

MODELOS DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRENS

ENG. CIVIL MÁRIO DIRANI

MODELOS DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRENS

Dissertação submetida ao corpo docente da Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc).

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSPORTES

JOSÉ EUGÊNIO LEAL
ORIENTADOR

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA
FEVEREIRO / 1984



D597m Dirani, Mário.
Modelos de simulação do desempenho de trens / Mário Dirani. - Campina Grande, 1984.
101 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1984.
"Orientação : Prof. Dr. José Eugênio Leal".
Referências.

1. Computação - Simuladores. 2. Módulos Computacionais - Trem. 3. Trens - Transportes. 4. Dissertação - Ciências. I. Leal, José Eugênio. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 004.383.4(043)

MODELOS DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRENS

ENG. CIVIL MÁRIO DIRANI

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/02/84

José Eugênio Leal
JOSÉ EUGÊNIO LEAL (DR. ING.)
ORIENTADOR

Élio Santana Fontes
ÉLIO SANTANA FONTES (M. Sc.)
EXAMINADOR INTERNO

Adalberto Bezerra Coelho
ADALBERTO BEZERRA COELHO (M. Sc.)
EXAMINADOR EXTERNO

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FEVEREIRO / 1984

A memória de meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. José Eugênio Leal, pela orientação e incentivo prestados durante a elaboração deste trabalho.

Aos professores da Área de Transportes do DEC/CCT/UFPb, pelo apoio oferecido ao autor.

À equipe do Núcleo de Processamento de Dados da UFPb - Campus II, pela colaboração nos serviços computacionais.

Ao pessoal técnico da Rede Ferroviária Federal S.A.- Recife, pelos esclarecimentos e pelos dados fornecidos, tão valiosos ao autor.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo suporte financeiro concedido durante o curso de Pós-Graduação.

MODELOS DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRENS

Dissertação de Mestrado

POR

MÁRIO DIRANI

RESUMO

Este trabalho apresenta uma visão geral sobre modelos de computador para a simulação do desempenho de trens, mostrando as várias abordagens para o problema e discutindo com mais detalhes o modelo "TPC Tropical", utilizado no Brasil pela Companhia Vale do Rio Doce. Também desenvolve um novo modelo, baseado no cálculo do Perfil de Velocidades, de estrutura simples e com menor necessidade de dados sobre a composição ferroviária.

TRAIN PERFORMANCE SIMULATION MODELS

M.Sc. Dissertation

by

MÁRIO DIRANI

ABSTRACT

This work presents a general view about computer models for train performance simulation, showing the various approaches for the problem and discussing with more details the "TPC Tropical" model, utilized in Brazil by Companhia Vale do Rio Doce. It also develops a new model, based on the calculation of the Velocity Profile, with a simple structure and with less data requirements about the railroad consist.

SUMÁRIO

| | | Página |
|--------------|---|--------|
| CAPÍTULO I | - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | - Apresentação do Problema..... | 1 |
| 1.2 | - Conceito de Modelos de Simulação... | 2 |
| 1.3 | - Justificativa do Estudo..... | 3 |
| CAPÍTULO II | - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 5 |
| CAPÍTULO III | - FINALIDADES DA SIMULAÇÃO E SUAS ABOR DAGENS..... | 7 |
| 3.1 | - Finalidades da Simulação..... | 7 |
| 3.2 | - Processos de Cálculo..... | 9 |
| CAPÍTULO IV | - O MODELO "TPC TROPICAL"..... | 11 |
| 4.1 | - Introdução. | 11 |
| 4.2 | - Fórmulas Utilizadas pelo Modelo.... | 11 |
| 4.3 | - Dados necessários ao "TPC Tropical"... | 16 |
| 4.4 | - Funcionamento do Programa..... | 18 |
| 4.5 | - Análise do Programa "TPC Tropical".. | 19 |
| CAPÍTULO V | - O MODELO PROPOSTO: O "TPC NORDESTINO".. | 21 |
| 5.1 | - Introdução..... | 21 |
| 5.2 | - Desempenho das Locomotivas Diesel-Elétri- cas..... | 22 |

| | Página |
|--|--------|
| 5.3 - Resistências dos Trems..... | 26 |
| 5.4 - Perfil de Velocidades..... | 29 |
| 5.5 - Cálculo do Desempenho..... | 34 |
| CAPÍTULO VI - DESENVOLVIMENTO DO MODELO "TPC NORDESTINO" | 36 |
| 6.1 - Introdução..... | 36 |
| 6.2 - Dados da Composição..... | 36 |
| 6.3 - Cálculo dos Greides de Aceleração e das Cargas de Velocidade..... | 37 |
| 6.4 - Frenagem..... | 40 |
| 6.5 - Dados de Traçado..... | 41 |
| 6.6 - Cálculo do Greide | 42 |
| 6.7 - Cálculo das Velocidades, Distâncias e Tempos..... | 44 |
| 6.8 - Distância de Frenagem..... | 46 |
| 6.9 - Consumo de Combustível..... | 46 |
| 6.10- Macro-fluxograma do Modelo..... | 49 |
| CAPÍTULO VII - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES | |
| 7.1 - Análise Comparativa..... | 50 |
| 7.2 - Velocidades Desenvolvidas..... | 50 |
| 7.3 - Tempo de Percorso..... | 51 |
| 7.4 - Consumo de Combustível..... | 51 |

| | Página |
|---|--------|
| 7.5 - Frenagem..... | 52 |
| 7.6 - Outros Dados de Saída..... | 53 |
| CAPÍTULO VIII - CONCLUSÕES E SUGESTÕES..... | 54 |
| 8.1 - Conclusões..... | 54 |
| 8.2 - Sugestões para Outras Pesquisas..... | 55 |
| BIBLIOGRAFIA - | 57 |

LISTA DE ANEXOS

| | Página |
|--|--------|
| 01 - Obtenção dos coeficientes da fórmula de Davis..... | 58 |
| 02 - Determinação dos coeficientes da fórmula de esforço trator..... | 61 |
| 03 - Obtenção da curva de consumo de combustível. | 65 |
| 04 - Cadastro de linha férrea..... | 70 |
| 05 - Tabela para coleta de dados de traçado..... | 71 |
| 06 - Macro-fluxograma do modelo "TPC Tropical" .. | 72 |
| 07 - Amostra de saída do programa "TPC Tropical". | 73 |
| 08 - Fatores de conversão de unidades..... | 78 |
| 09 - Amostra de saída do programa "TPC Nordestino..... | 79 |
| 10 - Gráficos de velocidade x distância para os modelos..... | 84 |
| 11 - Lista de variáveis utilizadas no programa "TPC Nordestino"..... | 88 |
| 12 - Fluxograma do modelo "TPC Nordestino"..... | 90 |
| 13 - Programa FORTRAN do modelo "TPC Nordestino". | 96 |

CAPÍTULO I.

INTRODUÇÃO

1.1 - Apresentação do Problema

Com o objetivo de um melhor aproveitamento do potencial de um sistema ferroviário, faz-se necessário muitas vezes conhecer determinadas características operacionais e de desempenho dos trens, tais como tempo de percurso entre duas estações, as velocidades que podem ser desenvolvidas ao longo deste mesmo percurso, o consumo de combustível durante o deslocamento, os esforços desenvolvidos pelas unidades de tração, etc. Tais informações, que são de grande valia no planejamento da operação ferroviária, só poderiam ser obtidas na prática, através da observação do desempenho real dos trens, se não houvessem disponíveis modelos matemáticos de simulação, os quais, convertidos em programas de computador eletrônico, fornecem as informações desejadas sobre desempenho.

Antes do advento dos computadores eletrônicos foram desenvolvidos processos gráficos para a obtenção das velocidades e do tempo de percurso de uma composição correndo sobre um trecho de linha férrea. A adaptação de um desses

processos para o cálculo por computador é que foi o obje
ti
vo do presente estudo.

1.2 - Conceito de Modelo de Simulação

De uma maneira geral, modelo de simulação é todo aquele que se propõe a reproduzir uma situação real, destacando as características mais importantes e omitindo os de
tal
hes secundários ou irrelevantes.

Um modelo matemático de simulação é aquele em que se procura exprimir a realidade através de equações matemáticas, as quais são alimentadas com dados extraídos de observações reais, fornecendo como resultado as informações desejadas.

No caso dos modelos de simulação do desempenho de trens, as principais características que são representadas por equações matemáticas são:

a) *o esforço trator*, que é a força desenvolvida pelas rodas motrizes da locomotiva ao tracionar a composição ferroviária e,

b) *as resistências ao movimento*, que são as forças que se opõe ao deslocamento do trem, provenientes do atri
to das partes em movimento e das resistências do ar, dos acl
ives e das curvas.

A diferença entre estas duas forças produz uma ace
l
er
ação positiva ou negativa, conforme o esforço trator seja maior ou menor que as resistências ao movimento. A partir desta ace

leração pode-se calcular, por diferentes processos, as velocidades, os deslocamentos e os tempos de percurso. Os vários processos de cálculo serão discutidos posteriormente.

1.3 - Justificativa do Estudo

Até 1970 não se dispunha, no Brasil, de um programa de simulação do desempenho de trens. Quando o mesmo era necessário, recorria-se a instituições estrangeiras, como a Canadian National Railways, a exemplo do que fazia a Cia. Vale do Rio Doce. Posteriormente, esta empresa desenvolveu um programa baseado no "Train Performance Calculator" canadense, o qual passou a ser utilizado na Estrada de Ferro Vitória-Minas a partir de 1971. Também a RFFSA - Rede Ferroviária Federal S.A. e a FEPASA - Ferrovias Paulistas S.A. possuem acesso a programas desse tipo, porém os mesmos parecem não ter uma utilização corrente.

Em 1982, durante o seminário "Problemas da Ferrovia no Nordeste", realizado na Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande, técnicos da RFFSA salientaram a necessidade de se ter um programa de simulação que fosse mais simples e mais voltado à realidade das ferrovias nordestinas, onde a disponibilidade de dados para a execução de tais programas é menor.

Com este objetivo, procurou-se uma metodologia de cálculo que fosse mais simples e que conduzisse a resulta

dos satisfatórios. Optou-se pelo cálculo através dos "grêides de aceleração", um processo que foi concebido originalmente como um método gráfico, mas que apresenta condições de ser transformado em um algoritmo para programação em computador.

CAPÍTULO II .

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para que se possa compreender melhor o processo de simulação do desempenho de trens é necessário o conhecimento de vários tópicos relativos à tração ferroviária, com destaque para: esforço de tração, aderência, potência, resistências dos trens e frenagem. O Prof. Helvécio Laperto sa Brina, em seu livro "Estradas de Ferro", 2º volume, trata destes assuntos de maneira clara e abrangente. Uma abordagem diferente, com destaque para o processo de cálculo da potência, e que mostra as fórmulas usuais no sistema inglês, pode ser vista no livro "Fundamentals of Transportation Engineering" dos professores Hennes & Ekse.

Em relação ao cálculo do desempenho de trens, alguns processos em uso na época das locomotivas a vapor podem ser estudados no livro "Problemas Ferroviários" de Jorge Franco Ribeiro. O processo de cálculo do "perfil virtual" ou "perfil de velocidade", através das "cargas de velocidade", e que se adapta a qualquer tipo de trem, é descrito por Togno em seu livro "Ferrocarriles".

Ainda com referência ao cálculo do "perfil de velocidade", uma abordagem mais detalhada acerca do uso das

"cargas de velocidade" e dos "greides de aceleração" pode ser vista na obra anteriormente citada de Hennes & Ekse. Tal obra traz como primeira referência ao uso dos "perfis de velocidade" o trabalho de V.I. Smart, "The Use of Velocity Profiles", publicado na revista "Railway Review" nº 74, de 1924.

O processo gráfico de construção do "perfil de velocidade" é mostrado em detalhes no manual da AREA- American Railway Engineering Association, volume 2, capítulo 16. Este manual traz ainda importantes informações sobre material de tração.

Finalmente, o funcionamento detalhado de um modelo de simulação é descrito pelo manual do "Train Performance Calculator", da Canadian National Railways e pelo manual do "TPC Tropical" da Cia. Vale do Rio Doce. O livro "Métodos de Otimização - Aplicações aos Transportes", do Prof. Antonio Galvão Novaes, descreve, no capítulo 21, um tipo de modelo de simulação do processo dinâmico de movimento dos trens, bem como uma aplicação dos seus resultados a um modelo de maximização da tração em ferrovias.

CAPÍTULO III

FINALIDADES DA SIMULAÇÃO E SUAS ABORDAGENS

3.1 - Finalidades da Simulação

Embora a finalidade inicial dos programas de simulação tivesse sido a de estabelecer horários que propiciassem uma maior utilização da via, outros objetivos podem ser alcançados, tais como:

3.1.1 - *Verificação dos coeficientes de resistência.* Pela comparação dos resultados obtidos por computador com o desempenho real dos trens, especialmente no caso dos trens de carga, é possível verificar os vários coeficientes de resistência usados na fórmula de cálculo da mesma.

3.1.2 - *Avaliação de mudanças na linha férrea.* Os programas de simulação têm sido usados para avaliar o efeito de mudanças provenientes do aumento ou redução de limites de velocidade, bem como redução de curvas ou greides, e o efeito dessas mudanças no tempo de percurso e no consumo de combustível.

3.1.3 - *Análise de rotas alternativas.* A escolha de alternativas entre duas rotas pode ser estudada usando-se a simulação. Os resultados do computador fornecem

uma base de comparação em termos de tempo de percurso, consumo de combustível e as máximas velocidades e tonelagens possíveis para os vários tipos de trens.

- 3.1.4 - *Avaliação de novos tipos de material rodante.* Quando se deseja analisar o desempenho de novos tipos de locomotivas e vagões de carga ou de passageiros, a simulação pode ser bastante útil para a obtenção de informações sobre o novo equipamento.
- 3.1.5 - *Avaliação de novos projetos de ferrovias.* A simulação pode ser utilizada para se comparar as diversas alternativas de construção, decidindo-se, por exemplo, entre uma rota mais curta, porém com rampas mais acentuadas, e outra mais longa, com rampas mais suaves.
- 3.1.6 - *Análise de acidentes.* As causas de acidentes podem ser esclarecidas pela verificação da velocidade possível no local, sob as condições dadas.
- 3.1.7 - *Determinação da tonelagem das composições.* Com o resultado das simulações para diversas tonelagens de composições, é possível otimizar-se o peso transportado em função de alguma variável desejada, por exemplo, o tempo de percurso, como demonstra Novaes⁴ em seu trabalho.
- 3.1.8 - *Avaliação do consumo de combustível.* Com a atual crise energética, torna-se cada vez mais importante o conhecimento sobre o consumo de combustível. Isto

pode ser útil na determinação de medidas que redundem em uma maior economia na operação ferroviária, tais como: estabelecimento de velocidades mais econômicas, determinação da tonelagem ótima a ser transportada, etc.

3.2 - Processos de Cálculo

Existem diversas abordagens possíveis para o problema da simulação, as quais serão descritas a seguir:

3.2.1 - Cálculo a intervalos regulares de tempo.

Este é o processo utilizado pelo sistema "TPC-Train Performance Calculator", que emprega as fórmulas convencionais da Cinemática e da Dinâmica de Trem, realizando cálculos de velocidade, espaço, esforço trator, resistência ao movimento e consumo de combustível a intervalos regulares de tempo, por exemplo, 15 segundos. Um modelo deste tipo será visto com mais detalhes no próximo capítulo.

3.2.2 - Cálculo a intervalos regulares da distância.

Num outro tipo de modelo, descrito por Novaes⁴, a simulação do movimento do trem é feita considerando-se acréscimos lineares sucessivos ao longo do percurso, todos com extensão de Δx (da ordem de alguns metros), dentro dos quais o movimento é admitido como sendo uniformemente acelerado. Uma vez conhecida a velocidade e a aceleração num certo ponto x do percurso pode-se estimar o incremento de tempo T e a velocidade

no ponto $x + \Delta x$.

A partir da velocidade e do tempo calculados, e conhecendo-se a força de tração em função da velocidade, pode-se determinar o trabalho realizado no intervalo de tempo T , a fim de se calcular o consumo de combustível. Com a força de tração e a resistência ao movimento conhecidas para o ponto x , determina-se a aceleração a ser utilizada no próximo passo.

3.2.3 - Cálculo a intervalos regulares de velocidade.

Este último processo, baseado no cálculo dos "greides de aceleração", calcula previamente o esforço trator líquido do trem (tração bruta menos as resistências por atrito) para cada velocidade, transformando este esforço trator em um valor de greide (inclinação das rampas da via) que produza uma resistência de valor equivalente, armazenando a seguir esses valores. Pela comparação, a cada passo, dos "greides de aceleração" calculados, como o greide da via, o modelo aumenta ou diminui, em intervalos regulares, a velocidade da composição, conforme o "greide de aceleração" para a velocidade desenvolvida seja maior ou menor do que o greide da via. Este modelo será descrito com mais detalhes no capítulo V.

CAPITULO IV

O MODELO "TPC TROPICAL"

4.1 - Introdução

Com a finalidade de aquisição de experiência acerca dos modelos de simulação, foi estudado o modelo "TPC Tropical", o qual se baseia no sistema "Train Performance Calculator" da Canadian National Railways e que foi desenvolvido pela ANPLA - Engenharia, Análise e Planejamento, para a Cia. Vale do Rio Doce, para utilização na Estrada de Ferro Vitória - Minas.

Por ser um modelo adaptado da literatura estrangeira, o "TPC Tropical" utiliza fórmulas que empregam unidades inglesas (libras, milhas por hora, etc), mas efetua a devida conversão de unidades na apresentação dos resultados.

4.2 - Fórmulas Utilizadas pelo Modelo

Este modelo é do tipo que efetua os cálculos a intervalos regulares de tempo, empregando as seguintes fórmulas básicas:

4.2.1 - Cinemática

$$E = E_0 + VT$$

$$V = V_0 + AT$$

$$E = E_0 + V_0T + (1/2)AT^2$$

$$EMV = (V_1^2 - V_2^2)/2D$$

$$TMV = (V_1 - V_2)/D$$

onde:

E, E_0 - espaço (m)

V, V_0, V_1, V_2 - velocidades (m/s)

T - tempo (s)

A - aceleração (m/s²)

D - desaceleração (frenagem) (m/s²)

EMV - espaço p/reduzir de V_1 para V_2 (m)

TMV - tempo p/reduzir de V_1 para V_2 (s).

4.2.2 - Resistência por Atrito

A resistência por atrito é calculada pela fórmula de Davis, que é do tipo:

$$R = R_0 + R_1 \cdot V + R_2 \cdot V^2$$

onde:

R - resistência em libras

R_0, R_1, R_2 - coeficiente em função do veículo

V - velocidade em milhas/minuto.

Na fórmula de Davis, a primeira parcela representa o atrito dos mancais das rodas, a segunda parcela é referente ao atrito entre as rodas e os trilhos e a terceira parcela leva em conta a resistência do ar. A obtenção dos coeficientes da fórmula de Davis pode ser vista no Anexo 1.

4.2.3- Resistência do Greide

A resistência do greide é tomada como uma porcentagem do peso da composição (ao qual é adicionada a inércia rotacional das partes móveis, em torno de 5% do peso), que é igual à porcentagem do greide considerado. Como o greide é expresso em metros/quilômetros e 1 ton = 2000 libras, a expressão fica:

$$RG = 2 (P + M) \cdot G$$

onde:

- RG - resistência do greide (lb)
 P - peso da composição (ton)
 M - inércia rotacional (ton)
 G - greide (m/km)

4.2.4- Esforço de Tração

$$ET = T_0/V + T_1 + T_2 \cdot V$$

onde:

- ET - esforço de tração (lb)
 T_0, T_1, T_2 - coeficientes
 V - velocidade (mi/min).

O esforço de tração é obtido a partir da curva que o relaciona com a velocidade, ajustando-se uma equação da forma apresentada acima e obtendo-se os coeficientes T_0 , T_1 e T_2 . Para maior exatidão, pode-se dividir a curva em duas ou três faixas de velocidade, determinando-se os coeficientes válidos em cada uma delas.

O Anexo 2 mostra um exemplo de determinação dos coeficientes da fórmula do esforço trator.

4.2.5- Potência nas Rodas

$$HP = V \cdot ET/375$$

onde:

HP - potência nas rodas (hp)

V - velocidade (mph)

ET - esforço de tração (lb)

4.2.6- Fator de Carga

$$LF = HPR/HPN$$

onde:

LF - fator de carga

HPR - potência nas rodas (hp)

HPN - potência disponível nas rodas (hp).

O fator de carga é determinado com a finalidade de se calcular o consumo de combustível, mostrado a seguir. A potência na roda é calculada a cada instante e a potência disponível na roda é um valor fixo, em geral tomada como sendo a potência efetiva, que é a potência no motor primário vezes o rendimento da transmissão.

4.2.7- Consumo de Combustível

$$C = F_0 + F_1 \cdot LF + F_2 \cdot LF^2$$

onde:

LF - fator de carga

F_0, F_1, F_2 - coeficientes

C - combustível (gal/min).

O consumo de combustível é calculado a partir da equação acima, cujos coeficientes são obtidos ajustando-se uma equação quadrática à curva que relaciona o consumo em galões/minuto ao fator de carga. A obtenção da curva e dos coeficientes é mostrada no Anexo 3.

4.2.8- Desaceleração (frenagem)

$$D = (BF + RES) \cdot 9,81/P$$

onde:

- D - desaceleração (m/s^2)
 BF - esforço de frenagem (ton)
 RES - resistência (ton)
 P - peso da composição (ton).

A força de frenagem é calculada como uma porcentagem do peso dos veículos. Os valores usuais são de 10% para locomotivas e em torno de 5% para vagões.

4.2.9 - Aceleração

$$A(+) = (ET - RES) \cdot 9,81 / (1,05 \cdot PV + 1,2 \cdot PL)$$

$$A(-) = (RES - ET) \cdot 9,81 / P$$

onde:

- A - aceleração (m/s^2)
 ET - esforço de tração (lb)
 RES - resistência (lb)
 PV - peso dos vagões (lb)
 PL - peso das locomotivas (lb)
 P - peso total (lb)

4.3 - Dados Necessários ao "TPC Tropical"

Os dados necessários para a execução do programa dividem-se em dados da composição, dados de traçado, dados de limites de velocidade e dados sobre os locais de parada

ou com restrição temporária de velocidade.

4.3.1 - Dados da Composição

Os dados da composição constam de (a) dados sobre os veículos em geral (locomotiva e vagões), (b) dados específicos sobre as locomotivas e (c) dados sobre o consumo de combustível:

a) os dados sobre os veículos incluem: número de veículos do mesmo tipo (incluindo locomotivas), comprimento, peso, inércia rotacional, força de frenagem e coeficientes da fórmula de Davis.

b) os dados sobre as locomotivas trazem o número de locomotivas do mesmo tipo e parâmetros da fórmula de esforço trator, bem como as velocidades que determinam a validade dos mesmos.

c) os dados sobre o consumo de combustível apresentam o número de locomotivas com o mesmo consumo, máxima potência disponível para tração, parâmetros da fórmula de consumo e velocidades que limitam a validade dos mesmos.

4.3.2 - Dados de Traçado

Os dados de traçado fornecem a quilometragem dos pontos de mudança de greide, de início ou fim de curva, as cotas dos mesmos em metros e o valor em graus do ângulo central das curvas, existente entre as quilometragens conhecidas. Exemplos de cadastro de linha férrea e de tabela para coleta

de dados são mostrados nos Anexos 4 e 5.

4.3.3 - Dados de Limites de Velocidade

Os dados de limites de velocidade fornecem a quilometragem inicial e final dos trechos com velocidade limitada, bem como o valor dessa velocidade para ambos os sentidos de percurso.

4.3.4 - Dados sobre os Locais de Parada

Os dados sobre os locais de parada ou com restrição temporária de velocidade (por exemplo, obras na linha) for necem a quilometragem, o tempo de parada (se for o caso), o valor da restrição de velocidade e o nome da estação ou mo tivo de parada, ou restrição de velocidade em questão.

4.4 - Funcionamento do Programa

Os dados de entrada são armazenados em disco magnético, em arquivos com acesso direto, ou seja, os dados po dem ser lidos em qualquer ordem. Isto permite que a simula ção seja feita para ambos os sentidos de percurso da via, bastando para isto especificá-lo nos comandos da execução .

O funcionamento do programa é idêntido ao descrito no capítulo III, ítem 3.2.1. Para uma melhor compreensão, o macro-fluxograma do "TPC Tropical" é mostrado no Anexo 6.

4.5 - Análise do Programa "TPC Tropical"

Partindo-se de um micro-fluxograma contido no manual do "TPC Tropical", foi implementado um programa em linguagem FORTRAN no computador PDP-11, sistema RSX, da UFPb. Apesar de algumas dificuldades, devidas às incorreções e à falta de clareza em alguns pontos do fluxograma, foi possível colocá-lo em funcionamento e testá-lo com dados fornecidos pela RFFSA - Sistema Regional de Recife (SP-1.2).

O programa oferece vários recursos de processamento, o que torna bastante completo, porém exige um tempo de processamento elevado, em decorrência de sua complexa estrutura de cálculo. A principal crítica que pode ser feita ao programa é com relação à simulação da frenagem, que acaba sendo forçada, uma vez que ela só é iniciada quando a distância de frenagem, somada à posição da composição, ultrapassa o ponto de parada, sem que se retorne à posição anterior.

Os principais resultados que podem ser extraídos da simulação são as velocidades em cada ponto, o tempo de percurso e o consumo de combustível, que podem ser fornecidos passo a passo ou apenas nas estações desejadas.

É possível também, mediante alteração das variáveis de saída, obter-se outras informações tais como: valores de aceleração e desaceleração, locais onde ocorre o emprego do máximo esforço trator, valores de esforço trator e de

potência desenvolvida, distâncias e tempos necessários à fre
nagem, etc. Uma amostra da saída do programa é exibida no
Anexo 7.

CAPÍTULO V

O MODELO PROPOSTO: O "TPC NORDESTINO"

5.1 - Introdução

O modelo proposto baseia-se no cálculo do Perfil de Velocidades, que utiliza os conceitos de "carga de velocidade" e de "carga de elevação"* , os quais se referem, respectivamente, à energia cinética e à energia potencial de um trem em movimento.

O cálculo do Perfil de Velocidades foi desenvolvido originalmente como um método gráfico, mas possibilita a sua adaptação a um algoritmo para computador. Possui a vantagem de ser mais simples e de efetuar o cálculo não a intervalos regulares de tempo ou espaço, mas sim a intervalos regulares de velocidade, o que é bem interessante quando se tem um trecho de via onde a velocidade permanece constante , evitando vários passos de cálculo desnecessários.

A teoria básica para a elaboração do modelo foi extraída da obra de Hennes & Ekse², a qual apresenta todas as fórmulas em unidades inglesas. Por uma questão de facilidade, resolveu-se trabalhar com tais unidades, efetuando-se a devida conversão nos dados de saída para as unidades do

* O termo "carga de velocidade" e "carga de elevação" são utilizados para designar os "velocity head" e "elevation head" citados na literatura consultada.

sistema métrico. Os fatores de conversão podem ser vistos no Anexo 8.

A seguir, serão mostrados os tópicos mais importantes da teoria utilizada no modelo proposto.

5.2 - Desempenho das Locomotivas Diesel-Elétricas

A potência de saída de uma locomotiva é limitada pela tração que pode ser desenvolvida entre as rodas motrizes e os trilhos e pela potência do motor. Em qualquer caso:

$$\text{Potência} = \text{força} \times \text{velocidade} \quad (5.1)$$

Com a força T em libras e a velocidade V em milhas por hora, a expressão acima se torna:

$$P = T \cdot V / 375 \text{ (hp)} \quad (5.2)$$

O Prof. Brina¹ classifica os diversos tipos de potência relativos às locomotivas diesel-elétricas, a saber:

a) *Potência Indicada (HPi)* - é a potência nos cilindros do motor diesel.

b) *Potência bruta ou "de freio"* - é a potência no eixo virabrequim do motor diesel, medida através do freio de Prony.

c) *Potência no gerador (HPG)* - é a potência entregue ao gerador principal. É igual à potência bruta menos a que é fornecida aos órgãos auxiliares, sendo que $HPG = 0,92 \cdot BHP$.

As locomotivas diesel-elétricas são, em geral, classificadas em relação à potência no gerador.

d) *Potência efetiva (HPR)* - é a potência nas rodas da locomotiva, ou seja, é a potência entregue ao gerador, multiplicada pelo rendimento da transmissão elétrica:

$$HPR = 0,82 \cdot HPG$$

e) *Potência útil (HPU)* - é a potência no engate da locomotiva, ou seja, a potência disponível para rebocar o trem. É a potência nas rodas menos a que é consumida para tracionar a própria locomotiva.

Chama-se capacidade trativa à máxima potência que pode ser desenvolvida através da aderência com os trilhos. Em baixas velocidades, a capacidade da locomotiva ou potência de saída do motor (HPR) deve ser igual à capacidade trativa. A velocidade básica V' é a máxima velocidade na qual a aderência com o trilho T' é igual ao esforço trator que o motor exerce nas rodas motrizes. O máximo valor da aderência com o trilho é:

$$T' = 2000 \cdot f_0 \cdot W' \quad (5.3)$$

onde f_0 é o coeficiente de aderência inicial do trilho e W' é o peso total em toneladas curtas (short-ton) suportado pelas rodas motrizes. Um valor de 0,30 para f_0 é comumente aceito para uso em cálculos de rotina para locomotivas diesel-elétricas.

Para que se possa levar em conta a diminuição do coeficiente de aderência com o aumento da velocidade, o Prof. Brina¹ cita a seguinte fórmula empírica:

$$f = f_0 / (1 + 0,01.V) \quad (5.4)$$

onde:

f_0 = coeficiente de aderência inicial

V = velocidade em km/h.

Deve-se observar que, para qualquer velocidade, o esforço trator deve ser limitado pela aderência.

A potência de saída por tonelada, nas rodas motrizes, é dada por uma fórmula empírica da AREA (American Railway Engineering Association) para locomotivas diesel-elétricas:

$$P' = P/W' = K (1 - e^{-Y}) \quad (5.5)$$

onde K é tomado como 80% da potência entregue ao gerador por tonelada nas rodas motrizes, e é a base dos logaritmos naturais e,

$$Y = V/V' \quad (5.6)$$

À velocidade básica, $V = V'$, donde:

$$P' = 0,632 \cdot K \quad (5.7)$$

Pelas equações (5.2) e (5.3), com $V = V'$:

$$P = T'V'/375 \quad \text{e} \quad T' = 2000 \cdot f_0 \cdot W'$$

Tomando-se $f_0 = 0,30$ e a potência por tonelada nas rodas motrizes, vem:

$$P' = \frac{P}{W'} = \frac{T' \cdot V'}{W' \cdot 375} = \frac{2000 \cdot 0,30 \cdot W' \cdot V'}{W' \cdot 375}$$

donde:

$$P' = 600 \cdot V'/375 \quad (5.8)$$

e, igualando-se à equação (5.7), resulta:

$$V' = 0,395 \cdot K \quad (5.9)$$

que é o valor da velocidade básica.

Um roteiro básico para a obtenção das informações de desempenho das locomotivas é mostrado a seguir:

- 1) Peso da locomotiva nas rodas motrizes (ton)
- 2) Potência entregue ao gerador (hp)
- 3) Potência nominal de saída = 80% de (2) (hp)
- 4) $K = (3)/(1)$ (hp/ton)
- 5) $V' = 0,395 \cdot K$ (mph)
- 6) $Y = V/V'$
- 7) $P' = K (1 - e^{-Y})$ (hp/ton)
- 8) $T = 375 \cdot P'/V$ (lb/ton)

5.3 - Resistência dos Trens

Chama-se *resistência do trem* ao conjunto de forças que se opõe ao movimento dos veículos ferroviários quando se deslocam sobre a linha férrea, sejam eles locomotivas ou vagões. Esta resistência é considerada no ponto de contato entre as rodas e os trilhos e se opõe ao esforço trator nas rodas da locomotiva.

As resistências podem ser classificadas em:

a) resistências normais.

São as resistências permanentes, próprias dos veículos em reta e nível. Compreendem as resistências por atrito nos mancais dos eixos, entre as rodas e os trilhos e ainda a resistência do ar.

b) resistências acidentais.

São as resistências de atrito, nas curvas, da gravidade, nas rampas, e de inércia, quando a composição acelera.

5.3.1- Resistência por Atrito

O valor da resistência, em libras por tonelada de peso dos carros, em reta e nível, sob condições moderadas de temperatura, é dado pela fórmula da Davis:

$$R = 9,4/w^{1/2} + 12,5/w + J.V + K.A.V^2/w.n$$

onde:

w = peso médio por eixo (short-ton)

J,K = coeficientes dependendo do tipo de veículo

V = velocidade (mph)

A = área da seção transversal do veículo (pés²)

n = número de eixos do veículo.

Para locomotivas, J = 0,03, K = 0,0024, A = 120 pés²

Para vagões de carga, J= 0,045, K = 0,0005, A = 85 a 90 pés²

Para vagões de passageiros, J=0,03, K=0,00034, A = 120 pés²

Como já foi observado anteriormente, os dois primeiros termos da fórmula de Davis representam o atrito dos mancais . O terceiro termo corresponde ao atrito nos frisos das rodas e o último à resistência do ar.

5.3.2- Resistência do Greide

A resistência do greide é devida à componente tangencial do peso dos veículos que sobem uma rampa. A força tangencial necessária para empurrar um veículo num plano inclinado é igual ao produto do seu peso multiplicado pela tangente do ângulo de inclinação ou pela porcentagem de greide. Assim:

$$R_g = 10 \cdot i\% \text{ (kg/t)} = 20 \cdot i\% \text{ (lb/ton)}$$

5.3.3- Resistência de Curva

A resistência de curva deve-se a dois fatores principais:

a) as rodas dos veículos são rigidamente ligadas aos eixos e, enquanto experimentam o mesmo número de revoluções, percorrem distâncias diferentes sobre uma curva, já que os raios de curvatura dos dois trilhos são diferentes, o que faz com que o aro de uma ou outra roda escorregue sobre o trilho.

b) atrito dos frisos das rodas com os trilhos, pela aplicação da força centrípeta que muda a direção do movimento do veículo numa curva.

Embora esta resistência dependa da velocidade e da extensão da curva, é costume assumir-se um valor médio por grau de curvatura. Um valor satisfatório é considerar cada grau de ângulo central equivalente a uma elevação de 0,04 pés (0,013m). Em termos de grau de curvatura, isto significa que uma curva de 1 (um) grau é equivalente a um greide de 0,04%; já que o grau de curvatura é medido em uma corda de 100 pés e, como os raios ferroviários são grandes, pode-se aproximar o desenvolvimento correspondente à corda ao valor de 100 pés, ficando-se com 0,04 pés de elevação em 100 pés de extensão, o que dá um greide de 0,04%. Isto corresponde a uma resistência de 0,8 lb/ton ou 0,4 kg/t.

5.3.4- Força de Aceleração

Quando um trem acelera, sua inércia se constitui em outra fonte de resistência. A força de aceleração é:

$$F = W \cdot a/g$$

onde:

W = peso do veículo

a = aceleração do veículo

g = aceleração da gravidade.

A força que tende a acelerar um veículo tem sua origem na tração exercida no engate; sua magnitude é igual à diferença entre esta tração e a soma das resistências. Quando o veículo adquire uma aceleração linear, suas rodas experimentam uma aceleração angular. Para compensar a resistência oferecida pela inércia à aceleração angular, aumenta-se em 5% o valor teórico da força requerida para impor a mesma aceleração linear ao veículo.

5.4 - Perfil de Velocidade

A fim de se estudar as características de desempenho dos trens operando num certo trecho de via, dispõe-se de um método baseado no fato de que a energia total de um trem em movimento compõe-se de "carga de elevação" e de "carga de velocidade". Tal método foi provado pelo desempenho real dos trens e por testes de dinamômetro, e se aplica tanto a trens de carga como de passageiros, usando qualquer tipo de locomotiva.

A "carga de elevação" que um trem adquire é determinada pelas subidas e descidas do greide da via, acima ou abaixo de um nível de referência. Assim, um trem operando morro acima sobre um greide de 2%, adquire "carga de eleva

ção" à razão de 2m por 100m de distância horizontal percorrida. O esforço trator líquido, acima do requerido para as resistências por atrito, necessário para esta taxa de acumulação de "carga de elevação" é de 40 lb/ton de peso total do trem.

A "carga de velocidade" H de um trem em movimento é dada pela fórmula $H = v^2/2g$. A AREA⁸ recomenda que isto seja aumentado em torno de 5% para a energia rotacional das rodas e, transformando-se v em pés/seg para V em mph, $H = 0,0355 \cdot V^2$, com H em pés. No sistema métrico, $H = 0,00413 \cdot V^2$, com H em metros e V em km/h.

Uma plotagem da linha do terreno ou dos greides da via se constituirá no perfil de elevações acima de um nível de referência. Uma plotagem das "cargas de velocidade" acima da linha do terreno ou do perfil de elevações se constituirá no perfil de velocidades.

Na preparação da plotagem do perfil de velocidade será conveniente tabular certos dados de acordo com Figura 5.1 :

| (1) V (mph) | (2) T (lb) | (3) Resist. da loco (lb) | (4) Tração útil (lb) | (5) Resist. do trem (lb) | (6) Tração líq. (lb) | (7) (lb/ton) | (8) Greide de acel. (%) |
|-------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 0 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |

Figura 5.1 - Exemplo da tabulação dos greides de aceleração.

- (1) Tabula-se a velocidade, de 0 até a máxima, em incrementos de 5 mph, ou de 5 km/h, efetuando-se a devida conversão de unidades para os cálculos.
- (2) Calcula-se o esforço trator total nas rodas motrizes.
- (3) A resistência da locomotiva é determinada pela fórmula de Davis.
- (4) A coluna 2 menos a coluna 3 dá a tração útil no engate da locomotiva.
- (5) A resistência do trem é calculada, como a da locomotiva, para operação em reta e a nível.
- (6) A coluna 4 menos a coluna 5 dá a tração líquida disponível para aumentar a energia total do trem.
- (7) O esforço trator líquido disponível para aumentar a energia total é expresso em lb/ton, obtido pela divisão dos valores da coluna 6 pelo peso total do trem em toneladas. Este é o esforço trator total, em lb/ton, disponível para vencer greides ou acelerar o trem. O máximo greide, em percentagem, que um trem em particular pode vencer a uma dada velocidade é chamado de *greide de aceleração*.
- (8) O greide de aceleração é obtido dividindo-se os valores da coluna 7 por 20 lb/ton, que é a resistência para cada 1% de greide.

Greide de regra ou greide determinante é o greide máximo no qual um trem em particular pode operar a uma dada velocidade, sendo obtido como o greide de aceleração visto

anteriormente. Para trens de carga, o greide determinante é estabelecido como o máximo greide no qual uma dada locomotiva pode tracionar um trem de tonelagem máxima à velocidade de regime contínuo, a qual varia para cada locomotiva. Esta é a mínima velocidade que pode ser desenvolvida indefinidamente, sem dano para os motores de tração.

Greide de momento é qualquer greide maior que o greide de aceleração para um trem em particular, a uma dada velocidade. Assim, parte da energia cinética que um trem possui ao pé de um greide de momento é empregada para vencer tal greide, ou seja, a sua "carga de velocidade" é reduzida.

Empregando-se as definições anteriores, pode-se plotar o Perfil de Velocidade, que vai exemplificado na obra de Hennes & Ekse² tal como na Figura 5.2:

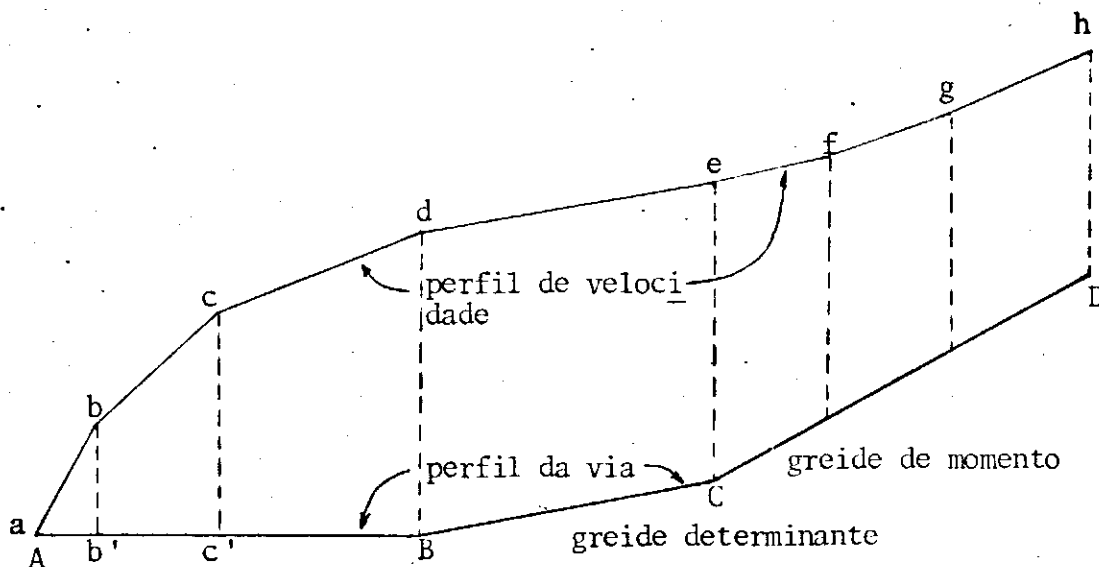


Figura 5.2 - Exemplo de plotagem do Perfil de Velocidade.

A linha ABCD representa a linha do terreno, ou perfil da via. Assume-se que o trem parte com velocidade zero em A. A linha \overline{ab} do perfil de velocidade é desenhada como o greide de aceleração para a primeira velocidade calculada, por exemplo, 5 km/h. Para qualquer ponto, utiliza-se o greide de aceleração para a velocidade imediatamente superior, com incrementos de 5 km/h. Este greide de aceleração é prolongado até o ponto em que a "carga de velocidade" é aquela correspondente a 5 km/h, ou seja, 0,10325 m, medidos verticalmente do perfil da via como $\overline{b'b}$. Do ponto \underline{b} , a linha \overline{bc} é desenhada como o greide de aceleração para 10 km/h até \underline{c} , onde a "carga de velocidade" é 0,413 m ($\overline{c'c}$), e assim por diante, até que a máxima velocidade seja alcançada ou que se chegue a um greide determinante.

Num greide determinante, o perfil de velocidades é paralelo ao perfil da via à potência máxima, como a linha \overline{de} da figura, paralela à \overline{BC} .

Ao se reduzir a velocidade num greide de momento, o esforço trator líquido aumenta. Portanto, a velocidade é reduzida em decrementos de 5 km/h, plotando-se o greide de aceleração para a velocidade imediatamente inferior. Obtém-se uma linha semelhante a $e'gh$, na qual o greide é gradualmente aumentado, operando-se à potência máxima, até que ele finalmente se torne paralelo ao greide de \overline{CD} , na velocidade para a qual o greide de aceleração do trem é igual ao da via, à potência máxima. A velocidade do trem em D é

determinada a partir da "carga de velocidade" \overline{hD} .

A razão de acréscimo de "carga de velocidade" por unidade de distância horizontal percorrida é dada pela diferença algébrica entre o greide do perfil de velocidades e o greide da via.

5.5 - Cálculo do Desempenho

Uma análise completa das características operacionais, tais como tempo de percurso e trabalho realizado, pode ser feita tabulando-se certos dados provenientes do perfil de velocidades, como sugerem Hennes & Ekse². O exemplo da Figura 5.3 mostra as variáveis envolvidas em unidades inglesas, mas pode ser feita a conversão para as unidades do sistema métrico.

| (1) estacas (mil pés) | (2) v.média (pés/s) | (3) tempo (s) | (4) dist. (pés) | (5) T (lb) | (6) trabalho (10 ⁶ pés.lb) | (7) trabalho (hp.h) | (8) consumo (galões) |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|------------------|---|---------------------------|----------------------------|
| | | | | | | | |

Figura 5.3 - Exemplo de tabulação para o cálculo de desempenho.

- (1) Na coluna 1 são tabulados os pontos de mudança de greide do perfil de velocidades.
- (2) A coluna 2 registra a velocidade média entre tais pontos.

- (3)e(4) A coluna 3 é obtida dividindo-se os valores da coluna 4 pelos valores da coluna 2. O somatório da coluna 3 fornece o tempo total de percurso do trem.
- (5) O esforço trator bruto é registrado na coluna 5, no caso em que a locomotiva opera com a potência máxima. Caso isto não ocorra, quando, por exemplo, a mesma opera em um greide menor que o seu greide de aceleração para uma dada velocidade, o esforço trator será a soma das resistências do trem para aquela velocidade.
- (6) O produto das colunas 5 e 4 é tabulado como o trabalho realizado, em milhões de pês.ℓb), na coluna 6.
- (7) A coluna 6 dividida por 1,98 fornece o trabalho em hp.h (1 hp.h = 1.980.000 pês.ℓb).
- (8) Para locomotivas diesel-elétricas é usual computar-se o consumo de combustível na base de 30% de rendimento da energia contida no mesmo, o que equivale, segundo a AREA⁸, a um consumo entre 0,5 e 0,6ℓb de óleo combustível por hp.h. Para obter-se o consumo em galões, adota-se 6,5 ℓb por galão de óleo combustível e, sabendo-se que 1 galão equivale a 4,55 litros, pode-se calcular o consumo em litros.

CAPÍTULO VI

DESENVOLVIMENTO DO MODELO "TPC NORDESTINO"

6.1 - Introdução

No desenvolvimento do modelo "TPC Nordeste", adou-se a metodologia de cálculo vista anteriormente sobre o desempenho das locomotivas diesel-elétricas, visto ser este o tipo de tração utilizada nas ferrovias da região Nordeste. Procurou-se, também, transformar o método de cálculo do "perfil de velocidades" em um algoritmo para o cálculo em computador. Tais desenvolvimentos serão vistos a seguir, onde foi adotada a mesma nomenclatura das variáveis do programa de computador, para melhor compreensão do mesmo, posteriormente.

6.2 - Dados da Composição

Os dados da composição, necessários ao programa, são os seguintes:

NC_i - número de veículos (incluindo locomotivas) do i -ésimo tipo.

P_i - peso do veículo do i -ésimo tipo, em toneladas.

XL_i - comprimento, em metros, do i -ésimo tipo de veículo.

$RO_i, R1_i, R2_i$ - coeficiente da fórmula de Davis para os veiculos do i -ésimo tipo.

MHP - máxima potência entregue ao gerador, em hp.

CE - consumo específico de combustível, em lb/hp.h (ou g/hp.h)

O comprimento dos veículos é necessário para o cálculo do comprimento total da composição, para que se leve em conta a influência deste no cálculo da resistência do greide da via, como será visto adiante.

São determinados, separadamente, o peso total das locomotivas (PL) e o peso total da composição (PT), para o uso em diversos cálculos no programa. Para que haja diferenciação, os dados das locomotivas são fornecidos em primeiro lugar.

6.3 - Cálculo dos Greides de Aceleração e das Cargas de Velocidade

O cálculo dos greides de aceleração é feito segundo o roteiro apresentado no capítulo V, item 5.4.

Calcula-se, inicialmente, a potência total nas rodas das locomotivas, como sendo igual a 80% da potência entregue ao gerador, pois este é o valor do rendimento da transmissão elétrica:

$$HPN = 0.8 * THP \quad (6.1)$$

Em seguida, calcula-se a potência por tonelada nas rodas motrizes, dividindo-se o valor anterior pelo peso aderente das locomotivas, que é o peso suportado pelas rodas motrizes. Admite-se, por simplificação, que o peso aderente é igual ao peso PL das locomotivas, já que este é o

caso mais comum para as locomotivas diesel-elétricas:

$$HPN' = HPN/PL \quad (6.2)$$

Determina-se, então, a velocidade básica em milhas por hora, que é a máxima velocidade para a qual o esforço trator é igual à aderência:

$$VBAS = 0.395 * HPN' \quad (6.3)$$

O cálculo dos greides de aceleração é feito a intervalos de velocidade de 1 km/h, para maior precisão, até um máximo de 100 km/h. Transforma-se a velocidade IV, em km/h, na velocidade V, em mph, através da expressão:

$$V = IV * 0.622 \quad (6.4)$$

Determina-se, inicialmente, o máximo esforço trator limitado pela aderência, para cada velocidade. A expressão do esforço trator, em libras, em função do coeficiente de aderência f é

$$TFA = 2000 * f * PL \quad (6.5)$$

e a expressão que dá a variação do coeficiente de aderência em função da velocidade IV em km/h é

$$f = f_0 / (1 + 0.01 * IV), \quad (6.6)$$

onde f_0 é o coeficiente de aderência inicial.

Atribuindo-se um valor de 0,3 para f_0 e combinando-se as expressões 6.5 e 6.6, resulta:

$$TFA = 600 * PL / (1 + 0.01 * IV) \quad (6.7)$$

A potência em hp/ton nas rodas motrizes, para cada velocidade em mph é dada por:

$$HPV = HPN' * (1 - e^Y) \quad (6.8)$$

onde $Y = -1 * V/VBAS.$ (6.9)

O esforço trator bruto em lb/ton em função da potência nas rodas motrizes é dado por:

$$TF = 375 * HPV/V \quad (6.10)$$

O esforço trator bruto, em libras, para cada velocidade em km/h fica:

$$TFV (IV) = TF * PL \quad (6.11)$$

Para cada velocidade IV, se o esforço trator calculado for maior do que aquele limitado pela aderência, toma-se em consideração o segundo valor.

Em seguida, calcula-se o esforço trator líquido, descontando-se a resistência por atrito da composição para cada velocidade IV em km/h. A resistência em libras, em função da velocidade V em mph é dada por:

$$RES (IV) = \sum_i NC_i * (RO_i + R1_i * V + R2_i * V^2) * Pi \quad (6.12)$$

O esforço trator líquido, em libras, fica:

$$TFL = TFV(IV) - RES(IV) \quad (6.13)$$

e em libras por tonelada de peso da composição:

$$TFL' = TFL/PT \quad (6.14)$$

Os greides de aceleração podem ser calculados a partir do esforço trator líquido em lb/ton, dividindo-se este valor por 20 lb/ton, que é o valor da resistência para cada 1% de greide:

$$GA(IV) = TFL'/20 \quad (6.15)$$

A carga de velocidade, em metros, para cada velocidade em km/h é dada por:

$$H(IV) = 0.00413 * IV^2 \quad (6.16)$$

6.4 - Frenagem.

O cálculo da frenagem neste modelo foi bastante simplificado pela consideração de uma desaceleração constante, em torno de $0,15 \text{ m/s}^2$, ao invés de considerar a soma das forças de frenagem de todos os veículos, como faz o modelo "TPC Tropical", já que essas forças são de difícil determinação.

A força de frenagem, em toneladas, equivalente à desaceleração dada, pode ser expressa por:

$$BF = D * PT/9,81 \quad (6.17)$$

onde D é a desaceleração em m/s^2 e PT é o peso total da composição. Expressando-se esta força em lb/ton e com sinal negativo, pois é contrária à direção do movimento, tem-se:

$$BF = (-2000 * D/9,81) \quad (6.18)$$

Calcula-se, então, um "greide de frenagem", a exemplo do que é feito para os greides de aceleração:

$$GF = BF/20 \quad (6.19)$$

6.5 - Dados de Traçado

A simulação será feita para cada trecho entre duas paradas sucessivas, ou seja, a composição inicia e finaliza o percurso com velocidade nula. Devem ser fornecidos, então, os dados de traçado entre as estações consideradas, quais sejam:

- a) quilometragem dos pontos de mudança de greide ou de início ou fim da curva (XKM_i);
- b) cota, em metros, dos pontos anteriores ($XCOT_i$) e
- c) grau de ângulo central das curvas existentes entre os pontos de quilometragem conhecida (G_i).

Os dados serão lidos compreendendo quatro trechos consecutivos de cada vez, de acordo com o esquema da Figura 6.1.

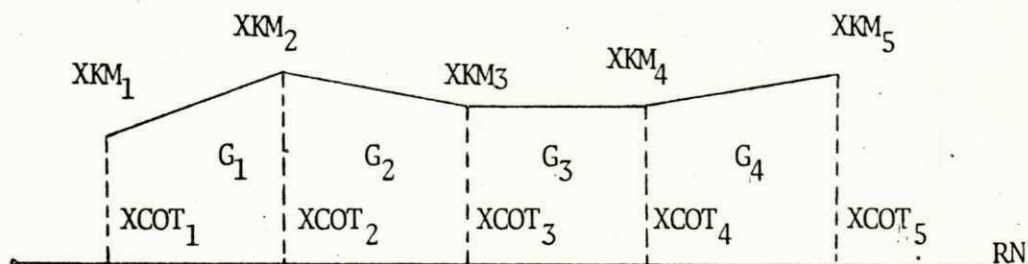


Figura 6.1 - Esquema de leitura de dados.

Na leitura seguinte, os primeiros valores de quilometragem e cota deverão corresponder aos últimos valores da leitura anterior, por uma questão de continuidade.

6.6 - Cálculo do Greide

Uma vez lidos os dados de traçado, pode-se calcular o greide da via. Ao contrário do método gráfico de cálculo do perfil de velocidade, que considera o trem como um ponto e efetua os cálculos para cada trecho onde o greide permanece constante, pode-se considerar os greides existentes sob toda a extensão da composição, transformando-os em um greide de valor equivalente. Inicialmente, calcula-se o greide para o trecho onde se encontra a dianteira do trem, determinando-se o seu comprimento DKM e a diferença de cotas DCOT:

$$DKM = XKM_{i+1} - XKM_i \quad (\text{km}) \quad (6.20)$$

$$DCOT = XCOT_{i+1} - XCOT_i \quad (\text{m}) \quad (6.21)$$

À diferença de cotas DCOT agrega-se o valor equivalente para o grau de ângulo central da curva porventura existente no trecho (1 grau = 0,013 m):

$$DCOT' = DCOT + G_i * 0,013 \quad (\text{m}) \quad (6.22)$$

Obtém-se o greide em porcentagem através da expressão:

$$GRADE = DCOT' / (10 * DKM) \quad (\%) \quad (6.23)$$

A cada passo, armazenam-se os cinco últimos valores calculados de comprimento de trecho e greide, para utilização no cálculo do greide equivalente sob o trem, nas variáveis DKM1, DKM2, DKM3, DKM4, DKM5 e GRAD1, GRAD2, GRAD3, GRAD4 e GRAD5, respectivamente. Os valores de comprimento de trem, que se encontram em cada trecho de greide, são calculados e atribuídos às variáveis XG1, XG2, XG3, XG4 e XG5. Caso o trem ocupe menos do que cinco trechos, as variáveis referentes aos trechos posteriores valerão zero. Caso ocupe mais do que cinco trechos, XG5 valerá o comprimento restante do trem. Isto poderá ser melhor compreendido através do esquema da Figura 6.2.

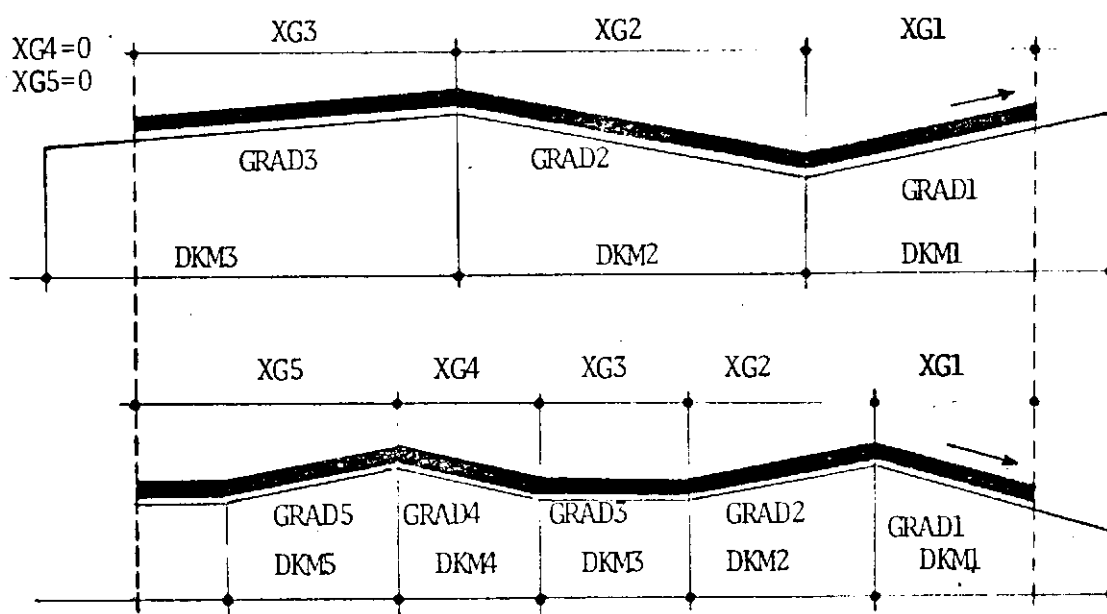


Figura 6.2 - Esquema para o cálculo do greide equivalente.

O greide equivalente é calculado através da seguinte expressão:

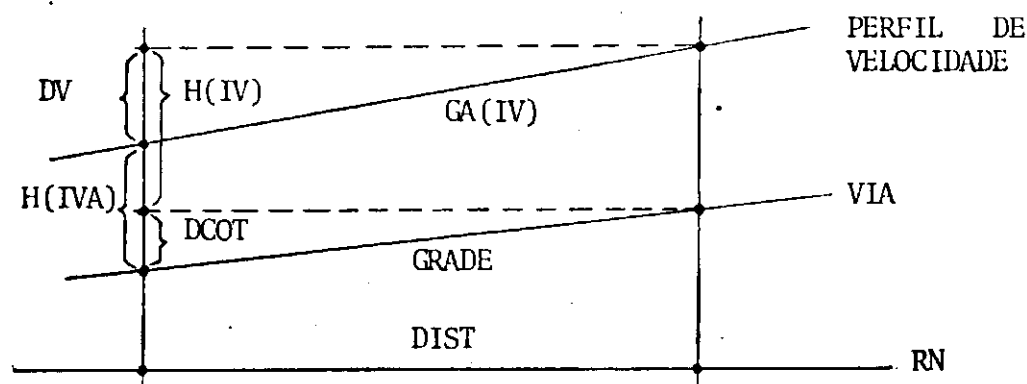
$$\text{GRADE} = (\text{XG1} \cdot \text{GRAD1} + \text{XG2} \cdot \text{GRAD2} + \text{XG3} \cdot \text{GRAD3} + \text{XG4} \cdot \text{GRAD4} + \text{XG5} \cdot \text{GRAD5}) / \text{XLT} \quad (6.24)$$

onde cada valor de greide é considerado proporcionalmente à extensão de trem que o ocupa, e XLT é a extensão total do trem.

6.7 - Cálculo das Velocidades, Distâncias e Tempos

Partindo-se da velocidade nula, compara-se o valor do greide de aceleração, para a velocidade na qual a composição se encontra, com o greide equivalente calculado. Conforme o greide de aceleração seja maior, igual ou menor do que o greide da via, a velocidade é aumentada, mantida constante ou diminuída, respectivamente, sempre em intervalos de 1 (um) km/h.

O cálculo da distância percorrida a cada passo é feito através de uma expressão deduzida a partir do seguinte esquema genérico:



- GA(IV) = greide de aceleração, em %, para a velocidade IV
 GRADE = valor do greide equivalente da via, em %
 H(IV) = carga de velocidade, em metros, para a velocidade IV
 H(IVA) = carga de velocidade, em metros, para a velocidade anterior IVA
 DIST = distância percorrida, em metros
 DCOT = GRADE * DIST/100 = diferença de cotas, em metros
 DV = GA(IV) * DIST/100 = diferença entre as cotas do perfil de velocidades.

Observando-se a figura, que mostra um trecho de comprimento igual a DIST, onde ocorre uma mudança unitária de velocidade, deduz-se que:

$$DV + H(IVA) = DCOT + H(IV)$$

Substituindo-se os valores de DV e DCOT, vem:

$$\begin{aligned} GA(IV) * DIST/100 + H(IVA) &= GRADE * DIST/100 + H(IV) \\ DIST * (GA(IV) - GRADE)/100 &= H(IV) - H(IVA) \\ DIST &= (H(IV) - H(IVA)) * 100 / (GA(IV) - GRADE) \quad (m) \end{aligned}$$

Passando-se a distância para quilômetros, fica:

$$DIST = 0.1 * (H(IV) - H(IVA)) / (GA(IV) - GRADE) \quad (6.25)$$

Quando a distância percorrida ultrapassa o próximo ponto de mudança de greide, assume-se a distância até esse ponto, em virtude da necessidade de se considerar esta mudança de greide. Assim,

$$DIST = XKM_{i+1} - EK \quad (6.26)$$

onde EK é o espaço total percorrido anteriormente, em km.

O tempo decorrido DT, em segundos, é calculado a partir da distância em km e da média das velocidades atual e anterior, em km/h:

$$DT = (2 * DIST / (IV + (IVA))) * 3600 \quad (s) \quad (6.27)$$

6.8 - Distância de Frenagem

A distância de frenagem, em metros, é calculada em função da velocidade da composição, em m/s, e da desaceleração, em m/s^2 , através da expressão seguinte, utilizada no programa "TPC Tropical":

$$d = v^2 / 2 * D$$

Para a distância em km e a velocidade em km/h, fica-se com a expressão:

$$DPAR = (IV/3.6)^2 / (2000 * D) \quad (6.28)$$

A distância de frenagem é calculada a cada passo e adicionada ao espaço percorrido em km e, quando o total ultrapassa a quilometragem do ponto de parada, o programa assume os valores anteriores de velocidade, espaço e tempo, iniciando a frenagem pela utilização de um "greide de frenagem" GF, ao invés de um greide de aceleração.

6.9 - Consumo de Combustível

O consumo de combustível é calculado em função do

trabalho realizado, conforme foi descrito no capítulo V, item 5.5. O trabalho é expresso pelo produto do esforço desenvolvido ESF, em libras, vezes a distância percorrida em pés. Como as distâncias DIST são calculadas em km, e sabendo-se que 1 pé = 0,3048m, pode-se expressar o trabalho, em milhões de pés. lb, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{TRAB} &= \text{ESF} * \text{DIST} * 1000 / (0,3048 * 10^6) \\ \text{TRAB} &= \text{ESF} * \text{DIST} / 304,8 \quad (10^6 \text{ pés. lb}) \quad (6.29) \end{aligned}$$

Sabendo-se que 1 hp.h = 1.980.000 pés.lb, calcula-se o trabalho em hp.h pela divisão do valor de TRAB por 1,98. Assim:

$$\text{HPH} = \text{TRAB} / 1,98 \quad (\text{hp.h}) \quad (6.30)$$

Conhecendo-se o valor do consumo específico CE (que está entre 0,5 e 0,6 lb/hp.h, segundo o Manual da AREA⁸), pode-se calcular o consumo em galões, já que 1 galão corresponde a 6,5 lb de óleo combustível:

$$\text{CONS} = \text{HPH} * \text{CE} / 6,5 \quad (\text{gal}) \quad (6.31)$$

Finalmente, determina-se o consumo de combustível COMB, em litros, tendo-se em conta que 1 gal = 4,55ℓ :

$$\text{COMB} = \text{CONS} * 4,55 \quad (\text{ℓ}) \quad (6.32)$$

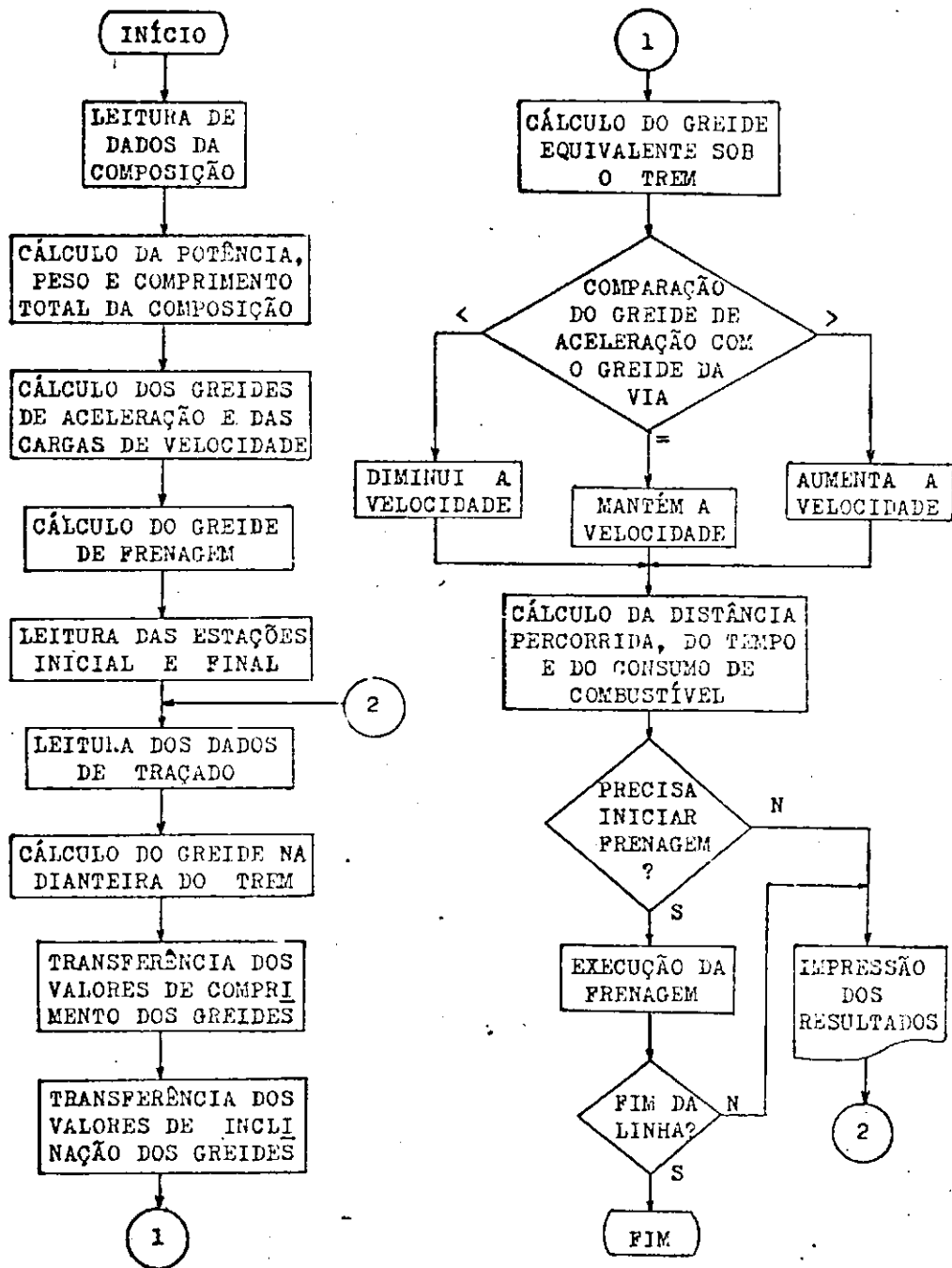
Na determinação do esforço trator que vai ser considerado, podem ocorrer dois casos:

a) quando a composição acelera, o esforço trator con

siderado é aquele desenvolvido pelas rodas motrizes, utilizando a potência total;

b) quando a composição está com velocidade constante ou não utiliza a potência total, o esforço trator é considerado como sendo igual à soma das resistências ao movimento do trem para aquela velocidade.

6.10 - Macro-fluxograma do Modelo



CAPÍTULO VII

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

7.1 - Análise Comparativa

Em virtude de não se dispor de dados extraídos da observação do desempenho real dos trens, para fins de aferição do modelo, optou-se por uma análise comparativa com o modelo "TPC Tropical", visto ser este um modelo de uso já consagrado no meio ferroviário. Assim, foi possível verificar os resultados de desempenho quanto à velocidade, tempo de percurso e consumo de combustível.

Em ambos os modelos foram utilizados dados de traçado de um trecho de 53,0 km de extensão da linha Tronco Sul. As simulações foram feitas entre as estações de Cinco Pontas (km 0,0) e de Escada (km 51,98), no Estado de Pernambuco. A composição utilizada na simulação foi a de código CR.1, composta por duas locomotivas "ALCO" RSD-8 e 40 vagões vazios para carga geral. Os resultados das simulações podem ser vistos nos Anexos 7 e 9.

7.2 - Velocidades Desenvolvidas

Admitiu-se que todo o percurso é feito com utilização da máxima velocidade permitida pela potência de saída das locomotivas, sem restrições devidas às características de

traçado, para uma melhor observação da sensibilidade dos modelos aos aclives e declives do percurso. Verificou-se uma boa sensibilidade ao perfil em ambos os modelos, com algumas diferenças de velocidade que podem ser atribuídas aos diferentes valores de aceleração resultante obtidos pelos modelos (o modelo "TPC Tropical" limita a aceleração a $0,20 \text{ m/s}^2$, para o trem vazio, e $0,10 \text{ m/s}^2$ para o trem carregado). Os resultados demonstram, também, que a metodologia adotada pelo modelo "TPC Nordeste", para a consideração do greide sob toda a extensão da composição, é bastante satisfatória. Gráficos de velocidade x distância para os dois modelos, plotados a partir dos dados de saída, são mostrados no Anexo 10.

7.3 - Tempo de Percurso

Os tempos totais de percurso obtidos foram praticamente iguais, com algumas variações, observadas em pontos de mesma quilometragem, da ordem de alguns segundos. Estes resultados foram bastante interessantes, uma vez que, no modelo "TPC Tropical", o tempo é a base a partir da qual são efetuados os cálculos (a intervalos regulares de 15 segundos, no presente caso) e, no modelo "TPC Nordeste", o tempo é obtido a partir das velocidades e distâncias percorridas.

7.4 - Consumo de Combustível

Os resultados quanto ao consumo de combustível foram os mais duvidosos, visto que, para a aferição dos mesmos sõ podem ser levantados os consumos reais totais, entre estações onde é efetuado o reabastecimento das locomotivas .

Comparando-se os resultados do "TPC Nordeste" com os do "TPC Tropical", verificou-se que o primeiro apresentou um consumo inicial bastante superior ao segundo, porém, esta diferença diminui ao longo do percurso, até resultar em um consumo 5% inferior ao do "TPC Tropical", no final da simulação.

Uma vez que os dois modelos utilizam processos de cálculo diferentes para o consumo de combustível (relação com o fator de carga e trabalho realizado, respectivamente), foi construída uma outra versão do modelo "TPC Nordeste", utilizando o processo de cálculo pelo fator de carga e os mesmos coeficientes da curva de consumo, a exemplo do modelo "TPC Tropical". Surpreendentemente, os resultados de consumo para as duas versões do "TPC Nordeste" foram praticamente iguais ao longo de todo o percurso, com diferenças da ordem de 0,4%. Isto demonstra que as diferenças inicialmente citadas, entre os resultados de consumo dos dois modelos, podem ser atribuídas às diferentes concepções adotadas para os cálculos de potência e esforço trator, nos quais está baseado o cálculo do consumo de combustível.

7.5 - Frenagem

A simulação da frenagem pelo modelo "TPC Nordeste" apresentou resultados coerentes e ainda melhores do que os obtidos pelo "TPC Tropical", já que este último só inicia a frenagem quando a distância de parada, que é calculada em função da velocidade da composição, é maior que a distância entre a quilometragem onde se encontra a dianteira da composição e o ponto de parada. Quando isto ocorre no modelo "TPC Nordeste", o mesmo assume os valores anteriores de velocidade, espaço e tempo, ficando com espaço suficiente para a frenagem.

7.6 - Outros Dados de Saída

O modelo "TPC Nordeste" pode fornecer ainda outros resultados, os quais podem ser obtidos mediante uma pequena modificação no programa. Estes resultados opcionais, todos em função da velocidade, referem-se à potência, esforço tração, resistência por atrito e valores dos greides de aceleração relativos à composição ferroviária cujo desempenho está sendo simulado, podendo ser impressos na forma de tabela, especificando-se ainda o intervalo de velocidade desejado (por exemplo, de 5 em 5 km/h), até a velocidade máxima. Tais informações podem ser úteis na análise de trechos críticos e na determinação do número de locomotivas que devem ser ativadas em cada trecho do percurso, quando se trabalha com várias unidades comandadas por um controle mestre.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

8.1 - Conclusões

Ambos os modelos apresentados podem ter aplicações mais adequadas em função das suas características. O modelo "TPC Tropical", por ser mais complexo, pode ser aplicado, por exemplo, na avaliação do desempenho de novos tipos de material rodante, uma vez que incorpora aos cálculos características mais detalhadas das locomotivas e vagões, tais como elementos da curva de esforço de tração, coeficientes da curva de consumo de combustível, forças de frenagem dos veículos, etc. Porém, em virtude desta complexidade, o seu tempo de processamento é elevado, o que implica num custo maior de utilização do computador, quando for o caso.

Em relação ao modelo "TPC Nordestino", sua grande vantagem está no fato de economizar vários passos de cálculo quando a composição atinge uma velocidade de equilíbrio em um greide, assumindo esta velocidade no restante da extensão do mesmo. Aliada a esta vantagem está a menor exigência de dados sobre a composição, o que o torna mais indicado para simulações expeditas.

Vale aqui ressaltar que a viabilidade de utilização

dos programas de simulação aumenta com o crescimento da demanda por transporte ferroviário, o que torna a simulação uma importante ferramenta auxiliar na programação de horários e na formação de trens, agilizando a operação de um meio de transporte que, espera-se, volte a ocupar o lugar de destaque que lhe cabe.

8.2 - Sugestões para Outras Pesquisas

Com a finalidade de contribuir para que sejam levadas a efeito outras pesquisas no campo da operação ferroviária, são deixadas aqui algumas sugestões sobre temas que podem ser de grande interesse. Com relação aos modelos de simulação do desempenho de trens, os mesmos fornecem resultados que podem ser aplicados em modelos de otimização para as diversas características da operação ferroviária, tais como:

a) Emprego do material de tração.

O emprego das locomotivas pode ser otimizado sabendo-se a tração requerida a cada instante durante um certo percurso, implicando em menor desgaste das máquinas e em maior economia de combustível.

b) Tonelagem a ser rebocada.

A otimização da tonelagem a ser rebocada pode ser feita em função de características como tempo de percurso, consumo de combustível, etc.

c) Determinação de horários.

Com os resultados de tempo de percurso para as diversas composições que operam numa linha, pode-se otimizar os horários de modo a reduzir os tempos de espera para cruzamentos e ultrapassagens.

No campo prático, poderiam ser desenvolvidos estudos para a construção de carros-controle mais simples, que pudessem levantar facilmente as características de traçado das vias, indispensáveis aos programas de simulação de desempenho.

Nota-se também um grande desconhecimento quanto à avaliação prática do consumo de combustível pelas locomotivas. Pesquisas nesse sentido deveriam ser levadas a efeito, num momento em que a crise energética mundial assim o exige.

BIBLIOGRAFIA

1. BRINA, Helvécio Lapertosa. Estradas de Ferro, volume 2. Rio de Janeiro, LTC-RFFSA, 1982.
2. HENNES, Robert G. & EKSE, Martin. Fundamentals of Transportation Engineering. New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1975.
3. TOGNO, Francisco M. Ferrocarriles. México, Representaciones y Servicios de Ingenieria S.A., 1979.
4. NOVAES, Antonio Galvão. Métodos de Otimização: Aplicações aos Transportes. São Paulo, Edgard Blücher-TRANSESP, 1978.
5. RIBEIRO, Jorge Franco. Problemas Ferroviários com as Soluções que Empreguei. Rio de Janeiro, Edições Científicas, 1945.
6. SANKEY, Charles. Train Performance Calculator for the IBM-7070. Montreal, Canadian National Railways, 1963 .
7. CVRD - Companhia Vale do Rio Doce. Manual do TPC- Tropical. Vitória, CVRD, 1971.
8. AREA - American Railway Engineering Association. AREA Manual, Vol. 2, Chap. 16. Chicago, 1953.

ANEXO 1

OBTENÇÃO DOS COEFICIENTES DA FÓRMULA DE DAVIS

São mostrados aqui exemplos da obtenção dos coeficientes da fórmula de Davis, para aplicação no modelo "TPC Tropical". As fórmulas originais, que fornecem a taxa de resistência em libras/tonelada inglesa, em função da velocidade V em milhas/hora, são modificadas para fornecerem a resistência em libras, em função da velocidade v em milhas/minuto, resultando numa expressão do tipo:

$$R = R_0 + R_1 \cdot v + R_2 \cdot v^2$$

a) Locomotiva com peso por eixo superior a 5 toneladas (short-ton).

$$R' = 1,3 + 29/w + 0,03V + 0,0024 AV^2/w n$$

sendo:

- R' - taxa de resistência em lb/ton
- w - peso médio por eixo em ton
- n - número de eixos por veículo
- A - área frontal em sq.ft (pés quadrados)
- V - velocidade em milhas/hora.

Multiplicando-se a equação pelo peso total da locomotiva, $W = w.n$, e transformando-se a velocidade para milhas/

minuto ($V = 60v$), vem:

$$R = R'W = 1,3W + 29n + 0,03 \times 60Wv + 0,0024 + 60^2 Av^2$$

$$R = 1,3W + 29n + 1,8 Wv + 8,64 Av^2$$

Exemplo 1:

Locomotiva "ALCO" RSD-8

$$W = 68,1 \text{ t} = 74,91 \text{ ton}, \quad n=6, \quad A = 110 \text{ sq.ft.}$$

$$R = 1,3W + 29n + 1,8Wv + 8,64 Av^2$$

$$R = 1,3 \times 74,91 + 29 \times 6 + 1,8 \times 74,91v + 8,64 \times 110 v^2$$

$$R = 271,4 + 134,8v + 950,4 v^2.$$

Em números redondos, obtêm-se:

$$R_0 = 271 ; \quad R_1 = 135 ; \quad R_2 = 950$$

b) Vagões com peso por eixo inferior a 5 toneladas.

$$R' = 9,4/\sqrt{w} + 12,5/w + 0,045V + 0,0005 AV/wn$$

$$R = R'W = 9,4 wn/\sqrt{w} + 12,5n + 0,045 \times 60 vwn + 0,0005 \times 60^2 Av^2$$

$$R = 9,4 \sqrt{Wn} + 12,5n + 2,7Wv + 1,8 Av^2$$

Exemplo 2:

Vagão FSB (vazio)

$$\text{Tara } W = 13,3\text{t} = 14,63\text{ton}, \quad n = 4, \quad A = 90 \text{ sq.ft}$$

$$R = 9,4 \sqrt{14,63 \times 4} + 12,5 \times 4 + 2,7 \times 14,63 v + 1,8 \times 90 v^2$$

$$R = 121,9 + 39,5v + 162,0 v^2$$

$$R_0 = 122 ; \quad R_1 = 40 ; \quad R_2 = 162$$

c) Vagões com peso por eixo superior a 5 toneladas.

$$R' = 1,3 + 29/w + 0,045V + 0,0005 AV^2/wn$$

$$R = R'W = 1,3W + 29n + 0,045 \times 60Wv + 0,0005 \times 60^2 Av^2$$

$$R = 1,3W + 29n + 2,7Wv + 1,8 Av^2$$

Exemplo 3:

Vagão FHD (vazio)

$$\text{Tara: } W = 20t = 22 \text{ ton}, \quad n=4, \quad A = 90 \text{ sq.ft}$$

$$R = 1,3 \times 22 + 29 \times 4 + 2,7 \times 22v + 1,8 \times 90 v^2$$

$$R = 144,6 + 59,4v + 162,0 v^2$$

$$R_0 = 145 ; R_1 = 59 ; R_2 = 162$$

ANEXO 2

DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DA FÓRMULA DO ESFORÇO TRATOR

No programa "TPC Tropical" o esforço trator, em li
bras, é dado em função da velocidade, em milhas/minuto, pe
la expressão:

$$T = T_0/V + T_1 + T_2V \quad (1)$$

Assim, é necessário determinar os coeficientes T_0 , T_1
e T_2 , a partir da curva esforço de tração x velocidade, a
qual apresenta as seguintes características:

a) a curva será uma hipérbole se o produto FxV for cons
tante, o que acontece para as locomotivas de potência cons
tante, como as diesel-elétricas, por exemplo;

b) o esforço trator não pode ultrapassar a aderência,
pois a locomotiva patinará. A curva de esforço trator fica
então limitada pela de aderência, que é do tipo $F=F_0 - aV$.

Será mostrado um exemplo de obtenção dos coeficientes
da fórmula de esforço trator para a locomotiva "ALCO" RSD-8,
cuja curva característica pode ser vista na figura A2.1. Pa
ra maior precisão, os cálculos serão feitos para três fai
xas de velocidade: de 0 a 10 mph (velocidade básica), de
10 a 30 mph e de 30 a 60 mph.

1) Para $0 < v \leq 10$ mph:

Nesta faixa de velocidade considera-se a curva de aderência, a qual, expressa pela equação geral (1) fica:

$$T = T_0 + T_1 + T_2 \cdot V \quad (2)$$

Para $V=0$, $T = T_1 = 33.000 \text{ lb}$ e para $V=10 \text{ mph} = 10/60 \text{ mi/min}$, $T = 28.000 \text{ lb}$, donde:

$$T_1 + T_2 \times 10/60 = 28.000$$

$$33.000 + T_2 \times 10/60 = 28.000 \rightarrow T_2 = -30.000$$

Assim, tem-se: $T_0 = 0$; $T_1 = 33.000$ e $T_2 = -30.000$

2) Para $10 < V \leq 30$ mph:

$$V = 10 \text{ mph} \rightarrow T = 28.000 \text{ lb}$$

$$V = 20 \text{ mph} \rightarrow T = 15.000 \text{ lb}$$

$$V = 30 \text{ mph} \rightarrow T = 10.000 \text{ lb}$$

Monta-se um sistema de 3 equações a 3 incógnitas, para a obtenção de T_0 , T_1 e T_2 , a partir da equação (1).

$$\begin{cases} T_0 \times 60/10 + T_1 + T_2 \times 10/60 = 28.000 \\ T_0 \times 60/20 + T_1 + T_2 \times 20/60 = 15.000 \\ T_0 \times 60/30 + T_1 + T_2 \times 30/60 = 10.000 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 36T_0 + 6T_1 + T_2 = 168.000 & \text{(I)} \\ 9T_0 + 3T_1 + T_2 = 45.000 & \text{(II)} \\ 4T_0 + 2T_1 + T_2 = 20.000 & \text{(III)} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{I} - \text{II} &\rightarrow 27T_0 + 3T_1 = 123.000 & \text{(IV)} \\ \text{II} - \text{III} &\rightarrow 5T_0 + T_1 = 25.000 & \text{(V)} \\ \text{IV} - 3\text{V} &\rightarrow 12T_0 = 48.000 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} T_0 = 4.000 \\ T_1 = 5.000 \\ T_2 = -6.000 \end{cases}$$

3) Para $30 < V \leq 60$ mph:

$$V = 30 \text{ mph} \rightarrow T = 10.000 \text{ lb}$$

$$V = 45 \text{ mph} \rightarrow T = 6.500 \text{ lb}$$

$$V = 60 \text{ mph} \rightarrow T = 4.300 \text{ lb}$$

$$\begin{cases} T_0 \times 60/30 + T_1 + T_2 \times 30/60 = 10.000 \\ T_0 \times 60/45 + T_1 + T_2 \times 45/60 = 6.500 \\ T_0 \times 60/60 + T_1 + T_2 \times 60/60 = 4.300 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2T_0 + T_1 + 1/2T_2 = 10.000 \text{ (I)} \\ 4/3T_0 + T_1 + 3/4T_2 = 6.500 \text{ (II)} \\ T_0 + T_1 + T_2 = 4.300 \text{ (III)} \end{cases}$$

$$\text{I} - \text{II} \rightarrow 2/3T_0 - 1/4 T_2 = 3.500 \text{ (IV)}$$

$$\text{II} - \text{III} \rightarrow 1/3T_0 - 1/4 T_2 = 2.200 \text{ (V)}$$

$$\text{IV} - \text{V} \rightarrow 1/3T_0 = 1.300$$

$$T_0 = 3.900$$

$$T_1 = 4.000$$

$$T_2 = -3.600$$

Como todos os coeficientes T_2 têm sinal negativo, pode-se modificar a equação (1), para que não seja necessário colocar o sinal negativo nos dados do computador, ficando:

$$T = T_0/V + T_1 - T_2/V \quad (3)$$

Os valores dos coeficientes ficam, então:

$$\text{para } 0 < V \leq 10 \text{ mph: } T_0 = 0 \quad T_1 = 33.000 \quad T_2 = 30.000$$

$$\text{para } 10 < V \leq 30 \text{ mph: } T_0 = 4.000 \quad T_1 = 5.000 \quad T_2 = 6.000$$

$$\text{para } 30 < V \leq 60 \text{ mph: } T_0 = 3.900 \quad T_1 = 4.000 \quad T_2 = 3.600$$

Para $V=0$, o programa assume $T=T_1=33.000$ lb.

ESFÔRÇO DE TRAÇÃO - QUILOGRAMAS

ALÇO RSD-8-6. MOTORES DE TRAÇÃO GE-761

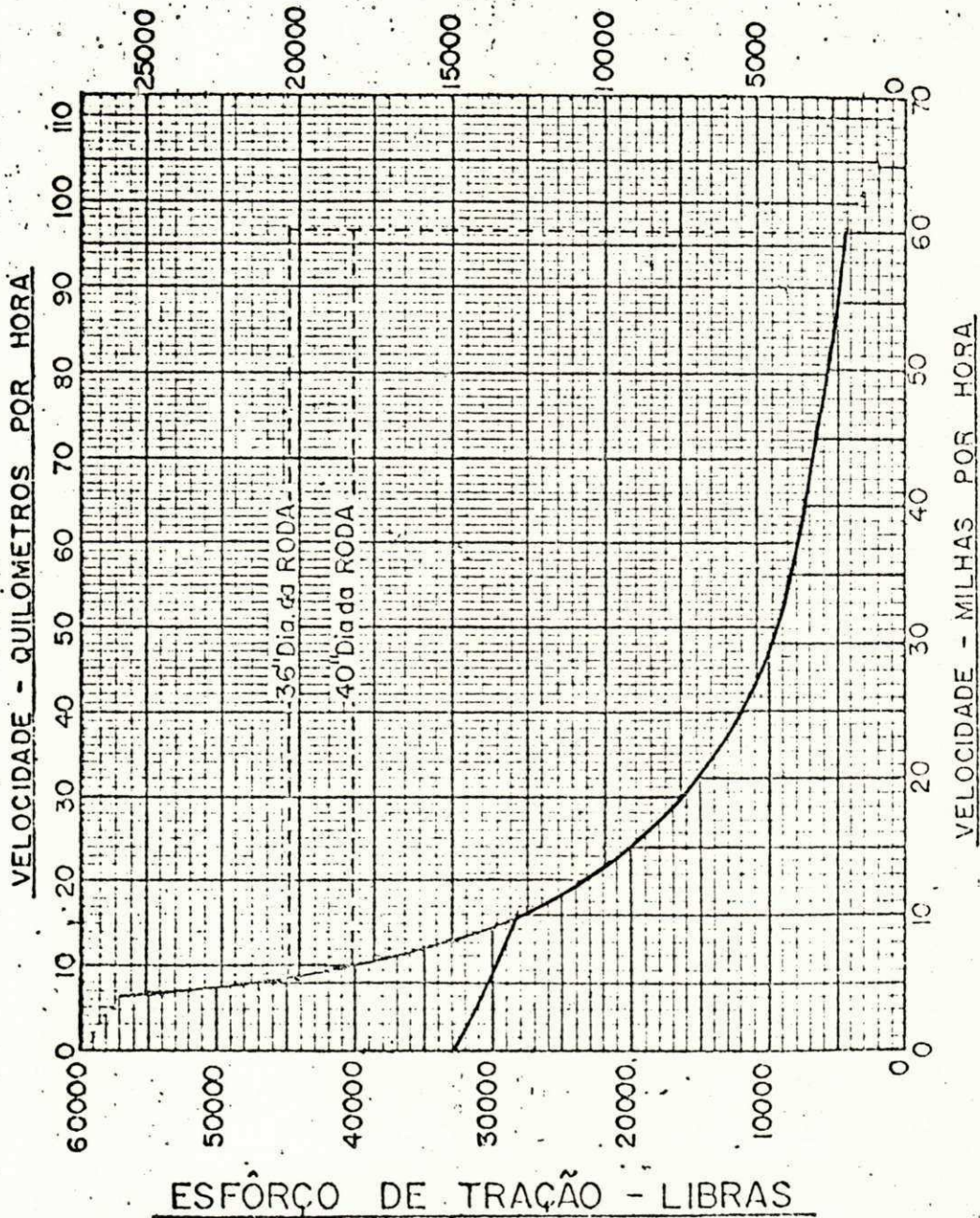


Figura A2.1 - Curva Esforço Trator x Velocidade

ANEXO 3

OBTENÇÃO DA CURVA DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O consumo de combustível, no programa "TPC Tropical", é dado, em função do fator de carga, por uma expressão do tipo:

$$C = F_0 + F_1LF + F_2LF^2 \quad (1)$$

O fator de carga é a relação entre a potência utilizada nas rodas motrizes e uma potência padrão, que pode ser qualquer valor conveniente, geralmente tomada como sendo a máxima potência disponível para tração.

O coeficiente F_0 pode ser interpretado como o consumo de combustível quando a locomotiva está em repouso, F_2 é uma correção devida à perda de eficiência do motor diesel em potências elevadas e $F_0 + F_1 + F_2$ é o consumo à plena potência. Para a determinação dos coeficientes F_0 , F_1 e F_2 é necessário ajustar a equação (1) à curva consumo x fator de carga mostrada na figura A3.2, cuja obtenção é descrita a seguir.

A partir da figura A3.1, que mostra as características do motor diesel 251-B utilizado nas locomotivas "ALCO" RSD-8, são extraídos os valores de consumo específico de combustível (SFC), em lb/BHP, e de potência bruta (BHP), em hp,

que correspondem a um mesmo valor de rotações por minuto do motor (RPM). Os valores de potência bruta são então transformados em potência na roda (HPR), sabendo-se que $HPR=0,75$ BHP. O consumo em lb/BHP.Hr é transformado em lb/Hr , através da multiplicação pelo valor correspondente de BHP.

Sabendo-se que 1 galão corresponde a, aproximadamente, 6,5 libras de combustível, tem-se:

$$\begin{aligned} 1\text{lb/h} &= 1/(6,5 \times 60) \text{ gal/min} \\ 1\text{lb/h} &= 1/390 \text{ gal/min} \end{aligned} \quad (2)$$

Assim, através da relação (2), determina-se o consumo em gal/min .

Os valores de fator de carga correspondentes a cada valor de consumo são obtidos pela divisão das potências na roda (HPR) pela potência nominal HPN da locomotiva (900HP). Pode-se utilizar este valor, desde que seja o mesmo fornecido ao programa de computador para o cálculo do fator de carga. A tabela A3.1 mostra todos os passos de cálculo descritos anteriormente.

Tabela A3.1 - Obtenção da curva consumo x fator de carga.

| SFC (lb/BHP.Hr) | BHP | HPR | consumo (lb/Hr) | consumo (gal/min) | LF (HPR/HPN) |
|--------------------|------|-----|--------------------|----------------------|-----------------|
| 0,400 | 190 | 143 | 76,00 | 0,195 | 0,159 |
| 0,398 | 200 | 150 | 79,60 | 0,204 | 0,167 |
| 0,396 | 205 | 154 | 81,18 | 0,208 | 0,171 |
| 0,394 | 210 | 158 | 82,74 | 0,212 | 0,176 |
| 0,392 | 220 | 165 | 86,24 | 0,221 | 0,183 |
| 0,390 | 230 | 173 | 89,70 | 0,230 | 0,192 |
| 0,388 | 240 | 180 | 93,12 | 0,239 | 0,200 |
| 0,386 | 260 | 195 | 100,36 | 0,257 | 0,217 |
| 0,384 | 270 | 203 | 103,68 | 0,266 | 0,226 |
| 0,382 | 290 | 218 | 110,78 | 0,284 | 0,242 |
| 0,380 | 320 | 240 | 121,60 | 0,312 | 0,267 |
| 0,378 | 350 | 263 | 132,30 | 0,339 | 0,292 |
| 0,376 | 390 | 293 | 146,64 | 0,376 | 0,326 |
| 0,374 | 440 | 330 | 164,56 | 0,422 | 0,367 |
| 0,372 | 510 | 383 | 189,72 | 0,486 | 0,426 |
| 0,370 | 710 | 533 | 262,70 | 0,674 | 0,592 |
| 0,372 | 950 | 713 | 353,40 | 0,906 | 0,792 |
| 0,374 | 1040 | 780 | 388,96 | 0,997 | 0,867 |

Com a curva da figura A3.2 obtida, pode-se ajustar a ela a equação $C = F_0 + F_1 + F_2LF^2$ para a determinação dos coeficientes. Com três valores de fator de carga (igualmente espaçados entre si, para maior facilidade) e os correspondentes valores de consumo, monta-se um sistema de 3 equações a 3 incógnitas, conforme o exemplo:

$$LF = 0,2 \rightarrow C = 0,240 \text{ gal/min}$$

$$LF = 0,5 \rightarrow C = 0,570 \text{ gal/min}$$

$$LF = 0,8 \rightarrow C = 0,920 \text{ gal/min.}$$

$$\begin{cases} F_0 + 0,2F_1 + 0,04F_2 = 0,240 & \text{(I)} \\ F_0 + 0,5F_1 + 0,25F_2 = 0,570 & \text{(II)} \\ F_0 + 0,8F_1 + 0,64F_2 = 0,920 & \text{(III)} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \text{II} - \text{I} & 0,3F_1 + 0,21F_2 = 0,330 & \text{(IV)} \\ \text{III} - \text{II} & 0,3F_1 + 0,39F_2 = 0,350 & \text{(V)} \\ \text{V} - \text{IV} & 0,18F_2 = 0,020 \end{cases}$$

$$F_0 = 0,03 \quad ; \quad F_1 = 1,02 \quad ; \quad F_2 = 0,11$$

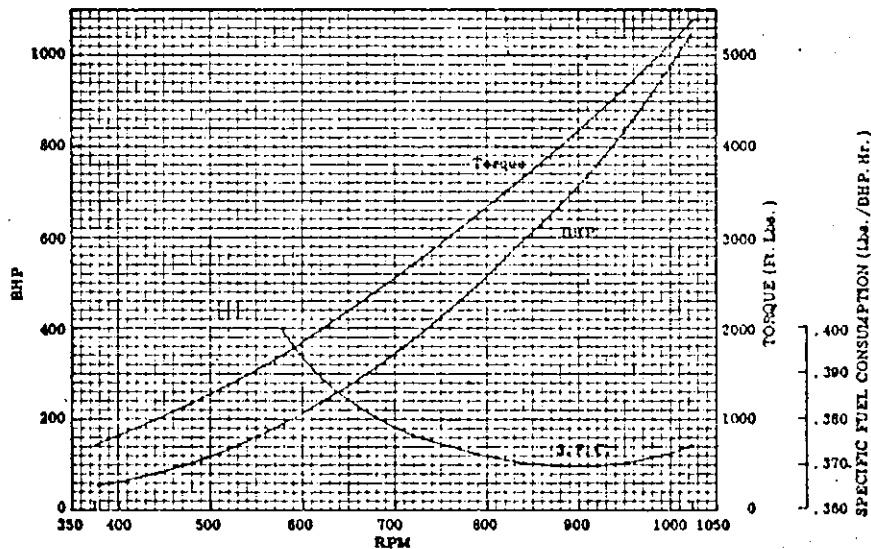


Figura A3.1 - Características do motor diesel 251-B.

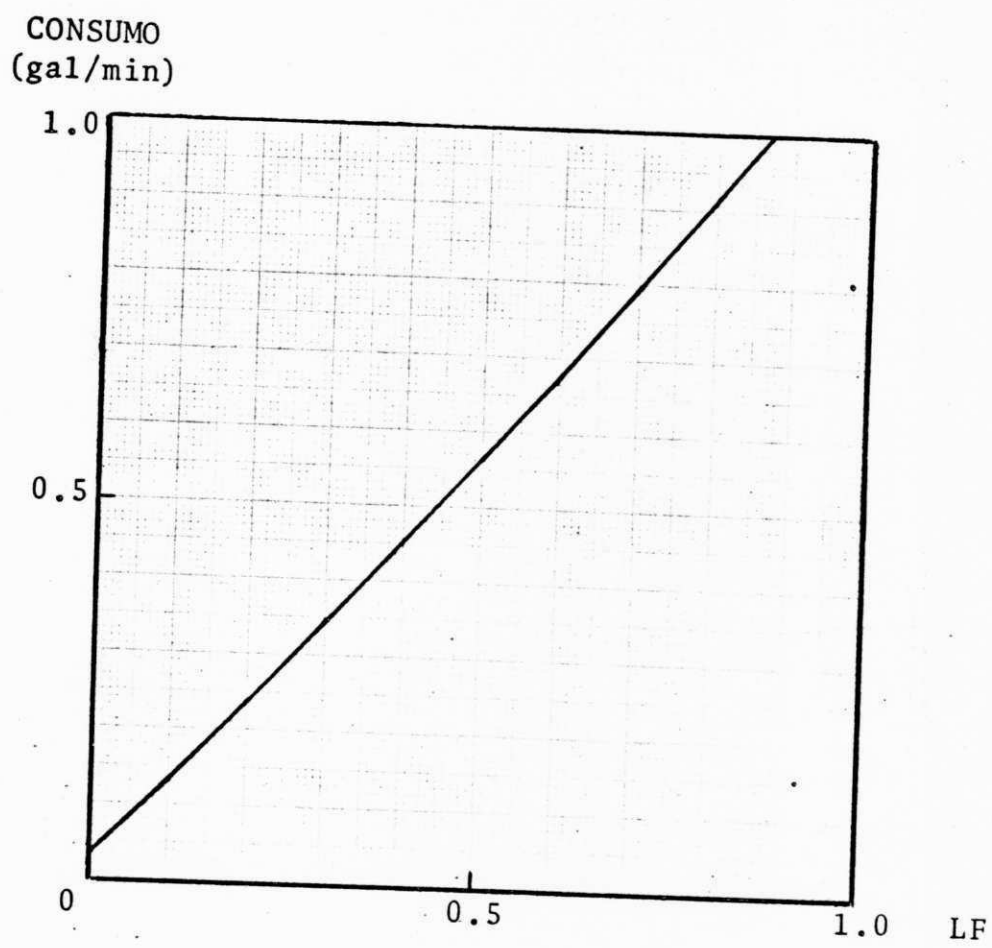
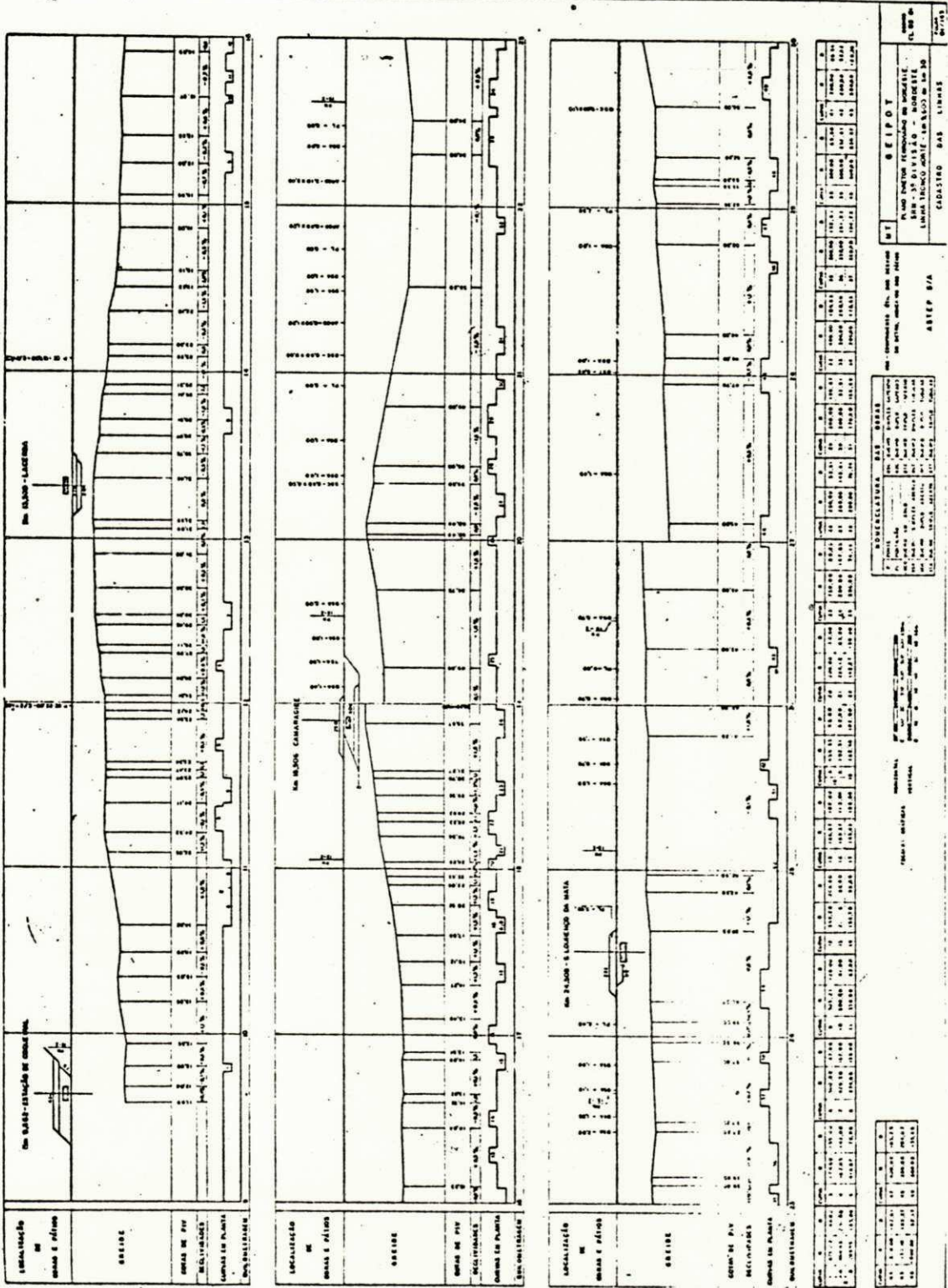


Figura A3.2 - Curva consumo x fator de carga.

ANEXO 4

CADASTRO DE LINHA FERREA



SECRETARIA DE TRANSPORTES
 DEPARTAMENTO DE FERROVIAS
 LINHA FERROVIARIA DE CASCAVEL - MARACUMBI
 CADASTRO DAS LINHAS

ASPECTO 8/A

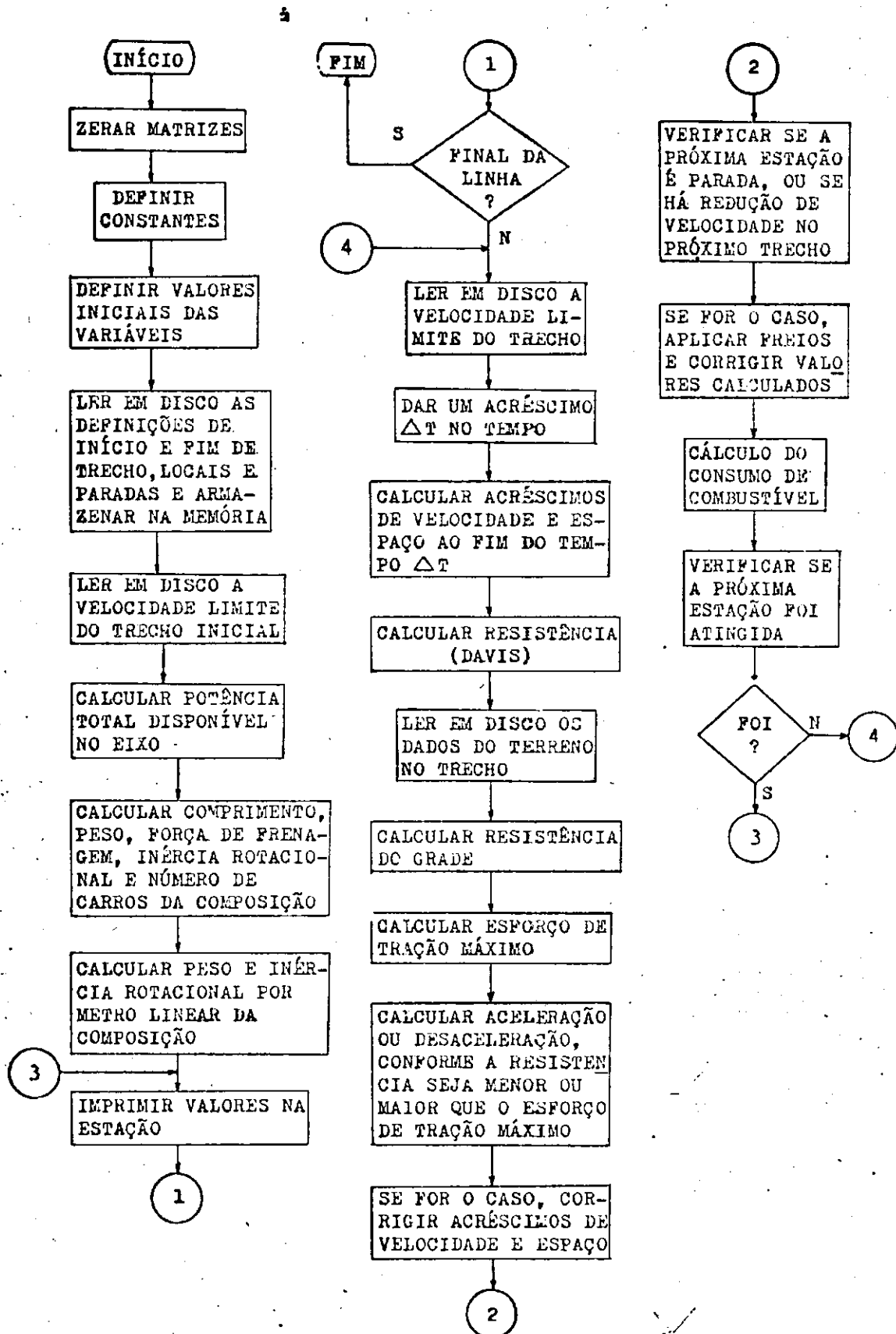
PROJECCAO EM ESCALA
 1:1000
 (Detailed technical notes regarding the drawing's scale and projection)

PROJECCAO EM ESCALA
 1:1000
 (Detailed technical notes regarding the drawing's scale and projection)

PROJECCAO EM ESCALA
 1:1000
 (Detailed technical notes regarding the drawing's scale and projection)

ANEXO 6

MACRO-FLUXOGRAMA DO MODELO "TPC TROPICAL"



ANEXO 7

AMOSTRA DE SAÍDA DO PROGRAMA "TPC TROPICAL"

LINHA TRONCO SUL-CINCO PORTAS A ESCADA

TREM CR.1 (V.VAZIOS)

| ESTACAO | KM | CODIGO | PERCURSO | TEMPO | TEMPO TOTAL | VMED | VPTD | CONSUMO |
|-----------|-------|--------|----------|--------|-------------|------|------|---------|
| 5 PONTAS- | 0.00 | 666. | 0.00 | 0H 0-M | 0H 0M 0S | 0. | 0. | 0.0 |
| | 0.02 | | | | 0H 0M15S | | 11. | 0.2 |
| | 0.09 | | | | 0H 0M30S | | 21. | 0.6 |
| | 0.19 | | | | 0H 0M45S | | 27. | 1.1 |
| | 0.32 | | | | 0H 1M 0S | | 33. | 1.7 |
| | 0.46 | | | | 0H 1M15S | | 38. | 2.4 |
| | 0.63 | | | | 0H 1M30S | | 41. | 3.4 |
| | 0.81 | | | | 0H 1M45S | | 44. | 4.5 |
| | 1.00 | | | | 0H 2M 0S | | 47. | 5.7 |
| | 1.20 | | | | 0H 2M15S | | 49. | 7.0 |
| | 1.41 | | | | 0H 2M30S | | 52. | 8.2 |
| | 1.63 | | | | 0H 2M45S | | 54. | 9.5 |
| | 1.86 | | | | 0H 3M 0S | | 56. | 10.9 |
| | 2.09 | | | | 0H 3M15S | | 58. | 12.3 |
| | 2.34 | | | | 0H 3M30S | | 58. | 14.2 |
| | 2.58 | | | | 0H 3M45S | | 58. | 16.8 |
| JANGADA-- | 2.70 | 222. | 2.70 | 0H 4-M | 0H 3M59S | 41. | 58. | 16.8 |
| | 2.94 | | | | 0H 4M14S | | 58. | 18.5 |
| | 3.19 | | | | 0H 4M29S | | 59. | 20.6 |
| | 3.43 | | | | 0H 4M44S | | 59. | 22.2 |
| | 3.68 | | | | 0H 4M59S | | 60. | 22.7 |
| | 3.94 | | | | 0H 5M14S | | 64. | 23.0 |
| | 4.21 | | | | 0H 5M29S | | 65. | 24.4 |
| | 4.48 | | | | 0H 5M44S | | 66. | 26.3 |
| | 4.76 | | | | 0H 5M59S | | 66. | 28.2 |
| | 5.04 | | | | 0H 6M14S | | 67. | 30.4 |
| | 5.31 | | | | 0H 6M29S | | 67. | 32.9 |
| | 5.59 | | | | 0H 6M44S | | 66. | 35.4 |
| | 5.86 | | | | 0H 6M59S | | 66. | 37.7 |
| | 6.14 | | | | 0H 7M14S | | 66. | 39.6 |
| | 6.42 | | | | 0H 7M29S | | 67. | 41.0 |
| | 6.70 | | | | 0H 7M44S | | 68. | 42.5 |
| | 6.98 | | | | 0H 7M59S | | 69. | 44.2 |
| | 7.27 | | | | 0H 8M14S | | 70. | 46.2 |
| | 7.56 | | | | 0H 8M29S | | 70. | 48.2 |
| | 7.85 | | | | 0H 8M44S | | 70. | 50.4 |
| | 8.14 | | | | 0H 8M59S | | 69. | 53.0 |
| | 8.43 | | | | 0H 9M14S | | 66. | 55.6 |
| | 8.70 | | | | 0H 9M29S | | 64. | 58.2 |
| | 8.96 | | | | 0H 9M44S | | 64. | 60.6 |
| BOAVIAGEM | 9.14 | 222. | 6.44 | 0H 6-M | 0H 9M59S | 64. | 64. | 60.6 |
| | 9.41 | | | | 0H10M14S | | 64. | 62.5 |
| | 9.67 | | | | 0H10M29S | | 65. | 64.6 |
| | 9.94 | | | | 0H10M44S | | 65. | 66.6 |
| | 10.22 | | | | 0H10M59S | | 65. | 68.7 |
| | 10.49 | | | | 0H11M14S | | 66. | 70.8 |
| | 10.76 | | | | 0H11M29S | | 66. | 73.1 |
| | 11.04 | | | | 0H11M44S | | 66. | 75.7 |
| | 11.31 | | | | 0H11M59S | | 66. | 77.9 |
| | 11.58 | | | | 0H12M14S | | 66. | 80.0 |
| | 11.86 | | | | 0H12M29S | | 66. | 81.9 |
| | 12.14 | | | | 0H12M44S | | 67. | 83.4 |
| | 12.42 | | | | 0H12M59S | | 68. | 84.7 |
| PRAZERES- | 12.68 | 222. | 3.54 | 0H 3-M | 0H13M14S | 65. | 69. | 84.7 |
| | 12.97 | | | | 0H13M29S | | 70. | 86.6 |

LINHA TRONCO SUL-CINCO PONTAS A ESCADA

TREM CR.1 (V.VAZIOS)

ESTACAO----KM----CODIGO-PERCURSO--TEMPO--TEMPO TOTAL-VMED-VPTO-CONSUMO

| | | | | | | | |
|-----------------|------|------|--------|--|----------|-----|-----------|
| 13.26 | | | | | 0H13M44S | 70. | 88.4 |
| 13.55 | | | | | 0H13M59S | 70. | 90.5 |
| 13.85 | | | | | 0H14M14S | 71. | 92.7 |
| 14.14 | | | | | 0H14M29S | 71. | 95.0 |
| 14.43 | | | | | 0H14M44S | 71. | 97.2 |
| 14.73 | | | | | 0H14M59S | 71. | 99.2 |
| 15.02 | | | | | 0H15M14S | 71. | 100.8 |
| 15.32 | | | | | 0H15M29S | 72. | 102.5 |
| 15.62 | | | | | 0H15M44S | 73. | 104.3 |
| 15.93 | | | | | 0H15M59S | 73. | 106.5 |
| 16.23 | | | | | 0H16M14S | 73. | 108.7 |
| 16.53 | | | | | 0H16M29S | 73. | 111.0 |
| 16.84 | | | | | 0H16M44S | 73. | 113.2 |
| 17.14 | | | | | 0H16M59S | 73. | 115.1 |
| 17.45 | | | | | 0H17M14S | 74. | 117.0 |
| 17.76 | | | | | 0H17M29S | 74. | 118.8 |
| 18.07 | | | | | 0H17M44S | 75. | 120.1 |
| 18.38 | | | | | 0H17M59S | 76. | 121.5 |
| 18.70 | | | | | 0H18M14S | 76. | 123.5 |
| 19.01 | | | | | 0H18M29S | 76. | 125.9 |
| 19.33 | | | | | 0H18M44S | 76. | 128.2 |
| 19.65 | | | | | 0H18M59S | 76. | 130.7 |
| 19.96 | | | | | 0H19M14S | 74. | 133.4 |
| 20.27 | | | | | 0H19M29S | 73. | 136.0 |
| 20.57 | | | | | 0H19M44S | 72. | 138.5 |
| PT&ZINHA- 20.86 | 222. | 8.18 | 0H 7.M | | 0H19M59S | 73. | 72. 138.5 |
| 21.16 | | | | | 0H20M14S | 73. | 139.5 |
| 21.47 | | | | | 0H20M29S | 75. | 140.8 |
| 21.78 | | | | | 0H20M44S | 75. | 143.4 |
| 22.09 | | | | | 0H20M59S | 75. | 144.6 |
| 22.41 | | | | | 0H21M14S | 77. | 145.5 |
| 22.73 | | | | | 0H21M29S | 77. | 147.5 |
| 23.05 | | | | | 0H21M44S | 77. | 150.0 |
| 23.37 | | | | | 0H21M59S | 76. | 152.6 |
| 23.68 | | | | | 0H22M14S | 75. | 155.2 |
| 23.99 | | | | | 0H22M29S | 75. | 157.8 |
| 24.30 | | | | | 0H22M44S | 74. | 160.4 |
| 24.61 | | | | | 0H22M59S | 73. | 163.0 |
| 24.92 | | | | | 0H23M14S | 72. | 165.6 |
| 25.22 | | | | | 0H23M29S | 72. | 168.2 |
| 25.51 | | | | | 0H23M44S | 70. | 170.9 |
| 25.80 | | | | | 0H23M59S | 70. | 172.8 |
| 26.09 | | | | | 0H24M14S | 70. | 174.1 |
| 26.39 | | | | | 0H24M29S | 71. | 176.2 |
| 26.68 | | | | | 0H24M44S | 71. | 178.4 |
| 26.98 | | | | | 0H24M59S | 71. | 180.8 |
| 27.27 | | | | | 0H25M14S | 70. | 183.3 |
| 27.56 | | | | | 0H25M29S | 69. | 185.9 |
| 27.85 | | | | | 0H25M44S | 68. | 188.5 |
| 28.13 | | | | | 0H25M59S | 67. | 191.1 |
| 28.41 | | | | | 0H26M14S | 67. | 193.3 |
| 28.69 | | | | | 0H26M29S | 67. | 195.1 |
| 28.97 | | | | | 0H26M44S | 68. | 197.0 |
| 29.25 | | | | | 0H26M59S | 68. | 199.1 |
| 29.53 | | | | | 0H27M14S | 68. | 201.5 |

LINHA TRONCO SUL-CINCO PONTAS A ESCADA

TREM CR.1 (V.VAZIOS)

| ESTACAO | KM | CODIGO | PERCURSO | TEMPO | TEMPO TOTAL | VMED | VPTO | CONSUMO |
|---------|-------|--------|----------|--------|-------------|------|------|---------|
| | 29.81 | | | | 0H27M29S | 67. | | 204.1 |
| | 30.09 | | | | 0H27M44S | 67. | | 206.5 |
| | 30.37 | | | | 0H27M59S | 67. | | 208.3 |
| | 30.65 | | | | 0H28M14S | 67. | | 210.4 |
| | 30.93 | | | | 0H28M29S | 67. | | 213.0 |
| | 31.21 | | | | 0H28M44S | 66. | | 215.5 |
| | 31.48 | | | | 0H28M59S | 66. | | 218.1 |
| | 31.76 | | | | 0H29M14S | 65. | | 220.7 |
| CABO | 31.95 | 222. | 11.09 | 0H 9.M | 0H29M29S | 70. | | 220.7 |
| | 32.22 | | | | 0H29M44S | 65. | | 222.9 |
| | 32.49 | | | | 0H29M59S | 65. | | 225.2 |
| | 32.76 | | | | 0H30M14S | 63. | | 227.8 |
| | 33.01 | | | | 0H30M29S | 61. | | 230.5 |
| | 33.27 | | | | 0H30M44S | 59. | | 233.1 |
| | 33.51 | | | | 0H30M59S | 56. | | 235.7 |
| | 33.73 | | | | 0H31M14S | 52. | | 238.3 |
| | 33.94 | | | | 0H31M29S | 49. | | 240.9 |
| | 34.14 | | | | 0H31M44S | 46. | | 243.5 |
| | 34.33 | | | | 0H31M59S | 43. | | 246.1 |
| | 34.50 | | | | 0H32M14S | 40. | | 248.7 |
| | 34.67 | | | | 0H32M29S | 38. | | 251.3 |
| | 34.82 | | | | 0H32M44S | 36. | | 253.9 |
| | 34.97 | | | | 0H32M59S | 34. | | 256.6 |
| | 35.11 | | | | 0H33M14S | 33. | | 259.2 |
| | 35.24 | | | | 0H33M29S | 32. | | 261.7 |
| | 35.38 | | | | 0H33M44S | 32. | | 264.1 |
| | 35.51 | | | | 0H33M59S | 31. | | 266.5 |
| | 35.64 | | | | 0H34M14S | 31. | | 268.9 |
| | 35.77 | | | | 0H34M29S | 31. | | 271.3 |
| | 35.89 | | | | 0H34M44S | 31. | | 273.6 |
| | 36.02 | | | | 0H34M59S | 31. | | 275.9 |
| | 36.15 | | | | 0H35M14S | 31. | | 278.0 |
| | 36.28 | | | | 0H35M29S | 32. | | 279.5 |
| | 36.42 | | | | 0H35M44S | 34. | | 280.7 |
| | 36.57 | | | | 0H35M59S | 38. | | 281.6 |
| | 36.74 | | | | 0H36M14S | 42. | | 282.4 |
| | 36.92 | | | | 0H36M29S | 45. | | 283.6 |
| | 37.11 | | | | 0H36M44S | 47. | | 285.1 |
| | 37.30 | | | | 0H36M59S | 48. | | 286.7 |
| | 37.51 | | | | 0H37M14S | 49. | | 288.5 |
| | 37.72 | | | | 0H37M29S | 51. | | 290.3 |
| | 37.93 | | | | 0H37M44S | 52. | | 291.7 |
| | 38.15 | | | | 0H37M59S | 54. | | 293.0 |
| | 38.38 | | | | 0H38M14S | 55. | | 294.8 |
| | 38.61 | | | | 0H38M29S | 55. | | 297.4 |
| | 38.83 | | | | 0H38M44S | 53. | | 300.0 |
| | 39.05 | | | | 0H38M59S | 50. | | 302.6 |
| | 39.25 | | | | 0H39M14S | 47. | | 305.2 |
| | 39.45 | | | | 0H39M29S | 47. | | 307.6 |
| | 39.65 | | | | 0H39M44S | 47. | | 309.7 |
| | 39.84 | | | | 0H39M59S | 48. | | 311.9 |
| | 40.04 | | | | 0H40M14S | 48. | | 313.5 |
| | 40.24 | | | | 0H40M29S | 50. | | 314.0 |
| | 40.46 | | | | 0H40M44S | 54. | | 314.0 |
| | 40.69 | | | | 0H40M59S | 56. | | 315.4 |

ANEXO 8

FATORES DE CONVERSÃO DE UNIDADES

a) Comprimento

$$1 \text{ km} = 0,622 \text{ mi (milhas)}$$

$$1 \text{ pé} = 0,3048 \text{ m}$$

b) Velocidade

$$1 \text{ km/h} = 0,622 \text{ mph (milhas/hora)}$$

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

c) Peso

$$1 \text{ t (tonelada métrica)} = 1,1 \text{ ton (tonelada inglesa, short- ton)}$$

$$1 \text{ ton} = 2000 \text{ lb (libras)}$$

d) Taxa de resistência

$$1 \text{ lb/ton} = 0,5 \text{ kg/t}$$

e) Volume

$$1 \text{ galão} = 4,55 \text{ litros.}$$

ANEXO 9

AMOSTRA DE SAÍDA DO PROGRAMA "TPC NORDESTINO"

ESTACAO DE CINCO PONTAS

QUILOMETRO : 0.00

| KM | VEL | TEMPO | CONSUMO |
|-------|-----|------------|---------|
| 0.00 | 0 | 0H 0M 0S | 0.0 |
| 0.02 | 13 | 0H 0M 9S | 0.8 |
| 0.09 | 22 | 0H 0M 23S | 2.6 |
| 0.11 | 23 | 0H 0M 26S | 3.0 |
| 0.14 | 25 | 0H 0M 30S | 3.6 |
| 0.33 | 33 | 0H 0M 53S | 6.8 |
| 0.39 | 34 | 0H 1M 0S | 7.7 |
| 0.44 | 35 | 0H 1M 5S | 8.4 |
| 0.97 | 44 | 0H 1M 52S | 15.0 |
| 0.99 | 44 | 0H 1M 54S | 15.2 |
| 1.18 | 46 | 0H 2M 9S | 17.3 |
| 2.26 | 55 | 0H 3M 25S | 27.8 |
| 2.46 | 56 | 0H 3M 38S | 29.4 |
| 2.56 | 56 | 0H 3M 45S | 30.0 |
| 2.64 | 56 | 0H 3M 50S | 30.5 |
| 2.68 | 56 | 0H 3M 52S | 30.7 |
| 2.89 | 55 | 0H 4M 6S | 31.9 |
| 3.05 | 56 | 0H 4M 16S | 33.3 |
| 3.11 | 56 | 0H 4M 20S | 33.9 |
| 3.18 | 56 | 0H 4M 25S | 34.5 |
| 3.26 | 56 | 0H 4M 30S | 35.0 |
| 3.73 | 56 | 0H 5M 0S | 37.7 |
| 4.10 | 61 | 0H 5M 23S | 40.8 |
| 4.79 | 63 | 0H 6M 2S | 46.3 |
| 4.86 | 63 | 0H 6M 6S | 46.9 |
| 4.96 | 63 | 0H 6M 12S | 47.7 |
| 5.58 | 63 | 0H 6M 47S | 52.7 |
| 5.84 | 63 | 0H 7M 2S | 54.3 |
| 6.73 | 63 | 0H 7M 53S | 59.9 |
| 7.76 | 66 | 0H 8M 50S | 67.9 |
| 8.15 | 66 | 0H 9M 11S | 70.8 |
| 8.52 | 65 | 0H 9M 32S | 73.2 |
| 8.77 | 63 | 0H 9M 46S | 74.8 |
| 9.42 | 62 | 0H 10M 24S | 78.9 |
| 10.53 | 63 | 0H 11M 27S | 87.7 |
| 10.57 | 63 | 0H 11M 30S | 88.0 |
| 10.88 | 63 | 0H 11M 47S | 90.5 |
| 11.06 | 63 | 0H 11M 58S | 91.7 |
| 11.82 | 62 | 0H 12M 42S | 96.4 |
| 12.08 | 62 | 0H 12M 57S | 98.6 |
| 12.33 | 63 | 0H 13M 11S | 100.6 |
| 12.83 | 65 | 0H 13M 39S | 104.4 |
| 13.24 | 66 | 0H 14M 1S | 107.6 |
| 14.50 | 67 | 0H 15M 9S | 117.0 |
| 15.40 | 67 | 0H 15M 58S | 123.8 |
| 16.21 | 69 | 0H 16M 40S | 129.7 |
| 16.51 | 69 | 0H 16M 56S | 131.9 |
| 16.53 | 69 | 0H 16M 57S | 132.1 |
| 17.61 | 69 | 0H 17M 54S | 139.4 |
| 18.29 | 70 | 0H 18M 29S | 144.3 |
| 18.57 | 71 | 0H 18M 43S | 146.3 |
| 18.77 | 71 | 0H 18M 53S | 147.7 |
| 18.80 | 71 | 0H 18M 55S | 147.9 |
| 19.25 | 71 | 0H 19M 17S | 151.1 |

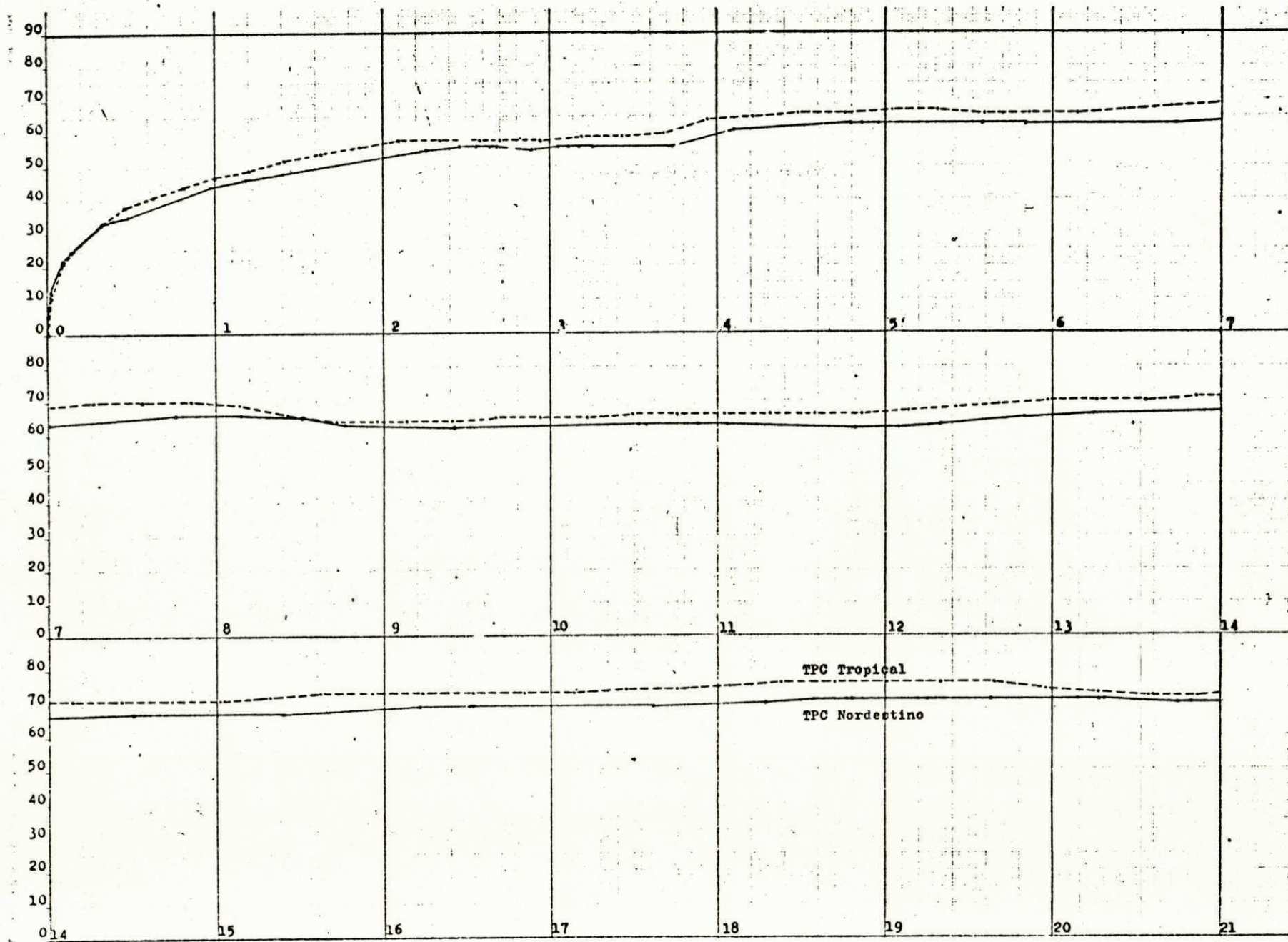
| | | | |
|-------|----|----------|-------|
| 19.63 | 71 | 0H19M37S | 153.8 |
| 20.15 | 71 | 0H20M 3S | 157.4 |
| 20.28 | 71 | 0H20M10S | 158.3 |
| 20.30 | 71 | 0H20M11S | 158.5 |
| 20.74 | 70 | 0H20M33S | 161.5 |
| 20.82 | 70 | 0H20M37S | 162.1 |
| 21.01 | 70 | 0H20M47S | 163.5 |
| 21.24 | 70 | 0H20M59S | 165.1 |
| 21.38 | 71 | 0H21M 6S | 166.1 |
| 21.40 | 71 | 0H21M 7S | 166.2 |
| 21.52 | 71 | 0H21M13S | 167.1 |
| 21.66 | 71 | 0H21M20S | 168.1 |
| 21.71 | 71 | 0H21M23S | 168.4 |
| 22.16 | 70 | 0H21M46S | 171.6 |
| 22.20 | 70 | 0H21M48S | 171.9 |
| 22.50 | 72 | 0H22M 3S | 174.0 |
| 22.90 | 73 | 0H22M23S | 176.8 |
| 23.01 | 73 | 0H22M28S | 177.5 |
| 23.04 | 73 | 0H22M30S | 177.7 |
| 23.59 | 73 | 0H22M57S | 181.7 |
| 23.99 | 73 | 0H23M17S | 184.5 |
| 24.22 | 73 | 0H23M28S | 186.2 |
| 24.29 | 73 | 0H23M31S | 186.7 |
| 24.86 | 72 | 0H24M 0S | 190.7 |
| 25.10 | 72 | 0H24M12S | 192.4 |
| 25.46 | 72 | 0H24M30S | 194.9 |
| 25.51 | 72 | 0H24M32S | 195.3 |
| 25.79 | 71 | 0H24M46S | 197.2 |
| 25.94 | 71 | 0H24M54S | 198.3 |
| 26.59 | 72 | 0H25M27S | 202.9 |
| 26.91 | 72 | 0H25M43S | 205.1 |
| 27.17 | 72 | 0H25M56S | 207.0 |
| 27.40 | 72 | 0H26M 7S | 208.6 |
| 27.67 | 72 | 0H26M21S | 210.5 |
| 28.02 | 71 | 0H26M38S | 212.9 |
| 28.69 | 69 | 0H27M13S | 217.5 |
| 29.11 | 69 | 0H27M35S | 220.6 |
| 29.71 | 69 | 0H28M 6S | 225.0 |
| 29.76 | 69 | 0H28M 9S | 225.3 |
| 29.91 | 69 | 0H28M17S | 226.3 |
| 29.94 | 69 | 0H28M18S | 226.5 |
| 30.38 | 68 | 0H28M41S | 229.5 |
| 30.88 | 68 | 0H29M 8S | 233.2 |
| 31.20 | 67 | 0H29M25S | 235.3 |
| 31.53 | 67 | 0H29M43S | 237.5 |
| 31.57 | 67 | 0H29M45S | 237.8 |
| 31.68 | 67 | 0H29M51S | 238.5 |
| 31.72 | 67 | 0H29M53S | 238.8 |
| 31.93 | 66 | 0H30M 4S | 240.1 |
| 32.22 | 66 | 0H30M20S | 242.3 |
| 32.31 | 66 | 0H30M25S | 242.9 |
| 32.50 | 66 | 0H30M35S | 244.2 |
| 32.54 | 66 | 0H30M38S | 244.4 |
| 32.87 | 66 | 0H30M56S | 246.6 |
| 33.05 | 65 | 0H31M 5S | 247.8 |
| 33.18 | 64 | 0H31M13S | 248.6 |
| 33.22 | 64 | 0H31M15S | 248.9 |
| 33.56 | 61 | 0H31M35S | 251.0 |
| 33.66 | 60 | 0H31M41S | 251.6 |
| 33.84 | 58 | 0H31M52S | 252.7 |

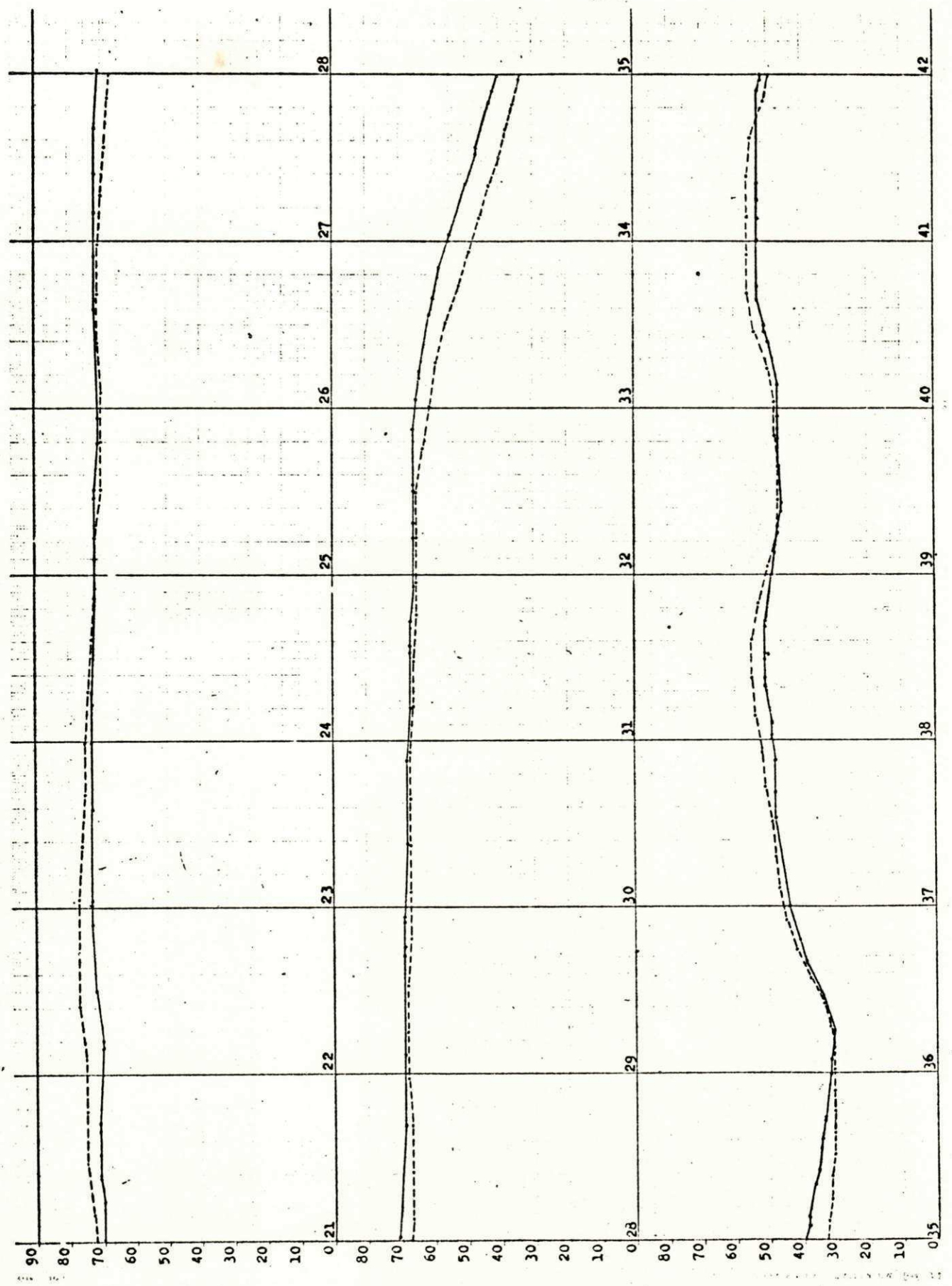
| | | | |
|-------|----|----------|-------|
| 34.04 | 55 | 0H32M 4S | 253.8 |
| 34.34 | 50 | 0H32M25S | 255.5 |
| 34.52 | 47 | 0H32M38S | 256.4 |
| 34.56 | 47 | 0H32M41S | 256.6 |
| 34.83 | 43 | 0H33M 3S | 258.0 |
| 34.90 | 42 | 0H33M 9S | 258.3 |
| 35.08 | 39 | 0H33M25S | 259.2 |
| 35.13 | 39 | 0H33M30S | 259.4 |
| 35.33 | 37 | 0H33M49S | 260.3 |
| 35.41 | 36 | 0H33M57S | 260.7 |
| 35.55 | 35 | 0H34M11S | 261.3 |
| 35.60 | 35 | 0H34M16S | 261.6 |
| 35.71 | 34 | 0H34M28S | 262.1 |
| 35.73 | 34 | 0H34M30S | 262.1 |
| 35.99 | 32 | 0H34M58S | 263.3 |
| 36.08 | 32 | 0H35M 8S | 263.7 |
| 36.25 | 31 | 0H35M28S | 264.5 |
| 36.26 | 31 | 0H35M29S | 264.6 |
| 36.49 | 35 | 0H35M54S | 268.1 |
| 36.67 | 39 | 0H36M12S | 270.5 |
| 36.80 | 41 | 0H36M23S | 272.1 |
| 37.00 | 44 | 0H36M40S | 274.4 |
| 37.53 | 48 | 0H37M21S | 280.1 |
| 37.69 | 48 | 0H37M33S | 281.8 |
| 37.88 | 48 | 0H37M48S | 283.8 |
| 38.01 | 49 | 0H37M57S | 285.1 |
| 38.03 | 49 | 0H37M59S | 285.3 |
| 38.11 | 49 | 0H38M 5S | 286.2 |
| 38.33 | 51 | 0H38M20S | 288.3 |
| 38.38 | 51 | 0H38M24S | 288.8 |
| 38.49 | 51 | 0H38M32S | 289.9 |
| 38.53 | 51 | 0H38M34S | 290.1 |
| 38.69 | 51 | 0H38M46S | 291.0 |
| 38.72 | 51 | 0H38M48S | 291.2 |
| 39.00 | 49 | 0H39M 8S | 292.7 |
| 39.13 | 48 | 0H39M18S | 293.3 |
| 39.18 | 48 | 0H39M21S | 293.6 |
| 39.29 | 47 | 0H39M30S | 294.2 |
| 39.38 | 46 | 0H39M37S | 294.6 |
| 39.43 | 46 | 0H39M41S | 294.9 |
| 39.65 | 47 | 0H39M58S | 297.3 |
| 39.82 | 47 | 0H40M11S | 299.1 |
| 39.88 | 47 | 0H40M15S | 299.7 |
| 39.95 | 47 | 0H40M21S | 300.1 |
| 40.24 | 47 | 0H40M43S | 301.6 |
| 40.40 | 50 | 0H40M55S | 303.2 |
| 40.46 | 51 | 0H40M59S | 303.8 |
| 40.50 | 51 | 0H41M 2S | 304.2 |
| 40.65 | 53 | 0H41M12S | 305.6 |
| 40.73 | 53 | 0H41M18S | 306.4 |
| 41.01 | 53 | 0H41M37S | 308.0 |
| 41.14 | 53 | 0H41M45S | 309.2 |
| 41.25 | 53 | 0H41M53S | 309.8 |
| 41.35 | 53 | 0H42M 0S | 310.8 |
| 41.90 | 53 | 0H42M37S | 315.4 |
| 41.97 | 52 | 0H42M42S | 315.8 |
| 42.00 | 52 | 0H42M44S | 315.9 |
| 42.27 | 50 | 0H43M 3S | 317.4 |
| 42.41 | 50 | 0H43M13S | 318.8 |
| 42.51 | 50 | 0H43M20S | 319.8 |

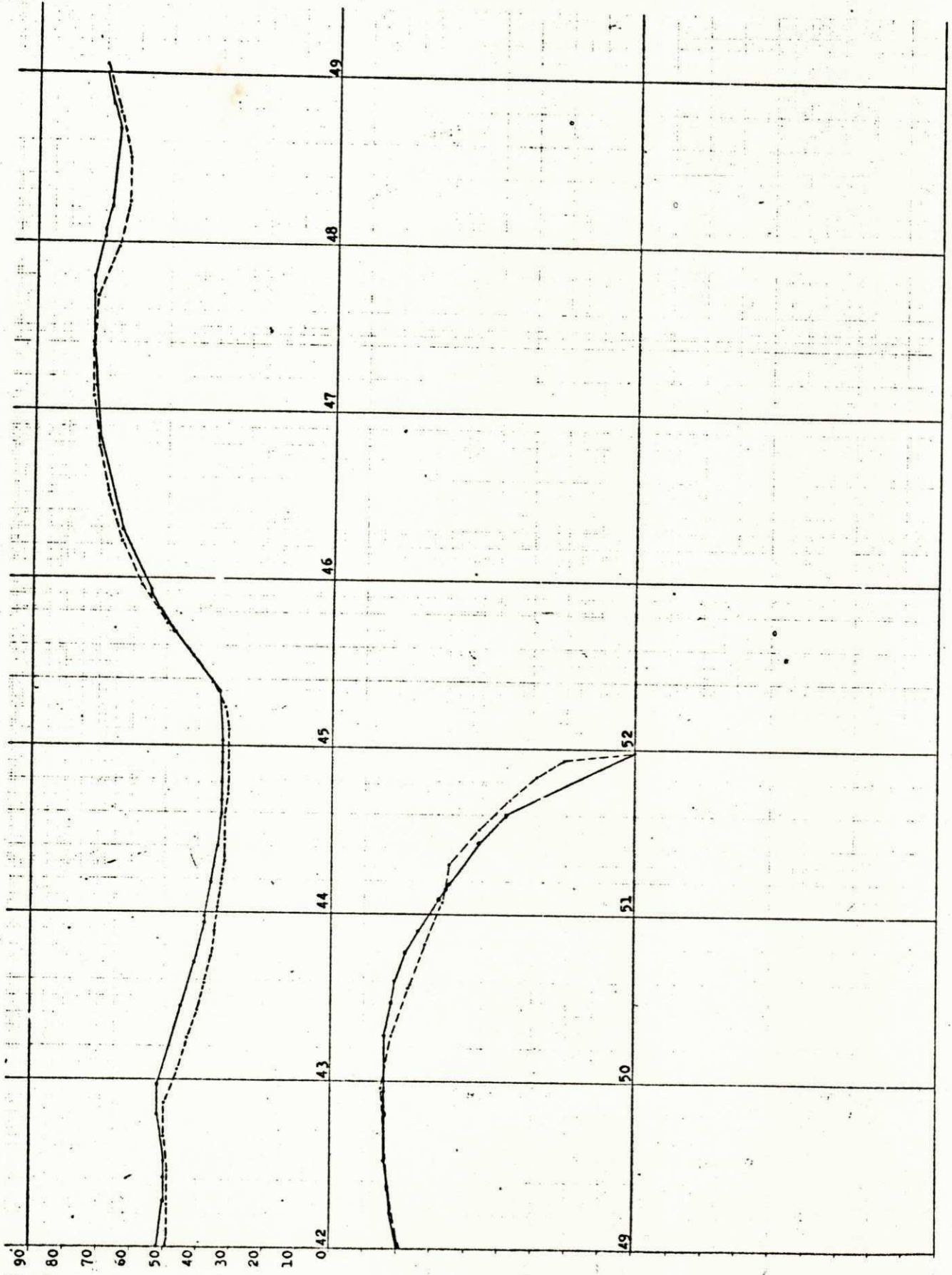
| | | | |
|------------------------|----|----------|------------------|
| 42.79 | 52 | 0H43M40S | 322.2 |
| 42.97 | 52 | 0H43M52S | 323.2 |
| 43.44 | 45 | 0H44M27S | 325.7 |
| 43.70 | 41 | 0H44M49S | 327.0 |
| 43.94 | 38 | 0H45M11S | 328.1 |
| 43.98 | 38 | 0H45M15S | 328.3 |
| 44.18 | 36 | 0H45M35S | 329.2 |
| 44.40 | 34 | 0H45M57S | 330.2 |
| 44.59 | 33 | 0H46M18S | 331.0 |
| 44.67 | 33 | 0H46M27S | 331.4 |
| 44.71 | 33 | 0H46M31S | 331.5 |
| 44.78 | 33 | 0H46M39S | 331.8 |
| 44.90 | 33 | 0H46M52S | 332.4 |
| 44.96 | 33 | 0H46M58S | 332.6 |
| 45.03 | 33 | 0H47M 6S | 333.0 |
| 45.33 | 34 | 0H47M39S | 336.2 |
| 45.69 | 48 | 0H48M11S | 340.6 |
| 45.83 | 53 | 0H48M21S | 342.0 |
| 45.90 | 55 | 0H48M26S | 342.6 |
| 45.93 | 55 | 0H48M28S | 342.9 |
| 46.29 | 64 | 0H48M49S | 345.9 |
| 46.84 | 71 | 0H49M18S | 349.9 |
| 47.00 | 72 | 0H49M26S | 351.0 |
| 47.14 | 72 | 0H49M33S | 352.0 |
| 47.35 | 73 | 0H49M44S | 353.5 |
| 47.40 | 73 | 0H49M46S | 353.8 |
| 47.69 | 73 | 0H50M 1S | 355.8 |
| 47.70 | 73 | 0H50M 1S | 355.9 |
| 47.79 | 73 | 0H50M 6S | 356.5 |
| 48.03 | 70 | 0H50M18S | 358.2 |
| 48.07 | 70 | 0H50M20S | 358.5 |
| 48.21 | 68 | 0H50M27S | 359.4 |
| 48.25 | 68 | 0H50M29S | 359.7 |
| 48.67 | 66 | 0H50M52S | 362.5 |
| 48.82 | 68 | 0H51M 0S | 363.6 |
| 49.21 | 72 | 0H51M20S | 366.4 |
| 49.37 | 73 | 0H51M28S | 367.5 |
| 49.52 | 74 | 0H51M35S | 368.5 |
| 49.80 | 74 | 0H51M49S | 370.4 |
| 49.94 | 74 | 0H51M55S | 371.3 |
| 50.27 | 74 | 0H52M12S | 373.6 |
| 50.47 | 72 | 0H52M21S | 375.0 |
| 50.60 | 71 | 0H52M28S | 375.9 |
| 50.77 | 68 | 0H52M37S | 377.1 |
| 50.90 | 64 | 0H52M44S | 377.9 |
| 51.09 | 58 | 0H52M55S | 379.1 |
| 51.15 | 56 | 0H52M59S | 379.5 |
| 51.18 | 55 | 0H53M 1S | 379.6 |
| 51.43 | 46 | 0H53M19S | 380.9 |
| 51.60 | 38 | 0H53M34S | 381.9 |
| 51.98 | 0 | 0H54M50S | 383.6 |
| ESTACAO DE ESCADA***** | | | QUILOMETRO 51.98 |

ANEXO 10

GRÁFICOS DE VELOCIDADE X DISTÂNCIA PARA OS MODELOS







A N E X O 11

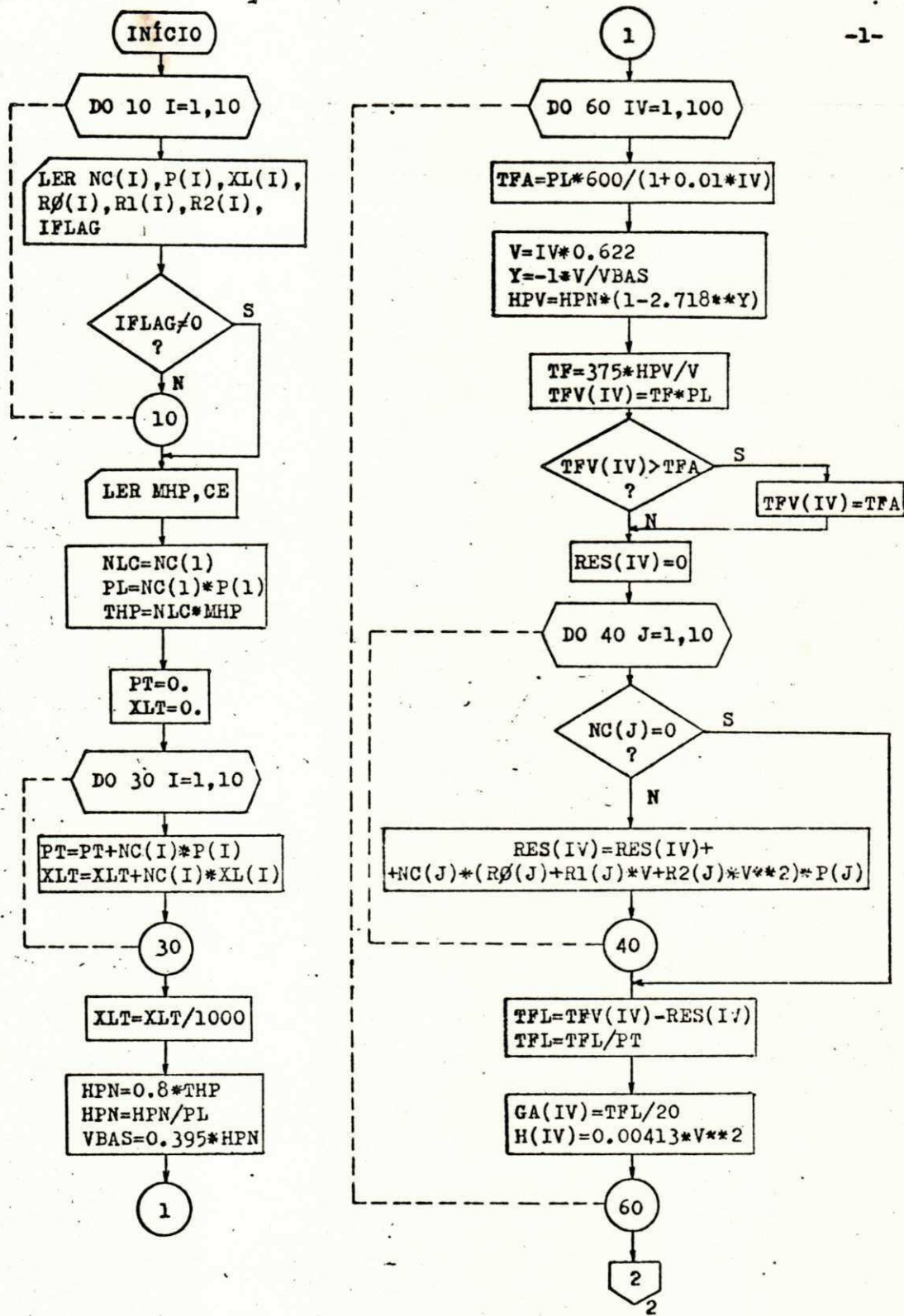
LISTA DE VARIÁVEIS UTILIZADAS NO PROGRAMA "TPC NORDESTINO"

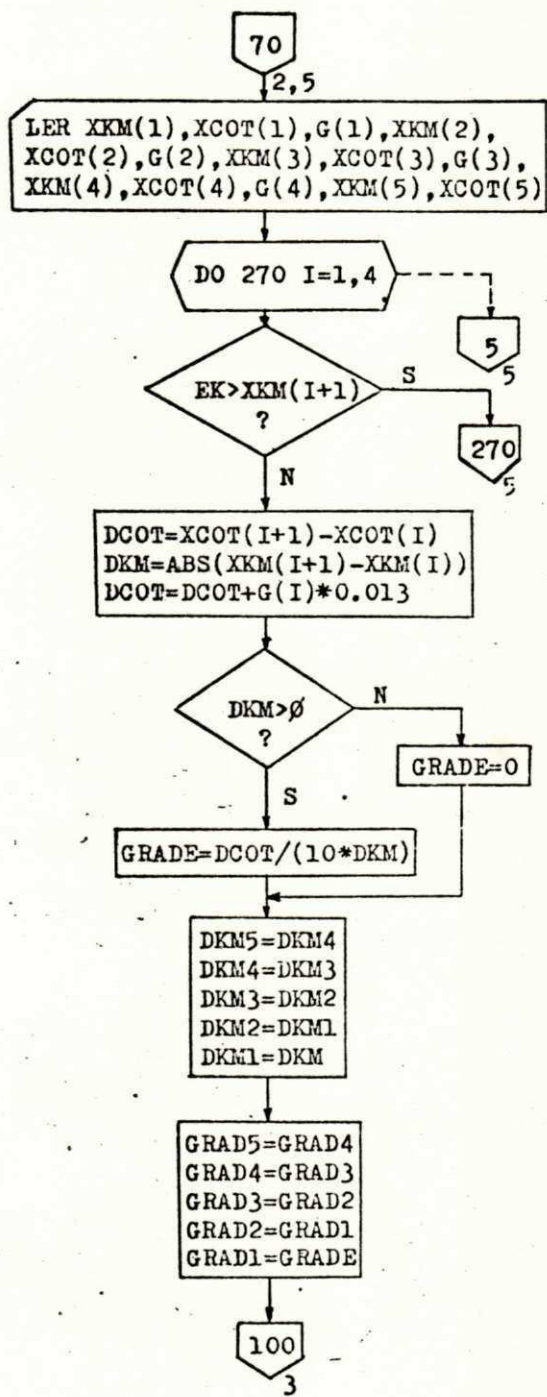
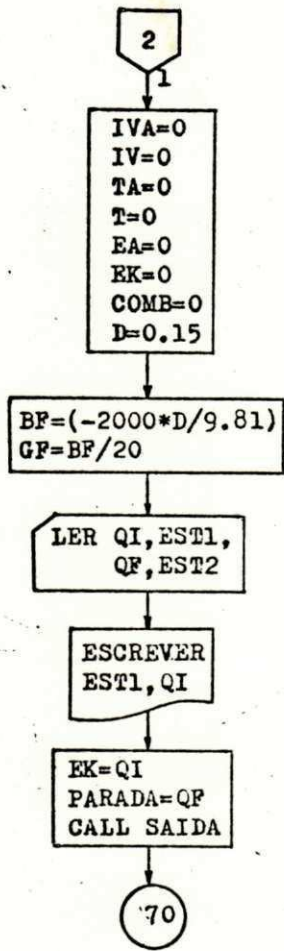
BF - FORÇA DE FRENAGEM (LIBRAS)
 CE - CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL (L9/HP.H)
 COMB - CONSUMO ACUMULADO DE COMBUSTÍVEL (LITROS)
 CONS - CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (GALDES)
 D - DESACELERAÇÃO NA FRENAGEM (M/S**2)
 DCOT - DIFERENÇA DE COTAS (M)
 DIST - DISTÂNCIA PERCORRIDA EM CADA MUDANÇA DE VELOCIDADE (KM)
 DKM - DIFERENÇA DE QUILOMETRAGEM
 DKM1 - COMPRIMENTO DO PRIMEIRO TRECHO DE GREIDE SOB O TREM (KM)
 DKM2 - IDEM, SEGUNDO TRECHO
 DKM3 - IDEM, TERCEIRO TRECHO
 DKM4 - IDEM, QUARTO TRECHO
 DKM5 - IDEM, QUINTO TRECHO
 DPAR - DISTÂNCIA DE FRENAGEM (KM)
 DT - TEMPO TRANSCORRIDO EM CADA MUDANÇA DE VELOCIDADE (S)
 EA - ESPAÇO ANTERIOR (KM)
 EK - ESPAÇO TOTAL PERCORRIDO (KM)
 EKD - VARIÁVEL AUXILIAR
 EKP - VARIÁVEL AUXILIAR
 EKX - VARIÁVEL AUXILIAR
 ESF - ESFORÇO TRATOR CONSIDERADO NO CÁLCULO DO CONSUMO (LIBRAS)
 EST1 - NOME DA ESTAÇÃO INICIAL
 EST2 - NOME DA ESTAÇÃO FINAL
 G - ÂNGULO CENTRAL DAS CURVAS (GRAUS)
 GA - GREIDE DE ACELERAÇÃO PARA CADA VELOCIDADE (%)
 GF - GREIDE DE FRENAGEM (%)
 GRADE - GREIDE SOB A DIANTEIRA DO TREM E, DEPOIS, O GREIDE EQUIVALENTE SOB TODA A EXTENSÃO DA COMPOSIÇÃO
 GRAD1 - VALOR DO GREIDE DO PRIMEIRO TRECHO SOB O TREM
 GRAD2 - IDEM, SEGUNDO TRECHO
 GRAD3 - IDEM, TERCEIRO TRECHO
 GRAD4 - IDEM, QUARTO TRECHO
 GRAD5 - IDEM, QUINTO TRECHO
 H - ALTURA CORRESPONDENTE A CADA VELOCIDADE (M)
 HPH - TRABALHO REALIZADO (HP.H)
 HPN - POTÊNCIA NAS RODAS MOTRIZES, EM HP/TON
 HPV - POTÊNCIA CORRESPONDENTE A CADA VELOCIDADE, EM HP/TON
 IC - VARIÁVEL QUE CONTROLA O ROTEIRO DE CÁLCULO
 IFLAG - "FLAG" DOS DADOS DA COMPOSIÇÃO
 IH - TEMPO EM HORAS
 III - INDICADOR DE ESFORÇO MÁXIMO DE TRACAO
 IM - TEMPO EM MINUTOS
 IMM - IDEM
 IP - VARIÁVEL QUE INDICA A NECESSIDADE DE FRENAGEM
 IS - TEMPO EM SEGUNDOS
 IV - VELOCIDADE NO PONTO, EM KM/H
 IVA - VELOCIDADE ANTERIOR, EM KM/H
 MHP - MÁXIMA POTÊNCIA ENTREGUE AO GERADOR PRINCIPAL (HP)
 NC - NÚMERO DE VEÍCULOS DE CADA TIPO NA COMPOSIÇÃO
 NLC - NÚMERO TOTAL DE LOCOMOTIVAS
 P - PESO DE CADA TIPO DE VEÍCULO (TON)
 PARADA - QUILOMETRAGEM DO PONTO DE PARADA
 PL - PESO TOTAL DAS LOCOMOTIVAS (TON)

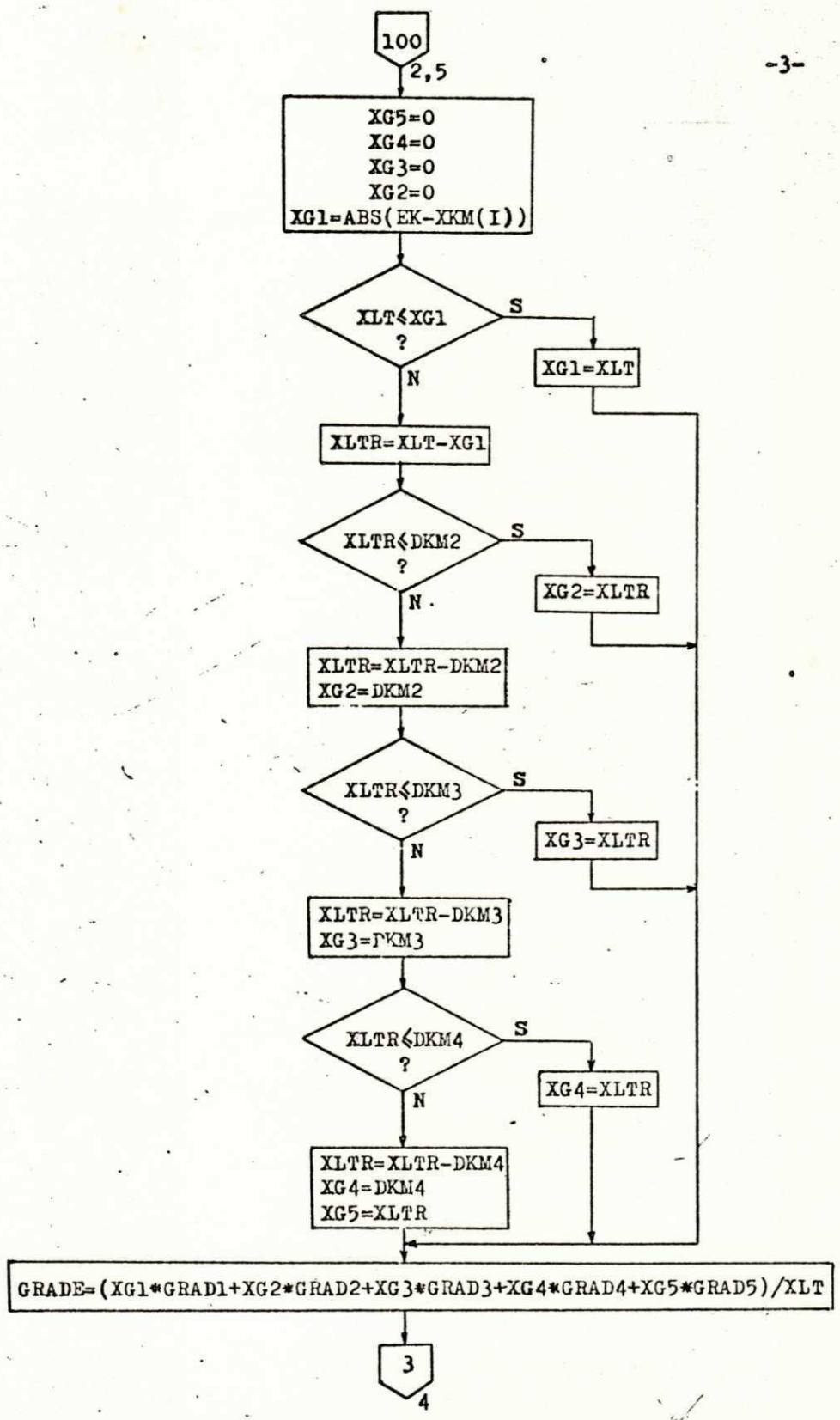
PT - PESO TOTAL DA COMPOSICAO (TON)
QF - QUILOMETRAGEM DA ESTACAO FINAL
QI - QUILOMETRAGEM DA ESTACAO INICIAL
RES - RESISTENCIA AO MOVIMENTO PARA CADA VELOCIDADE (LIBRAS)
R0 - COEFICIENTE DA FORMULA DE GAVIS
R1 - IDEM
R2 - IDEM
T - TEMPO DE PERCURSO ACUMULADO (S)
TA - TEMPO DE PERCURSO ANTERIOR (S)
TF - ESFORCO TRATOR NAS RODAS MOTRIZES (LB/TON)
TFA - ESFORCO TRATOR LIMITADO PELA ADERENCIA (LIBRAS)
TFL - ESFORCO TRATOR LIQUIDO (LIBRAS)
TFV - ESFORCO TRATOR PARA CADA VELOCIDADE (LIBRAS)
THP - POTENCIA TOTAL DAS LOCOMOTIVAS (HP)
TRAB - TRABALHO REALIZADO EM CADA DESLOCAMENTO (10**6 PES.LB)
V - VELOCIDADE EM MILHAS/HORA
VBAS - VELOCIDADE BASICA (MPH)
XCDT - COTA DOS PONTOS DE MUDANCA DE TRACADO (M)
XG1 - EXTENSAO OCUPADA PELO TREM NO PRIMEIRO TRECHO DE GREIDE
XG2 - IDEM, SEGUNDO TRECHO
XG3 - IDEM, TERCEIRO TRECHO
XG4 - IDEM, QUARTO TRECHO
XG5 - IDEM, QUINTO TRECHO
XKM - QUILOMETRAGEM DOS PONTOS DE MUDANCA DE TRACADO
XL - COMPRIMENTO DE CADA TIPO DE VEICULO (M)
XLT - EXTENSAO TOTAL DO TREM (KM)
XLTR - EXTENSAO RESTANTE DO TREM, EM RELACAO A UM TRECHO OCUPADO

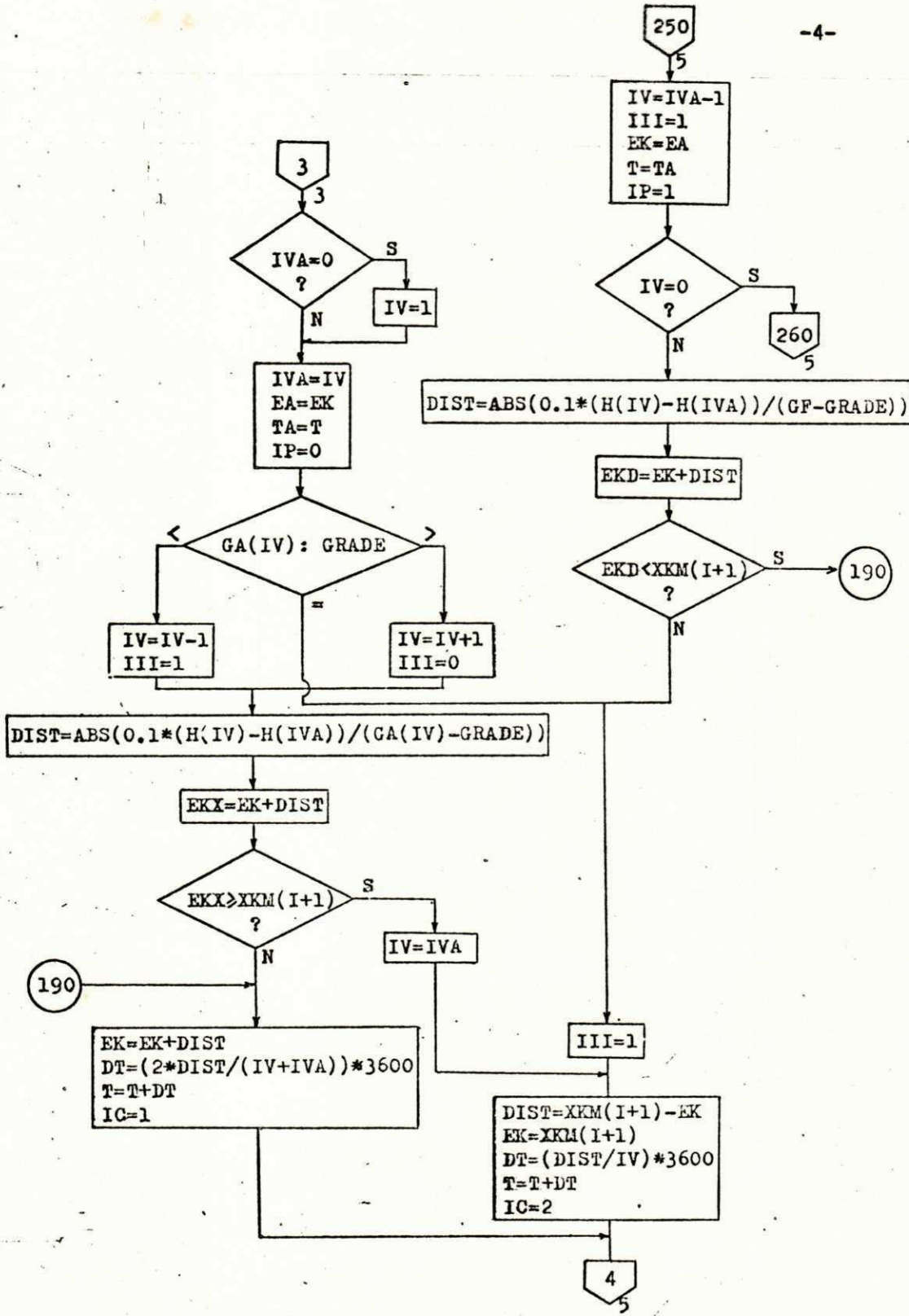
ANEXO 12

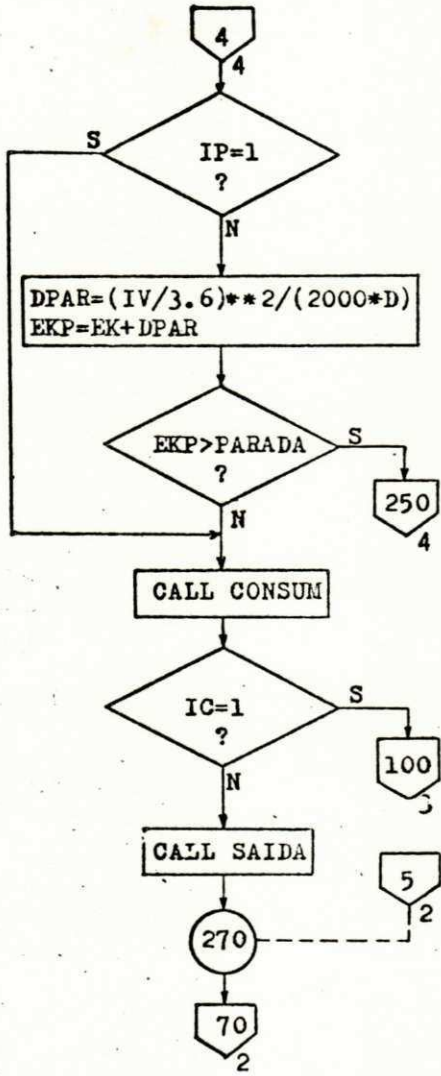
FLUXOGRAMA DO MODELO "TPC NORDESTINO"



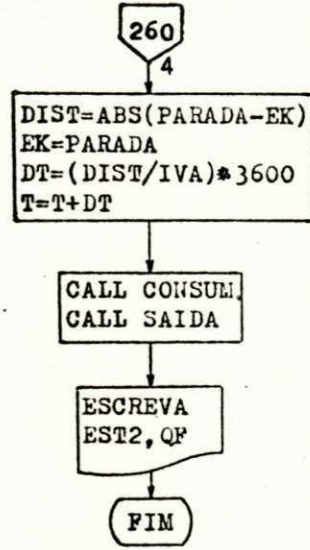
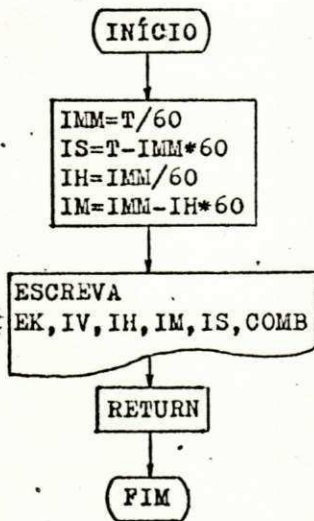




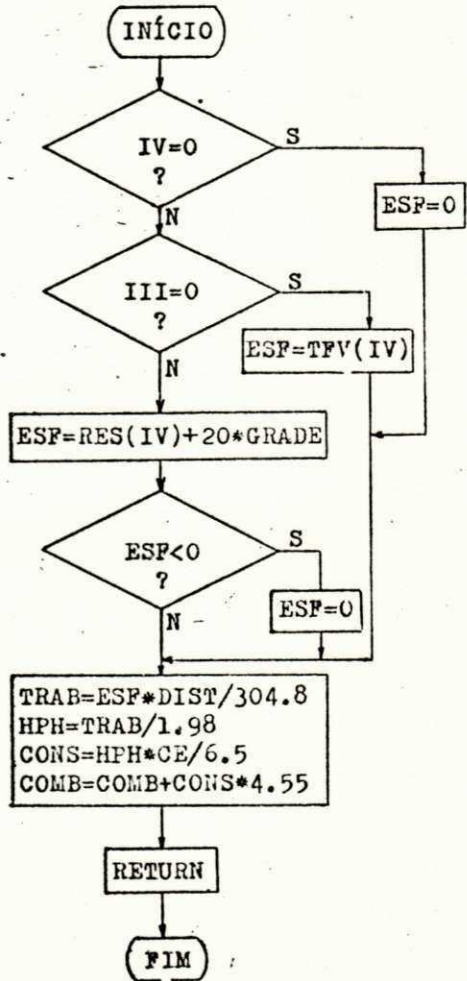




SUBROTINA SAIDA



SUBROTINA CONSUM



ANEXO 13

PROGRAMA FORTRAN DO MODELO "TPC NORDESTINO"

```

C      ESTE PROGRAMA FORNECE O TEMPO DE PERCURSO, AS VELOCIDADES E O
C      CONSUMO DE COMBUSTIVEL DE UMA COMPOSICAO CORRENDO SOBRE UMA
C      LINHA FERREA DADA, BASEANDO-SE NO CALCULO DOS "GREIDES DE
C      ACELERAÇÃO".
C
C      DADOS DA COMPOSICAO NO ARQUIVO "TREM.DAT".
C      DADOS DA LINHA NO ARQUIVO "TRILHO.DAT".
C      RESULTADOS NO ARQUIVO "TPCNOR.DAT".
C
C      DIMENSION NC(10),P(10),XL(10),RO(10),R1(10),R2(10)
C      DIMENSION GA(100),H(100),TFV(100),RES(100)
C      DIMENSION XKM(5),XCOT(5),G(5),EST1(3),EST2(3)
C      COMMON EK,T,IV,COMB,TFV,RES,GRADE,III,DIST,CE
C
C      ABERTURA DOS ARQUIVOS
C
C      OPEN(UNIT=1,NAME="TREM.DAT",TYPE="OLD")
C      OPEN(UNIT=2,NAME="TRILHO.DAT",TYPE="OLD")
C      OPEN(UNIT=3,NAME="TPCNOR.DAT",TYPE="NEW")
C
C      INICIALIZACAO DE VARIAVEIS
C
C      DATA GRAD1,GRAD2,GRAD3,GRAD4,GRAD5/5*0./
C      DATA DKM1,DKM2,DKM3,DKM4,DKM5/5*0./
C      DATA NC,P,XL,RO,R1,R2/10*0,50*0./
C
C      LEITURA DOS DADOS DA COMPOSICAO
C
C      DO 10 I=1,10
C      READ(1,1000)NC(I),P(I),XL(I),RO(I),R1(I),R2(I),IFLAG
1000  FORMAT(I5,2F5.1,3F5.4,I5)
C      IF(IFLAG.NE.0) GO TO 20
C      CCNTINUE
C      READ(1,1100)MHP,CE
1100  FORMAT(I5,F5.4)
C
C      CALCULO DA POTENCIA, PESO E COMPRIMENTO TOTAL DA COMPOSICAO
C
C      NLC=NC(1)
C      THP=NLC*MHP
C      PL=NC(1)*P(1)
C      PT=0
C      XLT=0
C      DO 30 I=1,10
C      PT=PT+NC(I)*P(I)
C      XLT=XLT+NC(I)*XL(I)
30    CONTINUE
C      XLT=XLT/1000
C
C      CALCULO DOS GREIDES DE ACELERAÇÃO E DAS CARGAS DE VELOCIDADE
C
C      HPN=0.8*THP
C      HPN=HPN/PI
C      VBAS=0.395*HPN
C      DO 60 IV=1,100
C      TFA=PL*600/(1+0.01*IV)
C      V=IV*0.622
C      Y=-1*V/VBAS
C      HPV=HPN*(1-2.718**Y)

```

```

TF=375*HPV/V
TFV(IV)=TF*PL
IF(TFV(IV).GT.TFA) TFV(IV)=TFA
RES(IV)=0
DO 40 J=1,10
IF(NC(J).EQ.0) GO TO 50
40 RES(IV)=RES(IV)+NC(J)*(R0(J)+R1(J)*V+R2(J)*V**2)*P(J)
50 TFL=TFV(IV)-RES(IV)
TFL=TFL/PT
GA(IV)=TFL/20
H(IV)=0.00413*IV**2
60 CONTINUE
C
C INICIALIZACAO DE VARIAVEIS
C
IVA=0
IV=0
TA=0
T=0
EA=0
EK=0
COMB=0
D=0.15
C
C CALCULO DO GREIDE DE FRENAGEM
C
BF=(-2000*D/9.81)
GF=BF/20
C
C LEITURA DAS ESTACOES INICIAL E FINAL
C
1200 READ(2,1200)QI,EST1,QF,EST2
FORMAT(F5.2,3A4,1X,F5.2,3A4)
WRITE(3,1300)EST1,QI
1300 TYPE 1300,EST1,QI
FORMAT(" ESTACAO DE ",3A4,5X," QUILOMETRO ",F6.2//)
C
C IMPRESSAO DO CABECALHO
C
WRITE(3,1400)
1400 TYPE 1400
FORMAT(3X,"KM",5X,"VEL",5X,"TEMPO",4X,"CONSUMO",/)
C
C DEFINICAO DA QUILOMETRAGEM INICIAL E FINAL
C
EK=QI
PARADA=QF
CALL SAIDA
C
C LEITURA DOS DADOS DE TRACADO
C
70 READ(2,1500,END=999)XKM(1),XCOT(1),G(1),XKM(2),XCOT(2),G(2)
1500 1,XKM(3),XCOT(3),G(3),XKM(4),XCOT(4),G(4),XKM(5),XCOT(5)
FORMAT(2F5.2,4(F5.0,2F5.2))
C
C CALCULO DO GREIDE NA DIANTEIRA DO TREM
C
DO 270 I=1,4
IF(EK.GT.XKM(I+1)) GO TO 270
DCOT=XCOT(I+1)-XCOT(I)

```

```

DKM=ABS(XKM(I+1)-XKM(I))
DCOT=DCOT+G(I)*0.013
IF(DKM.GT.0) GO TO 80
GRADE=0
GO TO 90
80  GRADE=DCOT/(10*DKM)
90  CONTINUE
C
C  TRANSFERENCIA DOS VALORES DE COMPRIMENTO DOS TRECHOS
C
DKM5=DKM4
DKM4=DKM3
DKM3=DKM2
DKM2=DKM1
DKM1=DKM
C
C  TRANSFERENCIA DOS VALORES DE GREIDE DOS TRECHOS
C
GRAD5=GRAD4
GRAD4=GRAD3
GRAD3=GRAD2
GRAD2=GRAD1
GRAD1=GRADE
C
C  CALCULO DO GREIDE EQUIVALENTE SOB O TREM
C
100 CONTINUE
XG5=0
XG4=0
XG3=0
XG2=0
XG1=ABS(EK-XKM(I))
IF(XLT.LE.XG1) GO TO 110
XLTR=XLT-XG1
IF(XLTR.LE.DKM2) GO TO 120
XLTR=XLTR-DKM2
XG2=DKM2
IF(XLTR.LE.DKM3) GO TO 130
XLTR=XLTR-DKM3
XG3=DKM3
IF(XLTR.LE.DKM4) GO TO 140
XLTR=XLTR-DKM4
XG4=DKM4
XG5=XLTR
GO TO 150
110 XG1=XLT
GO TO 150
120 XG2=XLTR
GO TO 150
130 XG3=XLTR
GO TO 150
140 XG4=XLTR
150 GRADE=(XG1*GRAD1+XG2*GRAD2+XG3*GRAD3+XG4*GRAD4+XG5*GRAD5)/XLT
C
IF(IVA.EQ.0) IV=1
IVA=IV
EA=EK
TA=T
IP=0
C

```

```

C      COMPARACAO DO GREIDE DE ACELERACAO COM O GREIDE DA VIA
C
160   IF(GA(IV)-GRADE)160,210,170
      IV=IV-1
      III=1
      GO TO 180
170   IV=IV+1
      III=0
180   DIST=ABS(0.1*(H(IV)-H(IVA)))/(GA(IV)-GRADE)
      EKX=EK+DIST
      IF(EKX.GE.XKM(I+1)) GO TO 200
190   EK=EK+DIST
      DT=(2*DIST/(IV+IVA))*3600
      T=T+DT
      IC=1
      GO TO 230
200   IV=IVA
      GO TO 220
210   III=1
220   DIST=XKM(I+1)-EK
      EK=XKM(I+1)
      DT=(DIST/IV)*3600
      T=T+DT
      IC=2
230   IF(IP.EQ.1) GO TO 240
C
C      VERIFICA A DISTANCIA DE FRENAGEM ATE O PONTO DE PARADA
C
      DPAR=(IV/3.6)**2/(2000*D)
      EKP=EK+DPAR
      IF(EKP.GT.PARADA) GO TO 250
C
C      CALCULO DO CONSUMO E IMPRESSAO DOS RESULTADOS
C
240   CALL CONSUM
      IF(IC.EQ.1) GO TO 100
      CALL SAIDA
      GO TO 270
C
C      FRENAGEM DA COMPOSICAO
C
250   IV=IVA-1
      III=1
      EK=EA
      T=TA
      IP=1
      IF(IV.EQ.0) GO TO 260
      DIST=ABS(0.1*(H(IV)-H(IVA)))/(GF-GRADE)
      EKD=EK+DIST
      IF(EKD-XKM(I+1))190,210,210
C
C      PARADA DA COMPOSICAO
C
260   DIST=ABS(PARADA-EK)
      EK=PARADA
      DT=(DIST/IVA)*3600
      T=T+DT
      CALL CONSUM
      CALL SAIDA
      WRITE(3,1300)EST2,QF

```



```

TYPE 1300,EST2,QF
GO TO 999
270 CONTINUE
GO TO 70
999 STOP
END

SUBROUTINE SAIDA
C
C : ESTA SUBROTINA IMPRIME OS DADOS DE SAIDA
C
COMMON EK,T,IV,COMB,TFV,RES,GRADE,III,DIST,CE
C
C : CALCULO DO TEMPDO EM HORAS, MINUTOS E SEGUNDOS
C
IMM=T/60
IS=T-IMM*60
IH=IMM/60
IM=IMM-IH*60
WRITE(3,1600)EK,IV,IH,IM,IS,COMB
1600. FORMAT(1X,F6.2,3X,I3,3X,I2,"H",I2,"M",I2,"S",3X,F6.1)
TYPE 1700,EK,IV,IH,IM,IS,COMB
1700. FORMAT(1H+,F6.2,3X,I3,3X,I2,"H",I2,"M",I2,"S",3X,F6.1)
RETURN
END

SUBROUTINE CONSUM
C
C : ESTA SUBROTINA CALCULA O CONSUMO DE COMBUSTIVEL PELO METODO
C : DO TRABALHO REALIZADO
C
DIMENSION TFV(100),RES(100)
COMMON EK,T,IV,COMB,TFV,RES,GRADE,III,DIST,CE
IF(IV.EQ.0)GO TO 20
IF(III.EQ.0) GO TO 10
C
C : O ESFORCO E IGUAL AA RESISTENCIA TOTAL
C
ESF=RES(IV)+20*GRADE
IF(ESF.LT.0) ESF=0
GO TO 30
C
C : O ESFORCO E IGUAL AO ESFORCO TRATOR NA VELOCIDADE DADA
C
10 ESF=TFV(IV)
GO TO 30
20 ESF=0
30 CONTINUE
C
TRAB=ESF*DIST/304.8
HPH=TRAB/1.98
CONS=HPH*CE/6.5
COMB=COMB+CONS*4.55
RETURN
END

```