

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA A ANÁLISE DE  
PRODUTIVIDADE DE EQUIPAMENTOS RODOVIÁRIOS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA  
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

RICARDO MIRANDA BARCIA

FLORIANÓPOLIS  
SANTA CATARINA - BRASIL  
JANEIRO - 1980

UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA A ANÁLISE DE  
 PRODUTIVIDADE DE EQUIPAMENTOS RODOVIÁRIOS

RICARDO MIRANDA BARCIA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

"MESTRE EM ENGENHARIA"

ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA EM SUA FOR  
 MA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO:



PROF. LEONARDO ENSSLIN, Ph.D.

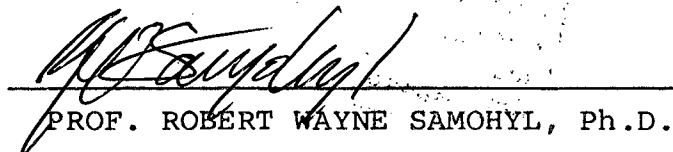
COORDENADOR

APRESENTADA PERANTE A BANCA EXAMINADORA COMPOSTA DOS PRO-  
 FESSORES:



PROF. RAUL VALENTIM DA SILVA

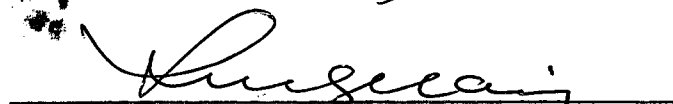
PRESIDENTE



PROF. ROBERT WAYNE SAMOHYL, Ph.D.



PROF. ALCEU RIBEIRO ALVES, M.Sc.



PROF. LUIZ JACINTO MAIA, M.Sc.



0.249.225-6

UFSC-BU

À meus pais

José e

Inã

À minha esposa

Marlene

Ao meu filho

Ricardo

## A G R A D E C I M E N T O S

Manifesto meus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas:

- ao amigo MARCOS ANTONIO ZAMPIERI NUNES, pelo apoio e amizade demonstrados.

- ao Prof. RAUL VALENTIM DA SILVA pela orientação no desenvolvimento deste trabalho.

- ao Prof. LUIZ FERNANDO JACINTO MAIA pelo interesse que acompanhou este trabalho e pelas suas proveitosas sugestões.

- aos Professores ALCEU RIBEIRO ALVES e ROBERT WAYNE SAMOBYL pelo interesse demonstrado

- aos funcionários do Núcleo de Processamento de Dados da UFSC, e em especial ao analista IRINEU THEISS.

- aos colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil pelo incentivo.

- a todas as pessoas, que direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## R E S U M O

Os critérios atualmente utilizados para a determinação da produção de equipes mecânicas de Tratores e Motoscrapers realizando Escavação, Carga e Transporte de Material, não levam em consideração o caráter estocástico do processo.

Neste trabalho desenvolveu-se um modelo computacional que simula as operações das referidas equipes mecânicas incorporando as reais condições do funcionamento do sistema.

Numa primeira etapa é feita uma análise estatística de tempos medidos de operação de Tratores e Motoscrapers, objetivando o conhecimento do processo e a determinação dos parâmetros necessários ao modelo.

Segue-se a apresentação do modelo desenvolvido e o confronto dos resultados obtidos com sua utilização e dos obtidos através de outros critérios.

## ABSTRACT

The criteria actually used to determine the production of teams of mechanics gangs of tractors and motoscrapers, performing excavation, loading and transport of material do not consider the stochastic character of the process.

A computational model was developed that simulates the operations of the production teams, incorporating the real working conditions of the system.

First a statistical analysis was made of measured operation times of tractors and motoscrapers in order to understand the process and to determine the relevant parameters for the model.

In a second step a planning model was developed for predicting operations times. As well as the comparison between the results obtained from its use, results obtained through other different criteria are analysed.

S U M Á R I O

	Pag.
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Propósito .....	1
1.2. Importância .....	2
1.3. Limitações do Trabalho .....	3
1.4. Organização do Trabalho .....	3
 <b>CAPÍTULO II</b>	
2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	4
 <b>CAPÍTULO III</b>	
3. CRITÉRIOS EXISTENTES PARA O DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES DE TRATORES MOTOSCRAPERS .....	7
3.1. Critério Atualmente Utilizado .....	7
3.2. Critério Alternativo .....	7
3.2.1. Introdução .....	7
3.2.2. Metodologia Utilizada .....	8
3.2.3. Critérios Recomendados para o Dimen- sionamento das Equipes Mecânicas ...	10
3.2.4. Considerações sobre o Critério Expos- to .....	11
3.3. Outros Critérios .....	11

## CAPÍTULO IV

	Pag.
4. ANÁLISE DOS TEMPOS DE OPERAÇÃO .....	13
4.1. Introdução .....	13
4.2. Metodologia da Análise .....	14
4.3. Considerações Sobre os Testes Estatísticos Utili- zados .....	15
4.4. Análise dos Tempos de Motoscrapers .....	16
4.4.1. Análise Estatística dos Tempos de Carga .	18
4.4.2. Análise Estatística dos Tempos de Descar- ga .....	22
4.4.3. Análise Estatística dos Tempos de Trans - porte .....	25
4.4.4. Análise Estatística dos Tempos de Retorno	28
4.5. Análise dos Tempos dos Tratores .....	32
4.5.1. Análise Estatística dos Tempos de Pusher.	33
4.5.2. Análise Estatística dos Tempos de Retorno	35
4.5.3. Análise Estatística dos Tempos de Avanço.	37
4.5.4. Considerações Finais sobre os Tempos de Tratores .....	39

## CAPÍTULO V

5. MODELO DE SIMULAÇÃO .....	40
5.1. Introdução .....	40
5.2. Parâmetros de Entrada do Modelo .....	40
5.3. Controle do Modelo .....	41
5.4. Desenvolvimento do Modelo .....	42



5.5. Subrotina Modelo .....	43
5.6. Resultados Obtidos com a Simulação .....	46
5.7. Validação do Modelo .....	47

## CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	53
6.1. Introdução .....	53
6.2. Informações Necessárias .....	53
6.3. Caracterização das Populações .....	54
6.4. Investigação dos Fatores que Influem no Proce- so .....	55
6.5. Conclusões .....	56
BIBLIOGRAFIA .....	57
ANEXO 1 - SUBROTINA MODELO .....	58
ANEXO 2 - PROGRAMA DE ANÁLISE DE DADOS .....	

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Entre os fatores de grande importância na elaboração de orçamentos de obras rodoviárias, está a determinação da produtividade das equipes mecânicas, pois é com base principalmente na produção horária destas mesmas equipes que se estabelece o custo de diversos serviços necessários à execução de uma rodovia.

### 1.1. PROPÓSITO

O objetivo primordial deste trabalho é a elaboração de uma metodologia que permita a análise e determinação do desempenho de equipes de Moto-scrapers (Moto-Escavo-Transportadores) e Tratores realizando Escavação e Transporte de Material de 1ª Categoria, sob diversas condições de operação.

Para atingir esta finalidade foram necessárias a análise sistemática das várias etapas componentes do processo, bem como a concepção, desenvolvimento, ajustamento e implementação de um modelo em computador, que simule as operações de diferentes configurações de equipes de Tratores e Moto-scrapers.

Constatou-se através de observações realizadas no sistema real que o mal dimensionamento das equipes mecânicas pode levar, em alguns casos, equipamentos a permanecerem ociosos até 30% do tempo de serviço, devido unicamente à formação de filas.

Ao empregar a simulação para estudar o comportamento do processo, pretendeu-se conseguir a verificação de aspectos inerentes ao seu funcionamento, cuja constatação tornar-se-ia de outra maneira inviável, devido a grande diversidade de situações e ao grande número de observações necessárias.

## 1.2. IMPORTÂNCIA

Do ponto de vista dos Órgãos públicos contratantes de serviços rodoviários e das empresas que atuam na área, existe um consenso geral de que é necessária uma total reformulação dos critérios utilizados para orçar e apropriar custos de obras rodoviárias, pois o quadro que hoje se apresenta é de uma total insegurança com respeito a orçamentos realizados com o método existente.

A realização de pesquisas com finalidade precípua de determinação da produtividade e custos de obras rodoviárias está incluída como área prioritária no IIº Plano Brasileiro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Está sendo atualmente executado sob a supervisão do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, um vasto programa de pesquisas sobre Produtividade e Custos de Obras Rodoviárias, sendo um dos objetivos a determinação de parâmetros de produtividade representati - vos das reais condições de trabalho das empresas construtoras, em diversas regiões do país.

O serviço considerado Escavação e Transporte de Material de 1ª Categoria, está enquadrado, conforme classificação do D.N.E.R. em uma categoria de serviços denominada Serviços Gerais de Transporte, cujo custo absorve uma parcela substancial dos gastos totais de implantação de uma rodovia.

Nesta categoria de serviços, há basicamente dois tipos de equipamentos envolvidos: Motoscrapers e Tratores.

Os custos de aquisição, a preços de junho de 1979 destes equipamentos, variavam entre 4,5 a 10 milhões de cruzeiros para o Motoscraper e entre 4 a 10 milhões de cruzeiros para o Trator. Os custos horários de locação situavam-se respectivamente nas faixas de Cr\$ 1700,00 a Cr\$ 3800,00 e de Cr\$ 1600,00 a Cr\$ 3800,00.

Devido ao alto custo dos equipamentos envolvidos e conseqüentemente da execução dos serviços, acredita-se ser de grande valia a nova abordagem proposta, pois constitui um sensível aprofundamento no conhecimento do processo, permitindo analisar objetivamente, na fase de planejamento da execução, as consequências da,

alocação de determinada equipe mecânica, para a realização de certo serviço.

### 1.3. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As informações utilizadas foram levantadas para suprir as necessidades de uma pesquisa que vem sendo realizada com objetivo diverso ao do presente trabalho. Como o experimento estatístico projetado na referida pesquisa possui finalidades outras que o conhecimento do comportamento dos tempos de operação, necessários ao desenvolvimento de um modelo de simulação, procurou-se tirar o máximo proveito das informações disponíveis. Entretanto, permaneceram algumas deficiências que só poderão ser superadas com um novo levantamento especialmente projetado para obter os dados estritamente necessários na forma adequada.

### 1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 2, é apresentada a classificação estabelecida das etapas constituintes dos ciclos dos equipamentos.

Os critérios existentes para o dimensionamento de equipes mecânicas é apresentado no capítulo 3.

A análise efetuada para a obtenção dos parâmetros necessários ao modelo de simulação é apresentada no capítulo 4.

O modelo proposto com a análise dos resultados obtidos é apresentado no capítulo 5.

O capítulo final apresenta as conclusões e recomendações para a aplicação do modelo e considerações para a realização de futuras pesquisas.

## CAPÍTULO 2

### FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Com exceção dos Motoscrapers auto-carregáveis, em situações muito favoráveis, os demais equipamentos deste tipo necessitam, no momento em que executam a escavação (carga), de tração adicional fornecida pelo Trator.

Além da operação de escavação e carga que realiza simultaneamente no trecho em "corte", o Motoscraper transporta o material até o local do "bota-fora", realiza ali a descarga e depois retorna até o "corte" onde, dependendo da disponibilidade de Trator, inicia novo ciclo.

O Trator, por sua vez, ao mesmo tempo em que o Motoscraper realiza o posicionamento para o início da "carga", desloca-se até o mesmo, fornece a tração necessária (realiza o "pusher") e, coincidentemente com o término da carga do Motoscraper, retorna à posição inicial, onde permanece até a chegada de outro Motoscraper, para realizar a carga.

Se a duração dos ciclos de operação de cada equipamento fossem constantes, seria extremamente simples a determinação da configuração mais econômica para a realização de determinado serviço. Entretanto, tal fato não acontece, pois os tempos de ciclo se comportam como variáveis aleatórias, obedecendo a determinadas distribuições de probabilidade, variando segundo condições específicas de operação.

Normalmente, existe a formação de filas no sistema e, se Tratores adicionais forem alocados para reduzir ou eliminar a perda de tempo do Motoscraper, pode ocorrer que o aumento de produção não seja suficiente para compensar o incremento de custo decorrente dos tratores adicionais (ref 9).

O problema consiste em, estabelecidas as condições de operação do sistema real, determinar a produção da equipe mecânica

ca de Tratores e Motoscrapers, tendo uma medida das possíveis variações desta determinação.

Por condições de operação do sistema entendem-se, diferentes distâncias de transporte, influência de fatores locais e climáticos, influência do estado do equipamento e do operador, bem como o emprego de distintas configurações de equipes de Tratores e Motoscrapers.

Para que se atinjam os objetivos colimados, são necessários não só o estudo detalhado das diversas etapas do processo, e do mesmo como um todo, como também o estabelecimento de uma metodologia adequada, que permita, com razoável precisão, o levantamento das informações necessárias e pertinentes.

Para efeito de classificação dos tempos de operação, as seguintes definições serão adotadas:

Tempo de Trabalho Produtivo - Tempo efetivamente dispendido na execução do serviço.

Tempo de Trabalho Improdutivo - Tempo em que o equipamento, embora funcionando, não contribui diretamente para a execução do serviço.

Tempo de Trabalho Improdutivo Inevitável - Tempo dispendido em virtude de circunstâncias fora de controle, porém ligadas à execução do serviço.

Tempo de Carga do Motoscraeper - É o espaço de tempo em que o Motoscraeper permanece com a lâmina em contato com o solo, realizando a escavação e carga simultâneas.

Tempo de Descarga do Motoscraeper - É o espaço de tempo decorrido entre o instante em que é acionado o ejetor do Motoscraeper e o instante em que se verifica o fim do despejo do material transportado.

Tempo de Transporte do Motoscraeper - É o espaço de tempo decorrido entre o término da carga e o início da descarga, do qual são descontadas as possíveis paralizações.

Tempo de Retorno do Motoscra<sub>p</sub>er - É o espaço de tempo decorrido entre o fim da descarga e o posicionamento no corte para início da carga, descontadas as possíveis paralizações.

Tempo Fixo - É a soma dos tempos de Carga e Descarga do Motoscra<sub>p</sub>er.

Tempo de "Pusher" do Trator - É o espaço de tempo em que o trator fornece tração ao Motoscra<sub>p</sub>er, no corte.

Tempo de Retorno do Trator - É o espaço de tempo decorrido entre o término do "Pusher" e o posicionamento no início do corte, para aguardar a chegada de outro Motoscra<sub>p</sub>er.

Tempo de Avanço do Trator - É o espaço de tempo decorrido entre o instante em que o trator inicia seu movimento em direção ao Mo<sub>t</sub>oscra<sub>p</sub>er e o instante em que chega a este para iniciar o "Pusher", no corte.

## CAPÍTULO 3

### CRITÉRIOS EXISTENTES PARA O DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES DE TRATORES E MOTOSCRAPERS

#### 3.1. CRITÉRIO ATUALMENTE UTILIZADO

O manual de composições de custos de serviços, elaborado pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (ref.4), limita-se a apresentar para única distância média de transporte e uma única configuração de equipamentos, as seguintes médias dos tempos de operação.

Escavação e Transporte de Material de 1ª Categoria, com Moto-Escavo-Transportador e Distância Média de Transporte (DM) = 500m\*.

EQUIPAMENTO	MOTOSCRAPER	TRATOR
Tempo Fixo (Carga, Descarga e Manobra)	1.30 min	0.95 min
Tempo de Percurso (ida)	1.77 min	0.32 min
Tempo de Retorno	<u>1.16 min</u>	<u>0.10 min</u>
Tempo Total de Ciclo	4.23 min	1.37 min

Observe-se que a especificação das etapas utilizadas no manual do D.N.E.R. difere da adotada no presente trabalho.

#### 3.2. CRITÉRIO ALTERNATIVO

##### 3.2.1. INTRODUÇÃO

Dentre os estudos realizados, cabe citar o trabalho Anã

---

\* Ressalte-se que a equipe recomendada é constituída de 3 Motoscrapers e 1 Trator.



lise do Desempenho de Equipamentos na Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª Categoria (ref.5).

Este trabalho consistiu no levantamento de dados em canteiros de obra situados na Região Sudeste, seguido da correspondente análise estatística visando o estudo do processo e a determinação de parâmetros de produtividade.

A metodologia empregada foi análoga à empregada nos E.U.A., pelo Highway Research Board (ref.5).

3.2.2. METODOLOGIA UTILIZADA

Para o levantamento dos tempos, o citado trabalho (ref.2) empregou dois métodos: Cronometragens e Observações Instantâneas.

O levantamento foi realizado em 10 canteiros de obra, variando o tempo de observação por canteiro entre 100 e 600 horas.

Partindo dos dados obtidos desta forma, foram calculados os tempos médios de realização de cada etapa do ciclo dos equipamentos, com o critério expresso no seguinte exemplo referente a um determinado canteiro.

Tempo total de carga	=	40.7 horas
Total de ciclos realizados	=	2724 ciclos
Tempo de carga médio	=	$\frac{40.7h \times 60min/h}{2724 \text{ ciclos}} = 0.90min/ciclo$

Procedendo analogamente com relação às outras situações, foi confeccionado em quadro que fornece para cada canteiro pesquisado e respectiva distância de Transporte, as médias dos tempos de Carga, Transporte, Descarga, Retorno e Tempo Improdutivo.

Feito isto, foi definido o Tempo Total de Viagem como sendo a soma dos Tempos de Transportes e Retorno, sendo efetuada uma análise de correlação entre estes tempos totais de viagem e as correspondentes semi-distâncias médias de percurso.

Efetuada o ajustamento, a curva que obteve o maior coefi

coefficiente de correlação (0,85) foi a exponencial. Adotada esta curva foram então determinadas curvas estabelecendo intervalos de confiança que contivessem em 95% dos casos a média dos tempos de viagem como função da semi-distância de transporte.

A soma dos Tempos de Carga e Descarga foi denominada Tempo Fixo, sendo determinada sua média e calculado um intervalo de confiança de 95% para representar o comportamento dos Tempos Fixos.

Convencionou-se, a seguir, que o Ciclo Produtivo seria a soma dos Tempos Fixos e dos Tempos de Viagem, sendo expresso este ciclo em função da semi-distância de transporte.

Foram também elaborados quadros representativos da produção horária dos Motoscrapers, em função da semi-distância de Transporte.

Cumprindo observar que na determinação desta produção horária foram considerados somente os tempos de trabalho produtivo, não sendo levadas em conta quaisquer perturbações no sistema.

O Tempo de Trabalho Improdutivo foi considerado determinando-se um coeficiente, obtido pela divisão do número total de horas improdutivas no canteiro pela produção obtida no mesmo.

Exemplificando:

Produção no canteiro A	= 40860 m <sup>3</sup>
Tempo Improdutivo no canteiro A	= 39,7 horas
Tempo Improdutivo médio	= $\frac{39,7 \text{ horas}}{40860 \text{ m}^3} = 0,0009716 \text{ h/m}^3$

Partindo das médias dos canteiros estudados, calculou-se uma média geral considerada, com o respectivo intervalo de confiança de 95%, como representativa da média de trabalho improdutivo regional.

Para o trator foi adotada a mesma metodologia, sendo obtido um quadro que expressa as médias de cada etapa e do ciclo total, estabelecendo-se o correspondente intervalo de confiança de

95% da média do ciclo total do trator.

De modo análogo ao que foi descrito para o Motoscraeper, foi determinado um coeficiente representativo do tempo improdutivo do trator em função da produção.

### 3.2.3. CRITÉRIO RECOMENDADO PARA O DIMENSIONAMENTO DAS EQUIPES MECÂNICAS

Transcrever-se-á, na íntegra, um exemplo de cálculo apresentado no trabalho em consideração.

#### DADOS

Semi-distância de Transporte	100m
Capacidade dos Motoscrapers	150m <sup>3</sup>
Produção horária por Motoscraeper	225m <sup>3</sup> /h
Ciclo do Motoscraeper	4,00min
Ciclo do Pusher	2,24min

#### CÁLCULO DOS MOTOSCRAPERS

Para que não haja tempo de espera dos Motoscrapers, deve-se ter 2 tratores e o mínimo de Motoscrapers será:

$$\frac{2 \times 4,00}{2,24} \text{ min} = 3,57 \text{ ou seja, } 3 \text{ Motoscrapers}$$

A produção horária será:

$$3\text{h} \times 225\text{m}^3/\text{h} = 675\text{m}^3$$

O consumo horário por m<sup>3</sup> será:

$$\text{Tempo produtivo} = \frac{3\text{h}}{675\text{m}^3} = 0,000444\text{h/m}^3$$

#### CÁLCULO DOS TRATORES

O intervalo médio entre 2 operações de Pusher será:

$$\frac{4\text{min}}{3} = 1,33\text{min ou } 2,66\text{min para cada trator}$$

O tempo improdutivo inevitável será:

$$TII = 3 \times \frac{60}{4,00} (2,66 - 2,24) = 18,9\text{min} \cong 0,315\text{h}$$

E o consumo de Trator Pusher será:

$$TP = \frac{2,00\text{h} - 0,31\text{h}}{675\text{m}^3} = 0,00250\text{h}/\text{m}^3$$

$$TII = \frac{0,315\text{h}}{675\text{m}^3} = 0,00047\text{h}/\text{m}^3$$

#### 3.2.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CRITÉRIO EXPOSTO

Vê-se, pelo exemplo de cálculo transcrito, que é recomendado a utilização dos tempos médios de ciclo para o dimensionamento das equipes mecânicas, não sendo considerados os efeitos da variabilidade dos tempos em torno destas médias.

No presente trabalho empregar-se-á um modelo de simulação, baseado num melhor conhecimento do comportamento probabilístico do sistema para incorporar a influência desta variação.

#### 3.3. OUTROS CRITÉRIOS

Na referência (9), encontra-se uma aplicação da Teoria das filas para o dimensionamento econômico de equipes mecânicas para escavação, envolvendo a determinação do número de caminhões necessários para atender uma escavadeira.

Saliente-se entretanto que a Teoria das Filas é de fácil aplicação quando se dispõe de uma única estação de atendimento (serviço). Um caso bem geral, com mais de uma estação de atendimento, (conforme simbologia de Kendall Fila M/M/C), exige a observância das seguintes premissas:

a) as chegadas são regidas por um processo de Poisson, com razão média constante.

b) existem  $C$  estações de atendimento em paralelo, todas com as mesmas características de operação.

c) o tempo de atendimento é regido por distribuição exponencial de parâmetro constante.

d) uma única fila é formada, entrando as unidades nos diversos postos de atendimento à medida que estes fiquem vagos.

Estudos recentes produziram aproximações não exatas para processos mais gerais em que os intervalos entre chegadas são regidos por uma distribuição qualquer (mas não estatisticamente independentes), e o tempo de atendimento segue também uma distribuição qualquer (Fila  $G1/G/C$ ).

O tratamento analítico da fila  $G1/G/C$ , envolve dificuldades matemáticas apreciáveis, mesmo quando existe somente uma única estação de atendimento (ref. 7).

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISE DOS TEMPOS DE OPERAÇÃO

#### 4.1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de analisar o comportamento do processo foram utilizadas amostras totalizando 12500 cronometragens, obtidas em 6 meses de observação.

Para o estudo dos tempos, foram consideradas as quatro etapas do ciclo do Motoscraper (Carga, Descarga, Transporte e Retorno) e as três etapas que constituem o ciclo do Trator (Pusher, Retorno e Avanço).

Para cada dia em que foram realizadas observações, dispõe-se de uma "folha de diário", que contém informações a respeito das condições de tempo, estado dos equipamentos, distância em que trabalhou cada equipamento e um croqui, esquematizando o local de "corte" e "bota fora", com indicação das estimativas das rampas existentes e respectivos comprimentos.

Cada equipamento observado possui uma folha "diário" contendo as cronometragens dos instantes de início e término de cada etapa do ciclo.

Como os dados foram obtidos de cronometragens para períodos determinados de tempo (invariavelmente intervalos de 1 hora de duração), não foi possível o estudo dos tempos em que o equipamento sofria paradas pois, quando as mesmas aconteciam próximo ao fim do período de cronometragem, o observador não anotava seu término. Tem-se portanto a frequência com que as mesmas ocorreram bem como o motivo que as ocasionaram, mas não se dispõe das durações de paradas.

Estas não foram analisadas pois a consideração apenas das interrupções do processo ocorridas e superadas dentro dos períodos de observação introduziria tendências distorcendo

seu comportamento.

Dado que o serviço que pretende-se estudar é Escavação Carga e Transporte de Material de 1ª Categoria, os serviços auxiliares realizados pelo Trator, como por exemplo escarificação, não foram considerados.

#### 4.2. METODOLOGIA DA ANÁLISE

Tendo em vista as deficiências nas informações disponíveis a respeito das condições de trabalho, após detida análise estatística os seguintes fatores foram identificados como os mais relevantes na caracterização do comportamento deste processo:

- as etapas de ciclo do Motoscraper e Trator
- os diferentes dias de observação
- as várias máquinas utilizadas

Para poder efetuar a simulação é necessário conhecer o comportamento probabilístico de cada uma das etapas dos ciclos dos equipamentos. Fundamentalmente, teve-se que identificar a distribuição de probabilidade que melhor representasse o comportamento destas etapas.

Ao diferenciar as observações considerando os dias em que foram realizadas, procurou-se contornar a influência de fatores diversos, tais como: condições climáticas, eventuais mudanças de operador; diferenças nos locais de trabalho e outras que viessem a afetar o processo e para os quais não se dispusesse de informações que permitissem uma melhor caracterização.

Como se constatou através da análise estatística efetuada, existem diferenças significativas no desempenho de máquinas diferentes, sendo necessária uma distinção entre elas, tanto para os Tratores como para Motoscrapers.

Considerou-se portanto amostras constituídas de observações de durações de uma determinada etapa do processo, levantadas

em um determinado dia e relativas a uma máquina em particular.

Dado o grande volume de dados, foi desenvolvido um programa computacional em Fortran, que manipula todas as informações e realiza todos os cálculos necessários.

Este programa executa as seguintes funções:

a) Seleciona de um arquivo em fita magnética os elementos pertencentes a uma etapa do ciclo, traça histogramas de frequência, realiza testes Lilliefor e testes Kolmogorov-Smirnov.

b) Para cada amostra formada de elementos pertencentes ao mesmo dia de observação, traça o histograma, realiza o teste Lilliefor, realiza o teste Kolmogorov-Smirnov, imprime a amostra e realiza o teste Kruskal-Wallis.

c) Constitui novas amostras utilizando as médias das amostras anteriores, imprime-as, traça o histograma, realiza os testes Lilliefor e Kolmogorov-Smirnov.

d) Constitui novas amostras com os desvios padrões das amostras formadas de elementos pertencentes ao mesmo dia de observação, imprime-as, traça histograma e realiza os testes Lilliefor e Kolmogorov-Smirnov.

e) Registra em um gráfico as médias e desvios padrões das amostras, determina a correlação existente entre médias e desvios padrões e calcula os parâmetros da regressão linear.

#### 4.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TESTES ESTATÍSTICOS UTILIZADOS

Na referência 2, encontra-se a afirmação de que os tempos de operação de duas etapas do Motoscraper, (Transporte e Retorno) têm comportamento "normal" e as demais (Carga e Descarga), podem ser consideradas como tempos "fixos".

Em função disto e tendo em vista a natureza das operações, foram escolhidos testes estatísticos NÃO-paramétricos para constatar a veracidade destas afirmações. Optou-se pelo teste de



nominado Lilliefor (Referência 3), que verifica se um dado conjunto de observações pertence a uma população com distribuição normal de probabilidade. A um nível de significância preestabelecido, este teste indica quantos elementos do conjunto de dados da amostra, são rejeitados na constatação da hipótese de normalidade.

Dado que se precisa avaliar a significância da rejeição da hipótese de normalidade da amostra, empregou-se também o teste Kolmogorov-Smirnov (Ref.3). O resultado deste teste indica o erro percentual que se está incorrendo em não considerar a amostra analisada, como pertencendo a uma dada distribuição de probabilidade, no caso normal.

Vale ressaltar que os tempos "fixos", correspondentes a uma situação determinística, podem ser considerados como caso particular da distribuição normal.

Para identificar os grupos de elementos que pertencem a uma mesma população, escolheu-se o teste Kruskal-Wallis (Ref.10). O referido teste comprova a hipótese de que K amostras de variáveis contínuas provenham da mesma população ou de populações idênticas.

Com a aplicação conjunta dos três testes escolhidos, objetivou-se determinar grupos de elementos que podem ser considerados como pertencentes a mesma população e verificar se estas populações seguem distribuições normais de probabilidade.

#### 4.4. ANÁLISE DOS TEMPOS DE MOTOSCRAPERS

A sistemática de apresentação do estudo dos tempos obedecerá à seguinte ordem, para cada uma das etapas dos ciclos:

- 1º) resultados obtidos com a análise estatística.
- 2º) considerações sobre os resultados obtidos.
- 3º) resultados incorporados ao modelo de simulação.

Os quatro Motoscrapers considerados serão a seguir indi

vidualizados por seus códigos: MS 1392, MS 1393, MS 1493, MS 1398.

Os resultados serão apresentados através de quadros relativos a cada etapa de ciclo. Nestes quadros existe uma coluna para cada máquina considerada e uma última coluna, denominada "TODOS", que se refere ao estudo das observações não individualizadas com relação às máquinas, isto é, são referentes a etapa considerada incluindo todos os Motoscrapers ou todos os Tratores conforme o caso. O resultado apresentado para o teste Lilliefors indica o número de elementos da amostra que são rejeitados quando a população for considerada normal (Ref.3). O teste Kolmogorov-Smirnov, indica qual o erro percentual que se está incorrendo ao considerar a amostra estudada como não pertencendo a uma população com distribuição normal de probabilidades (Ref.3).

Por último, o teste Kruskal-Wallis fornece o valor que deve ser comparado com um valor crítico de determinada distribuição  $\chi^2$  para aceitar ou rejeitar a hipótese de que as amostras pertençam a uma mesma população (Ref.10). O valor calculado deve ser comparado com o valor tabelado  $\chi^2 (K-1, \alpha)$ , onde K é o número de amostras e  $\alpha$  o nível de significância escolhido.

Cada quadro pode ter até 3 subdivisões. A primeira irá referir-se à análise efetuada com a amostra constituída de todos os elementos disponíveis na etapa considerada. A segunda refere-se às amostras constituídas por elementos pertencentes a mesma etapa e ao mesmo dia de observação, referindo-se a terceira subdivisão à amostra constituída com as médias obtidas das amostras de cada dia de observação.

Na linha "nº de amostras não normais", encontra-se o número de amostras rejeitadas pelo teste Lilliefors e que apresentaram um valor menor que 30% com resultado do teste Kolmogorov-Smirnov.

Serão apresentadas também tabelas com os resultados obtidos na análise estatística efetuada, destinada a caracterizar o comportamento dos desvios padrões. Estas tabelas poderão conter o resultado da análise efetuada com a amostra dos desvios padrões de amostras diárias como também análise de regressão efetuada entre médias e desvios padrões de amostras diárias.

## 4.4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEMPOS DE CARGA

4.4.1.1. RESULTADOS OBTIDOSQUADRO 1 - RESUMO DOS TEMPOS DE CARGA

ANÁLISE	MÁQUINA		MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398	TODOS
AMOSTRA COMPLETA	'1'	Nº TOTAL DE ELEMENTOS	592	490	631	174	1906
	'2'	TESTE LILLIEFOR	383	296	391	17	1411
	'3'	TESTE KOLMOGOROV- SMIRNOV	0%	1%	0%	23%	0%
AMOSTRAS DIÁRIAS	'4'	Nº DE AMOSTRAS	29	30	30	14	48
	'5'	Nº DE AMOSTRAS NORMAIS	19	20	23	10	28
	'6'	Nº DE AMOSTRAS NÃO NORMAIS	4	1	2	1	11
	'7'	TESTE KRUSKAL- WALLIS	162,0	174,7	247,3	28,1	566,4
AMOSTRA DAS MÉDIAS	'8'	Nº DE ELEMENTOS	29	30	30	14	48
	'9'	MÉDIA (MINUTOS)	1,273	1,656	1,423	1,268	1,395
	'10'	DESVIO PADRÃO	0,294	0,378	0,323	0,145	0,287
	'11'	TESTE LILLIEFOR	2	0	0	0	0
	'12'	TESTE KOLMOGOROV- SMIRNOV	32%	86%	95%	78%	91%

#### 4.4.1.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Através da linha '7'\* verifica-se para um nível de significância de 1% que, com exceção da amostra relativa à máquina MS 1398 ( $\chi^2$  [13; 99%] = 29,1), deve-se rejeitar a hipótese que as observações, individualizadas por máquina, pertenceram a mesma população. Em '2' e '3', constata-se que a população a que pertencem as observações desta máquina não é a normal.

Para conseguir superar este problema, os dados, já separados por etapa do processo e máquina, foram também individualizados por dia de observação, com o que se conseguiu resultados bastante satisfatórios podendo-se debitar as discrepâncias ainda existentes a deficiências constatadas na formulação do experimento estatístico e na coleta de dados.

Verifica-se em '5', que aproximadamente 70% das amostras assim individualizadas podem ser consideradas como pertencendo a populações com distribuição normal de probabilidade a um nível de significância de 1%. Das 103 amostras analisadas, com o teste Lilliefors, apenas 8 delas devem ser efetivamente consideradas não normais, em função dos valores obtidos no teste Kolmogorov-Smirnov. Para as demais amostras (23), não se conseguiu uma perfeita definição devido à falta de significância dos resultados uma vez que os resultados do teste Kolmogorov-Smirnov variaram entre 30 e 65%.

Pelos resultados obtidos com as amostras das médias das amostras em '11', verifica-se que estas podem ser consideradas como pertencentes a populações com distribuições normais de probabilidade.

Na coluna "TODOS" verifica-se em '6', que a proporção de amostras não normais em relação ao número de amostras (11 em 48), é bem superior à apresentada pelas amostras individualizadas em relação às máquinas (8 em 103), indicando que é significativa a influência das máquinas no comportamento dos tempos de carga.

---

\* 'i' indica a i-ésima linha de um Quadro ou tabela referidos.

Dado que os dias têm comportamento estatístico diferente para cada etapa e conjunto máquina-operador, foi necessário levantar a variação das estimativas das médias (apresentada em '10' no quadro nº 1 e dos desvios padrões (apresentada na tabela nº 1 a seguir) para verificar a importância relativa desta variação no tempo total de ciclo.

Para incluir a variabilidade da duração da etapa, tomou-se a amostra dos desvios padrões das amostras diárias para verificar sua distribuição de probabilidades e fez-se um estudo de regressão na tentativa de determinar uma relação funcional de dependência entre médias e desvios padrões de amostras individualizadas por dia de observação.

Apresentar-se-a a seguir uma tabela contendo o resumo da análise efetuada com a amostra dos desvios padrões obtidos a partir das amostras diárias de observação. Na última linha da tabela, apresentar-se-a o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido através do estudo de regressão entre médias e desvios padrões destas amostras.

TABELA 1

MÁQUINA ANÁLISE		MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398	TODOS
'1'	Nº DE ELEMENTOS	29	30	30	14	48
'2'	TESTE LILLIEFOR	1	1	0	0	0
'3'	TESTE KOLMOGOROV-SMIRNOV	57%	61%	85%	100%	81%
'4'	MÉDIA	0,401	0,498	0,430	0,317	
'5'	$R^2$	0,18	0,13	0,43	0,02	0,35

Na tabela 1 verifica-se através de '2' que ao nível de significância de 1%, 3 das amostras dos desvios padrões apresentam evidências de pertencerem a populações normais nada se podendo afirmar com relação as demais (MS 1392 e MS 1393) em função dos resultados do teste Kolmogorov-Smirnov.

Os resultados apresentados em '5' mostram que não se teve evidências suficientes da existência de uma relação funcional entre médias e desvios padrões das amostras dos dias de observação.

#### 4.4.1.3. VALORES A SEREM INCORPORADOS AO MODELO DE SIMULAÇÃO

Assumiu-se no modelo de simulação que os tempos de carga seguem distribuições de probabilidade normal, com parâmetros obtidos através das amostras de médias e desvios padrões.

4.4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEMPOS DE DESCARGA4.4.2.1. RESULTADOS OBTIDOSQUADRO 2 - RESUMO DOS TEMPOS DE DESCARGA

ANÁLISE		MÁQUINA	MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398	TODOS
		AMOSTRAS	'1'	Nº TOTAL DE ELEMENTOS	592	490	631
'2'	Nº DE AMOSTRAS		29	30	30	14	48
'3'	TESTE KRUSKAL-WALLIS		198,7	129,2	238,3	76,4	374,4
'4'	Nº DE AMOSTRAS NORMAIS		15	21	18	13	14
'5'	Nº DE AMOSTRAS NÃO NORMAIS		9	5	6	0	28
AMOSTRA DAS MÉDIAS	'6'	Nº DE ELEMENTOS	29	30	30	14	48
	'7'	MÉDIA (MINUTOS)	0,451	0,480	0,463	0,365	0,435
	'8'	DESVIO PADRÃO	0,190	0,110	0,154	0,192	0,102
	'9'	TESTE LILLIEFOR	8	6	8	5	13
	'10'	TESTE KOLMOGOROV-SMIRNOV	12,7%	25%	6%	18,6%	20%

#### 4.4.2.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Verifica-se através de '3', que os grupos de amostras de uma mesma máquina não podem ser considerados como pertencentes à mesma população, o que justifica a não realização dos testes de normalidade com as amostras de todos os elementos.

Verifica-se em '4' que das 103 amostras separadas por dia de observação e por máquina, 67 foram caracterizadas como normais deste total, 20 amostras devem ser efetivamente consideradas não normais e para as 16 restantes não se pode fazer nenhuma afirmação definitiva em função dos resultados fornecidos pelo teste Kolmogorov-Smirnov.

Constata-se a influência das máquinas no comportamento dos tempos, pelo fato de que apenas 14 das 48 amostras de elementos não diferenciados por máquinas (coluna TODOS), apresentam características de normalidade enquanto que para cada máquina considerada individualmente a constatação da normalidade é bem mais expressiva.

Verifica-se através de '9' e '10', que as amostras das médias também não podem ser consideradas como pertencentes a populações normais.

Fez-se um estudo de regressão entre médias e desvios padrões das amostras diárias, para cada máquina e constatou-se, através dos valores obtidos para os quadrados dos coeficientes de correlação ( $R^2$ ), a existência de uma dependência funcional entre médias e desvios padrões, o que caracteriza o caráter estocástico do comportamento dos tempos de descarga.

São apresentados no quadro a seguir os valores de  $R^2$  obtidos e as estimativas dos parâmetros das equações e da forma  $y = A x + B$ , onde  $x$  representa média e  $y$  desvio padrão.



QUADRO RESUMO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

MÁQUINA VALORES	MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398	TODOS
R <sup>2</sup>	0,72	0,74	0,71	0,82	0,58
A	0,20176	0,73756	0,55239	0,37662	0,77313
B	-0,044	-0,214	-0,111	-0,045	-0,167

4.4.2.3. VALORES A SEREM INCORPORADOS AO MODELO DE SIMULAÇÃO

Verifica-se nos levantamentos realizados, que para uma distância de transporte de 100m, o tempo de descarga, em relação aos ciclos totais, tem a seguinte representatividade:

EQUIPAMENTO	MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398
Ciclo Total (min)	4,800	5,334	4,644	4,961
Tempo de Descarga (min)	0,451	0,480	0,457	0,365
Percentagem do ciclo	9,39	8,99	9,8	7,35

Para a maior distância estudada, a de 3000m, esta etapa representa

EQUIPAMENTO	MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398
Ciclo Total (min)	18,483	18,761	18,970	20,418
Tempo de Descarga (min)	0,451	0,480	0,457	0,365
Percentagem do ciclo	2,44	2,55	2,41	1,78

Portanto, para a menor distância de operação pesquisada que seria a situação mais desfavorável, o tempo de descarga representa 9,8% do ciclo total, e na maior distância, 2,55%.

Dada a pouca representatividade desta etapa em presença do ciclo total, assumiu-se para fins de simulação, que os Tempos

de Descarga dos Motoscrapers, assumem distribuições de probabilidade normal, com parâmetros iguais aos obtidos através das amostras das médias e dos desvios padrões.

Vale ressaltar que as discrepâncias entre o sistema real e o modelo, introduzidas por esta suposição, são bastantes inferiores a representatividade dos tempos de descarga acima avaliada pois se referem exclusivamente ao comportamento da distribuição dos valores reais em torno da média que apresenta certo grau de assimetria cuja causa não foi possível identificar tratando os dados disponíveis.

#### 4.4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEMPOS DE TRANSPORTE

Na análise dos tempos de transportes, conseguiu-se caracterizar a influência da distância no comportamento dos tempos, através de um estudo de regressão efetuado entre estas duas variáveis.

Dado que cada dia de observação foi realizado para uma distância diferente de transporte, não serão apresentados os resultados com as amostras de todos os elementos, bem como os das amostras das médias das amostras diárias pois como seria lógico esperar os resultados da aplicação do Teste de Kruskal-Wallis comprovam que amostras de dias diferentes (o que equivale a distâncias diferentes), não pertencem às mesmas populações.

Será apresentado um quadro com os resultados da análise das amostras individualizadas com relação aos dias de observação (destinado a caracterizar a distribuição de probabilidades dos tempos de transporte para uma dada distância) e com os resultados da análise de regressão efetuada entre médias de tempo e distância de transporte.

Convencionar-se-á que:

Nº de pares - Número de pares de valores de distâncias e médias de tempo empregados para a realização da análise de regressão.

$R^2$  - Coeficiente de determinação.

Os parâmetros da reta de regressão serão representados por A (coeficiente angular) e B ( termo independente) resultando a função  $y = Ax + B$  onde x representa tempo de transporte e y distância de transporte.

#### 4.4.3.1. RESULTADOS OBTIDOS

QUADRO 3 - RESUMO DOS TEMPOS DE TRANSPORTE

ANÁLISE	MÁQUINA		MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398	TODOS
AMOSTRAS	'1'	Nº TOTAL DE ELEMENTOS	592	490	631	174	1902
	'2'	Nº DE AMOSTRAS	29	30	30	14	48
	'3'	Nº DE AMOSTRAS NORMAIS	19	20	21	9	22
	'4'	Nº DE AMOSTRAS NÃO NORMAIS	5	3	7	2	21
	'5'	TESTE KRUSKAL-WALLIS	431,0	335,1	461,9	131,4	1085,2
REGRESSÃO	'6'	Nº DE PARES	82	69	43	67	261
	'7'	RODM (R <sup>2</sup> )	0,80	0,89	0,82	0,81	0,87
	'8'	A	0,00241	0,00250	0,00259	0,00293	0,00278
	'9'	B	0,746	0,694	0,632	0,735	0,144

#### 4.4.3.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Verifica-se através de '2' e '3', que de 103 amostras individualizadas com relação aos equipamentos, 69 pertencem a populações com distribuições normais de probabilidade e 17, apresentam características significantes de não normalidade. Quanto às demais, por apresentarem como resultado do teste Kolmogorov-Smirnov valores superiores a 30%, nada foi possível afirmar sobre seu comportamento probabilístico.

Através do número de amostras não individualizadas com relação a equipamentos ('4'), verifica-se que de um total de 48 amostras, 21 não pertencem a populações com distribuição normal de probabilidade, evidenciando-se desta forma a influência das máquinas no comportamento probabilístico dos tempos.

Sugere-se aqui a realização de um experimento estatístico específico, para confirmar a tendência constatada de os tempos de transporte assumirem distribuições normais de probabilidade.

Pelos resultados expostos da análise de regressão efetuada, pode-se constatar que houve uma boa caracterização da influência da distância de transporte no comportamento dos tempos ('7'). A análise foi efetuada tomando-se pares de valores constituídos de médias diárias de observação e as correspondentes distâncias de percurso ('6').

Foi necessário que se fizesse uma análise do comportamento dos desvios padrões dos tempos de transporte, para que pudessem ser fornecidos os parâmetros requeridos pelo modelo de simulação. Houve evidências de que os referidos tempos possuem um comportamento característico de um processo estocástico, pela constatação, feita através de um estudo de regressão, da existência de uma relação entre as médias e desvios padrões das amostras diárias de cada máquina.

Na tabela a seguir encontram-se os resultados obtidos.

TABELA 3 - REGRESSÃO EFETUADA ENTRE MÉDIAS E DESVIOS PADRÕES

MÁQUINA	MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398	TODOS
R <sup>2</sup>	0,66	0,53	0,52	0,71	0,27
A	0,1287	0,1493	0,0893	0,1791	0,2753
B	0,235	0,166	0,297	0,0949	0,2590

Devido ao número reduzido de amostras não foi possível a análise da variabilidade dos tempos de transporte para cada distância. Recomenda-se o dimensionamento adequado de amostras para verificar em futuros levantamentos, para cada distância, a significância das variações diárias no comportamento dos tempos de transportes.

#### 4.4.3.3. VALORES INCORPORADOS AO MODELO DE SIMULAÇÃO

Foram incorporados ao modelo de simulação, para cada máquina, as duas equações lineares obtidas ('8' e '9') que expressam as médias como função da distância de transporte e os desvios padrões como função da média de transporte.

#### 4.4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEMPOS DE RETORNO

Constatou-se, através da análise estatística efetuada, que os tempos de retorno apresentam comportamento análogo aos tempos de transporte. Foi possível caracterizar a influência da distância no comportamento desses tempos, bem como o caráter estocástico desta etapa do processo, através da constatação, obtida através de um estudo de regressão, da existência de uma rela

ção entre as médias e desvios padrões das amostras diárias de cada máquina.

A sistemática de apresentação dos tempos de retorno será idêntica à adotada para os tempos de transporte.

#### 4.4.4.1. RESULTADOS OBTIDOS

QUADRO 4 - RESUMO DOS TEMPOS DE RETORNO

ANÁLISE		MÁQUINA		MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398	TODOS
AMOSTRAS DIÁRIAS	'1'	Nº TOTAL DE ELEMENTOS	592	490	631	174	1902	
	'2'	Nº DE AMOSTRAS	29	30	30	14	48	
	'3'	Nº DE AMOSTRAS NORMAIS	21	21	18	9	23	
	'4'	Nº DE AMOSTRAS NÃO NORMAIS	0	5	2	3	15	
	'5'	TESTE KRUSKAL- WALLIS	315,2	306,2	404,7	133,12	836,5	
REGRESSÃO	'6'	Nº DE PARES	82	69	43	67	261	
	'7'	RQDM R <sup>2</sup>	0,67	0,82	0,72	0,50	0,78	
	'8'	A	0,00236	0,00213	0,00235	0,00240	0,00328	
	'9'	B	1,834	2,042	1,657	2,006	0,356	

#### 4.4.4.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Verifica-se através de '5', que amostras pertencentes a dias diferentes (distâncias diferentes), não pertencem às mesmas populações.

Teve-se evidências ('3' e '4') que as amostras diárias individualizadas por máquina, têm comportamento normal.

Conforme '3', para 69 das 103 amostras pesquisadas foi aceita a hipótese da normalidade.

Constata-se em '4', que das 103 amostras diárias, apenas 10 podem ser consideradas como não pertencendo a populações com distribuições normais e probabilidade. Para as demais (24 amostras), não se fará nenhuma afirmação definitiva, pois de acordo com os resultados da aplicação dos testes estatísticos, estar-se-ia incorrendo um erro superior a 30% (podendo chegar a 65% para determinadas amostras) na afirmação de que estas amostras não pertencem a populações com distribuição normal de probabilidade.

Na coluna TODOS, verifica-se que é significativa a consideração individual de cada máquina no comportamento dos tempos de retorno (apenas 23 em 48 amostras não diferenciadas com relação à máquinas comprovadamente pertencente a populações com distribuição normal).

Pelos resultados da análise de regressão linear efetuada entre médias diárias e distâncias de transporte ('7'), constatam-se valores na maioria dos casos superiores a 0,65 para o quadrado do coeficiente de correlação.

Verifica-se através da análise dos gráficos obtidos que na consideração de distâncias superiores a 2000m (superiores às distâncias normais de operação dos Motoscrapers) o ajustamento de outro tipo de curva (provavelmente de 2º grau), em substituição a reta implicaria na obtenção de valores bem mais favoráveis de  $R^2$ . Entretanto, considerando que as distâncias ideais de operação para os Motoscrapers situam-se entre 100 e 1200m, não foi efetuada a análise de regressão para o ajustamento a outro tipo de função.

Efetuuou-se também um estudo de regressão entre médias diárias de tempo de operação e as correspondentes distâncias de retorno. Obteve-se evidências de que os tempos de retorno constituem um processo estocástico quando se realizou a análise de regressão linear obtendo-se valores elevados para  $R^2$ .

Os valores calculados de  $R^2$  e os parâmetros das equações lineares obtidas, encontram-se na tabela a seguir.

TABELA 4

MÁQUINA VALORES	MS 1392	MS 1393	MS 1394	MS 1398	TODOS
$R^2$	0,64	0,56	0,63	0,76	0,20
A	0,1588	0,2188	0,2008	0,1403	0,2399
B	0,298	0,297	0,204	0,235	0,335

Não foi possível o estudo da variabilidade dos tempos de retorno devido ao reduzido número de amostras disponíveis para as mesmas distâncias.

#### 4.4.4.3. VALORES A SEREM INCORPORADOS AO MODELO DE SIMULAÇÃO

Os parâmetros referentes aos tempos de retorno a serem incorporados ao modelo de simulação, foram representados pelas equações lineares obtidas para cada máquina que expressam as médias de tempo como função da distância e os desvios padrões como função das médias.



#### 4.5. ANÁLISE DOS TEMPOS DOS TRATORES

Foram analisadas as três etapas do ciclo do trator (Pusher, Retorno e Avanço), de maneira análoga a análise realizada para os tempos de Carga e Descarga de Motoscrapers.

Em muitos dias de observação, os tratores pesquisados realizaram serviços auxiliares, mais comumente, escarificação. Acredita-se que a existência desta operação adicional realizada pelo trator, tenha perturbado o levantamento dos dados, traduzindo-se esta perturbação nos resultados obtidos. Normalmente na Escavação e Transporte de Material de 1ª Categoria, não é necessária a escarificação e, quando a mesma é realizada, a técnica recomenda que se aloque um trator especialmente para execução deste serviço.

Face a carência de informações, decidiu-se utilizar os dados disponíveis como uma primeira aproximação.

Os códigos dos dois equipamentos considerados são os mesmos que foram adotados no levantamento de dados: TE 1228 e TE 1239.

As diferenças de valores encontrados entre os tempos destes dois tratores devem-se ao fato de que um (o TE 1228) é uma máquina de maior porte, custo bem superior sendo própria para a execução dos serviços em estudo, enquanto a outra é apropriada para a realização de serviços auxiliares.

Os códigos adotados para as etapas do ciclo, Pusher, Retorno e Avanço, serão, respectivamente T2, T3 e T4.

4.5.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEMPOS DE PUSHER4.5.1.1. RESULTADOS OBTIDOSQUADRO 5 - RESUMO DOS TEMPOS DE PUSHER

ANÁLISE		MÁQUINA	TE 1228	TE 1239	TODOS
AMOSTRAS DIÁRIAS	'1'	Nº TOTAL DE ELEMENTOS	502	683	1332
	'2'	Nº DE AMOSTRAS	10	18	31
	'3'	Nº DE AMOSTRAS NORMAIS	4	10	13
	'4'	Nº DE AMOSTRAS NÃO NORMAIS	5	5	10
	'5'	TESTE KRUSKAL- WALLIS	100,2	161,0	364,3
AMOSTRA DAS MÉDIAS DAS AMOSTRAS DIÁRIAS	'6'	Nº DE ELEMENTOS	10	18	31
	'7'	MÉDIA (MINUTOS)	1,209	1,584	1,468
	'8'	DESVIO PADRÃO DAS MÉDIAS	0,290	0,459	0,423
	'9'	TESTE LILLIEFOR	0	0	1
	'10'	TESTE KOLMOGOROV- SMIRNOV	99%	56%	63%

#### 4.5.1.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Constata-se através de '5', que as observações de tempos de Pusher, feitas em dias diferentes, não pertencem às mesmas populações. De 28 amostras individualizadas por máquina ('2'), 14 foram estatisticamente consideradas como pertencendo à populações com distribuição normal de probabilidade ('3'), e 10 foram rejeitadas como tal ('4'). Na coluna TODOS, é possível constatar a influência das máquinas no comportamento dos tempos em vista de que apenas 13 das 31 amostras pertencem a populações com distribuição normal ('3').

Para a amostra das médias, conseguiu-se resultados bem mais favoráveis. Em '9', verifica-se que as duas amostras das médias individualizadas por máquina, pertencem a populações com distribuição normal de probabilidade.

#### 4.5.1.3. VALORES INCORPORADOS AO MODELO DE SIMULAÇÃO

Pode-se constatar através da verificação do funcionamento de equipes mecânicas de Pusher e Motoscraper, que o do tempo de Pusher é aproximadamente igual ao tempo de carga do Motoscrapers, pois a necessidade de tração fornecida pelo trator ao Motoscraper existe, enquanto este último está realizando a escavação (ou Carga). Observa-se em '7' e '8', que os valores de médias e desvios padrões obtidos para as amostras diárias de tempos de Pusher, estão rigorosamente dentro da faixa de valores obtidos de médias e desvios padrões de amostras diárias de tempo de carga (4.4.1.1.).

Este fato foi levado em consideração na concepção do modelo de simulação, ao estabelecer-se que o tempo de uma operação de Pusher seria igual ao tempo de carga do Motoscraper que está recebendo tração.

4.5.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEMPOS DE RETORNO4.5.2.1. RESULTADOS OBTIDOSQUADRO 6 - RESUMO DOS TEMPOS DE RETORNO

ANÁLISE		MÁQUINA	TE 1228	TE 1239	TODOS
AMOSTRAS DIÁRIAS	'1'	Nº TOTAL DE ELEMENTOS	502	683	1332
	'2'	Nº DE AMOSTRAS	10	18	31
	'3'	Nº DE AMOSTRAS NORMAIS	2	11	10
	'4'	Nº DE AMOSTRAS NÃO NORMAIS	8	5	14
	'5'	TESTE KRUSKAL- WALLIS	35,8	154,8	232,5
AMOSTRA DAS MÉDIAS DAS AMOSTRAS DIÁRIAS	'6'	Nº DE ELEMENTOS	10	18	31
	'7'	MÉDIA	0,741	0,882	0,833
	'8'	DESVIO PADRÃO	0,131	0,294	0,250
	'9'	TESTE LILLIEFOR	0	2	13
	'10'	TESTE KOLMOGOROV- SMIRNOV	76%	29%	7,2%

#### 4.5.2.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Não se conseguiu uma boa caracterização dos tempos de Retorno. Verifica-se em '5' que observações de dias diferentes não pertencem à mesmas populações. Pelos resultados dos testes efetuados com as amostras diárias ('3' e '4'), não se tem evidências de que estas amostras pertençam a populações normais, verificando-se inclusive pela forma dos histogramas obtidos que as amostras diárias tendem a assumir uma forma assimétrica.

Através de '9', verifica-se que a amostra das médias de uma das máquinas (TE 1228), pertence a uma população normal, o que não se verifica para a amostra das médias da outra máquina (TE 1239), embora o resultado do teste Kolmogorov-Smirnov esteja a indicar insuficiência do tamanho da amostra para garantir uma conclusão mais definitiva.

#### 4.5.2.3. RESULTADOS A SEREM INCORPORADOS AO MODELO DE SIMULAÇÃO

Supôs-se para efeito de simulação que os tempos de Retorno de cada máquina assumem distribuições normais de probabilidade, com médias e desvios padrões iguais aos obtidos para as amostras das médias e desvios padrões de amostras diárias.

4.5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEMPOS DE AVANÇO4.5.3.1. RESULTADOS OBTIDOSQUADRO 7 - RESUMO DOS TEMPOS DE AVANÇO

ANÁLISE		MÁQUINA	TE 1228	TE 1239	TODOS
AMOSTRAS DIÁRIAS	'1'	Nº TOTAL DE ELEMENTOS	502	683	1332
	'2'	Nº DE AMOSTRAS	10	18	31
	'3'	Nº DE AMOSTRAS NORMAIS	2	4	4
	'4'	Nº DE AMOSTRAS NÃO NORMAIS	5	10	17
	'5'	TESTE KRUSKAL- WALLIS	41	134,5	359,5
AMOSTRA DAS MÉDIAS DAS AMOSTRAS DIÁRIAS	'6'	Nº DE ELEMENTOS	10	18	31
	'7'	MÉDIA	0,366	1,438	1,173
	'8'	DESVIO PADRÃO	0,131	1,265	1,141
	'9'	TESTE LILLIEFOR	0	3	12
	'10'	TESTE KOLMOGOROV- SMIRNOV	73%	27%	3%

#### 4.5.3.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

As evidências concretas que se teve com relação aos tempos de Avanço, foram com respeito a influência dos diferentes dias, no comportamento dos tempos ('3').

Novamente uma das máquinas (TE 1228) apresentou sua amostra das médias diárias pertencendo a população com distribuição normal de probabilidade ('9').

Foi possível caracterizar através de um estudo de regressão entre médias e desvios padrões de amostras diárias, a existência de uma relação linear entre estas duas variáveis. Os valores obtidos para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e os parâmetros das equações obtidas, encontram-se na tabela abaixo.

TABELA 5

VARIÁVEL	MÁQUINA	TE 1228	TE 1239	TODOS
	$R^2$		0,94	0,93
A		1,747	0,7527	0,8053
B		-0,377	0,180	0,061

#### 4.5.3.3. VALORES INCORPORADOS AO MODELO DE SIMULAÇÃO

Assimiu-se no modelo de simulação que os tempos de avanço de cada máquina possuem distribuições normais com médias e desvios padrões iguais aos obtidos através das amostras diárias.

#### 4.5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS TEMPOS DE TRATORES

Devido a deficiências encontradas no levantamento de dados e na formulação do experimento estatístico, não foi possível à exceção dos tempos de Pusher, uma boa caracterização do comportamento dos tempos de operação do trator.

Usar-se-á entretanto os valores obtidos através da análise estatística na simulação.



## CAPÍTULO 5

### MODELO DE SIMULAÇÃO

#### 5.1. INTRODUÇÃO

O modelo computacional desenvolvido para simular as operações de Tratores e Motoscrapers é constituído de um programa principal destinado a montar os parâmetros necessários a simulação e de quatro subrotinas, denominadas Tempo, Espera, Avança e Modelo.

A finalidade da subrotina Tempo é gerar os tempos aleatórios necessários à simulação, com base nos parâmetros fornecidos pelo programa principal.

As subrotinas Espera e Avança têm por finalidade respectivamente, colocar e retirar equipamentos de "filas", cabendo a subrotinas Modelo simular as interações entre os elementos do sistema durante um turno de trabalho.

As limitações impostas pelos dados disponíveis à análise estatística efetuada, fizeram com que se considerassem todos os tempos de operação como pertencendo a populações com distribuição normal de probabilidade sendo entretanto possível, através de pequenas modificações, utilizar outras distribuições.

#### 5.2. PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO

O programa principal deve fornecer à subrotina Modelo cinco tipos de dados:

- 1) Uma matriz  $MTRAT(i, j)$  contendo os parâmetros de tempos relativos aos dos tratores. (O subscrito  $i$  refere-se ao parâmetro e o subscrito  $j$  corresponde a cada máquina que terá suas operações simuladas).

Os parâmetros necessários, relativos ao trator  $j$  são;

MTRAT(1,j) - código do trator.

MTRAT(2,j) - média do tempo de retorno.

MTRAT(3,j) - desvio padrão do tempo de retorno.

MTRAT(4,j) - média do tempo de avanço.

MTRAT(5,j) - desvio padrão do tempo de avanço.

2) O número de tratores em operação (NTRAT)

3) Uma matriz MSCRAP(i,j) contendo os parâmetros de tempos relativos aos Motoscrapers. (O subscrito i refere-se ao parâmetro e o subscrito j a cada máquina).

Os parâmetros relativos ao Motoscraper j são;

MSCRAP(1,j) - código do Motoscraper.

MSCRAP(2,j) - média do tempo de carga.

MSCRAP(3,j) - desvio padrão do tempo de carga.

MSCRAP(4,j) - média do tempo de transportes.

MSCRAP(5,j) - desvio padrão do tempo de transporte.

MSCRAP(6,j) - média do tempo de descarga.

MSCRAP(7,j) - desvio padrão do tempo de descarga.

MSCRAP(8,j) - média do tempo de retorno.

MSCRAP(9,j) - desvio padrão do tempo de retorno.

4) Número de Motoscrapers em operação (NSCRAP).

5) Duração do tempo de simulação (TTSIM).

### 5.3. CONTROLE DO MODELO

#### 5.3.1. VARIÁVEIS DE ESTADO

O modelo utiliza, para cada trator e cada Motoscraper que terá suas operações simuladas, uma variável que descreve a

cada instante o seu estado. Os estados possíveis correspondem às etapas do ciclo produtivo de cada equipamento e ainda situações em que estes estejam parados (aguardando serviços) ou inativos (fora de operação).

O controle de mudança de estado de cada máquina é feito através de uma variável que indica o instante em que a máquina sairá do estado em que se encontra.

### 5.3.2. MECANISMO DE FLUXO DE TEMPO

Objetivando a diminuição do tempo de processamento, adotou-se no modelo incrementos de tempos variáveis. O programa simula um "relógio" que é adiantado da quantidade necessária para que se realize o próximo e mais iminente evento que deva ter lugar.

### 5.3.3. FILAS DE ESPERA

Há duas situações de espera de atendimento possíveis: trator aguardando Motoscraeper em Motoscraeper aguardando trator.

A ocorrência de uma destas situações coloca o equipamento em uma "fila" de espera. É possível a ocorrência simultânea de tratores e motoscraeper em filas de espera, bastando para tanto que o número de tratores em avanço seja igual ao número de motoscrapers na fila de espera.

A disciplina de atendimento estabelecida é de que "o primeiro que entra é o primeiro que sai".

### 5.4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo desenvolvido permite que se incorporem futuramente situações não consideradas em decorrência da carência de informações. Poder-se-iam prever paradas para abastecimento, motivadas por quebra, manutenção, etc.

Com fundamento em observações sobre o funcionamento do sistema real, estabeleceu-se que a duração dos tempos de Pusher dos tratores seria igual a dos tempos de carga dos motoscrapers. Embora o tempo de Pusher (e o de carga) seja função do par trator-motoscra<sup>per</sup>, a simplificação, foi necessária pela inexistência de valores medidos no campo capazes de permitir uma suposição mais rigorosa.

Pela maneira como são fornecidos ao modelo os parâmetros das distribuições dos tempos, individualizados para cada máquina, é possível simular a situação em que cada motoscra<sup>per</sup> transporte o material escavado para um local diferente, desde que não ocorram alterações nesse local durante o turno de trabalho. Pequenas alterações no modelo podem torná-lo capaz de permitir, inclusive, alterações no local do "bota-fora" de cada máquina durante o mesmo turno de trabalho.

#### 5.5. SUBROTINA MODELO

##### SUBROTINA MODELO

"Coloque os tratores em estado e fila de espera".

"Coloque os motoscrapers em estado de fila e espera".

"Faça a hora igual a zero".

"Conte o número de máquinas ativas".

ENQUANTO ("existirem máquinas ativas") FAÇA

Enquanto ("número de motoscrapers na fila é maior que o número de tratores em avanço e existir trator na fila de espera").

FAÇA

"Retire um trator da fila de espera".

"Coloque o trator em estado de avanço".

"Gere o tempo de avanço".

"Registre a hora em que terminará o avanço".

FIM Enquanto

Enquanto ("houver trator que tenha acabado o avanço nesta hora").

FAÇA

"Retire motoscra-per da fila".

"Gere o tempo de carga".

"Atualize o número de ciclos do trator e do motoscra-per".

"Coloque o trator em estado de Pusher".

"Coloque o motoscra-per em estado de carga".

"Registre a hora em que terminará a carga".

"Registre a hora em que terminará o avanço".

Fim Enquanto

Enquanto ("houver motoscra-per que tenha acabado a carga nesta hora") FAÇA

"Gere o tempo de transporte do motoscrapers".

"Coloque o motoscra-per em estado de transporte".

"Registre a hora em que terminará o transporte".

"Gere o tempo de retorno do trator".

"Coloque o trator em estado de retorno".

"Registre o trator em estado de retorno".

Fim Enquanto

ENQUANTO ("houver motoscra-per que tenha acabado o transporte nesta hora") FAÇA

"Coloque o motoscra-per em situação de descarga".

"Gere o tempo de descarga".

"Registre a hora em que terminará a descarga".

FIM ENQUANTO

ENQUANTO ("houver motoscra-per que tenha acabado a descarga nesta hora") FAÇA

"Coloque o motoscra-per em situação de retorno".

"Gere o tempo de retorno".

"Registre a hora em que terminará o retorno".

FIM ENQUANTO

ENQUANTO ("houver motoscraeper que tenha acabado o retorno nesta hora") FAÇA

SE ("acabou o turno de trabalho").

ENTÃO "coloque motoscraeper em situação de inativo".

"atualize o número de máquinas ativas".

SENÃO "coloque o motoscraeper na situação de espera".

"coloque o motoscraeper na fila de espera".

FIM SEFIM ENQUANTO

ENQUANTO ("houver trator que tenha acabado o retorno nesta hora"). FAÇA

SE ("acabou o turno de trabalho").

ENTÃO "coloque o trator em situação de inativo".

"atualize o número de máquinas ativas".

SENÃO "coloque o trator na situação de espera".

"coloque o trator na fila de espera".

FIM SEFIM ENQUANTO

"Faça próxima hora igual à menor quando ocorrerá mudança de situação de máquina em situação produtiva do ciclo".

"Acumule o tempo de permanência de cada máquina ativa em sua situação atual desde esta hora até próxima hora".

"Faça hora igual a próxima hora".

SE ("acabou o turno de trabalho").

ENTÃO ENQUANTO ("houver trator na fila de espera") FAÇA

"coloque o trator em situação de inativo".

"atualize o número de máquinas ativas".

FIM ENQUANTO

ENQUANTO ("número de motoscraeper na fila é maior que número de tratores em avanço") FAÇA.

"coloque um motoscaper em situação de inativo".

"atualize o número de máquinas ativas".

FIM ENQUANTO

FIM SE

FIM ENQUANTO

"imprima os valores dos contadores".

FIM MODELO

#### 5.6. RESULTADOS OBTIDOS COM A SIMULAÇÃO

Fez-se uma corrida de simulação para uma equipe, simulando para cada distância de transporte um turno de 6 horas de trabalho, com 10 interações para cada turno, para verificar a variação possível existente nas diversas distâncias.

A equipe foi constituída de 4 motoscapers e 2 tratores. Utilizando-se para cada distância, um intervalo que contenha 95% dos valores obtidos, obteve-se a tabela abaixo, onde constata-se a pequena amplitude da variação em torno da média:

DISTÂNCIA	Nº DE CICLOS REALIZADOS PELA EQUIPE		Nº MÉDIO DE CICLOS POR HORA POR MOTOSCAPER
	LIM. INF.	LIM. SUP.	
100	218,01	221,99	9,17
200	207,27	211,73	8,73
300	197,70	201,30	8,31
400	189,14	191,86	7,94
500	178,31	181,49	7,50
600	168,69	172,51	7,11
700	159,7	162,10	6,7
800	152,54	154,46	6,4
900	145,17	147,03	6,09
1000	137,73	139,47	5,77
1100	132,94	134,46	5,57
1200	126,39	128,21	5,30

## 5.7. VALIDAÇÃO DO MODELO

O modelo de simulação pode ser considerado como uma boa representação da realidade, na medida em que fornecer resultados compatíveis com os obtidos através da observação do sistema real. Para isto, realizou-se uma comparação entre os resultados obtidos com a aplicação do modelo e dados provenientes do sistema real.

Com a análise estatística efetuada, levantou-se os tempos de operação de cada equipamento.

Para os Motoscrapers, por exemplo, foram determinadas as médias de tempo de Carga e Descarga, bem como as equações que fornecem as médias de tempo de Transporte e Retorno, em função da distância de transporte.

Para se verificar a validade do modelo, comparou-se então os dados do sistema real e os provenientes da aplicação do modelo.

Confrontou-se os resultados obtidos com a análise estatística, para cada equipamento, e os obtidos em corridas de simulação, com duas Equipes Mecânicas, uma com 4 Motoscrapers e 2 Tratores (Equipe 1) e outra com 3 Motoscrapers e 1 Trator (Equipe 2).



TABELA 6

TEMPO DE CICLO PRODUTIVO VERSUS DISTÂNCIA, COMPARAÇÃO ENTRE  
DADOS DO SISTEMA REAL E VALORES DA SIMULAÇÃO

DISTÂNCIA	SIMULAÇÃO		ANÁLISE DO DADOS	
	EQUIPE 1	EQUIPE 2	EQUIPE 1	EQUIPE 2
100	4,87	4,85	4,91	4,92
200	5,44	5,33	5,41	5,42
300	5,88	5,84	5,89	5,88
400	6,34	6,33	6,39	6,36
500	6,79	6,77	6,88	6,84
600	7,25	7,21	7,37	7,32
700	7,79	7,68	7,85	7,77
800	8,22	8,16	8,35	8,27
900	8,73	8,63	8,85	8,75
1000	9,26	9,23	9,34	9,23
1100	9,70	9,71	9,84	9,70
1200	10,19	10,21	10,32	10,19

Com a tabela acima é possível verificar que não existem diferenças significativas entre os dados obtidos através de observação do sistema real e os obtidos com a simulação.

A maior diferença percentual entre os valores obtidos da simulação e através dos parâmetros foi da ordem de 1,9%. A diferença média igualou a 1,2%. Aumentando-se o número de itera-

ções realizadas para cada distância, consegue-se reduzir mais ainda a magnitude destas diferenças.

Na figura nº 1, será apresentado um gráfico, obtido a partir dos valores produzidos pelo modelo (tempo médio de ciclo dos Motoscrapers das Equipes 1 e 2) e dos valores obtidos através da análise estatística (parâmetros fornecidos ao modelo), para melhor visualizar a comparação efetuada.

Tomou-se duas equipes, uma com 4 Motoscrapers e 2 Tratores (Equipe 1) e a outra com 3 Motoscrapers e 1 Trator (Equipe 2).

O primeiro gráfico (fig. 2), destina-se a comparar os tempos de ciclo produtivo obtido com o modelo de simulação e os obtidos na pesquisa citada observa-se que até as distâncias de 700 m, os valores provenientes da simulação encontram-se contidos no intervalo de confiança determinado pela referida pesquisa.

O segundo (fig. 3), fornece o intervalo que contém o número de ciclos horários para diversas distâncias, obtido pela referida pesquisa e as curvas obtidas com a simulação para as duas equipes.

Verifica-se para distâncias de transportes inferiores a 500 m, a produção inferior dos equipamentos da Equipe 2, devido o mal dimensionamento da patrulha de máquinas.

# SEMI-DISTÂNCIA x TEMPO DE CICLO

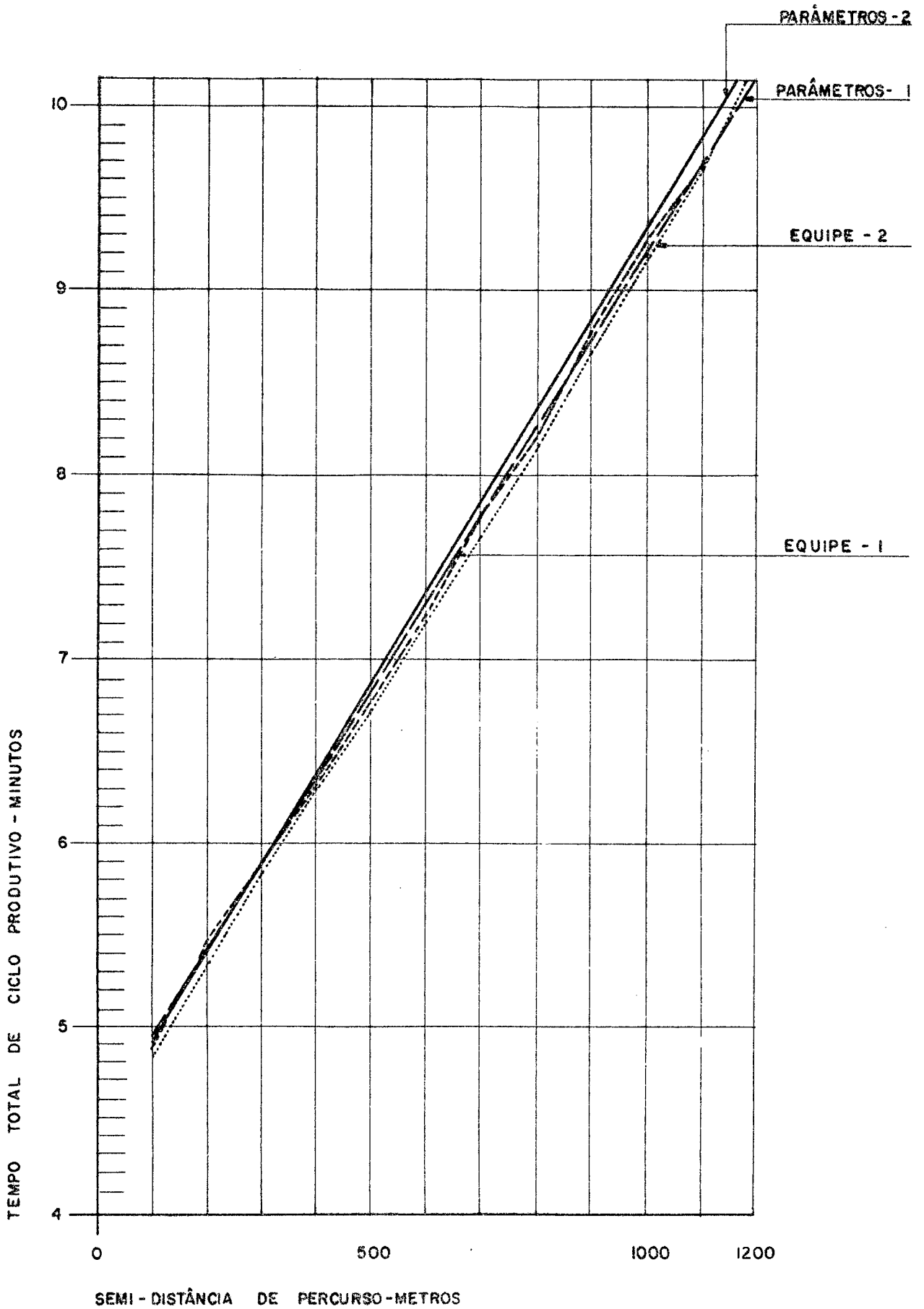


Fig. 1

# SEMI-DISTÂNCIA x TEMPO DE CICLO

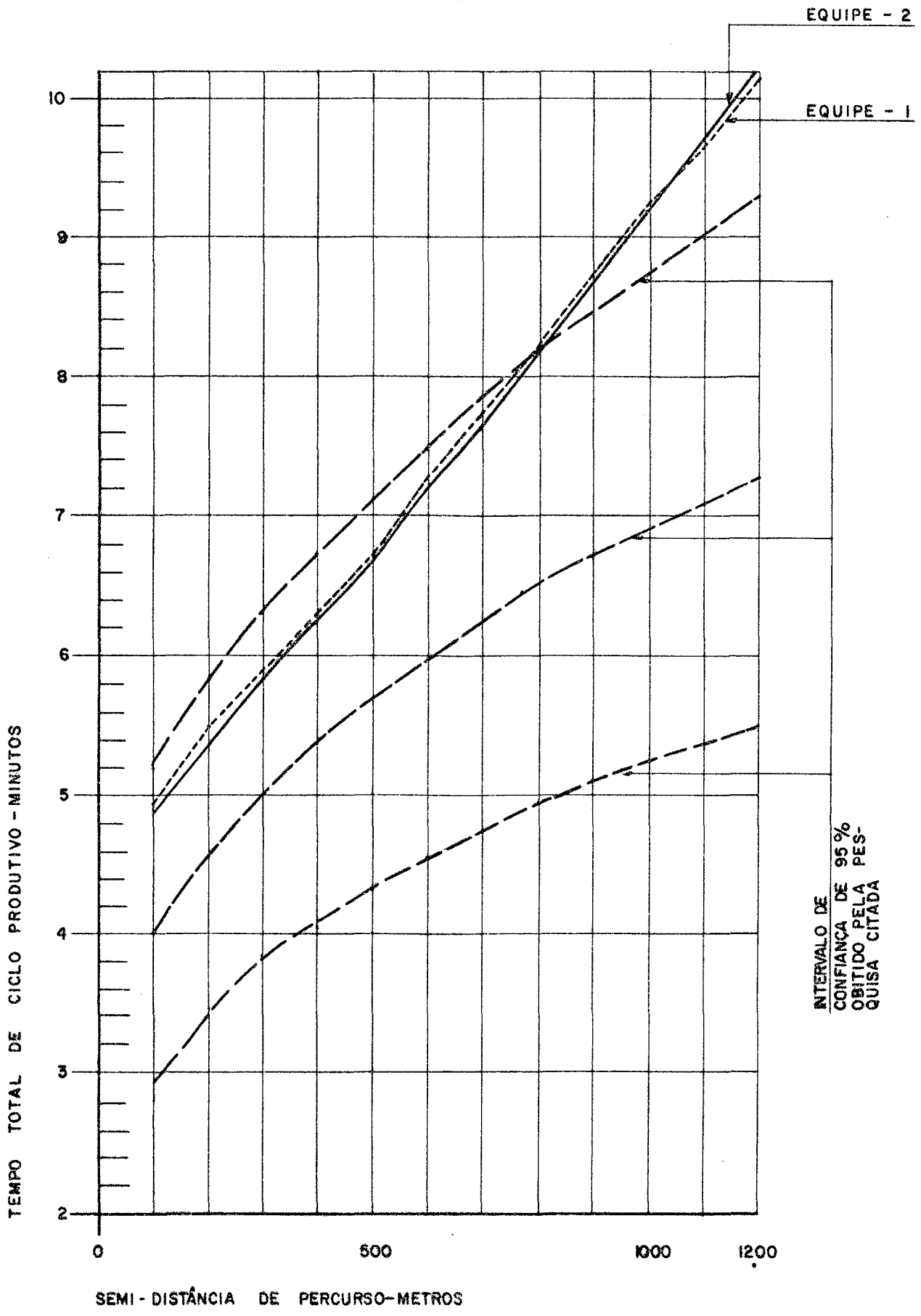


Fig. 2

# SEMI-DISTÂNCIA x CICLOS POR HORA

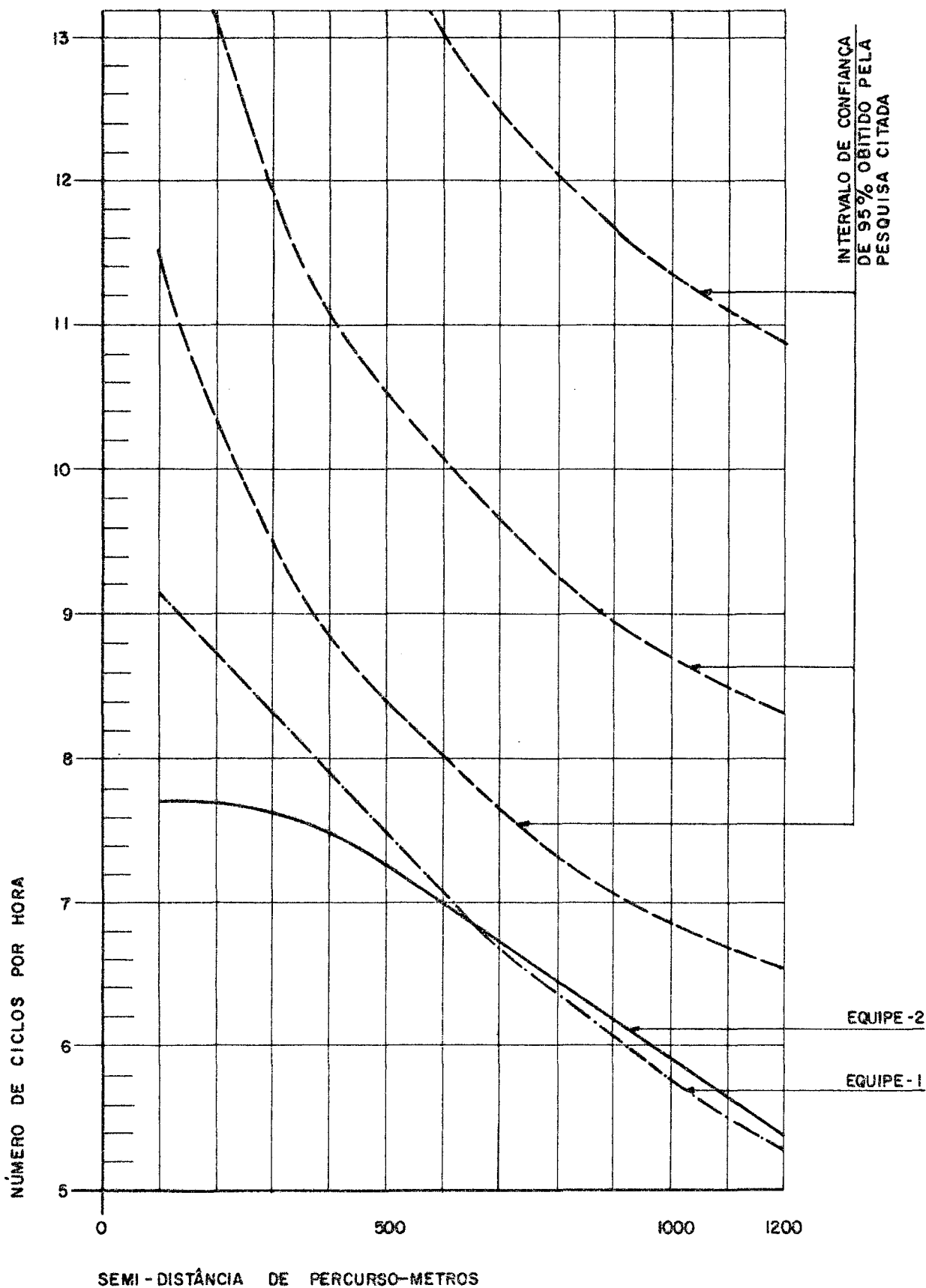


Fig. 3

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 6.1. INTRODUÇÃO

Face às dificuldades encontradas na realização da análise estatística, são propostos a seguir critérios para um futuro levantamento de dados e análise estatística pertinente, destinados a complementar o estudo realizado.

Serão relacionadas primeiramente, informações adicionais que devem ser levantadas e condições para este levantamento, seguindo-se o instrumental estatístico recomendado para a perfeita caracterização do comportamento do processo.

#### 6.2. INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS

Constatou-se, através dos dados disponíveis, que a cronometragem em períodos de tempo de uma hora não é a mais adequada pois, quando ocorreram paradas de máquinas que se estendiam além deste período, não se registrava seu término, impossibilitando a investigação da distribuição de probabilidade dos tempos em que o equipamento se encontra inativo. Sugere-se, então, que sejam realizadas observações de turnos completos, anotando-se os motivos que ocasionaram as paradas porventura existentes.

Benefícios adicionais do levantamento de turnos completos seriam um melhor confronto dos dados levantados com os que viessem a ser produzidos pelo modelo de simulação, bem como a possibilidade de se verificar a ocorrência de mudanças significativas no comportamento dos tempos durante um turno de serviço e os motivos que as ocasionaram (quedas de produção devidas ao operador, mudanças de condições climáticas, etc).

Recomenda-se que sejam também levantadas observações referentes às condições climáticas (temperatura, precipitação e

pressão atmosférica) no decorrer do turno de serviço. Com respeito à precipitação, deve-se dispor de informações sobre a sua ocorrência em períodos de tempo anteriores ao início do turno a ser cronometrado. Poder-se-ia, desta forma, determinar a quantidade de precipitação além da qual o equipamento não teria condições de trabalhar (considerado um determinado tipo de solo) e definir faixas de precipitação nas quais houvesse alteração substancial no comportamento dos tempos.

Sugere-se que sejam também levantadas as rampas existentes e correspondentes distâncias no trecho a ser percorrido pelos motoscrapers, a fim de que possam ser levadas em consideração na análise do comportamento dos tempos de transporte e retorno.

Outra informação necessária seria concernente às condições do "corte". Isto é, o número máximo de motoscrapers que podem adentrar simultaneamente no corte para realizar a carga.

### 6.3. CARACTERIZAÇÃO DAS POPULAÇÕES

Amostras retiradas de uma população quase que invariavelmente diferem entre si. O problema é decidir se as diferenças existentes entre as amostras disponíveis significam diferenças efetivas de população ou se representam apenas variações casuais que podem ser esperadas entre amostras aleatórias de mesma população.

A técnica paramétrica usual para comprovar se diversas amostras independentes provêm da mesma população é a análise de variância (ou prova F). As suposições associadas a esta prova são de que as observações tenham sido extraídas independentemente de populações normalmente distribuídas, todas com mesma variância. Poder-se-ia utilizar então a referida técnica para caracterizar definitivamente as durações de várias etapas. No caso de tempos de transporte e retorno dever-se-iam considerar as distâncias e rampas porventura existentes. Uma população poderia ser caracterizada para cada "distância equivalente", convenientemente definida para considerar a existência de aclives e declives.

O desconhecimento da distribuição de probabilidade que rege parte do processo força o emprego de Testes Estatísticos Não Paramétricos para a caracterização das populações. Neste caso o teste de Kruskal Wallis é o mais eficiente pois converte es res em postos, não se atendo a sinais, preservando melhor as in formações contidas nas observações (Ref. 6).

#### 6.4. INVESTIGAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUEM NO PROCESSO

Recomenda-se que, através da investigação das características das várias etapas constituintes do processo, sejam identificados os fatores que afetam significativamente o comportamento dos tempos. Na análise efetuada, constatou-se a influência dos dias de observação e das máquinas no comportamento de todas as etapas de todos os equipamentos, além da distância de transporte no caso dos tempos de transporte e retorno dos motoscrapers.

Sugere-se que se verifique a influência das condições climáticas no comportamento de cada uma das etapas, tentando-se levantar uma associação entre médias e/ou variâncias das amostras diárias e faixas de precipitação ou temperatura (a serem deu finidas).

Caso se comprove que a distribuição aceita como representativa do comportamento das amostras diárias de uma determinada etapa for a normal, pode-se-ia utilizar a análise de variânucia tradicional para comparar entre as categorias estabelecidas (amostras), a influência de determinadas propriedades (precipitaução, rampas existentes tipo de solo etc) utilizadas para classificar os dados, e estender a conclusão derivada do experimento a toda população.

Seria possível utilizar o teste F para constatar a hipótese de que K amostras são idênticas com relação às médias, assumindo-se que as amostras foram retiradas de populações normalmente distribuídas. No entanto, não se identificariam quais grupos de amostras que diferem entre si. Utilizando-se o Procedimento ou Teste de Tukey (Ref. 7), seria possível constatar que médias são significativamente diferentes entre si e verificar, para



estas médias diferentes, a influência de algum fator, ainda não considerado, que afete o comportamento dos tempos.

Não sendo aceita a distribuição normal como representativa do comportamento das amostras, poder-se-ia ainda utilizar medidas de correlação não paramétrica juntamente com suas provas de significância, para determinar se K conjuntos de escores estão relacionados, e qual o grau deste relacionamento (por exemplo, tomar médias de várias amostras de tempo de descarga juntamente com a precipitação anotada e verificar qual o grau de associação existente).

Dever-se-ia verificar ainda se todas as etapas do ciclo de um equipamento são igualmente afetadas por algum fator. Exemplificando: definidas faixas de precipitação e constatado um aumento nos tempos médios de operação de cada etapa sob a ocorrência de maior precipitação, convém verificar se todas as etapas são igualmente afetadas.

Recomenda-se finalmente que, através de um processo iterativo, testando a pertinência de um grupo de amostras a uma mesma população e investigando a influência de fatores no comportamento destas amostras, se consiga obter subgrupos de amostras pertencentes às mesmas populações. Restaria, então, caracterizar completamente a população estimando seus parâmetros para possibilitar a previsão.

#### 6.5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram as vantagens da utilização do modelo face aos demais critérios existentes para a abordagem do problema.

Entretanto, para o projeto e realização de um experimento completo de simulação, é indispensável que se efetue um novo levantamento dos dados e análise estatística pertinentes, objetivando caracterizar definitivamente o comportamento dos tempos de operação bem como incorporar ao modelo as informações não consideradas.

BIBLIOGRAFIA

1. BOWKER, Albert H., LIEBERMAN, Gerald J., "Engineering Statistics", Prentice Hall Inc.
2. COCHRAN, William G., "Técnicas de Amostragem", Fundo de Cultura.
3. CONOVER, W. J., "Practical Non parametric Statistics" John Wiley & Son Inc.
4. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM, "Manual de Composições de Serviços".
5. MÁXIMA CONSULTORIA S.A., "Análise do Desempenho do Equipamento e Consumo da Produção no Serviço: Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª Categoria", Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
6. NAYLOR, Thomash, BALINTFY, Joseph L., BURDICK, Donald S., CHU Kong, "Técnicas de Simulação em Computadores", Editora Vozes Ltda.
7. NOVAES, Antonio Galvão, "Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos", Ed McGraw-Hill do Brasil Ltda.
8. PACITTI, Tércio, ATKINSON, Cyril P., "Programação e Métodos Computacionais", Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
9. PEURIFOY, R. L., "Construction Equipment and Methods", McGraw-Hill.
10. SIEGEL, Sidney, "Non parametric Statistics", McGraw-Hill.
11. WONNACOF, Ronald J., WONNACOF, Thomash, "Econometria", Livros Técnicos e Científico Editora S.A.

## ANEXO 1

```

0001 SUBROUTINE MODEL(MSCRAP,NSCRAP,MIRAT,NIRAT,ITSIM)
0002 /DIMENSION TTWS(20),TTCS(20),TTTS(20),TTDS(20),TTRS(20),TTWT(10),TT
/ DIMENSION TTA(10),TSCRAP(15,4),MIRAT(10,2)
0003 /DIMENSION TPT(10),PC(10),PT(10),PO(10),PR(10)
0004 /DIMENSION PWT(10),PPT(10),PRT(10),PAT(10)
0005 /DIMENSION VWS(10),VWS2(10),VWS3(10),VWS4(10)
0006 /DIMENSION VVS(10),VVS2(10),VVS3(10),VVS4(10)
0007 /DIMENSION VDS(10),VDS2(10),VDS3(10),VDS4(10)
0008 /DIMENSION VRS(10),VRS2(10),VRS3(10),VRS4(10)
0009 /DIMENSION VWT(10),VWT2(10)
0010 /DIMENSION VPT(10),VPT2(10)
0011 /DIMENSION VAT(10),VAT2(10)
0012 /DIMENSION VERR(10),PUNTO
0013 /DIMENSION PARI(10)
0014 /DIMENSION HIRAT(10),HSCRAP(20),STRAT(10),SSCRAP(20),FILATR(12),FILAS
0015 /C(22),TRSI(20),CICLOT(10),CICLOS(20),TTSIM
/20),TGER,STRANS,SRETKA,SDESC,SRETUF,SAVANG,SCARGA
0016 /DIMENSION TFC,TTCS,TTDS,TTTS,TTWT,TPT,TAT,TWS,T
0017 /CMMCN,IRAT,HSCRAP,STRAT,SSCRAP,FILATR,FILASC,TWT,TPT,TAT,TWS,T
0018 /STATS,TTDS,TTCS,CICLOS,CICLOT/264#0/
0019 /CX=55549
0020 /RELHOPE=0
0021 /HORA=0
0022 /HORA=0
0023 /MONTA=5,FILAS=INICIAIS
0024 /STAT(J)=1,NIRAT
0025 /STAT(J)=ITSIM*2
0026 /CALLERCO(EQ,J),ERRO
0027 /PUNTO=1
0028 /GO TO 9990
0029
0030
0031
0032
0033

```

C

5

```

0034 6 CONTINUE
0035   DO 7 J=1, NSCRAP
0036   SSCRAP(J)=1
0037   NSCRAP(J)=TISIM*2
0038   CALL ESPEA(FILASC,J,ERRO)
0039   IF(ERRO.EQ.0)GO TO 70
0040   PGN=2
0041   GO TO 9990
0042   C VERIFICA SE ALGUM PAR ACABOU A CARGA
0043   CONTINUE
0044   DO 20 J=1,NTRAT
0045   IF(ISTRAT(J).NE.2)GO TO 20
0046   IF(CHR(J).GT.HORA)GO TO 20
0047   I=PAR(J)
0048   MTRANS=MSCRAP(4,I)
0049   CALL TEMP(MTRANS,STRANS,L)
0050   SSCRAP(I)=3
0051   HSCRAP(I)=HORA+L
0052   MRET=ATRAT(2,J)
0053   SRET=ATRA(3,J)
0054   CALL TEMP(MRETRA,SRETRA,L)
0055   STRAT(IJ)=3
0056   HTRAT(IJ)=HORA+L
0057   CONTINUE
0058   C VERIFICA SE ALGUM SCRAPER ACABOU O TRANSPORTE
0059   DO 30 J=1,VSCRAP
0060   IF(SSCRAP(J).NE.3)GO TO 30
0061   IF(HSCRAPI(J).GT.HORA)GO TO 30
0062   MDESC=MSCRAP(6,J)
0063   CALL TEMP(MDESC,SDESC,L)
0064   SSCRAP(J)=4
0065   HSCRAP(J)=HORA+L
0066   CONTINUE
0067   DO 40 J=1,NSCRAP
0068   IF(SSCRAP(J).NE.4)GO TO 40
0069   IF(HSCRAP(J).GT.HORA)GO TO 40

```

```

0070 MRETOR=MSCRAP(8,J)
0071 MRETOR=MSCRAP(9,J)
0072 CALL MPO(MRETOR,SRETOR,L)
0073 MSCRAP(J)=5
0074 MSCRAP(J)=HORA+L
0075
0076 CONTINUA SE ALGUM SCRAPER ACABOU C RETORNO
0077 DO J=1,NSCRAP
0078 IF(SSCRAP(J).NE.5)GO TO 50
0079 IF(NSCRAP(J).GT.HORA)GO TO 50
0080 CALL ESPERA(FILASC,J,ERRR)
0081 MSCRAP(J)=TTSIM#2
0082 SE(EPG).EQ.0)GO TO 50
0083 PONTIC=3
0084 PONTIC=990
0085
0086 CONTINUA SE ALGUM TRATOR ACABOU D RETORNO
0087 DO J=1,NTRAT
0088 IF(STRAT(J).NE.3)GO TO 60
0089 IF(HTESPERA(FILATR,J,ERRR)
0090 HTRAT(J)=TTSIM#2
0091 STRAT(J)=1
0092 SE(EPG).EQ.0)GO TO 60
0093 PONTIC=4
0094 PONTIC=990
0095
0096 CONTINUA SE EXISTE FILASC E FILATR
0097 IF(FILASC(1).EQ.0)GO TO 80
0098 IF(FILATR(1).EQ.0)GO TO 80
0099 CONTINUA SE ANCA(FILATR,M,ERRR)
0100 CALL ASEFILASC(2)-FILASC(1)+1
0101 IF(LEILA).SE.NTRAT) GO TO 75
0102 IF(M.EQ.2)INDIC=1
0103 IF(STRAT(LINDIC).NE.4) GO TO 75
0104

```

40  
C

50  
C

50  
C

70  
C

```

0105 STRAT (M)=1
0106 STRAT (M)=TTSIM*2
0107 CALL ERRA(FILATR,M,ERRO)
0108 IF (ERRO.EQ.0) GO TO 80
0109 IF (ERRO.EQ.0) GO TO 75
0110 PCONT=5
0111 GO TO 9990
0112 MAVANCC=STRAT(4,M)
0113 SAVANCC=STRAT(5,M)
0114 CALL TEMPO(MAVANCC,SAVANC,L)
0115 STRAT (M)=4
0116 STRAT (M)=HORA+L
0117 CONTINUE SE ALGUM TRATOR TERMINOU J=AVANCC
0118 VELOCIDADE=1,NE=4 GO TO 100
0119 IF (STRAT (J).NE.HORA) GO TO 100
0120 IF (STRAT (J).GT.HORA) GO TO 100
0121 CALL AVANCA(FILASC,M,ERRO)
0122 IF (ERRO.EQ.0) GO TO 95
0123 PCONT=6
0124 GO TO 9990
0125 CONTINUE
0126 MCARGA=MSCRAP(2,M)
0127 SCARGA=MSCRAP(3,M)
0128 PAR(J)=TEMPO(MCARGA,SCARGA,L)
0129 CALL T(J)=2
0130 STRAP(M)=2
0131 STRAP(M)=HORA+L
0132 STRAT (J)=HORA+L
0133 HICLOT(J)=HICLOT (J)+1
0134 CICLOS(M)=CICLOS (M)+1
0135 CONTINUE
0136 ATUALIZA A HORA
0137 PRHORA=SCRAP(1)
0138 DO 200 J=2,NSCRAP
0139 IF (HSCRAP(J).LT.PRHORA) PRHORA=HSCRAP(J)
0140 CONTINUE

```

75

75

C

95

100

C

200

```

0141 DO 210 J=1,NTRAT
0142 IF(CHTRAT(J).LT.PRHORA)PRHORA=HTRAT(J)
0143 CCNTINUE
0144 ATUALIZA TODOS OS TEMPOS
0145 RELCOG=PRHORA-HORA
0146 IF(PRHORA.LT.HORA)RELOG=HORA-PRHORA
0147 HORA=PRHORA
0148 DO 220 J=1,NTRAT
0149 IF(SIRAT(J).EQ.1)TWT(J)=TWT(J)+RELOG
0150 IF(SIRAT(J).EQ.2)TPT(J)=TPT(J)+RELOG
0151 IF(SIRAT(J).EQ.3)TRT(J)=TRT(J)+RELOG
0152 IF(SIRAT(J).EQ.4)TAT(J)=TAT(J)+RELOG
0153 CCNTINUE
0154 DO 230 J=1,NSCRAP
0155 IF(SSCRAP(J).EQ.1)TWS(J)=TWS(J)+RELOG
0156 IF(SSCRAP(J).EQ.2)TCS(J)=TCS(J)+RELOG
0157 IF(SSCRAP(J).EQ.3)TTS(J)=TTS(J)+RELOG
0158 IF(SSCRAP(J).EQ.4)TDS(J)=TDS(J)+RELOG
0159 IF(SSCRAP(J).EQ.5)TRS(J)=TRS(J)+RELOG
0160 CCNTINUE
0161 IF(HORA.LT.TTSIM)GO TO 10
0162 DO 300 J=1,NSCRAP
0163 TTWS(J)=TWS(J)/1000000.
0164 TTCS(J)=TCS(J)/1000000.
0165 TTDS(J)=TDS(J)/1000000.
0166 TTRS(J)=TRS(J)/1000000.
0167 CCNTINUE
0168 DO 350 J=1,NTRAT
0169 TTWT(J)=TWT(J)/1000000.
0170 TTPT(J)=TPT(J)/1000000.
0171 TTTR(J)=TRT(J)/1000000.
0172 TTAT(J)=TAT(J)/1000000.
0173 CCNTINUE
0174 DO 400 J=1,NSCRAP
0175 *ZITEL3,1020J,CICLOS(J),TTWS(J),TTCS(J),TTDS(J),TTRS(J)
0176 FGRMAT(10X,'SCRAPER',I1,5X,I5,5(5X,F10.4),/)
0177 CCNTINUE

```

210

C

220

230

300

350

1020

400



```

0173
0179
0180
0181
0182
0183
0184
0185
0186
0187
0188
0189
0190
0191
0192
0193
0194
0195
0196
0197
0198
0199
0200
0201
0202
0203
0204
0205
0206
0207
0208
0209
0210
0211
0212

1030
459

500

550
9990
5000
9999
3003
1

DQ -50 J=L, NTRAT
WRTT(3,1030)CICLOT(J),ITWT(J),ITPI(J),ITRT(J),TTAT(J)
EGRMAT(LOX,ITERATOR,11,5X,15,4(5X,F10.4),7)
CONTINUE
DO 500 J=L, NTRAT
CICLOT(J)=0
ITWT(J)=0
ITPI(J)=0
ITRT(J)=0
TTAT(J)=0
STRAT(J)=0
HTRAT(J)=0
HTRATR(J)=0
EGRNT(50, J=L, NSCRAP)
CICLOT(J)=0
ITWT(J)=0
ITPI(J)=0
ITRT(J)=0
TTAT(J)=0
TRSCRAP(J)=0
SYLASC(J)=0
HTRATR(J)=0
CICLOT(997)PUNTO
EGRMAT(LOX,ITERATOR,NO PUNTO,13)
CONTINUE
EGRNT(3,3003)
EGRMAT(ITERATOR)
CONTINUE
END

```

A N E X O 2

```

0001 SUBROUTINE RGLINF(VX,VY,NXY)
0002 DIMENSION VX(NXY),VY(NXY)
0003 SX=0
0004 SY=0
0005 SXQ=0
0006 SYQ=0
0007 DO 10 I=1,NXY
0008   SX=SX+VX(I)
0009   SY=SY+VY(I)
0010   SXQ=SXQ+VX(I)**2
0011   SYQ=SYQ+VY(I)**2
0012 CONTINUE
0013 DB=VX*SY-SX*SY
0014 ANB=NXY*SXQ-SX**2
0015 PR=VX*SYQ-SY**2
0016 DR=SQRT(DP3)
0017 RXY=DB/DR
0018 RXY=DR/DE
0019 CALL XMEDES(VX,NXY,XM,XD)
0020 CALL XMEDES(VY,NXY,YM,YD)
0021 WRITE(3,3)RXY,PCX
0022 FORMAT(//,10X,'RXY=',F12.7,10X,'PCX=',F12.7,/)
0023 A=YM-(RXY*X1)
0024 WRITE(3,20)BXY,A
0025 FORMAT(//,10X,'Y=',F12.5,' *X+',F12.5,/)
0026 RETURN
0027 END

```

```

0001 SUBROUTINE DROENS(TTTTT, NUEI)
0002 DIMENSION TTTTT(NUEI)
0003 KONT=0
0004 NUELX=NUEI-1
0005 DO 3001 I=1, NUF LM
0006 T(I)=TTTT(I).LE.TTTTT(I+1))50 TO 3001
0007 KONT=I
0008 TEMPE=TTTT(I)
0009 TTTTT(I)=TTTT(I+1)
0010 TTTTT(I+1)=TEMPE
0011 CONTINUE
0012 LE(KONT.NE.0)G3 TO 3000
0013 RETURN
0014 END

3000
3001

0001 SUBROUTINE KMEDES(TTTTT, NUEI, XMMMMM, XDDDD)
0002 DIMENSION TTTTT(NUEI)
0003 XMMMMM=0
0004 XDDDD=0
0005 DO 3100 I=1, NUEI
0006 XMMMMM=(XMMMMM+TTTT(I))
0007 XMMMMM=XMMMMM/NUEI
0008 SS=0
0009 DLOI=0
0010 DO 3101 I=1, NUEI
0011 DDI=(TTTT(I)-XMMMMM)**2
0012 SS=SS+DDI
0013 ANUEI=NUEI-1
0014 CDECE=1./ANUEI
0015 ABRATZ=CDECE*SS
0016 XDDDD=ABRATZ*(0.5)
0017 RETURN
0018 END

3100
3101

```

```

0001 SUBROUTINE KWALL(TTTT,U,PPP,MAKEP,EMP,NUEI,NUEK,PRR,R,H,H3)
0002 DIMENSION TTTT(NUEI),P333(NUEI),EMP(500),RRRR(NUEK),FA YR(500)
0003 INTEGER J(NUEI),GR(NUEK)
0004 NUELEM=NUEI-1
0005 MAXEP=0
0006 KONT=0
0007 DO 2001 I=1,NUELEM
0008 IF(TTTT(I).LE.TTTT(I+1))GO TO 2001
0009 KONT=1
0010 TIM=TTT(I)
0011 TTT(I)=TTT(I+1)
0012 TTT(I+1)=TIM
0013 TIM=U(I)
0014 J(I)=J(I+1)
0015 J(I+1)=TIM
0016 CONTINUE
0017 IF(KONT.NE.0)GO TO 2000
0018 LJ=0
0019 I=1
0020 SOMA=0
0021 IF(I.GE.NUEI)GO TO 2109
0022 IF(TTT(I).EQ.TTT(I+1))GO TO 2102
0023 PPP(I)=I
0024 I=I+1
0025 GO TO 2101
0026 LJ=LJ+1
0027 MAKEP=LJ
0028 IND=I
0029 SOMA=I
0030 I=I+1
0031 IF(I.GE.NUEI)GO TO 2104
0032 IF(TTT(I).NE.TTT(I+1))GO TO 2104
0033 SOMA=SOMA+I
0034 GO TO 2103
0035 SOMA=SOMA+I
0036 JIND=I
0037 P0000=SOMA/(I-IND+1)
0038 EMP(IJ)=I-IND+I

```

2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2101  
2102  
2103  
2104

```

0039
0040
0041
0042
0043
0044
0045
0046
0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058
0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066
0067
0068
0069
0070

2105 I=IND
      PPPPP(I) = 27730
      IF(I.GT.UIND)GO TO 2101
      DO 10 J=1,2105
0044  IF(I.EQ.NJ.FI)PPPPP(I)=VUEI
0045  DO 2199 K=1,NUEK
0046  RRRR(K) = 0.
0047  DO 2200 I=1,NUEI
      J=J(I)
0048  X=PPPPP(I)
0049  X=X*(J)=ERR*(J)+*
0050  GOVTINJE
0051  DEFTOR=0.
      IF(MAXEP.EQ.0)GO TO 2501
      DO 2500 IJ=1,MAXEP
0052  IF(OR(I,J))=(EMP(IJ)*#3)-EMP(IJ)
0053  SEAFOR = SEAFOR + =AFOR(IJ)
0054  NCJ3DE=(NUEI*#3)-NUEI)
0055  DIVIDE=SEAFOR/NCJ30
      DENOMEL. =-DIVIDE
      DO 2501 MAP=0
      DO 2502 K=1,NUEK
0060  X=(SEAFOR(K)*#2)/O(K))
      SUMAP=SUMAP+X
0061  DEFE=12./(NJEI*(NUEI+1))
0062  H1=COEF*SUMAP
0063  H2=3*(NUEI+1)
0064  H3=H1+H2
0065  H=H3/DENCM
      RETURN
      ENO

```

```

0001 SUBROUTINE AJUSTE(X,Y,N,XMI,XMA,YMI,YMA)
0002 DIMENSION X(N),Y(N)
0003 XMI=X(1)
0004 XMA=X(1)
0005 YMA=Y(1)
0006 YMI=Y(1)
0007 DO I=2,N
0008   IF(X(I).LT.XMI)XMI=X(I)
0009   IF(X(I).GT.XMA)XMA=X(I)
0010   IF(Y(I).LT.YMI)YMI=Y(I)
0011   IF(Y(I).GT.YMA)YMA=Y(I)
0012 CONTINUE
0013 RETURN
0014 END

0021 SUBROUTINE LGRAVA(TE,IDA,DUS,IDAUS,IDA,IMES,IAND,D,C,TEMPO,MAXI,MAXK,DT)
0022 DIMENSION DT(50)
0023 TEMPO(2000),K22(4),LTIME(5),ITIPO(4)
0024 INFER.D(2000),C(50),IDA(50),IMES(50),IAND(50),IV(4),IH(4),TF
0025 DATA KODE/M,VS,T,;/
0026 DO 20 K=1,50
0027   C(K)=0
0028   ID=0
0029   IDMT1=0
0030   IDMT2=0
0031   K=1
0032   IF I READ(10,97)LCOD,LD,LM,LA,LEQP,(LTIME(L),L=1,5),(IN(N),I4(N),ITIPO(
0033     V),N=1,7),LS,LH
0034     FORMAT(A1,3I2,I4,5I4,4(I4,I4),8X,I3,I2)
0035     IF(LCOD.EQ.FE)GO TO 101
0036     IF(LCOD.EQ.KODE(4))GO TO 102
0037     GO TO 101
0038     C(K)=K
0039     TEMPO(I)=LTIME(IDADD)/100.
0040     I=I+1
0041     MAXI=I-1
0042     MAXK=K
0043     GO TO 102
0044     ISOMA=0
0045
0046
0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058
0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066
0067
0068
0069
0070
0071
0072
0073
0074
0075
0076
0077
0078
0079
0080
0081
0082
0083
0084
0085
0086
0087
0088
0089
0090
0091
0092
0093
0094
0095
0096
0097
0098
0099
0100
0101
0102
0103
0104
0105
0106
0107
0108
0109
0110
0111
0112
0113
0114
0115
0116
0117
0118
0119
0120
0121
0122
0123
0124
0125
0126
0127
0128
0129
0130
0131
0132
0133
0134
0135
0136
0137

```





```

0001 SUBROUTINE HIST(TEMP,NJEAM)
0002 DIMENSION TEMP(200)
0003 REAL ISCALA
0004 INTEGER I,ASTER(100),FR(14)
0005 DATA ASTER/100*,*/
0006 CALL XMEDES(TEMP,NJEAM,XMED,XDESV)
0007 DEN=0.5*XDESV
0008 DESL=XMED-5.*DEN
0009 DO 49 KI=1,12
0010 ER(KI)=0
0011 DO 50 I=1,NJEAM
0012 KI=(TEMP(I)-DESL)/DEN+1
0013 IF(KI.LE.1)KI=1
0014 IF(KI.GT.12)KI=12
0015 ER(KI)=ER(KI)+1
0016 CONTINUE
0017 MAX=ER(I)
0018 DO 50 I=1,12
0019 IF(ER(I).GT. MAX)MAX=ER(I)
0020 CONTINUE
0021 ISCALA=100./MAX
0022 WRITE(3,69)XMED,XDESV
0023 FORMAT(40X,'MEDIA=',F12.7,5X,'DESVIU PADRAO=',F12.7,/)
0024 WRITE(3,101)(ASTER(J),J=1,100)
0025 DO 73 I=1,12
0026 XI=ISCALA*ER(I)
0027 WRITE(3,71)(ASTER(J),J=1,KI)
0028 FORMAT(15X,'I',100A1)
0029 WRITE(3,72)I,FR(I),(ASTER(J),J=1,KI)
0030 FORMAT(30X,'I',3X,'I',100A1)
0031 WRITE(3,74)(ASTER(J),J=1,KI)
0032 FORMAT(15X,'I',100A1)
0033 WRITE(3,103)(ASTER(J),J=1,100)
0034 FORMAT(1X,100A1)
0035 RETURN
0036 END

```

49

50

50

69

71

72

73

74

10

```

0001 SUBROUTINE NDEVALU(TTT,ZZZZ,NV,I)
0002 DIMENSION TTT(NJEL),ZZZZ(NJEL)
0003 CALL XMEDS(TTT,DUFI,XMMMH,XDDDD)
0004 DO 3200 I=1,NJEL
0005 ZZZZ(I)=TTT(I)-XMMMH/XDDDD
0006 RETURN
0007 END
3200
0001 SUBROUTINE ILFOR(TTT,ZZZZ,ETETI,FDFDFD,NUEI,ERRD,TEFE,NJLI)
0002 DIMENSION TTT(NJEL),ZZZZ(NJEL),ETET(NJEL),FDFDFD(NJEL),TEFE(NJEL)
/
0003 NULLL=0
0004 ANJEL=NJEL
0005 AIZ=SQRT(ANJEL)
0006 AERO=ERD/RAIZ
0007 CALL NORMA(TTT,ZZZZ,NJEL)
0008 CALL ORDENS(ZZZZ,NJEL)
0009 DO 3301 I=1,NJEL
0010 Z=ZZZ(I)
0011 CALL NOTR(Z,F,V)
0012 ETET(I)=F
0013 AIELEO(I)=AI/ANJEL
0014 FDFDE(I)=ABS(ETET(I))-FDFDFD(I)
0015 IF(TEFE(I).LE.AEPROB)GOTO 3301
0016 NULLL=NULLL+1
0017 CONTINUE
0018 RETURN
0019 END
3301
0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020

```

```

0001 SUPRCUTLINE PLOTIR2(X, YREAL, Y, N, M, NRMAX, NCMAX,
0002 XMX, XMY, YMX, YMY, ICHAR, XJUNIT, YJUNIT, DX,
0003 DY,
0004 DIMENSION X(N), Y(N, 4)
0005 DIMENSION XJUNIT(6), YJUNIT(24), ICHAR(4)
0006 DIMENSION XREAL(N, 4)
0007 INTEGER CP, JS, C, BLANK, A, DULR, DDT, XJUNIT, YJUNIT, CP_UT, GRID
0008 DIMENSION VERTL, VY(24)
0009 REAL *8 CJ27, JT, J, DFL, YN, TSPY
0010 DATA BLANK, I, C, CPLJ3, I, J, DFL, I, I, DDT, I, I, MINUS, I, I, /
0011 DO 30 J=1, 4
0012 DO 30 K=1, N
0013 Y(K, J)=YREAL(K, J)
0014 DO 310 J=1, 24
0015 VY(J)=YUNIT(J)
0016 CONTINUE
0017 XMIN=X(1)
0018 XMX=X(1)
0019 DO 3 I=2, N
0020 XMAX=AMAX1(XMAX, X(I))
0021 XMIN=AMIN1(XMIN, X(I))
0022 CONTINUE
0023 YMIN=Y(1, 1)
0024 YMAX=Y(1, 1)
0025 DO 4 J=1, M
0026 I=1, N
0027 YMAX=AMAX1(YMAX, Y(I, J))
0028 YMIN=AMIN1(YMIN, Y(I, J))
0029 CONTINUE
0030 XMIN=XMIN
0031 XMX=XMX
0032 YMIN=YMIN
0033 YMAX=YMAX
0034 IF (XMN .EQ. 0.0 .AND. XMX .EQ. 0.0) GO TO 26
0035 ROTK = XMY

```

```

0035 TOPX = X*MX
0037 CONTINUE
0038 IF (YMN .EQ. 0.0) .AND. YMX .EQ. 0.0) GO TO 27
0039 ROTY = Y*MY
0040 COPY = Y*YX
0041 CONTINUE
0042 GO TO 57
0043 CONTINUE
0044 IF (XMIN .GE. 0.1 .AND. XMAX .LT. 1000.0) GO TO 23
0045 ROTX = X*MX - 0.02*(XMAX-XMIN)
0046 TOPX = X*MX + 0.02*(XMAX-XMIN)
0047 GO TO 25
0048 CONTINUE
0049 IF (XMIN .LT. 1.0) GO TO 58
0050 ROTX = FLOAT(IFIX(XMIN))
0051 CONTINUE
0052 IF (XMAX .GT. 1.0) GO TO 59
0053 TOPX = FLOAT(IFIX(XMAX) + 1)
0054 GO TO 25
0055 CONTINUE
0056 IF (YMN .GE. 0.1 .AND. YMAX .LT. 1000.0) GO TO 29
0057 ROTY = Y*MY - 0.02*(YMAX-YMIN)
0058 COPY = Y*YX + 0.02*(YMAX-YMIN)
0059 GO TO 35
0060 CONTINUE
0061 IF (YMIN .LT. 1.0) GO TO 23
0062 ROTY = FLOAT(IFIX(YMIN))
0063 CONTINUE
0064 IF (YMAX .GT. 1.0) GO TO 54
0065 COPY = FLOAT(IFIX(YMAX) + 1)
0066 GO TO 35
0067 CONTINUE
0068 RXMN = 10.0*XMIN
0069 RXMN = IFIX(RXMN)
0070 ROTX = 0.1*FLOAT(IFIX(RXMN))
0071 GO TO 23
0072 CONTINUE
0073 RXMX = 10.0*XMAX

```

```

0074 IXMX = IFIX(RXMX)+1
0075 TOPX = 0.1*FLOAT(IXMX)
0076 GO TO 25
0077 CONTINUE
0078 RYMN = 10.0*YMIN
0079 BOTY = IFIX(RYMN)
0080 BOTY = 0.1*FLOAT(IYMN)
0081 GO TO 24
0082 CONTINUE
0083 RYMX = 10.0*YMAX
0084 IXMX = IFIX(RYMX)+1
0085 TOPY = 0.1*FLOAT(IYMX)
0086 GO TO 33
0087 CONTINUE
0088 IF(DX*NE, 0.0) GO TO 71
0089 IF(1) = TOPX - 3*DX
0090 DT(1) = 0.01000*DBLE(GL(1))
0091 CONTINUE
0092 IF(DY*NF, 0.0) GO TO 73
0093 IF(2) = TOPY - 3*DY
0094 DT(2) = 0.02000*DBLE(EG(2))
0095 GO TO 74
0096 CONTINUE
0097 DT(1) = DX
0098 GO TO 72
0099 CONTINUE
0100 DT(2) = DY
0101 CONTINUE
0102 DX = 10.*DT(1)
0103 IF(1) = 1,11
0104 XP(1) = BOTX + FLOAT(I-1)*DXP
0105 IF(MODE.EQ.3) GO TO 31
0106 IF(1) = 3,105) AXMAX,AXMIN,AYMAX,AYMIN,DT,
1 IXMN,IXMX,YMN,YMX,DX,DY
1 GO TO 32
0107 CONTINUE
0108 CONTINUE
0109 CONTINUE
0110 DY2 = .51000*DT(2)

```

0111  
0112  
0113  
0114  
0115  
0116  
0117  
0118  
0119  
0120  
0121  
0122  
0123  
0124  
0125  
0126  
0127  
0128  
0129  
0130  
0131  
0132  
0133  
0134  
0135  
0136  
0137  
0138  
0139  
0140  
0141  
0142  
0143  
0144  
0145  
0146  
0147  
0148

```

DO 22 JJ=1,51
IF JJ=1 J=1,101
DO 155 J=1,101
A(JJ)=BLANK
CONTINUE
SYN=ICPY-FLDAT(I)*DT(2)
SYN=YN
IF(MOD(I,10).EQ.0) JJ=170
A(01)=VERTL
A(11)=VERTL
A(21)=VERTL
A(31)=VERTL
A(41)=VERTL
A(51)=VERTL
A(61)=VERTL
A(71)=VERTL
A(81)=VERTL
CONTINUE
DO 180 J=1,101
A(JJ)=MINUS
CONTINUE
A(01)=VERTL
A(11)=CPLUS
A(21)=CPLUS
A(31)=CPLUS
A(41)=CPLUS
A(51)=CPLUS
A(61)=VERTL
CONTINUE
DO 190 K=1,4
C=ICHAR(K)
DO 18 JJ=1,N EQ. 1,75) GO TO 18
IF(Y(J,K)*Y(J,K)).GT.0Y2) GO TO 18
Y(J,K)=1.75
DPL=.5*DJJ+(X(J)-JGT(K)/DT(I))
FL=DF-YFK(FL)
CpLDT=C

```

165

170

180

175

```

3149. IF (L.LT.1) GO TO 40
3150. CONTINUE
3151. CPLDT = DCLR
3152. GO TO 60
3153. CONTINUE
3154. IF (L.EQ.101) GO TO 50
3155. CONTINUE
3156. CPLDT = DCLR
3157. CONTINUE
3158. CPLDT = DCLR
3159. CONTINUE
3160. CPLDT = DCLR
3161. CONTINUE
3162. CPLDT = DCLR
3163. CONTINUE
3164. IF (I.EQ.0) OR (I.EQ.50) GO TO 200
3165. CONTINUE
3166. DO 210 J=1,M
3167. TEMP = YREAL(J,K)
3168. IF (TEMP.EQ.0) OR (TEMP.EQ.50) GO TO 205
3169. DFL = (X(J) - 30FK) / DT(I)
3170. FL = 1 + IFIX(FL)
3171. IF (A(L).EQ.ICHAR(K)) GO TO 210
3172. A(L) = DCLR
3173. CONTINUE
3174. IF (I.LT.17) OR (I.GT.40) GO TO 400
3175. IF (MOD(I,2).EQ.0) GO TO 420
3176. WRITE(3,112) VY(I-16),A(J),J=1,101)
3177. CONTINUE
3178. WRITE(3,113) VY(I-16), SYN,(A(J),J=1,101)
3179. GO TO 22
3180.
3181.
3182.
3183.
3184.
3185.
3186.

```







```

0035 CONTINUE
0036 WRITE(3,102)MAXK,TE,IDADOS
0037 FORMAT(1H1,30X,'TABELA',5X,13,5X,'AMSTRAS',5X,DE',
/
/
0038 WRITE(3,112)K,8X,'VJEM',9X,'XMED',14X,'XDESV',6X,'NULIL',7X,'PR
0039 DBAS',10X,'DESVIOC',//)
0040 DO 150 K=1,MAXK
0041 IF(VDESV(K).NE.0) GO TO 130
0042 DT(K)=1
0043 DO 150 I=1
0044 FLUTUA=C(K)
0045 ELJUA=C(K)
0046 CONTINUE
0047 DO 200 K=1,MAXK
0048 WRITE(3,122)K,C(K),VDESV(K),INULIL(K),VQLD(K),DT(K)
0049 FORMAT(/,3X,14,5X,12.6,5X,15,5X,12.6,5X,12.6)
0050 CONTINUE
0051 WRITE(3,202)
0052 FORMAT(1H1,30X,'TESTE DAS MEDIAS DAS AMSTRAS',//)
0053 DO 210 K=1,MAXK
0054 VMEY(K)=VDESV(K)
0055 VDEST(K)=VDESV(K)
0056 CONTINUE
0057 CALL HISTOGRAM(VMED,MAXK)
0058 CALL LILFOR(VMED,ZNORMA,ETEDI,EDISTR,MAXK,ERRU,TESTE,NULIM)
0059 CALL X4FOR(VMED,MAXK,AMEDIA,ADESV)
0060 CALL KOLM(VMED,MAXK,VMAX,PROB,3,1,AMEDIA,ADESV,IERRO)
0061 WRITE(3,212)MAXK,AMEDIA,ADESV
0062 FORMAT(/,10X,'FORAM TESTADAS',3X,13,3X,'MEDIAS COM MEDIA ',F12.7
/
/
0063 WRITE(3,222)INULIM
0064 FORMAT(/,10X,15,2X,'ELEMENTOS ULTRAPASSARAM O VALOR DO TESTE LILI
/
/
0065 WRITE(3,232)PRDBAS
0066 FORMAT(/,10X,F12.7,2X,'E O VALOR PARA O TESTE KOLMOGOROV DAS
/
/
MEDIAS',//)
0067 WRITE(3,242)

```



```

0101
0102
0103
0104
0105
0105
0107
0108
0109
640
605
650
9999
WRITE(3,640)PRTRAB
FORMAT(10X,'VALOR DO TESTE <DUMDGRJ-SMIFNOV ',F12.6,/)
WRITE(3,65)JH
WRITE(3,605)JH3
FORMAT(//,10X,'TESTE KRUSKAL-WALLIS SEM CORRECAO PARA EMPATES
',F12.6,/)
FORMAT(10X,'VALOR DO TESTE DE KRUSKAL-WALLIS ',F12.6,/)
DO TO 1
STOP
END

```