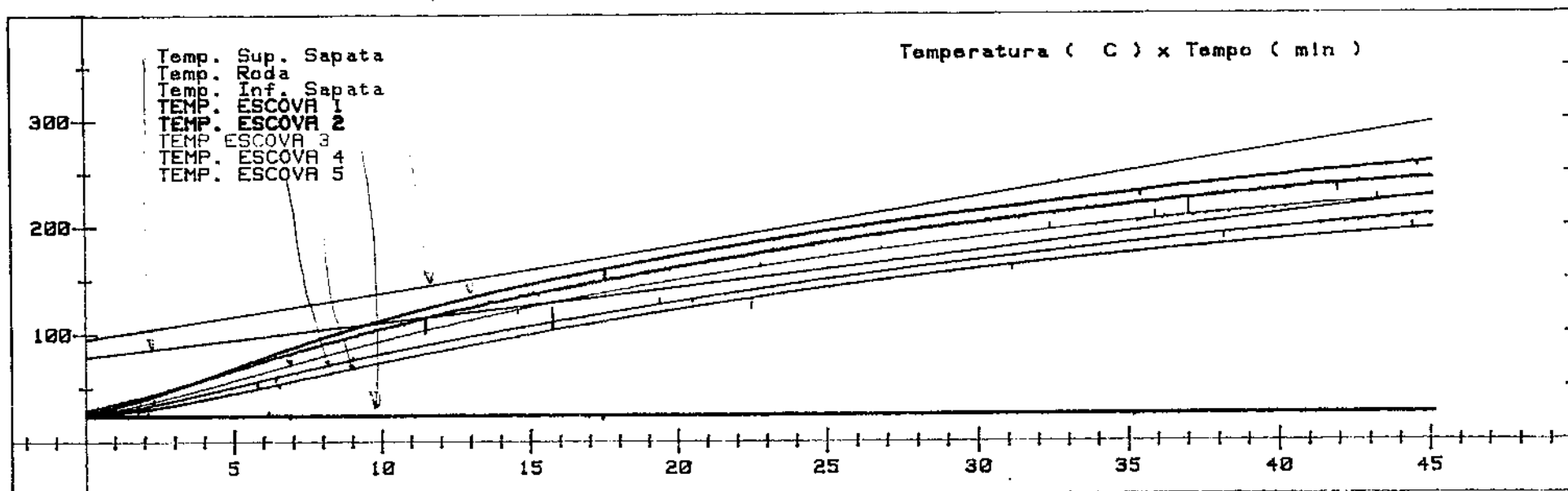
Figura B. 1 Pontos de medição de temperatura em roda ferroviária

A termopar número 1 foi colocado na borda da roda, o número 2 no cubo, e os de número 3 e 5 respectivamente a 15 e 30 mm, na direção radial, do termopar 1, embora não alinhados radialmente. O termopar 4 foi colocado na borda do aro

Embora de fabricante diferentes, foi observado um comportamento do coeficiente de atrito semelhante entre a sapata analisada neste ensaio (96026) com relação ao anterior (96152).

Ensaio N. 96026 20 Apr 1996 Frenagem Constante Interessado AUTELIANO

Figura B.1 Resultados do ensaio E96026.ens

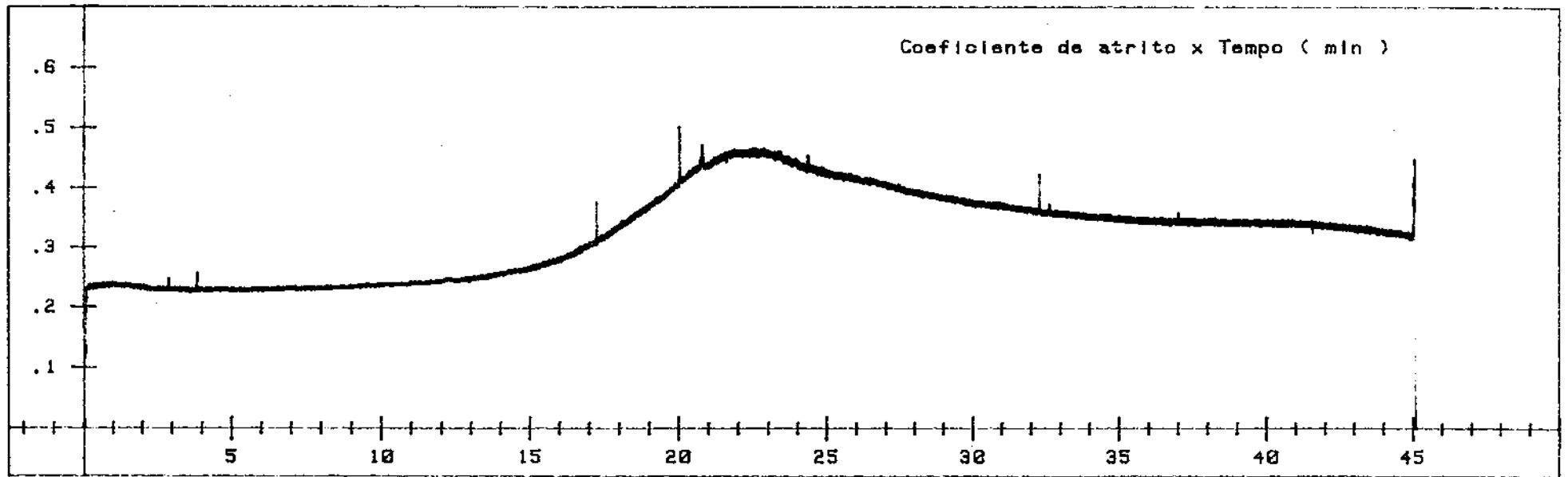
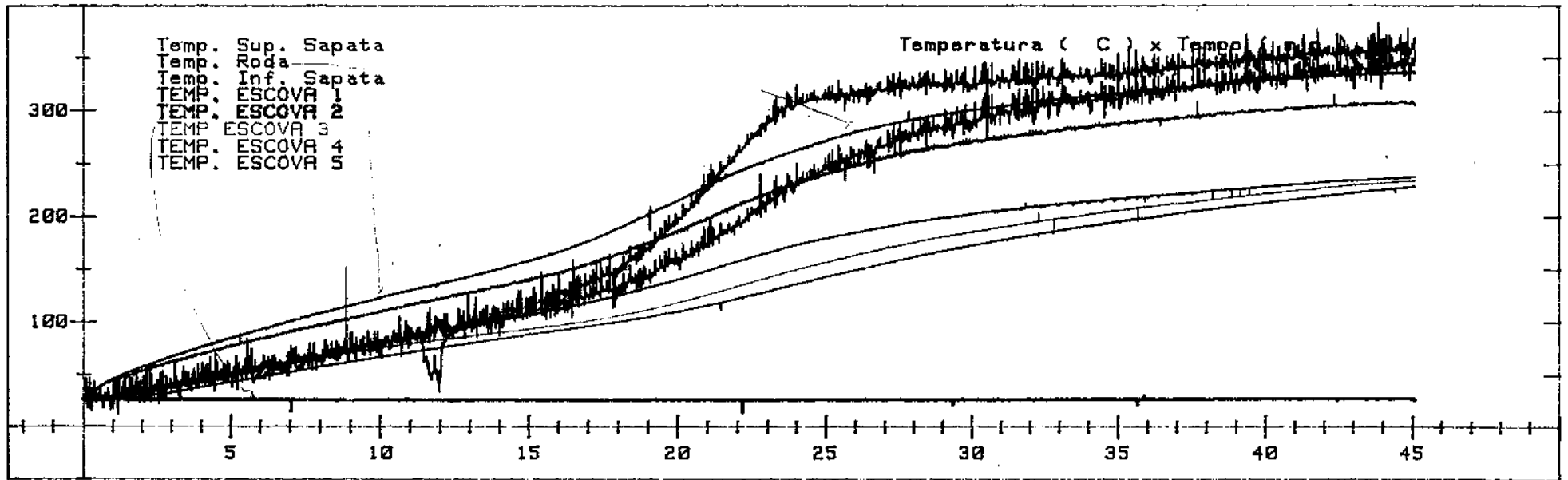


Resultados do ensaio E96013

O ensaio nº 96013, mostrado na figura C.1, apresenta um comportamento atípico do coeficiente de atrito, com significativa elevação de seu valor após 15 min de ensaio.

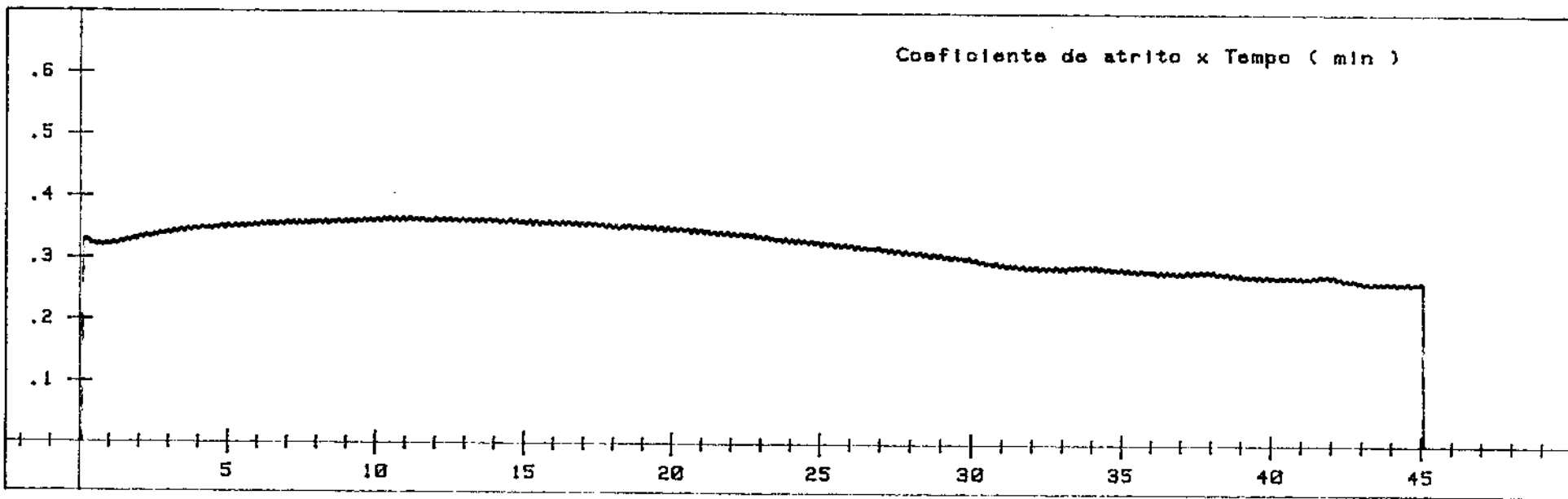
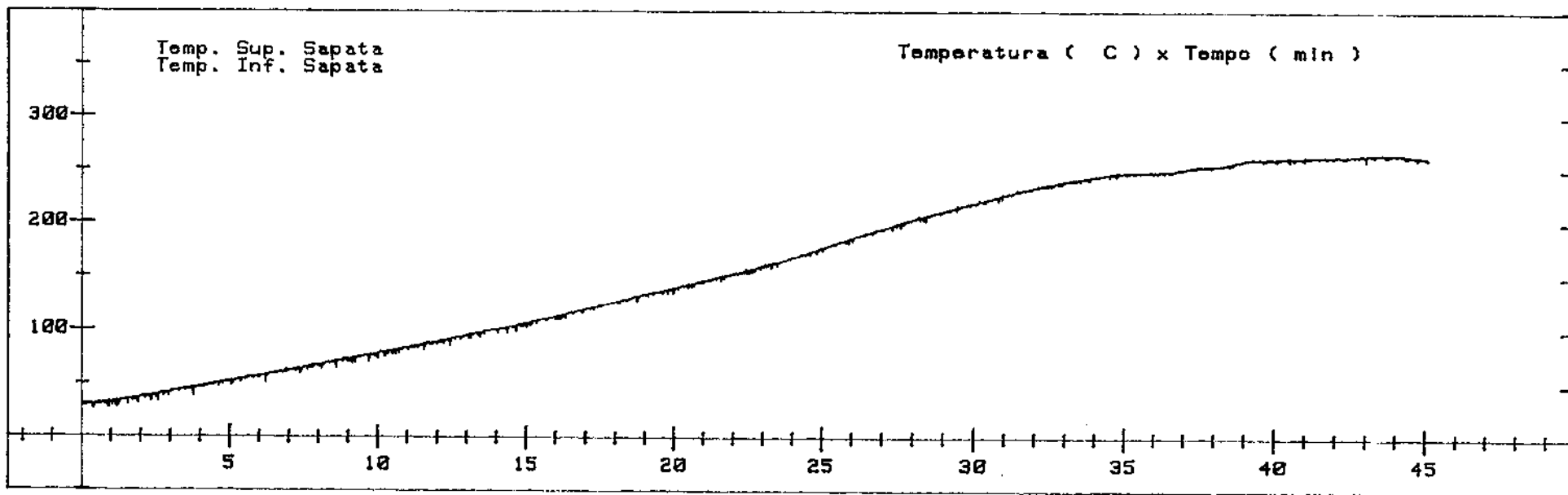
Em uma composição ferroviária, a pressão do encanamento geral é que determina a força normal que será exercida na sapata e o maquinista controla seu valor tendo em vista o comportamento geral do trem e não de uma roda específica. O aumento repentino do coeficiente de atrito de uma sapata pode ocasionar o travamento da roda na qual ela está instalada, danificando-a. Isto pode acontecer sem que o maquinista altere a pressão do encanamento geral, uma vez que o comportamento de trem como um todo pode não se alterar caso haja poucas sapatas, com relação ao número total existente, com esta característica.

Figura 6.1 Resultados do ensaio E96026.ens



Ensaio N. 96065 28 May 1996 Frenagem Constante Interessado GEVISA

Figura 9.1 Resultados do ensaio E96065.ens



Ensaio N. 96068 31 May 1996 Ensaio para Gevisa Interessado GEVISR

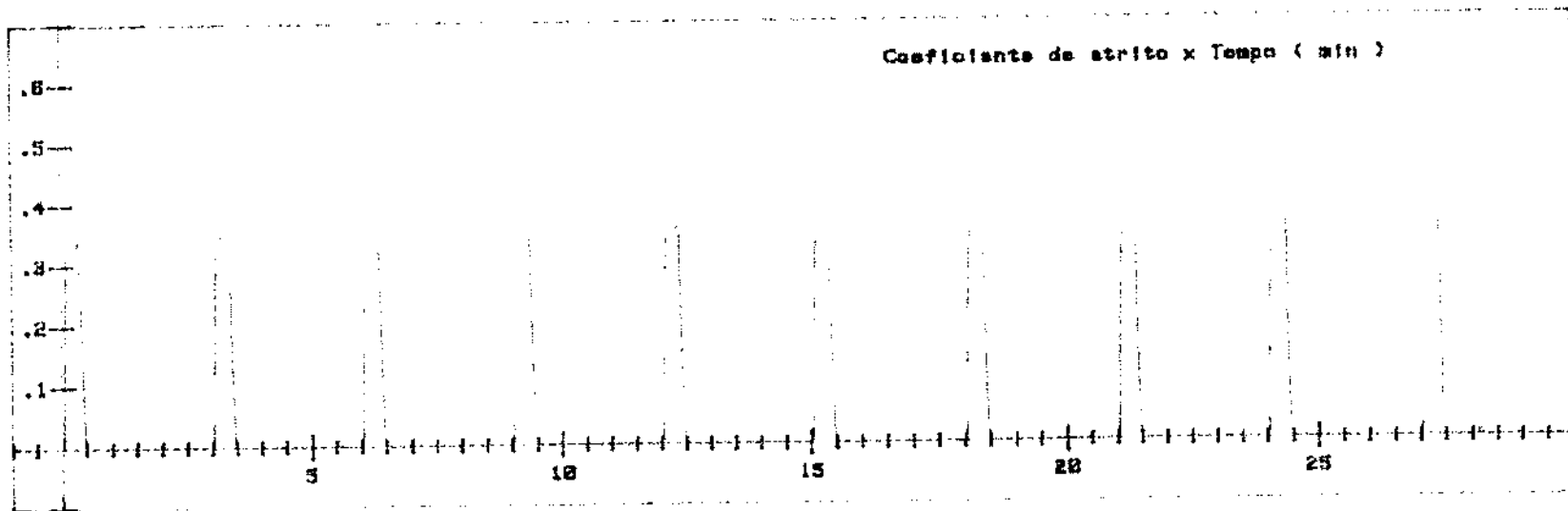
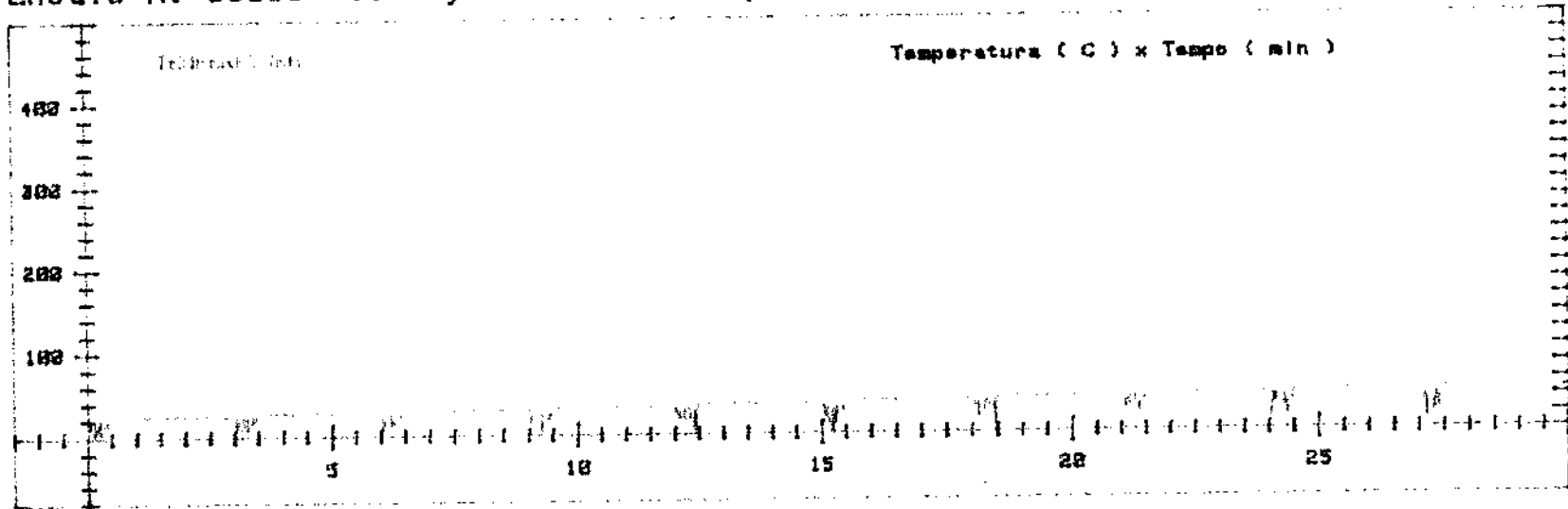


Figura D.2 Resultados do ensaio E96068,ENS

Resultados do ensaio E96106

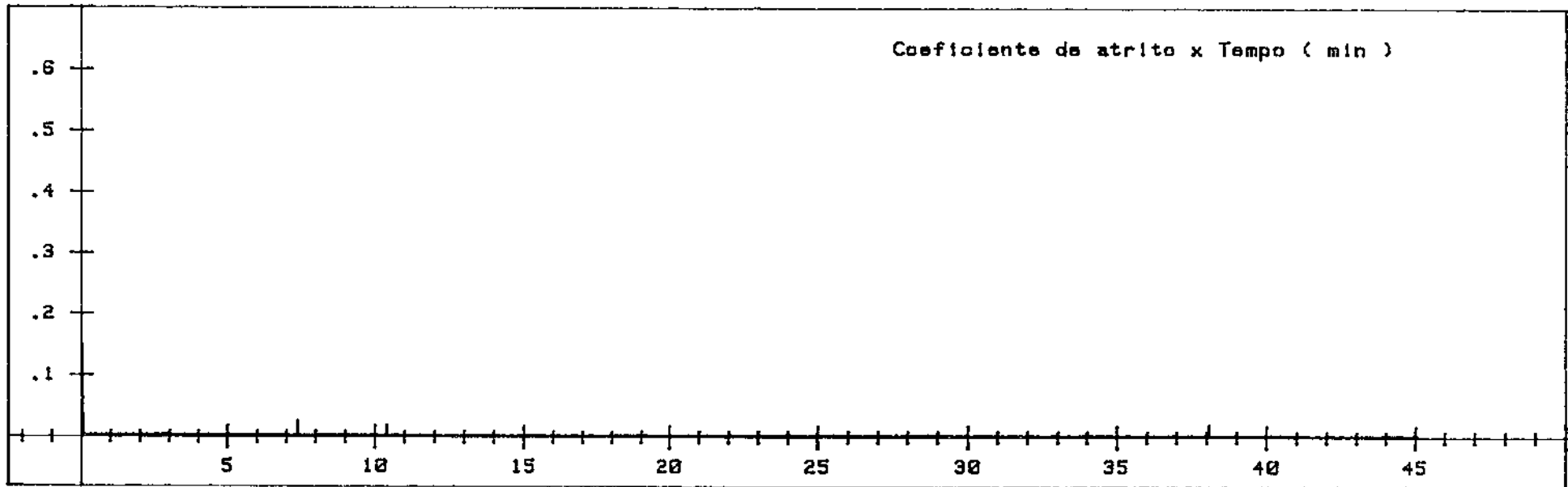
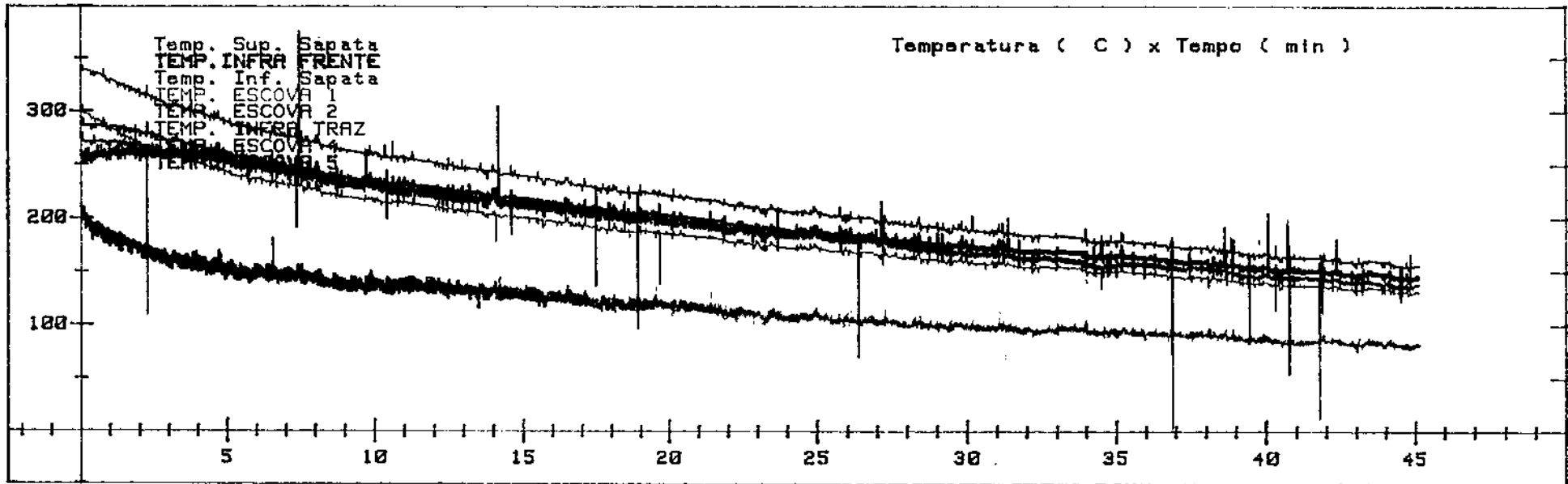
Uma pesquisa em andamento na Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp, demonstra a necessidade de estudar não só o aquecimento das rodas ferroviárias, mais também o seu resfriamento.

Para a realização deste tipo de pesquisa, ele utilizou a configuração do ensaio AAR 926-92 existente no PROCAD para monitorar o resfriamento da roda, encontrando uma utilização que não a original para um ensaio padronizado existente no PROCAD.

Em suas pesquisas, ele executa os ensaios AAR M 926-92 da maneira tradicional e imediatamente após seu término, inicia um segundo sem aplicação de freios, colocando o controle do bloco de freios no modo manual. O PROCAD passa então a registrar o resfriamento da roda

O ensaio de nº 96106 efetuado para monitoramento do resfriamento da roda é mostrado a seguir. O coeficiente de atrito igual a zero se deve a não aplicação dos freios.

Figura E.1 Resultados do ensaio E96106.FNS



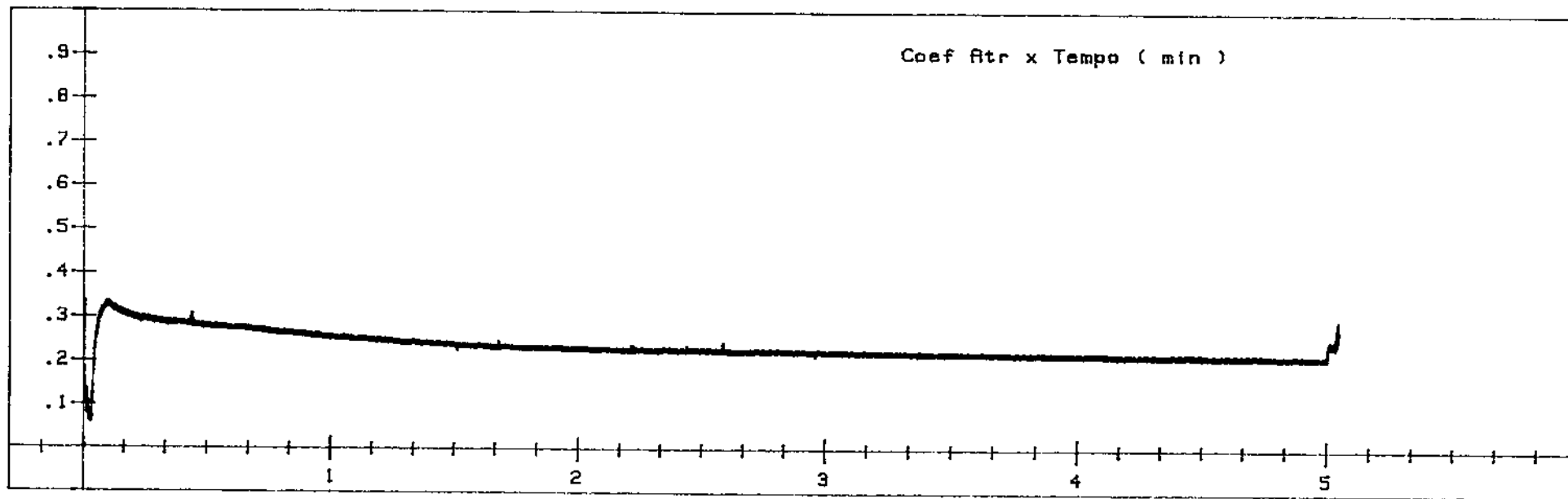
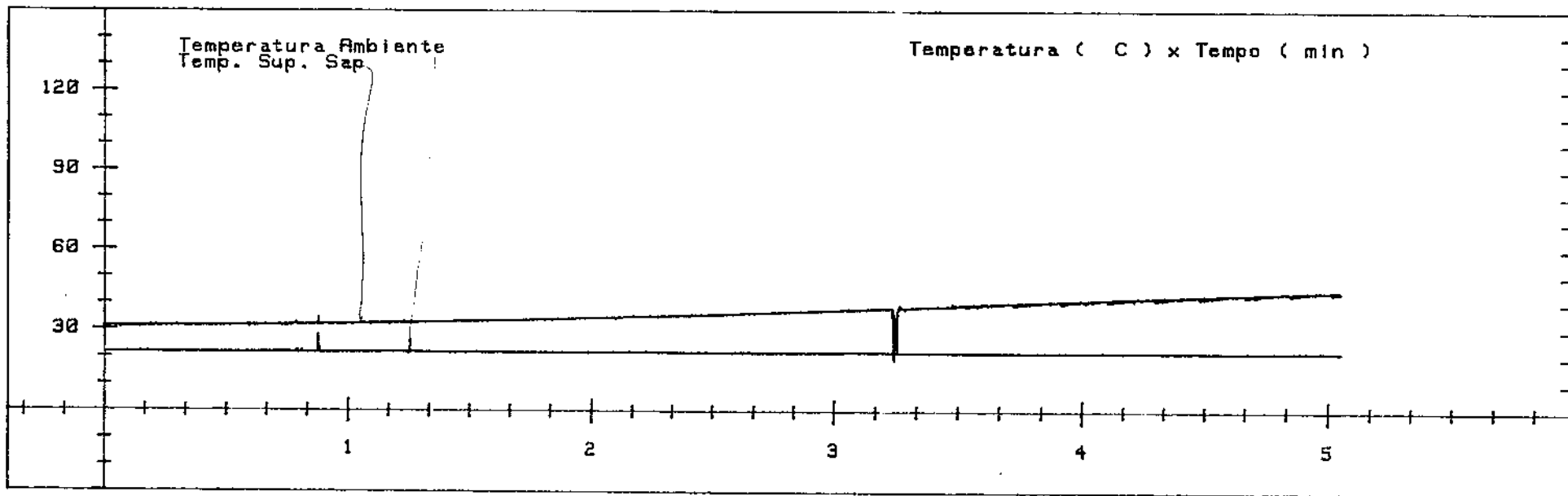
Resultados dos ensaios E95114 e E95146

Na maioria de ferrovias, dificilmente se aplicam os freios em uma composição ferroviária durante 45 min ininterruptos. Pensando nisto, programou-se um ensaio na MES com duração de 5 min para se estudar melhor o comportamento das sapatas durante frenagens mais curtas.

Estes ensaios são feitos a velocidade constante, assim como o AAR M 926-92. Nas figuras F.1 e F.2 são mostrados os resultados de dois destes ensaios, os de nº 95114 e 95146, que diferem pelos sinais de temperatura registrados.

Ensaio N. 95114 14 Sep 1995 Demo. mesa 5 min Interessado LAB.FERROV

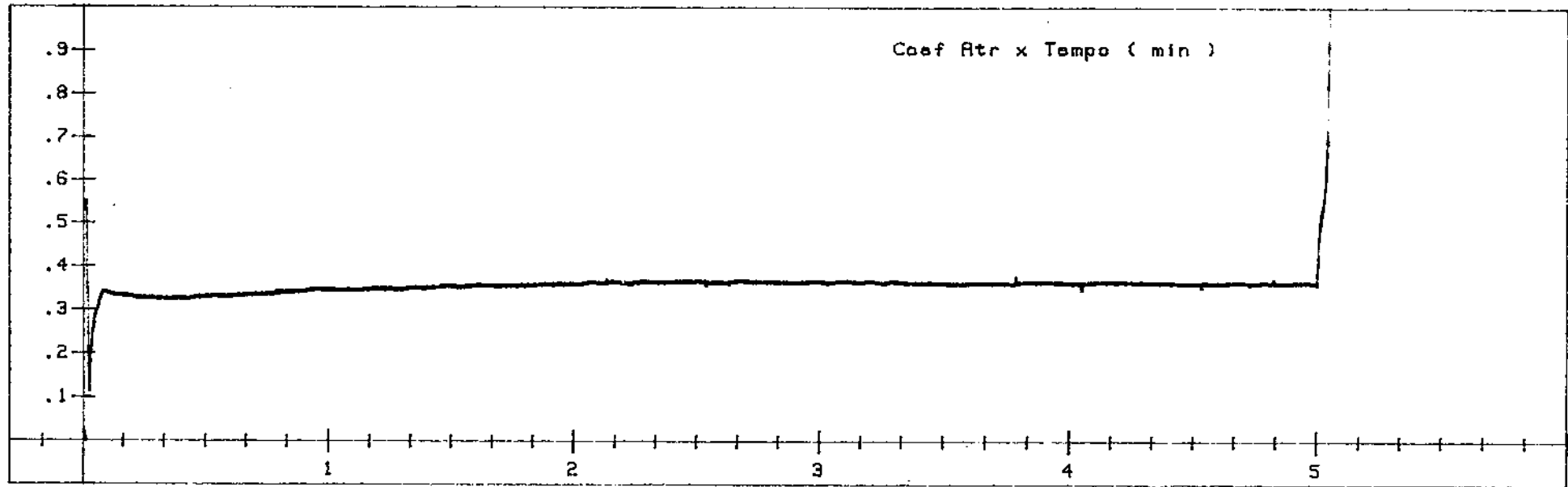
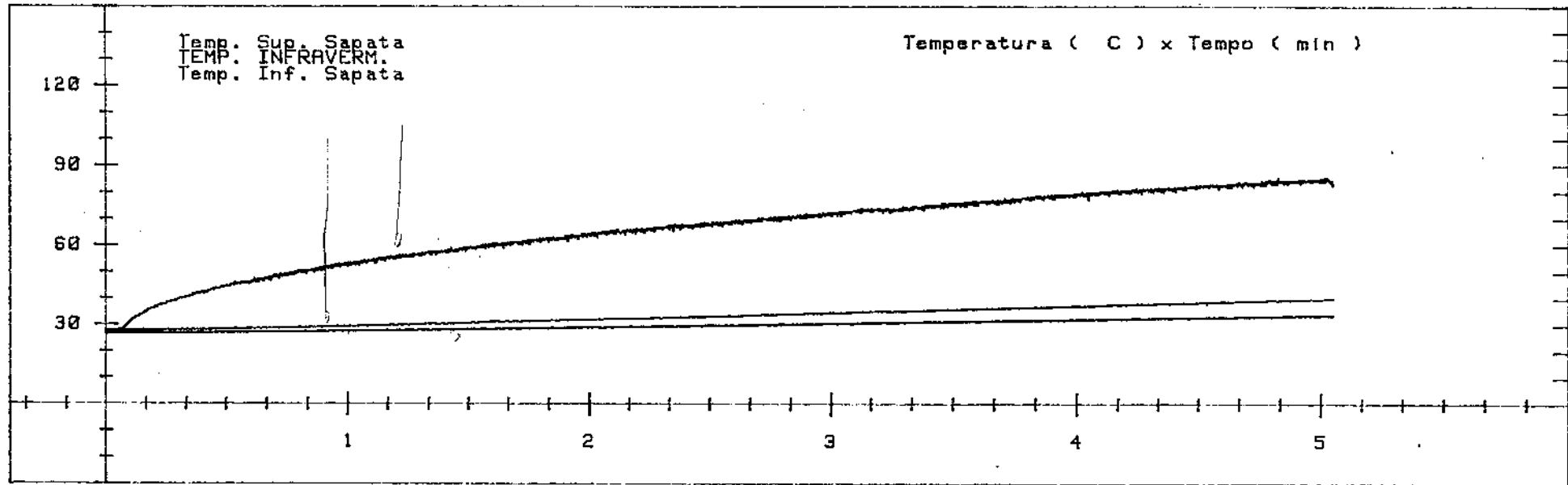
Figura F.1 Resultados do ensaio E96114.ENS



XXXI

Ensaio N. 95146 14 Nov 1995 Demo. mesa 5 min Interessado LAB. FERROVIARIO

Figura F.2 Resultados do ensaio E96146 ENS



Resultados dos ensaios E96038, E96100 e E96107

O PROCAD pode controlar qualquer um dos três equipamentos de ensaio do Laboratório Ferroviário, conforme descrito no capítulo anterior. Foram feitas, portanto, programações de ensaios para serem executadas no DEA.

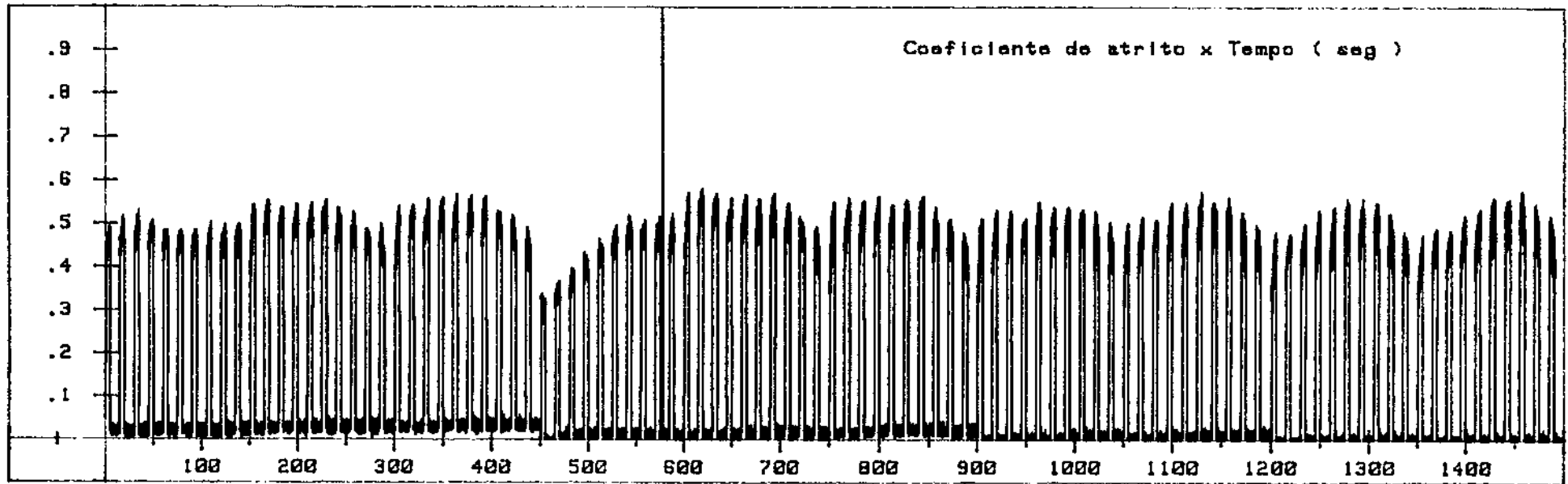
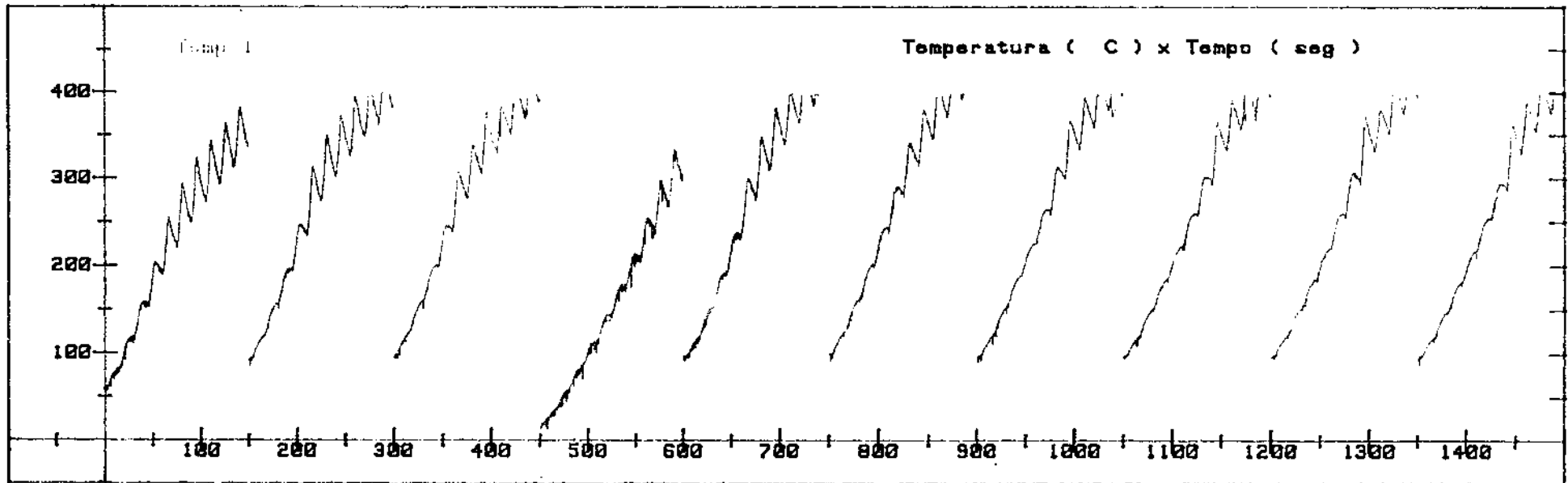
O primeiro ensaio programado para o DEA foi o ensaio Krauss, segundo a NBR 6143 e para o qual foi desenvolvida rotina no PROCAD para a emissão automática de dois relatórios diferentes, mas que se complementam.

Dentre os ensaios Krauss realizados no DEA utilizando-se o PROCAD, encontra-se uma série deles que foram executados visando colaborar com pesquisas da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp na qual se estuda novas formulações para materiais de atrito. As formulações cujos resultados dos ensaios são aqui mostrados não possuem partículas metálicas em sua composição.

Os resultados dos ensaios n^{os} 96038, 96100 e 96107, mostrados nas figuras G1, G5 e G6, bem como as fichas de resultado emitidas pelo PROCAD para o ensaio n^o 96038, figuras G2 e G3, referem-se à pesquisa mencionada. Para o ensaio 96038 é mostrado também um gráfico, figura G4, contendo um único ciclo, bem como outro referente a opção existente no PROCAD para se programar 2 gráficos não padrão para cada ciclo.

Ensaio N. 96038 13 May 1996 Tipo Krauss Interessado SANDRO

Figura G.I Resultados do ensaio E96038.ENS



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECANICA

LABORATORIO FERROVIARIO

ENSAIO TIPO KRAUSS

Interessado : SANDRO
 Material : PASTILHA BENDIX
 Finalidade : MESTRADO
 Supervisor : PROF. PAUSTO RODRIGUES FILHO
 Responsavel : ROSANGELA
 Realizacao : 13 Mai 1996 10:00:50 hs ensaio n 96038

PARAMETROS DO ENSAIO

Caliper : DEL REY
 Fressao do ar :
 Forca normal : 214.0914125 Kgf
 Superf. lixada :
 Tempo lixada : 5 s
 Numero lixada : 10
 Ciclos assent : 3
 Disco :
 Pres. hidraulica :
 Raio efetivo :
 Pres. especifica :
 Intervalo : 10 s
 Numero de ciclos : 10

RESULTADOS

Coef. atr. max : 0.378
 Coef. atr. min : 0.378
 Coef. atr. med : 0.378
 Coef. atr. lido : 0.378
 Temp 1
 Minima = 12
 Media = 241
 Maxima = 399

DESGASTES

Pontos de medicao :	01	02	03	04	05	06
Pastilha 1 :						
Espes. inicial mm :	16.06	15.84	16.15	15.94	15.99	--
final mm :	15.98	15.82	16.12	15.90	15.93	--
Desgaste mm :	.0801	.0201	.0301	.0401	.0601	--
Pastilha 2 :						
Espes. inicial mm :	15.98	15.82	16.04	15.85	16.07	--
final mm :	15.97	15.79	16.05	15.84	15.99	--
Desgaste mm :	.0101	.0301	.009	.0101	.0801	--
pastilha 1 pastilha 2						
Peso inicial g :		270.93		269.63		
final g :		270.09		268.74		
Desgaste g :		.84		.89		
Assentamento % :		67		49		

Apêndice G - Resultados dos ensaios E96038, E96100 e E96107

UNICAMP - FEM
 LABORATORIO FERROVIARIO
 ENSAIO TIPO KRAUSS - MB 91.2

Interessado : SANDRO
 Arquivo : E96038.ENS
 Realizacao : 13 Mar 1996 10:00:50
 Supervisor : PROF. FAUSTO RODRIGUES FILHO
 Responsavel : ROSANGELA

Num. Ciclo	Coef Atr Min	Coef Atr Max	Coef Atr Med	Coef Atr Frio
1	0.41	0.55	#	#
2	0.38	0.56	#	#
3	0.36	0.57	0.39	#
4	0.28	0.58	#	0.33
5	0.36	0.58	0.46	#
6	0.36	0.57	0.37	#
7	0.33	0.55	0.36	#
8	0.32	0.58	0.36	#
9	0.31	0.56	0.37	#
10	0.32	0.58	0.36	#
Res. Final	0.28	0.58	0.38	0.33

Temp 1

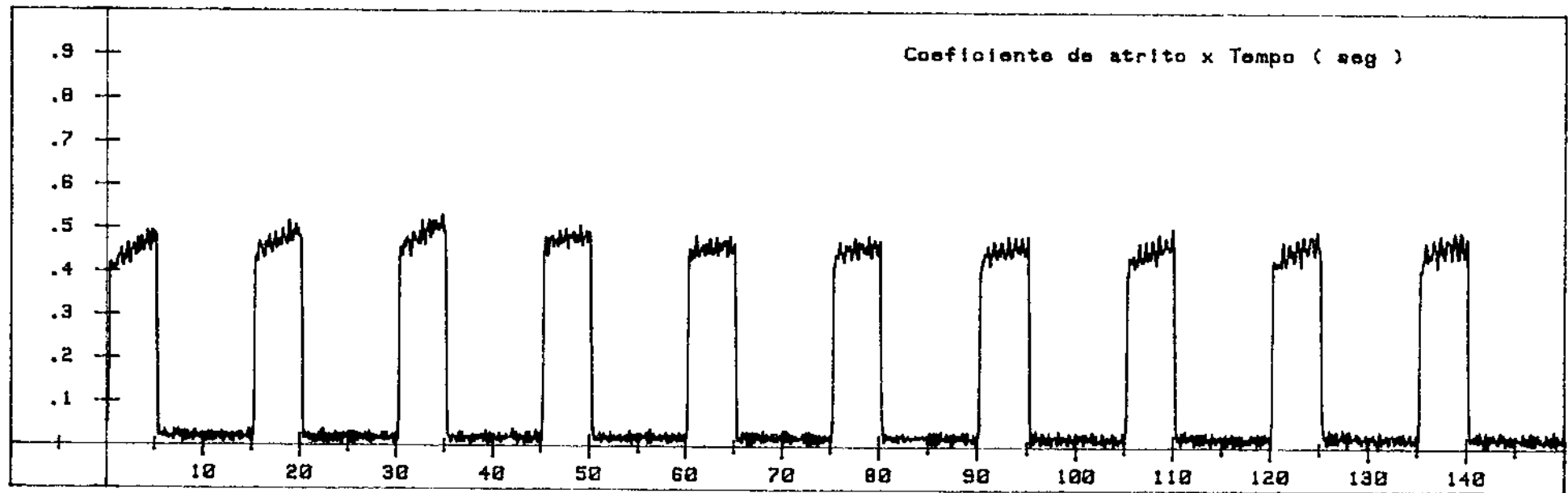
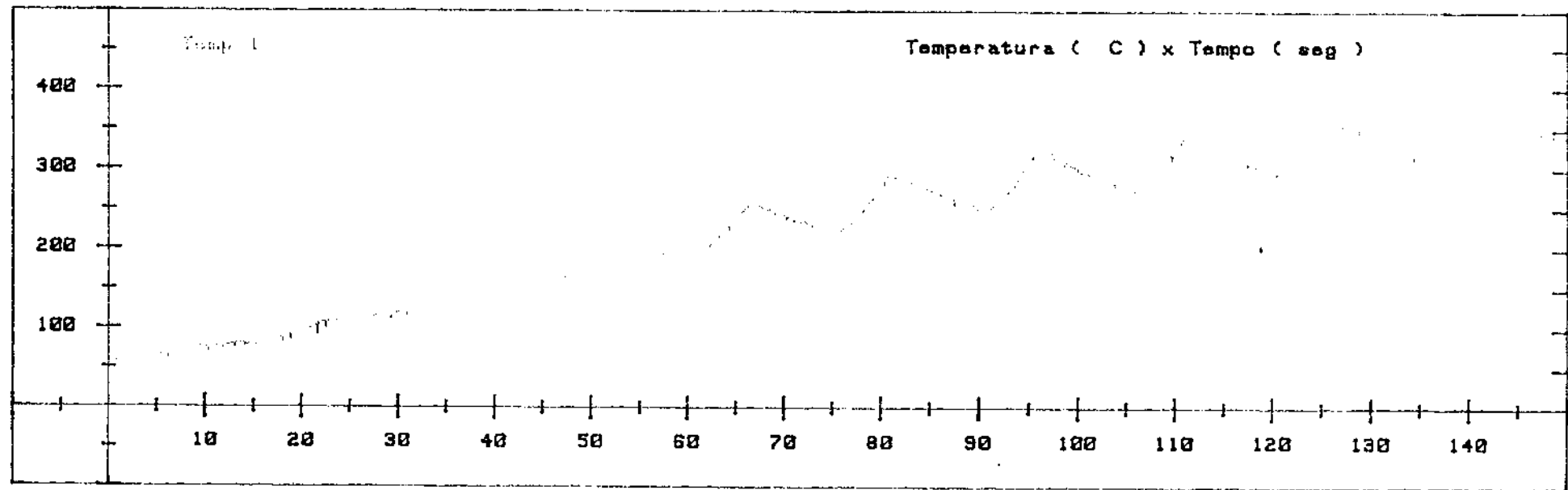
Numero do ciclo	minima	media	maxima
1	56	229	383
2	85	264	399
3	93	264	399
4	12	158	354
5	91	254	399
6	91	254	399
7	89	250	399
8	93	248	399
9	93	248	399
10	87	246	399

Temp 2

Numero do ciclo	minima	media	maxima
1	56	229	383
2	85	264	399
3	93	264	399
4	12	158	334
5	91	254	399
6	91	254	399
7	89	250	399
8	93	248	399
9	93	248	399
10	87	246	399

Ensaio N. 96038 13 May 1996 Tipo Krauss Interessado SANDRO

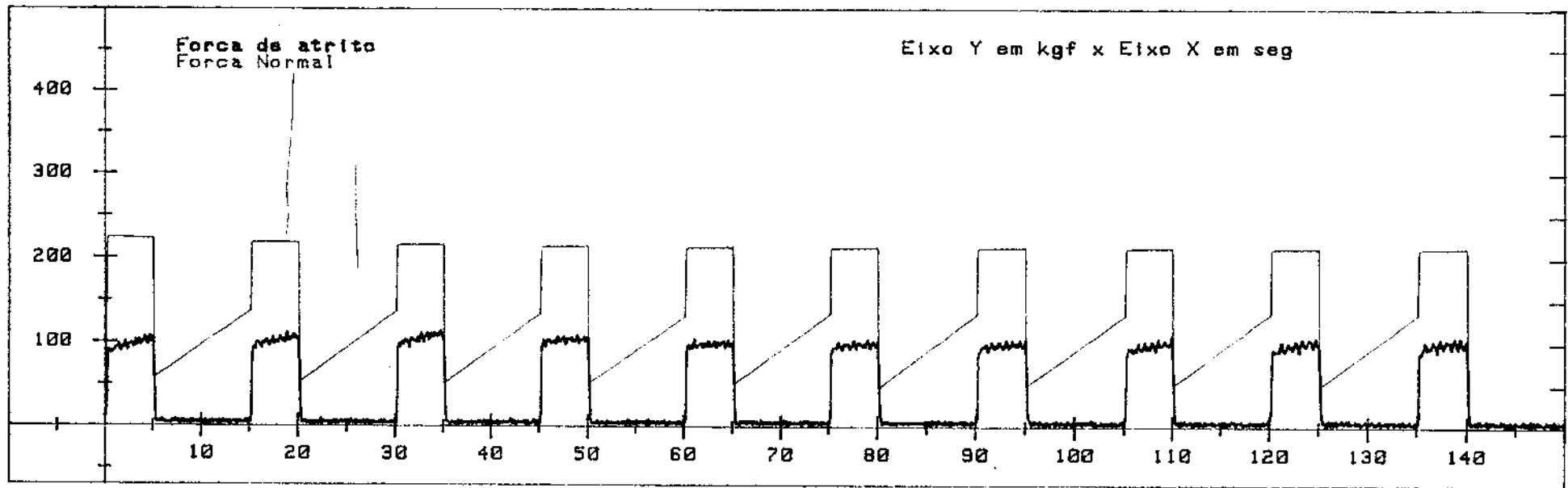
Figura G.4 Resultados do ensaio E96038.ENS



XXXVII

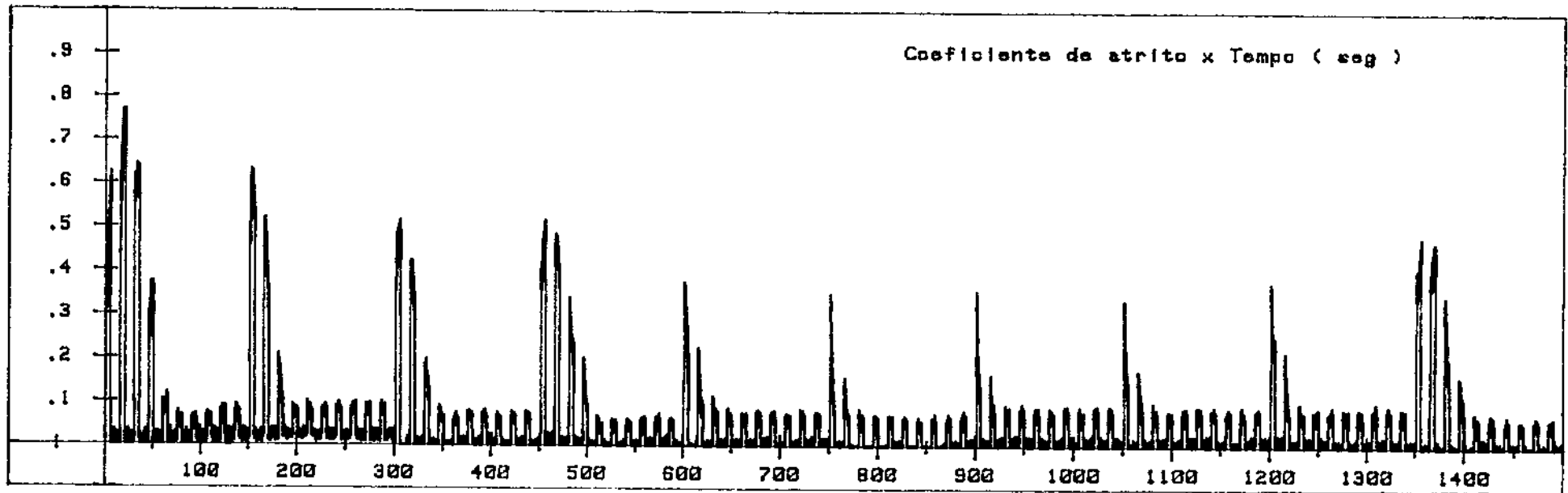
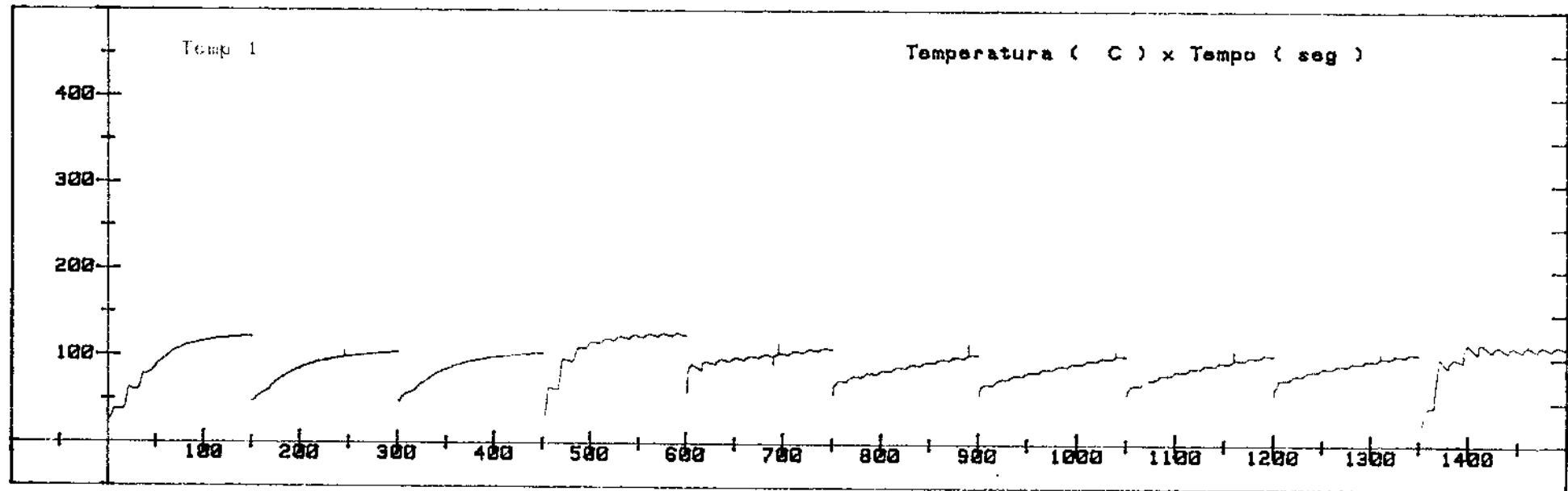
Ensaio N. 96038 13 May 1996 Tipo Krauss Interessado SANDRO

Figura G.5 Resultados do ensaio E96038.FNS



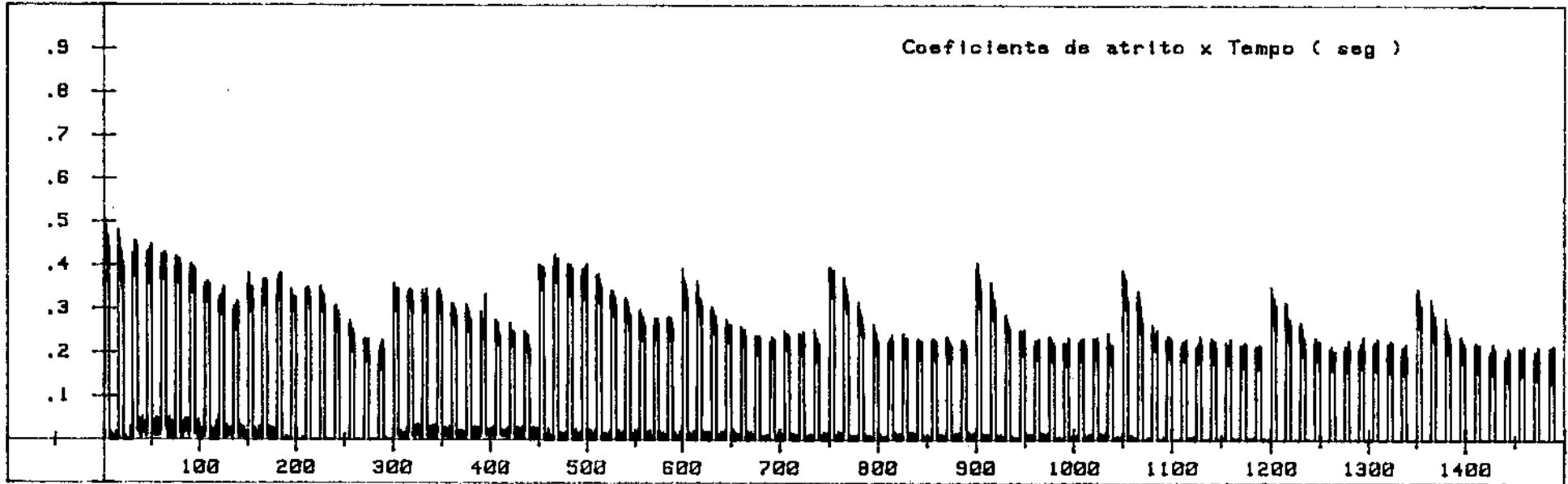
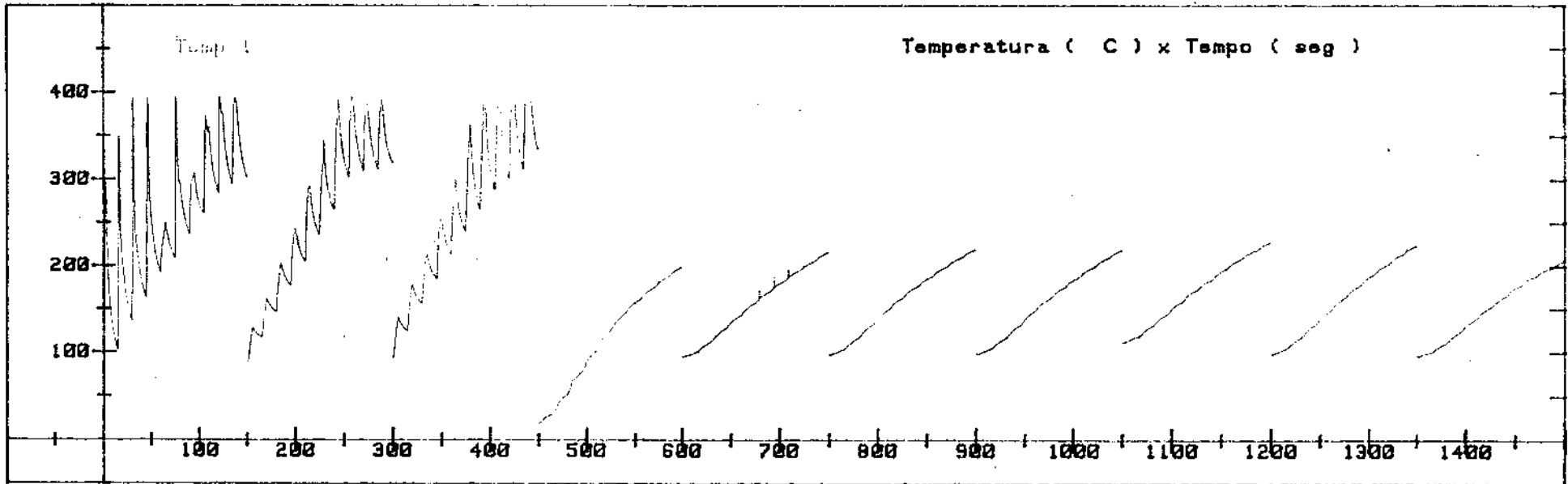
Ensaio N. 96100 12 Jul 1996 Tipo Krauss Interessado SANDRO

Figura G.6 Resultados do ensaio E96100.ENS



Ensaio N. 96107 19 Jul 1996 Tipo Krauss Interessado SANDRO

Figura G.7 Resultados do ensaio E96107.ENS



XL

Resultados do ensaio E96141

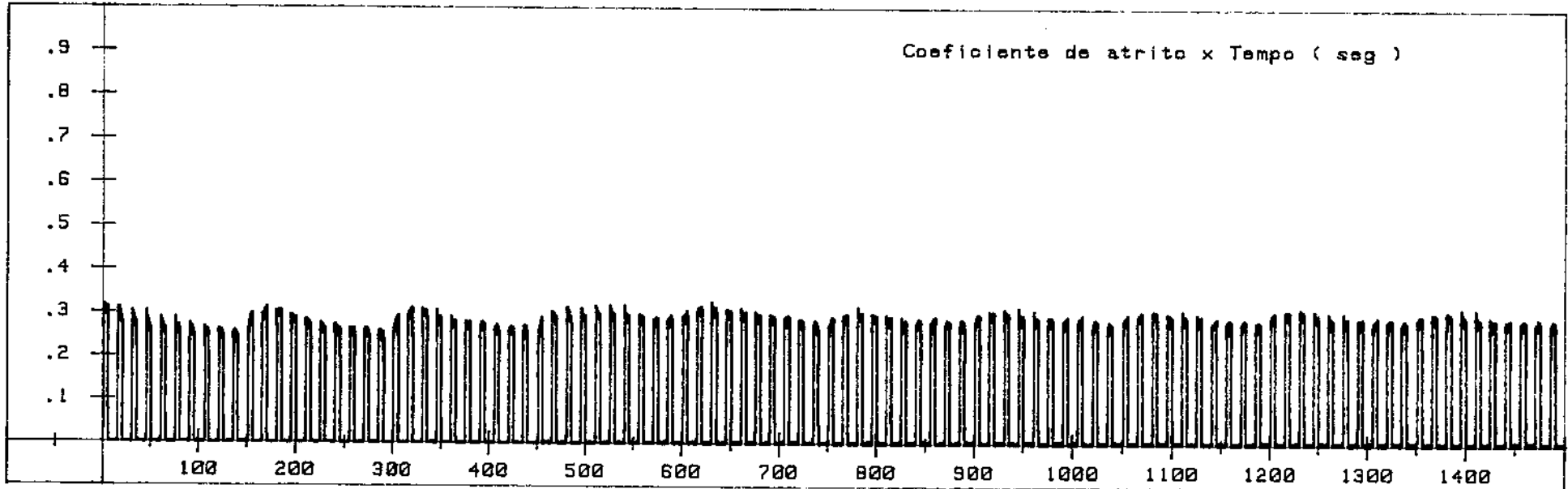
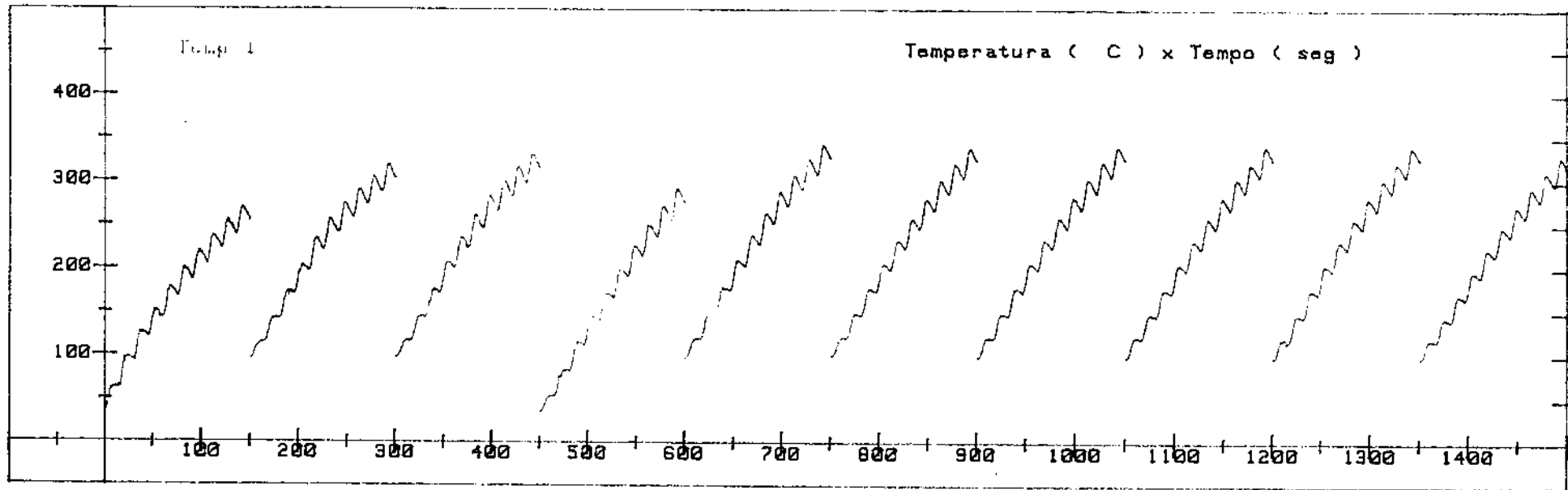
Além do ensaio Krauss, que é padronizado, foram programados outros ensaios não padronizados no PROCAD.

A figura H1 mostra o ensaio nº 96051, que é um ensaio não padronizado. Ele foi programado para verificar o comportamento da pastilha durante frenagens mais longas do que a especificada na norma NBR 6143, seguida de frenagens curtas.

Não se chegou ainda a uma forma definitiva para este ensaio. Serão necessários novos estudos para se verificar variações de coeficiente de atrito que este tipo de ensaio possivelmente detecta e que não é percebido no ensaio Krauss.

Ensaio N. 95141 6 Nov 1995 Krauss Padrao Interessado OSAN

Figura H.1 Resultados do ensaio E96141.ENS



XLII