

ESTUDO DA PRODUTIVIDADE DOS TRATORES DE ESTEIRAS: SISTEMATIZAÇÃO E USO DE SIMULAÇÃO

Dennis José Vieira Porto



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto



São Carlos
1999

Class.	TEEE - EESC
Cuti.	4583
Tombo	120199

31100006916

sys 1035001

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P853e Porto, Dennis José Vieira
Estudo da produtividade dos tratores de esteiras :
sistematização e uso de simulação / Dennis José Vieira
Porto. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto.

1. Produtividade. 2. Tratores de esteiras.
3. Simulação. I. Título.

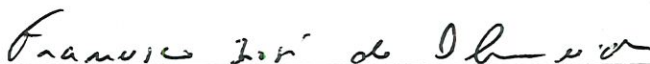
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **DENNIS JOSÉ VIEIRA PORTO**

Dissertação defendida e aprovada em 16.04.1999
pela Comissão Julgadora:




Doutor . **RICARDO YASSUSHI INAMASU (Orientador Designado)**
(EMBRAPA/CNPDIA)



Prof. Dr. **FRANCISCO JOSÉ DE ALMEIDA**
(Universidade Metodista de Piracicaba)



Prof. Assoc. **JOSÉ REYNALDO ANSELMO SETTI**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



Prof. Associado **ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO**
Coordenador da Área de Engenharia Mecânica



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*À minha esposa Érika e minhas filhas Paula e Laura,
razões principais da dedicação a este, e outros trabalhos.*

Agradecimentos:

Ao Professor Dr. Arthur José Vieira Porto, pela excelente orientação, e pelos incentivos e motivações nas horas mais difíceis.

À todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica da EESC/USP, pela colaboração.

À Caterpillar Brasil Ltda, pelo apoio e colaboração.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE EQUAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	9
GLOSSÁRIO	10
RESUMO	13
ABSTRACT	14
1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 - OBJETIVOS DO TRABALHO	16
1.2 - DESCRIÇÃO DO TRABALHO	16
2 – ESTUDOS DE PRODUTIVIDADE.....	18
2.1 - A QUESTÃO DA POTÊNCIA.....	18
2.1.1 - <i>A Potência Disponível</i>	18
2.1.2 - <i>A Potência Utilizável segundo as Condições de Trabalho.</i>	20
2.1.3 - <i>A Potência Necessária</i>	25
2.2 - CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE DE UMA OBRA	25
2.2.1 - <i>A questão do Tempo</i>	25
2.2.2- <i>A questão dos Materiais</i>	27
2.2.3 - <i>A questão dos Fatores de Eficiência</i>	30
2.3 - PRODUTIVIDADE DE TRATORES DE ESTEIRAS COM LÂMINAS “BULDOZER”.....	31
2.3.1 - <i>Limitações do trator</i>	32
2.3.2 - <i>Produtividade estimada do Bulldozer</i>	34
2.4 – PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO DE ESTUDOS DE PRODUTIVIDADE DE TRATORES DE ESTEIRAS	37
1) - <i>Variáveis do Estudo - recomendações</i>	38
2) - <i>Orientações para realização de Estudo de Serviços de Lâmina</i>	40
3) - <i>Organização do Estudo de Campo</i>	40
4) - <i>Resultado do Estudo</i>	48
5) - <i>Recursos de apresentação - Visual</i>	48
3 – SIMULAÇÃO: UMA FERRAMENTA DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO	49
3.1 - INTRODUÇÃO	49
3.2 SISTEMAS.....	50
3.2.1 - <i>Simulação de processos discretos ou não contínuos</i>	51
3.2.2 - <i>Simulação de processos contínuos</i>	53
3.3 MODELOS.....	53
3.4 PASSOS PARA FAZER SIMULAÇÃO.....	55
3.4.1 <i>Definição dos Objetivos do Estudo</i>	55
3.4.2 <i>Procedimento Geral</i>	58
3.4.3 <i>Procedimento para condução de um estudo de simulação</i>	59
3.5. DEFINIÇÃO DO SISTEMA.....	61

3.5.1	<i>Determinação dos dados exigidos</i>	62
3.6	CONSTRUÇÃO DO MODELO	65
3.6.1	<i>Refinamento Progressivo</i>	65
3.6.2	<i>Expansão Incremental</i>	66
3.6.3	<i>Verificação e validação do Modelo</i>	67
3.7	CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS [PORTO, 1996].....	68
3.7.1	<i>Simulações terminativas versus não-terminativas</i>	70
3.8	RELATÓRIO DOS RESULTADOS.....	71
3.9	SIMULAÇÃO E PRODUTIVIDADE	72
4	ENSAIOS DE MODELAGEM.....	73
4.1	DOZSIM, UM SISTEMA DE SIMULAÇÃO VOLTADO PARA APLICAÇÕES DE TRATORES EM MINERAÇÃO.	73
4.2	UTILIZANDO O DOZSIM	75
4.2.1	<i>Seleção de Máquina</i>	77
4.2.2	<i>Seleção do Material</i>	79
4.2.3	<i>Estabelecendo altitude</i>	81
4.2.4	<i>Definindo o parâmetro relacionado com a visibilidade</i>	82
4.2.5	<i>Estabelecendo os parâmetros do Operador</i>	82
4.3	TIPOS DE OPERAÇÃO.....	83
4.3.1	<i>Centróides, Distâncias de Movimentação e Inclinação</i>	84
4.3.2	<i>Distância Mínima de Trabalho</i>	85
4.3.3	<i>Sólidos Desagregados</i>	85
4.4	CRIANDO UM MODELO DE MINA	86
4.4.1	<i>O modelo de mina, passo a passo</i>	86
4.4.2	<i>Criando uma Detonação</i>	89
4.4.3	<i>Criando Camadas</i>	91
4.5	CÁLCULO RÁPIDO	92
4.6	VISTA (VIEW).....	94
4.7	DELETAR (DELETE).....	94
4.8	CUSTO	94
4.9	ALTERANDO PARÂMETROS (CHANGING INPUT PARAMETERS).....	94
4.10	RELATÓRIOS.....	95
4.11	LIMITAÇÕES DO DOZSIM.....	97
5	ENSAIO PRÁTICO E RESULTADOS	98
5.1	ETAPA 1 - VARIÁVEIS DO ESTUDO	98
5.1.1	<i>Operador</i>	98
5.1.2	<i>Material</i>	98
5.1.3	<i>Máquinas</i>	99
5.2	ETAPA 2 – ORIENTAÇÕES.....	100
5.3	ETAPA 3 – ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO.....	101
5.3.1	<i>Tamanho das escavações e transporte</i>	101
5.3.2	<i>Número de escavações</i>	102
5.3.3	<i>Estaqueamento</i>	102
5.3.4	<i>Distância de transporte</i>	104
5.3.5	<i>Área de despejo</i>	104
5.3.6	<i>Instruções ao operador</i>	104
5.3.7	<i>Condução do teste</i>	105
5.3.8	<i>Registro dos dados</i>	106
5.4	ETAPA 4 – CÁLCULO DOS RESULTADOS.....	108
5.5	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	110
6	CONCLUSÃO	112
6.1	CONCLUSÕES SOBRE O PROJETO.....	112
6.2	CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS	113
6.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	114

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXOS	124
ANEXO 1	124
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE REALIDADE VIRTUAL	124
<i>A1.1 - O que é realidade virtual</i>	124
<i>A1.2 - Noções básicas sobre realidade virtual</i>	127
<i>A1.3 - Visão geral sobre o emprego da realidade virtual</i>	129
<i>A1.4 - Aplicações de realidade virtual na indústria</i>	129
ANEXO 2	132
<i>Referências bibliográficas</i>	132

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Gráfico típico de Velocidade em função da Tração disponível.

FIGURA 02 – Rampa de 10%.

FIGURA 03 – Lâmina Reta ou Lâmina S.

FIGURA 04 – Lâmina Angulável ou Lâmina A.

FIGURA 05 – Lâmina Universal ou Lâmina U.

FIGURA 06 – Gráfico de Produtividade de “Buldozeres” – As curvas representas a Produtividade teórica em função da distância percorrida.

FIGURA 07 – Gráfico de determinação do fator de correção da produção em função da porcentagem de rampa.

FIGURA 08 – Fotografia do teste de Produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil, em 1997.

FIGURA 09 – Desenho ilustrativo de um teste de Produtividade com quatro trincheiras.

FIGURA 10 – Desenho ilustrativo de um teste de Produtividade, destacando-se as Áreas de Corte, Transporte e Despejo.

FIGURA 11 – Desenho ilustrativo de um teste de Produtividade destacando-se a Trincheira nivelada e pronta para o levantamento do volume escavado.

FIGURA 12 – Tela principal de sistema DOZSIM.

FIGURA 13 – Tela da seleção da máquina no sistema DOZSIM.

FIGURA 14 – Tela da seleção do material no sistema DOZSIM.

FIGURA 15 – Tela da seleção da altitude de operação no sistema DOZSIM.

FIGURA 16 – Tela da seleção da visibilidade no sistema DOZSIM.

FIGURA 17 – Tela da seleção das características do operador no sistema DOZSIM.

FIGURA 18 – Tela da definição da mina no sistema DOZSIM.

FIGURA 19 – Tela do sistema “DesignCAD 3D” ilustrando a mina definida.

FIGURA 20 – Tela do sistema DOZSIM apresentando opções de detonação.

FIGURA 21 – Tela de esboço, apresentando-se a mina em corte lateral para definição do volume de material a ser removido.

FIGURA 22 – Tela “Slide Viewer” do sistema DOZSIM destacando o primeiro corte a ser Realizado.

FIGURA 23 – Tela do relatório dos resultados da simulação da produtividade do Sistema DOZSIM.

FIGURA 24 – Tela do relatório dos resultados da simulação, por corte, da produtividade do Sistema DOZSIM.

FIGURA 25 – Tela da caixa de diálogo de impressão.

FIGURA 26 – Fotografia do teste de Produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil.

FIGURAS 27 e 28 – Fotografias flagrante do levantamento topográfico durante teste de produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil, em 1997.

FIGURA 29 – Fotografia flagrante do levantamento de dados durante teste de produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil, em 1997.

FIGURAS 30.a e 30.b – Formulário para levantamento de dados de produtividade e análise de ciclos de tratores de esteiras.

FIGURA 31 – Gráfico do Produtividade das máquinas, resultante do teste realizado na área de demonstração da Caterpillar Brasil, 1997.

FIGURA 32 – Gráfico de Eficiência em combustível das máquinas, resultante do teste realizado na área de demonstração da Caterpillar Brasil, 1997.

FIGURA 33 – Representação da lâmina e solo em sistema de RV.

FIGURA 34 – Representação do corte de lâmina e solo em sistema de RV.

FIGURA 35 – Representação do final da movimentação de material e solo em sistema de RV.

FIGURA 36 – Test drive dos novos projetos de tratores (BLANCHARD, 1995).

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 01 – Potência igual a multiplicação da Tração pela Velocidade:

$$P = Tr \times v$$

EQUAÇÃO 02 – Tração utilizada igual a multiplicação do Coeficiente de tração pelo Peso sobre as esteiras:

$$Tr = Cf \times P$$

EQUAÇÃO 03 – Fator de conversão igual ao volume do material em estado natural (metro cúbico de corte) dividido pelo Volume de material solto:

$$fc = Vc / Vs$$

EQUAÇÃO 04 – Porcentagem de Empolamento igual ao inverso do fator de conversão, subtraída da unidade e multiplicada por 100:

$$\%E = ((1/fc)-1) \times 100$$

EQUAÇÃO 05 – Produção igual a produção máxima teórica multiplicada pelo fator de correção:

$$Pr = Pr(max) \times fc$$

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Coeficiente de tração [Manual de Produção Caterpillar, edição 28, p.26-2].

TABELA 02 – Densidade e fatores de carga [Princípios básicos de terraplenagem, edição 2, p.14].

TABELA 03 – Fatores de eficiência de um operador[Princípios básicos de terraplenagem, edição 2, p.14].

TABELA 04 – Resultados dos estudos de produtividade.

TABELA 05 – Dados técnicos dos tratores.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PBM = Peso Bruto da Máquina.

MCC = Metro Cúbico de Corte (no BANCO).

MCS = Metro Cúbico Solto.

fc = Fator de Conversão.

MCS/h Metros Cúbicos por hora.

GLOSSÁRIO

- Acessório** - Peça que, embora desnecessária ao funcionamento de uma máquina, permite ou facilita o desempenho de uma atividade.
- Banco** - Camada extensa de material sobre o solo.
- Borda cortante** - Extremidade inferior da lâmina de um trator.
- Buldozer** - Equipamento de terraplenagem que consiste numa lâmina de aço adaptável a um trator e destinado a escavar e deslocar, a pequenas distância, terra e outro materiais.
- Carregamento** - Volume de material que constitui uma carga.
- Cilindro de inclinação** - Cilindro fixado no buldozer e que permite a inclinação lateral da lâmina de um trator.
- Compactação** - Ato ou operação de reduzir o volume de vazios de um sólido, aumentando a densidade, resistência e estabilidade.
- Corte** - Escavação feita em uma faixa de terreno, para rebaixá-lo.
- Despejo** - Sobre, lixo; ato de despejar.
- Destoca** - Ato ou operação de arrancar tocos de árvore.

- Empolamento** - Aumento de volume verificado, em trabalho de terraplenagem, nos materiais resultantes de escavação.
- Escarificador** - Dispositivo constituído de um conjunto de dentes que se adapta a um trator para desagregar e revolver a terra, para facilitar a escavação.
- Estado estável** - Estado de um sistema em que a energia está ao mesmo nível do estado fundamental.
- Estaqueamento** - Ato ou efeito de estaquear, firmar estacas; conjunto de estacas de um caminhamento topográfico.
- Excesso de material** - Volume que excede ou ultrapassa o desejável ou permitido.
- Material rodante** - Conjunto de componentes que compreendem o sistema de movimentação direta de um trator de esteiras (pinos, elos, buchas e sapatas).
- Modelo** - Representação em pequena escala de algo que se pretende executar em grande; objeto destinado a ser reproduzido por imitação.
- Modelador** - Aquele que modela.
- Reaterro** - Porção de terra nivelada de um terreno; aterro.
- Retorno** - Ato ou efeito de retornar, ou regressar; regresso.

Ripper - O mesmo que escarificador.

Servo-transmissão - Sistema de transmissão automática.

Terminativa - Que termina; decisiva.

Transporte - Operação de deslocar ou transportar material de um ponto para outro.

Trincheiras - Escavação no terreno.

Variáveis estocásticas - Variáveis aleatórias.

RESUMO

PORTO, D. J. V. (1999). *Estudo da Produtividade dos Tratores de Esteiras: Sistematização e Uso de Simulação*. São Carlos, 1999. 125p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Os tratores de esteiras são as máquinas de terraplenagem mais utilizadas no mundo, empregados em serviços pesados que exigem grande força de tração e encontrados em quase todos os tipos de trabalho: construção, mineração, agricultura, reflorestamento, entre outros. Assim, como acontece com qualquer outro produto, os fabricantes investem enormes quantias para que um padrão de consumo competitivo seja mantido e neste ramo são muitos os fatores considerados durante a decisão de uma compra. Dentre estes fatores as informações sobre produtividade normalmente possuem um grande impacto. Este trabalho tem por finalidade discutir um estudo comparativo de produtividade, descrever as variáveis envolvidas e propor um método lógico de condução destes estudos, visando resultados representativos e, principalmente, válidos. Também é objetivo deste trabalho analisar a utilização de sistemas de simulação para a realização de estudos de produtividade de tratores de esteiras em trabalho de lâminas.

Palavras-chave: produtividade; tratores de esteiras; simulação

ABSTRACT

PORTO, D. J. V. (1999). *Productivity Study of Track Type Tractors: Sistematization and Simulation*. São Carlos, 1999. 125p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The track type tractors are the most used earth moving machines in the world, being used in heavy duty applications which require high power and traction. They have being used by almost every type of industry: building and large construction, mining, agriculture, forestry, and so on. To maintain a standard competitiveness among the competitors, the track type tractor manufacturers spend a large amount of money, since many are the factors considered during the purchase decision process. The machine productivity information is a very important element into that process. This monograph will discuss the productivity study and the variables involved in it suggesting a logical methodology to conduct a study. It is also the objective of this work to investigate the usage of simulation systems to evaluate the productivity of track type tractors in Bulldozer operation.

Key-words: productivity study; track-type tractors; simulation

1 – INTRODUÇÃO

A indústria de tratores de esteiras no Brasil apresentou uma produção média de mil e quinhentas máquinas por ano, entre os anos de 1989 e 1995, segundo Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA (1996). Esta tendência vem se mantendo nos últimos três anos. Deste volume, dois terços foram adquiridos pelo mercado brasileiro, ou seja, aproximadamente mil máquinas novas por ano, em média, entram em operação no mercado nacional, o que representa uma movimentação de capital superior a cento e cinquenta milhões de reais anuais, baseando-se nos preços médios dos tratores que podem ser encontrados, por exemplo, na revista mensal Construção (1997).

As informações de produtividade são consideradas importantes ferramentas de vendas destas máquinas novas, uma vez que o conceito de produto, segundo KOTLER (1996), assume que os consumidores favorecerão aqueles produtos que oferecem mais qualidade, desempenho ou características inovadoras.

Há, porém, outros motivos para a realização de estudos de produtividade com tratores de esteiras. Os ensaios comparativos entre máquinas de diferentes fabricantes, ou classes de peso e potência distintas, são decisivos para os clientes que buscam a renovação de sua frota, ou parte dela. Estes estudos também proporcionam, aos usuários, uma base de dados para melhor enfrentar futuras concorrências, auxiliando-os na determinação do número de máquinas necessárias para a realização de uma obra ou o tempo total para sua conclusão.

Por outro lado, os testes de produtividade também são de interesse da engenharia de produto das próprias empresas, pois auxiliam na validação de um novo projeto, podendo até mesmo sugerir um reprojeto.

Assim, com estudos de produtividade, os usuários tem acesso a informações úteis para tomar decisões de compra e controlar seus equipamentos. O revendedor, por sua vez, recebe informações de vendas para argumentar com seus clientes. E finalmente, a empresa fabricante compila importantes informações para uso interno ou para publicação e distribuição.

1.1 - Objetivos do trabalho

Esta dissertação tem como objetivo propor uma sistematização, em cinco fases, para a condução de um estudo de produtividade de tratores e esteiras, e verificar o modelo proposto em um ensaio de campo.

Devido ao custo elevado de um teste real, o qual varia em função do número de máquinas envolvidas, outro objetivo deste trabalho é verificar a existência e/ou aplicação de sistemas de simulação em ensaio de tratores.

1.2 - Descrição do trabalho

No capítulo 2 apresenta uma descrição sobre estudos de produtividade, onde são apresentados conceitos e parâmetros envolvidos em testes de máquinas de esteiras. Encontra-se também, neste capítulo, a proposta de sistematização de um estudo de produtividade.

O capítulo 3 é dedicado a sucintas definições e procedimentos sobre simulação, uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, assim como a criação de modelos e conduções de experimentos.

O capítulo 4 faz uma análise detalhada de um sistema de simulação voltado para aplicações de tratores em mineração de carvão, denominado DOZSIM.

O capítulo 5 descreve uma aplicação, em campo, da proposta do projeto e apresenta os resultados de um teste de produtividade envolvendo quatro tratores de esteiras.

No capítulo 6, finalizando, são apresentados os resultados e as conclusões deste trabalho em função dos objetivos.

2 – ESTUDOS DE PRODUTIVIDADE

Como mencionado nos manuais PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem (1977 e 1992), em cada obra encontra-se um mesmo problema. Este problema pode ser definido pelas palavras produção e custo e baseia-se em encontrar um método de remoção de uma quantidade de material dentro de um prazo determinado e a um custo mínimo por metro cúbico. O sucesso desta operação depende, em grande parte, do método utilizado e dos equipamentos empregados na solução deste problema. Segundo o MANUAL de produção Caterpillar (1997), os fatores que afetam diretamente a produtividade, em relação aos equipamentos empregados, são a relação peso – potência de uma máquina, sua capacidade de carga, tipo de transmissão, velocidade e os custos de operação.

2.1 - A QUESTÃO DA POTÊNCIA.

Segundo as características dos projetos de engenharia, as máquinas de terraplenagem são construídas para executar tarefas sob determinadas condições. Portanto, a utilização ideal de uma máquina depende do conhecimento do empreiteiro e também do operador no que se refere à potência necessária, potência disponível e potência utilizável da máquina para execução do trabalho.

2.1.1 - A Potência Disponível

São dois os fatores que determinam a potência disponível, segundo o MANUAL de produção (1997): a tração e a velocidade. Sendo a potência um valor constante para um determinado equipamento e expresso como

razão entre trabalho e tempo, a relação entre velocidade, tração e potência pode ser apresentada pela seguinte fórmula:

$$\text{Potência} = \text{Tração} \times \text{Velocidade}$$

EQ.(1)

Uma vez que a potência disponível é constante, a tração disponível mudará inversamente à velocidade. Em geral as máquinas de terraplenagem possuem transmissões que proporcionam combinações de velocidade e tração para satisfazerem os requisitos dos diversos tipos de aplicações e trabalhos. A figura 01 ilustra um gráfico típico de velocidade em função da tração disponível na barra de tração, para um trator de esteiras equipado com servo-transmissão com três marchas à frente.

Força na Barra de Tração com Servo-Transmissão X Velocidade no Solo

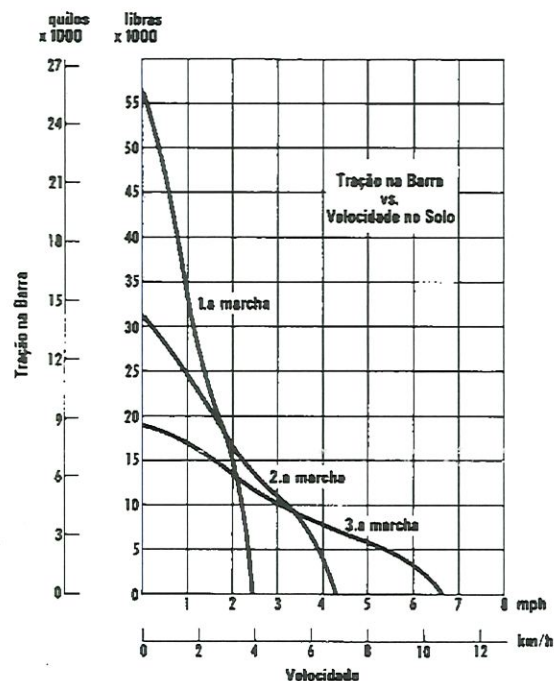


FIGURA 01 - Gráfico típico de Velocidade em função da Tração disponível [PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem, edição 2, p.7]

A escolha da marcha de operação proporcionará diferentes combinações de velocidade e tração. Assim a primeira marcha apresenta baixa velocidade e alta tração, enquanto que a terceira marcha apresenta mais velocidade, porém com menor tração.

2.1.2 - A Potência Utilizável segundo as Condições de Trabalho.

As condições de trabalho definem limites relacionados com a potência realmente utilizada ou simplesmente, potência utilizável. Esta depende do peso sobre as esteiras, da altitude e da aderência das esteiras ao solo. O CATERPILLAR performance handbook (1979-1997) observa que a máxima potência disponível é limitada pelo peso da própria máquina. Ou seja, uma máquina não pode exercer uma tração, em quilos, superior ao peso sobre suas esteiras. Portanto, é rara a ocasião em que toda a potência disponível de uma máquina pode ser utilizada para a execução do trabalho.

2.1.2.1 - Coeficiente de Tração

As características do piso possuem relações diretas com a tração utilizável. O efeito da aderência proporcionada por um tipo específico de condição de solo pode ser indicado pelo uso do Coeficiente de Tração.

Este coeficiente representa a relação do total de tração que uma máquina pode exercer antes que as esteiras patinem, sem considerar o peso bruto da máquina sobre as esteiras. O coeficiente de tração está diretamente relacionado ao tipo de solo a ser trabalhado. Os valores dos coeficientes de tração para os diferentes tipos de solo estão apresentados na tabela a seguir

conforme apresenta o manual PRINCÍPIOS Básicos de Terraplenagem (1992).

Assim a tração utilizada, em função do coeficiente de tração, pode ser determinada através da seguinte equação:

$$\text{Tração utilizada} = \text{Coeficiente de tração} \times \text{Peso sobre as esteiras}$$

EQ. (2)

TABELA 01 – Coeficiente de tração [MANUAL de Produção Caterpillar, edição 28, p.26-2.]

MATERIAL	Coef. TRAÇÃO
Concreto	0,45
Argila seca	0,90
Argila úmida	0,70
Areia seca	0,30
Areia úmida	0,50
Pedreira	0,55
Estrada de cascalho solto	0,50
Terra firme	0,90
Terra solta	0,60
Carvão amontoado	0,60

2.1.2.2 - Altitude

O manual PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem, (1992) afirma que o rendimento dos motores é afetado diretamente pela altitude do local de trabalho devido a diferença de densidade do ar. Acima de mil e quinhentos metros, e à medida que o ar torna-se menos denso, ocorre uma redução do rendimento de potência. Esta perda é maior nos motores de aspiração natural, sem turbo-compressor ou com ventilação forçada para a acumulação de ar nos cilindros. A perda de potência do motor provocada pela altitude é de três por cento para cada trezentos metros, acima de mil metros.

Para os motores turbo-comprimidos, a perda de potência praticamente só ocorre após três mil metros de altura.

2.1.2.3 - A Resistência ao Rolamento

Dentre os diversos fatores que contribuem para a resistência ao rolamento nas máquinas de terraplenagem, os mais significativos são a fricção interna, a flexão dos pneus, a penetração no solo e o peso bruto da máquina, onde este último é a somatória do peso de operação da máquina (em vazio) com o peso da carga transportada.

Uma vez que as máquinas de esteiras deslocam-se sobre sua própria via permanente de aço, elas não sofrem flexão ou penetração no solo, como no caso dos tratores de rodas, (PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem, 1992, p.5).

Sendo assim, para as máquinas de esteiras, o único fator que contribui para a resistência ao rolamento é a fricção interna no trem de força. A fricção

interna é a resistência ao fluxo de potência ou seja, a resistência à transmissão de energia do volante do motor aos comandos finais, concentrada principalmente nos componentes mecânicos do sistema de transmissão, especialmente nos rolamentos.

Este fator permanece relativamente constante e é compensado pela diferença entre a potência no volante e a potência disponível. Assim, a tração medida na barra já reflete o efeito de quaisquer perdas internas no trem de força, fazendo com que o efeito da resistência ao rolamento em máquinas de esteiras possa ser desconsiderado.

2.1.2.4 - A Resistência de Rampa

No caso de um veículo em movimento ascendente ou descendente, em um terreno inclinado, o componente da força da gravidade que atua na direção do movimento do veículo, denominada Resistência de Rampa, afeta diretamente o seu desempenho.

Em terraplenagem, normalmente, as rampas são medidas em porcentagem de rampa, ou seja, através da relação entre a elevação ou queda vertical e a distância horizontal em que a elevação ou queda ocorre. A figura 02 ilustra um rampa de 10%.

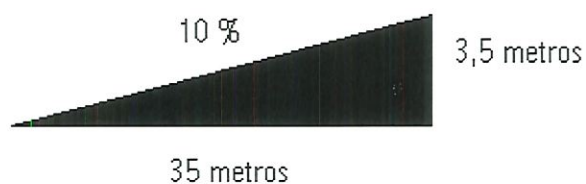


FIGURA 02 - Rampa de 10%

A rampa adversa, ou ascendente, resulta em uma resistência de rampa e conseqüentemente um requisito maior de potência. Já em uma rampa favorável ou descendente, a força atuante é auxiliar e denominada assistência de rampa.

Conforme apresentado pelo MANUAL de produção (1997), para cada 1% de incremento de rampa adversa é preciso superar mais 10 kg de resistência para cada tonelada de peso da máquina. Esta relação é expressa pela fórmula, onde PBM equivale ao **Peso Bruto da Máquina**:

$$\text{Resistência de Rampa} = 10 \text{ (kgf/ton)} \times \text{Percentual de Rampa (\%)} \times \text{PBM}$$

EQ.(3)

Trafegando em aclave, uma máquina deve superar a resistência de Rampa que, para o caso de tratores de esteiras, é igual a resistência total uma vez que a resistência ao rolamento pode ser desconsiderada, conforme foi abordado anteriormente. Para um tráfego em declive, portanto, a resistência total é negativa ou seja, é favorável ao movimento. Neste caso o freio torna-se um requisito mais importante que a própria potência.

2.1.2.5 - A Rampa Efetiva

A tração necessária é o mesmo que a resistência total e pode também ser expressa através de porcentagem do peso bruto da máquina. Desta forma a resistência total é denominada de rampa efetiva.

2.1.3 - A Potência Necessária

A potência necessária é determinada pela resistência ao rolamento e pela resistência de rampa, segundo a seguinte afirmação: “A potência necessária é igual a resistência ao rolamento mais a resistência de rampa” (PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem, 1977).

2.2 - CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE DE UMA OBRA

Na prática não existem obras de construção ou terraplenagem exatamente iguais, porém a base de cada uma delas é semelhante. O maior conhecimento possível sobre a obra e seus controles são fundamentais para o sucesso da sua execução.

A produtividade é a proporção horária de movimentação de material (SILVEIRA, 1987), e é influenciada por três fatores básicos. O Tempo ou o prazo disponível, o Material a ser removido ou trabalhado e a Eficiência das operações compreendem estes fatores.

2.2.1 - A questão do Tempo

As primeiras informações que se obtém de uma obra são o volume de material a ser removido e o tempo disponível para fazê-lo. A partir destes dados determina-se a produtividade necessária ou seja, o volume mínimo de material que deve ser removido, por uma unidade de tempo, para completar a obra dentro do prazo determinado.

Em função da capacidade de produção de uma máquina determina-se então o número de máquinas necessárias para esta fase da obra.

A capacidade de produção de uma máquina é, por sua vez, determinada considerando-se quatro funções ou etapas básicas de operação: Carregamento, Transporte, Despejo e Retorno. Estas etapas estão presentes em qualquer obra, embora com variações de condições e duração.

Outro aspecto importante é o tempo de ciclo ou período regular de deslocamento de uma máquina, caracterizado pelas funções definidas anteriormente. Portanto, tempo de ciclo é o tempo que uma máquina gasta na execução de um ciclo completo de uma determinada operação.

O tempo de ciclo pode ainda ser dividido em duas categorias: Tempo Fixo e Tempo Variável.

- tempo fixo é definido como o tempo de carregamento e despejo, incluindo quaisquer manobras que possam ser necessárias (PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem, 1992). Os fabricantes de máquinas fornecem este valor de tempo como uma constante por equipamento.
- tempo variável, ou tempo de percurso, é definido pelas fases de transporte e retorno e podem ser determinados em função da velocidade de operação e das condições da estrada.

2.2.2– A questão dos Materiais

A maior parte dos materiais podem ser movimentados com a lâmina “bulldozer” de um trator de esteiras, entretanto o desempenho da operação varia com as características desses materiais:

- O tamanho e a forma das partículas do material influenciam o desempenho de uma operação de terraplenagem uma vez que quanto maior elas forem mais difícil é a penetração de uma borda cortante. Partículas pontiagudas resistem também ao rolamento provocado por uma lâmina durante o transporte, requerendo maior potência para serem removidas.
- Um material bem granulado e com pequenos vazios é geralmente pesado e difícil de ser removido de seu estado natural. Quanto menor forem os espaços vazios, significa que as partículas individuais tem sua superfície, ou a maior parte dela, em contato com outras superfícies. Esta característica traduz-se em uma liga que deve ser desfeita no processo de movimentação do material exigindo-se potência adicional.
- A falta de umidade aumenta a coesão na maioria dos materiais tornando-os de difícil movimentação. Um alto teor de umidade dificulta a operação da lâmina uma vez que o material fica pesado requerendo-se maior força para ser deslocado. O teor ideal de umidade, porém, reduz a poeira e oferece a melhor condição para facilitar o trabalho com lâmina aumentando-se, ainda, o conforto do operador.

Uma indicação da capacidade de penetração de uma lâmina e da obtenção ideal da sua carga ideal é a relação potência por largura da borda cortante.

Como qualquer outro material a terra também resiste ao movimento ou corte e passa por um processo de transformação ao ser movida. Esta

transformação segue os princípios das propriedades dos materiais (PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem, 1977). Portanto, é importante que a decisão sobre o tipo de equipamento de terraplenagem a ser utilizado num trabalho esteja diretamente ligado às características de carregamento e também da capacidade de carregamento do material ou seja, quanto maior a capacidade de carregamento do material, maior é a facilidade para escavá-lo e carregá-lo.

Assim a capacidade de retenção ou movimentação de material de uma lâmina é indicada pela relação “tração disponível por metro cúbico de material solto”. Quanto maior esta relação, maior será a capacidade da lâmina no transporte de material e em velocidades mais altas.

O material a ser removido, ainda, possui: Peso e Empolamento que são propriedades diretamente relacionadas com o trabalho.

O peso do material influi na capacidade do trator em efetuar curvas, manobrar e transportar em altas velocidades, influenciando diretamente também na operação de uma lâmina, afetando o desempenho do equipamento que estiver sendo utilizado, no caso, um trator de esteiras.

Já o empolamento é definido como a porcentagem de aumento do volume original, de um material ao removê-lo do seu estado natural. Ao ser escavado o material fragmenta-se em pedaços e partículas de diferentes tamanhos que deixam bolsas de ar ou vazios, reduzindo assim o peso por volume de material. O empolamento representa portanto a redução na densidade de um material ocorrida pela transformação de seu estado natural para o estado solto.

O volume do solo é determinado de acordo com seu estado no processo de terraplenagem. É importante, então considerar-se as definições de Metro Cúbico no Corte (**MMC**) e Metro Cúbico Solto (**MCS**) que representam o

volume de material medido em seu estado natural e o volume de material medido após escavação, respectivamente.

A relação entre o Metro Cúbico de Corte e Metro Cúbico Solto é denominada Fator de Conversão (**F.C.**) e pode ser expresso pela seguinte equação:

$$F.C. = MMC / MCS$$

EQ.(4)

Portanto o Empolamento pode ser determinado com segue:

$$\% \text{ Empolamento} = ((1/F.C.) - 1) * 100$$

EQ.(5)

A tabela a seguir apresenta uma lista de materiais e os respectivos valores aproximados de densidades e fatores de carga.

TABELA 02 – Densidade e fatores de carga [PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem, edição 2, p.14].

PESO DOS MATERIAIS*	SOLTO		NO CORTE		FATORES DE CARGA
	kg/m ³	lb/ft ³	kg/m ³	lb/ft ³	
Basalto	1960	3300	2970	5000	0,67
Bauxita, caolim	1420	2400	1900	3200	0,75
Salitre	1250	2100	2260	3800	0,55
Carnotite, minério de urânio	1630	2750	2200	3700	0,74
Cinzas	560	950	860	1450	0,66
Argila Seca, solta	1660	2800	2020	3400	0,82
Úmida	1480	2500	1840	3100	0,81
Molhada	1660	2800	2080	3500	0,80
Argila e cascalho: Secos	1420	2400	1660	2800	0,85
Úmidos	1540	2600	1840	3100	0,85
Carvão de Pedra, Natural	1190	2000	1600	2700	0,74
Lavado	1100	1850	—	—	0,74
Cinza de carvão betuminoso	530-650	900-1100	590-890	1000-1500	0,93
Carvão betuminoso: Natural	950	1600	1280	2150	0,74
Lavado	830	1400	—	—	0,74
Rocha decomposta:					
75% Rocha, 25% Terra	1960	3300	2790	4700	0,70
50% Rocha, 50% Terra	1720	2900	2280	3850	0,75
25% Rocha, 75% Terra	1570	2650	1960	3300	0,80
Terra: Seca, compactada	1510	2550	1900	3200	0,80
Úmida escavada	1800	2700	2020	3400	0,79
Marga	1250	2100	1540	2600	0,81
Granito — Fragmentado	1660	2800	2730	4600	0,61
Cascalho Bruto	1930	3250	2170	3650	0,89
Seco	1510	2550	1690	2850	0,89
Seco 6-50 mm (1/4"-2")	1690	2850	1900	3200	0,89
Úmido 6-50 mm (1/4"-2")	2020	3400	2260	3800	0,89
Gesso — Fragmentado	1810	3050	3170	5350	0,57
Triturado	1600	2700	2790	4700	0,57
Hematita, minério de ferro, alto grau	1810-2450	4000-5400	2130-2900	4700-6400	0,85
Calcário Fragmentado	1540	2600	2610	4400	0,59
Triturado	1540	2600	—	—	—
Magnetita, minério de ferro	2790	4700	3260	5500	0,85
Pirita, minério de ferro	2580	4350	3030	5100	0,85
Areia, Seca, solta	1420	2400	1600	2700	0,89
Úmida	1690	2850	1900	3200	0,89
Molhada	1840	3100	2080	3500	0,89
Areia e Argila — Solta	1600	2700	2020	3400	0,79
Compactada	2400	4050	—	—	—
Areia e Cascalho Secos	1720	2900	1930	3250	0,89
Úmidos	2020	3400	2230	3750	0,91
Arenito	1510	2550	2520	4250	0,60
Xisto	1250	2100	1660	2800	0,75
Escória — Fragmentada	1750	2950	2940	4950	0,60
Neva — Seca	130	220	—	—	—
Úmida	520	880	—	—	—
Pedra — Britada	1600	2700	2670	4500	0,80
Taconita	1630-1900	3600-4200	2360-2700	5200-6100	0,58
Terra superficial	950	1600	1370	2300	0,70
Rocha trapeana — Fragmentada	1750	2950	2510	4400	0,67
Cavaco de madeira	—	—	—	—	—

* Varia conforme o teor de umidade, tamanho das partículas, grau de compactação, etc. Testes devem ser feitos para determinar as características exatas do material.

2.2.3 - A questão dos Fatores de Eficiência

A eficiência de trabalho é um dos elementos mais complexos na estimativa de produção, uma vez que é influenciado por fatores como a perícia do

operador, atrasos pessoais e atrasos causados pela disposição de obra, ação do tempo e ainda, a necessidade de peças e serviços. É apresentado abaixo valores de eficiência segundo a bibliografia (PRINCÍPIOS básicos de terraplenagem, 1992).

TABELA 03 – Fatores de eficiência de um operador [Princípios básicos de terraplenagem, edição 2, p.15].

Operação	Hora de Trabalho	Fator de Eficiência
Diurna	50 min / h	0,83
Noturna	45 min / h	0,75

Estes valores são baseados em dados práticos e equivalem a porcentagem média de minutos trabalhados em uma hora.

2.3 - PRODUTIVIDADE DE TRATORES DE ESTEIRAS COM LÂMINAS “BULLDOZER”

Uma máquina em operação, equipada com lâmina, remove ou movimenta terra de um local para outro. Para obter-se a máxima produtividade de um trator de esteiras é necessário equipá-lo com a ferramenta adequada, levando-se em consideração o tipo de trabalho que o trator executa durante a maior parte do seu tempo produtivo. O tipo de material a ser removido deve também ser considerado, assim como as limitações do próprio trator.

2.3.1 - Limitações do trator

Os tratores de esteiras são, em sua maioria, fabricados com dois tipos de sistema de transmissão: a mecânica direta e a servo-transmissão.

Na transmissão mecânica direta as engrenagens mantêm-se em contato direto entre si, o que evita a perda de potência. Este tipo de transmissão é indicado para trabalhos que exigem dispêndio contínuo de força na barra de tração, como os serviços que envolvem a tração de implementos agrícolas (SILVEIRA, 1987).

O sistema de servo-transmissão é recomendado para trabalhos que exigem manobras contínuas com mudanças freqüentes de direção e marcha, como a destoca, a remoção de pedras e terraplenagem em geral, pois o acoplamento fluído da servo-transmissão facilita a troca de marcha. Porém, ele não é eficiente em serviços que exigem tração na barra, não sendo portanto indicado para tração contínua de implementos durante um longo período, podendo apresentar problemas de superaquecimento.

Diferentes condições de terreno e de piso, em uma obra, limitam a capacidade de utilização do peso e da potência do trator que são fatores determinantes da capacidade da máquina, conforme mencionado anteriormente.

A tabela 01 apresenta fatores de tração para os materiais mais comuns. Multiplicando-se o peso total do trator pelo Fator de Tração relativo ao material onde esta máquina estiver operando, tem-se a força máxima útil que pode ser exercida pelo bulldozer.

Outro requisito básico para a maximização da produção é a escolha da ferramenta a ser utilizada pelo trator.

Descreveremos aqui os três principais tipos de lâminas e suas características.

- Lâmina Reta “S” - proporciona excelente versatilidade, caracterizando-se como uma lâmina de produção. Pode enfrentar uma faixa ampla de materiais e é fácil de ser manobrada. Possui uma boa relação “potência por largura de borda cortante” sendo, conseqüentemente, agressiva na penetração. A relação “tração disponível por metro cúbico solto” também é elevada tornando a lâmina “S” indicada para material pesado.

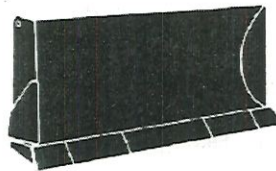


FIGURA 03 - Lâmina Reta ou Lâmina S [Notícias do produto. Caterpillar, março/1992].

- Lâmina Angulável “A” - pode ser posicionada em linha reta ou a vinte e cinco graus para ambos os lados. É projetada para operações de despejo lateral, aberturas de estradas, reaterros, aberturas de valetas e outros serviços semelhantes. Porém não se recomenda o uso da lâmina A para trabalhar em rocha ou aplicações severas.



FIGURA 04 - Lâmina Angulável ou Lâmina A [Notícias do produto. Caterpillar, março/1992].

- Lâmina Universal “U” - lâmina eficiente para movimentar grande volume em longas distâncias de materiais leves e quando a penetração não é o objetivo principal. Projetada para materiais mais leves ou relativamente fáceis de trabalhar com bulldozer.

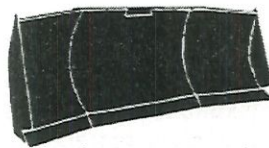


FIGURA 05 - Lâmina Universal ou Lâmina U [Notícias do produto. Caterpillar, março/1992].

2.3.2 - Produtividade estimada do Bulldozer

Pode-se calcular a produtividade do bulldozer utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Produtividade (MCS/h)} = \text{Produção máxima teórica} \times \text{Fatores de correção}$$

EQ.(5)

Contudo, numerosos estudos de campo foram utilizados para definir-se o gráfico de produção de bulldozeres. As curvas do gráfico, mostrado a seguir, indicam a máxima produtividade teórica para lâminas retas e universais. As lâminas anguláveis, que não são consideradas lâminas de produção, podem alcançar 75% da produção da lâmina reta, em média (PERFORMANCE handbook, 1995).

Distância Média de Operações de Lâmina

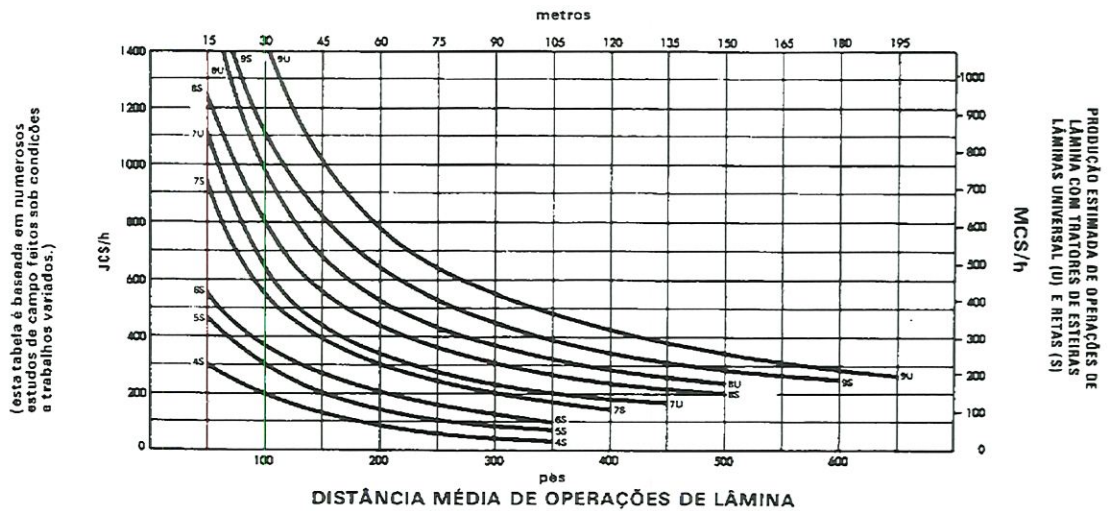


FIGURA 06 - Gráfico de Produtividade de "Buldozeres" - As curvas representam a produtividade teórica em função da distância percorrida [Princípios básicos de terraplenagem, edição 2, p.38].

Os dados deste gráfico são baseados nas seguintes condições:

- Cem por cento de eficiência de trabalho, para ciclo em nível e hora de 60 minutos;
- Máquinas com servo-transmissão, com tempos fixos de mudança de marcha de 0,05 minuto;
- Operação de corte com extensão de 15 metros seguido da operação de despejo;
- Densidade do solo de 1370,0 kg/MCS;
- Coeficiente de tração equivalente a 0,5 ou maior;
- Lâminas com acionamento hidráulico;

- Operação de escavação realizada em primeira marcha, transporte e retorno em segunda marcha.

Portanto, para o cálculo da produção estimada aplica-se ao valor da produção máxima teórica, obtido a partir do gráfico da figura 06, os seguintes fatores de correção:

- fator de carga, resultante do material;
- características de operação;
- habilidade do operador;
- eficiência de trabalho, por hora;
- correção da densidade do material;
- correção de rampa; neste caso pode-se também utilizar do gráfico da figura 07.

% de Rampa X Fator de Produção

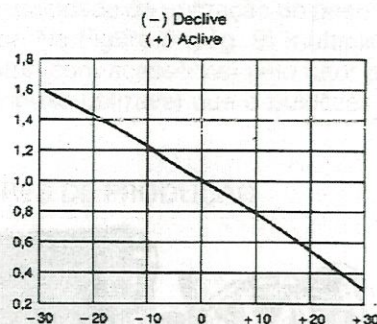


FIGURA 07 - Gráfico de determinação do fator de correção da produção em função da porcentagem de rampa [Princípios básicos de terraplenagem, edição 2, p.38].

2.4 – PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO DE ESTUDOS DE PRODUTIVIDADE DE TRATORES DE ESTEIRAS

Um estudo de produtividade para tratores de esteiras, realizado na área de demonstração de um fabricante ou no próprio local de trabalho de um cliente exige, em média, capital da ordem de cinqüenta mil reais, dependendo do número de máquinas envolvidas. Deste montante, a parcela destinada ao aluguel das máquinas é o valor mais significativo. Segundo a Associação Paulista dos Empreiteiros e Locadores de Máquinas de Terraplenagem (Revista APELMAT, 1998), o valor médio do aluguel de tratores de esteiras está em cem reais a hora, com um mínimo de cem horas de contrato.



FIGURA 08 – Fotografia do teste de Produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil, em 1997

E, como se o alto valor do capital envolvido já não fosse um agravante suficiente para impedir as realizações destes estudos com a freqüência desejada, há ainda a necessidade da disponibilidade de recursos humanos e a questão da influência das variações climáticas do meio ambiente, que podem prejudicar ou impedir a realização de um evento.

A proposta deste trabalho é também analisar a utilização de um sistema de simulação, ou seja, construir sob a forma gráfica uma “realidade” simulada, reproduzindo em ambiente experimental e estilizado ensaios de produtividade, conforme coloca MACHADO (1993), tornando-se esta uma poderosa ferramenta de treinamento e marketing na medida em que apresenta resultados que podem ser utilizados como material de vendas.

A sistematização proposta consiste da consideração de 5 etapas.

1) - Variáveis do Estudo - recomendações

Muitas variáveis influem nos resultados de um estudo de um trator de esteiras. As três variáveis analisadas a seguir devem ser eliminadas, ou minimizadas, para produzir resultados consideráveis:

1.1) - Operador

A variável operador (elemento humano) é a que recebe a menor atenção na maioria dos estudos de produtividade de máquinas de terraplenagem. Deve-se esclarecer que o objetivo dos estudos comparativos é comparar máquinas e não operadores. Estudos envolvendo duas máquinas, conduzidas por operadores diferentes, geralmente produzem resultados duvidosos ou sem aproveitamento. Uma máquina produz mais, ou menos, devido ao grau de perícia de um operador ou às técnicas utilizadas por este. Dois operadores dificilmente trabalham da mesma forma.

Para eliminar esta variável recomenda-se a realização do estudo com um único operador, que possua boa perícia e bom grau de experiência em todas as máquinas que façam parte do estudo (CATERPILLAR BRASIL, 1996).

Assim, para o caso de um estudo a ser realizado na obra de um usuário ou cliente, recomenda-se utilizar de um dos operadores locais, devido principalmente à sua prática. Um operador do fabricante dificilmente alcançará a mesma produtividade;

1.2) - Material

As diferenças de material entre as áreas de teste também podem influir na produtividade. Esta variável deve ser eliminada procurando-se operar todas as máquinas envolvidas no teste no mesmo local ou em áreas com condições semelhantes de solo;

1.3) - Máquinas

As máquinas devem ser cuidadosamente selecionadas e verificadas, de modo a assegurar-se comparações sólidas;

As máquinas deverão estar com equipamentos e acessórios similares. As lâminas deverão ser do mesmo tipo para uma comparação real nos estudos de serviço de movimentação de material. Outros acessórios também são importantes pois, por exemplo, o peso de uma cabina ou contrapeso podem favorecer, ou prejudicar, o desempenho da máquina;

As ferramentas de penetração no solo devem estar em condições idênticas. Se possível devem ser novas ou quase novas. As bordas cortantes devem ser verificadas e ajustadas pois possuem grande influência na penetração e na capacidade de transporte;

Quanto ao material rodante, deve-se assegurar que a altura das garras das sapatas das esteiras estejam iguais, em todos os estudos;

Os motores devem ser revisados certificando-se que estejam funcionando satisfatoriamente. As máquinas, enfim, devem estar em condições semelhantes pois um trator com 10.000 horas de uso, por exemplo, não apresentaria resultados válidos comparativamente a um trator novo;

Controlar o operador e as variáveis das máquinas é uma necessidade para a obtenção de bons e válidos resultados.

2) - Orientações para realização de Estudo de Serviços de Lâmina

Cortes em trincheira (ou escavações em canal) é o método mais produtivo e mais simples para estudos comparativo de produção de lâminas sendo portanto o método mais recomendado para avaliação da produtividade de um trator.

3) - Organização do Estudo de Campo

As escavações devem ser planejadas para aproximarem-se de um trabalho real de produção. Um teste irreal, com resultados inúteis de produtividade ou atípico ao procedimento de produção normal, fornece resultados de pouco valor para os usuários, revendedores, ou mesmo para o fabricante.

3.1) - Tamanho das Escavações

A experiência mostra que quanto mais longo o teste, melhores serão os resultados. Diferenças mínimas de material e condições de operação, geralmente resultarão em um equilíbrio num teste de longa duração. A literatura TRATORES de esteiras – Séries M & R (1996) cita o exemplo de uma escavação onde, por exemplo, a remoção de uma grande rocha pode necessitar de dois ou três ciclos extras; o que pode ter grande influência num teste de 30 minutos, mas não influenciaria seriamente os resultados de um teste de quatro horas.

Entretanto as condições de trabalho nem sempre permitem testes extensos. Recomenda-se, porém, que os testes tenham, no mínimo, uma hora de duração. Conforme recomenda a literatura retro citada, uma escavação com largura igual a de duas lâminas, com profundidade igual a sua altura e distância de 20 metros, resultará em cerca de uma hora de trabalho com material de escavação médio.

3.2) - Número de Escavações

Quanto maior o número de escavações por máquina realizado, mais próximo da realidade será o valor médio da produtividade desta máquina. Conforme colocado anteriormente, é conveniente conduzir os testes com apenas um operador, o qual faria todo o trabalho operando máquinas diferentes alternadamente. Este é portanto um fator limitante do número de escavações, pois entre uma e outra escavação, deve-se conceder tempo suficiente para o operador descansar e adaptar-se com a nova máquina.

Assim, considerando-se os dois fatores colocados acima, este trabalho recomenda a realização de três a quatro escavações por máquina, para um teste de produtividade.

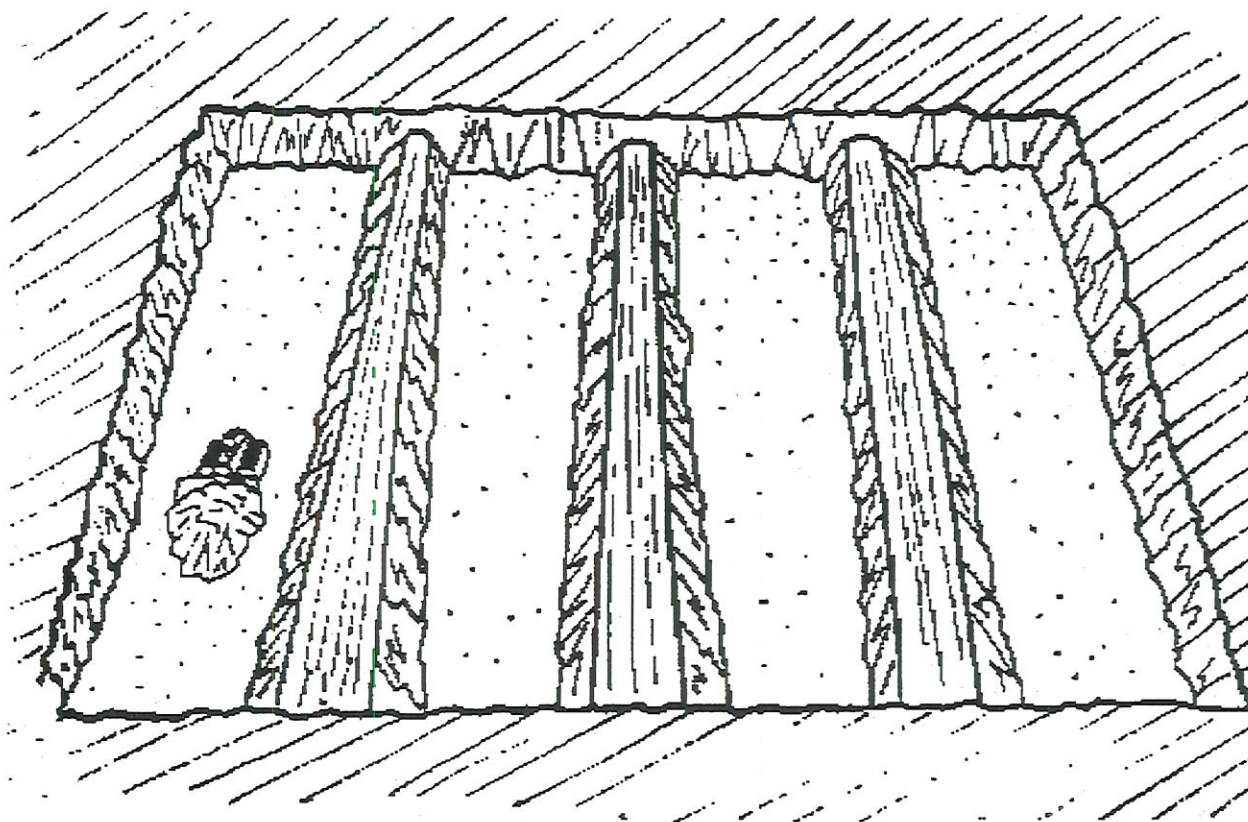


FIGURA 09 - Desenho ilustrativo de um teste de Produtividade com quatro trincheiras [CATERPILLAR BRASIL LTDA. (1996). *Tratores de Esteiras - Séries M & R*. Piracicaba].

3.3) - Estaqueamento

O estaqueamento é a etapa que precede o início do levantamento topográfico. Quando a superfície do terreno for muito acidentada é recomendável iniciar-se pelo nivelamento. Esta operação torna o trabalho mais fácil e o levantamento das seções transversais mais preciso. (TRATOR de esteiras, séries m & r, 1996)

As estacas perimetrais devem ser espaçadas de 5 metros proporcionando o levantamento topográfico, pré e pós teste, servindo também como referência para o operador. Após a fixação dessas estacas, é então iniciado o

processo de colocação das estacas internas, mantendo-se um espaçamento de 2 metros na seção transversal.

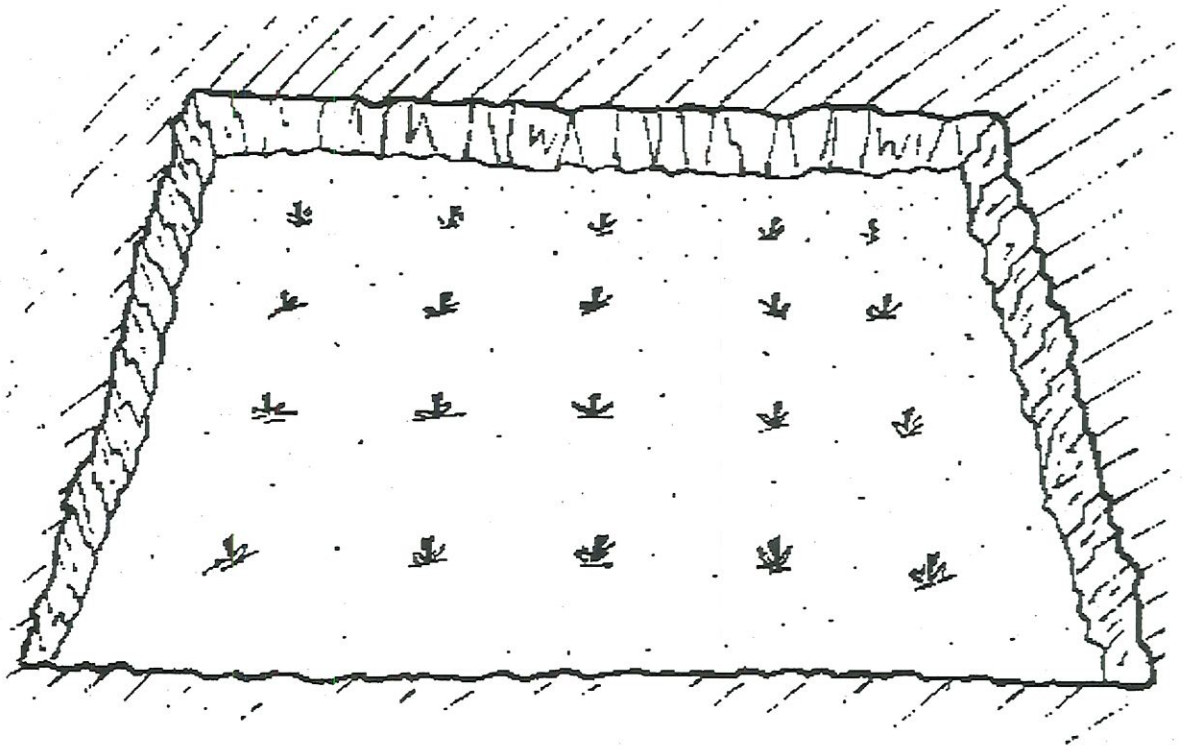


FIGURA 10 - Desenho ilustrativo de um teste de Produtividade destacando-se aTrincheira nivelada e pronta para o levantamento do volume escavado [CATERPILLAR BRASIL LTDA. (1996). Tratores de Esteiras - Séries M & R. Piracicaba].

Recomenda-se, ainda, posicionar uma trena a partir das estacas perimetrais, medindo-se os espaçamentos predeterminados. Após o final da operação de corte do material, um novo levantamento deve ser feito indicando todas as alterações de nível, nos pontos onde se encontravam as estacas internas. Deste modo obtém-se as novas seções transversais da área trabalhada.

3.4) - Distância de Transporte

Esta varia conforme as condições da obra. Em cortes tipo caixa, semelhante à mineração de carvão, as máquinas podem transportar as cargas das

lâminas por longas distâncias, antes de despejarem (CATERPILLAR PERFORMANCE HANDBOOK, 1995). Neste caso, não se considera um tempo de transporte.

Quando as condições de trabalho necessitarem de transporte, então determina-se uma área para o mesmo, marcando-a com estacas. As distâncias devem ser iguais para as máquinas em teste, proporcionando assim mais um elemento de comparação de desempenho das mesmas. Os operadores devem ser instruídos para transportar o material além destas estacas, antes de começar a despejá-lo.

3.5) - Áreas de Despejo

As áreas de despejo são de difícil comparação devido as variações nas condições de trabalho. Existindo diferenças nas áreas de despejo, calcula-se o tempo médio para as máquinas nessas áreas. Durante a realização de um teste de campo procura-se considerar áreas de despejo em iguais condições para toda as máquinas envolvidas.

3.6) - Instruções ao Operador

O operador deve entender quais são os objetivos de um teste. É necessário esclarecer que deseja-se avaliar e comparar apenas o desempenho das máquinas. A atenção nesta fase pode eliminar diferenças de resultados devido ao comportamento do operador ou sua familiaridade com uma máquina em especial.

3.7) - Condução do Teste - metodologia

Em situações de carregamento em áreas restritas as embreagens de direção e os freios são passíveis de constante acionamento. Nos cortes em trincheiras a maioria das correções do sentido de direção sob cargas podem

ser feitas com recursos do cilindro de inclinação da lâmina. Portanto para simular as duas condições anteriores recomenda-se o corte em trincheira com largura de duas lâminas, para efeito de teste de produção e em cinco passos, como segue:

- Passo 1. Inicia-se pela frente do buraco. A profundidade do corte e da trincheira é definida à medida que o operador avança na cova. Esta condição estabelece imediatamente uma situação de carga em descida e uma trincheira para máxima retenção da carga da lâmina;
- Passo 2. Quando a primeira trincheira estiver concluída (primeira largura de lâmina), passa-se para a segunda removendo-se o material da mesma forma. Entre as duas trincheiras resulta uma parede de material de aproximadamente um terço da largura da lâmina;
- Passo 3. Remove-se esta parede;
- Passo 4. Ao término da remoção da parede, pára-se o teste. O operador pode então percorrer o fundo da trincheira, a fim de nivelar a seção transversal. O material adicional da trincheira não deve ser removido nesta operação.
- Passo 5. Executa-se o levantamento do volume escavado através das seções transversais.

Repete-se então os mesmos passos com as outras máquinas do estudo.

3.8) - Registro de Dados de Tempo de Ciclo

Devem ser registrados dados de quatro etapas (ou três, caso não haja transporte).

- ETAPA 1 TEMPO DE CORTE (desde o início do corte até a saída da área de corte). É o tempo gasto pelo operador para conseguir uma carga com a lâmina e levá-la para fora da área demarcada pelas estacas, pode ocorrer a necessidade de se fazer várias passadas para obtenção uma boa carga de lâmina;
- ETAPA 2 TEMPO DE TRANSPORTE (da saída da área de corte até a entrada da área de despejo). É o tempo gasto do momento em que o operador deixa a área de corte, até passar pela estaca que demarca a área de despejo;
- ETAPA 3 TEMPO NA ÁREA DE DESPEJO (tempo total desde a entrada até a saída da área de despejo). É o tempo gasto na área de despejo, começando no momento em que o operador passa pela estaca da área de despejo e terminando quando volta e passa pela mesma estaca;
- ETAPA 4 TEMPO EM MARCHA RÉ (desde a saída da área de despejo, até a reversão de máquina). É o tempo gasto em marcha à ré, desde a estaca da área de despejo até começar a avançar em marcha avante, na área de corte.

Para esta fase, recomenda-se três pessoas para registrar os dados. A primeira com a função de ler o cronômetro, a segunda acompanhando a lâmina no corte, observando a distância onde o trator inicia cada ciclo, e terceira anotando os dados de tempos e distâncias. Este é o melhor número

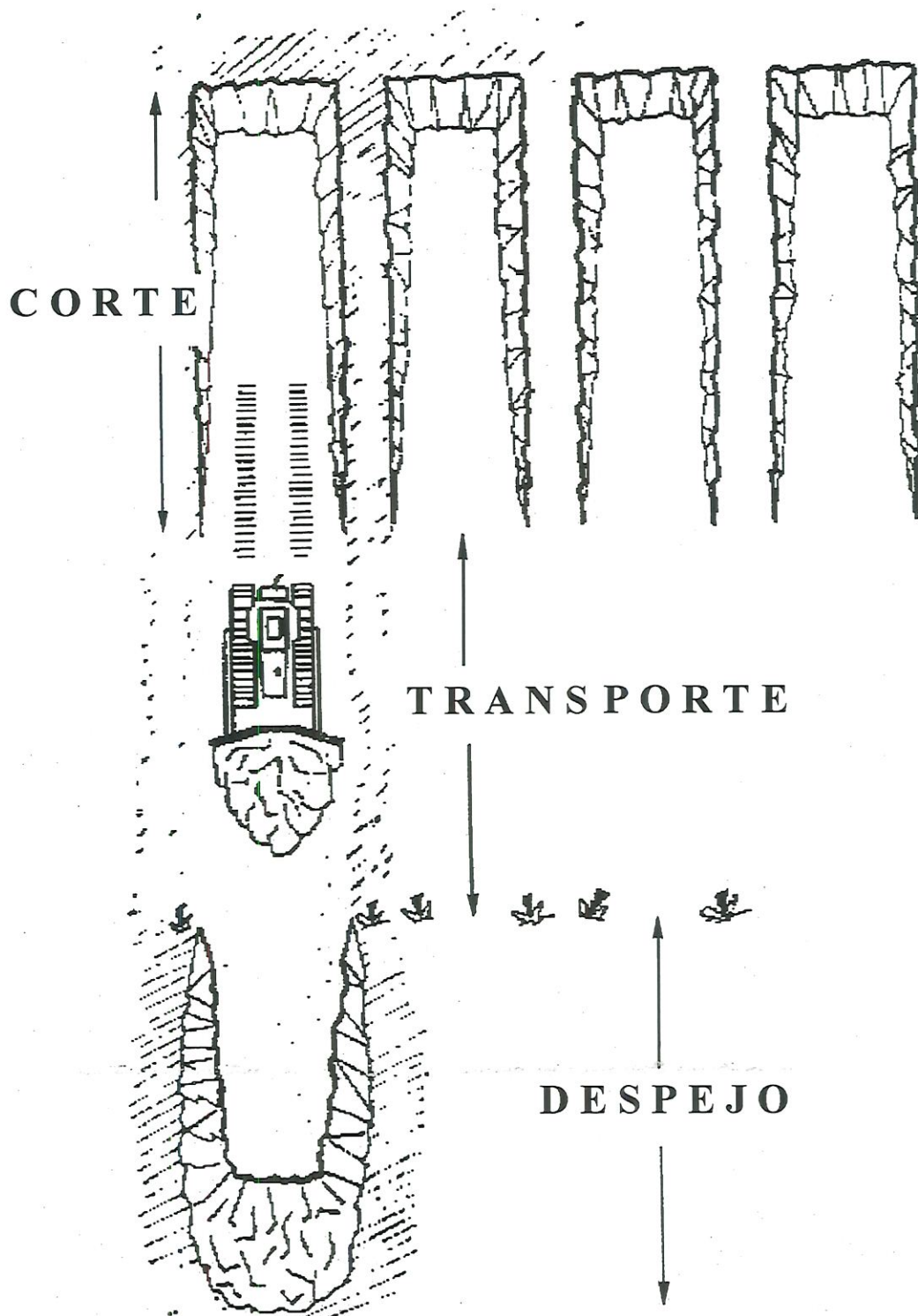


FIGURA 11 – Desenho ilustrativo de um teste de Produtividade, destacando-se as Áreas de Corte, Transporte e Despejo [CATERPILLAR BRASIL LTDA. (1996). Tratores de Esteiras - Séries M & R. Piracicaba]

de pessoas para registrar os dados. Os atrasos e anormalidades, durante o estudo, devem ser anotados e comentados.

O número total de passadas deve ser sempre registrado, assim como o tempo total. O tempo médio do ciclo é encontrado dividindo-se o número total de passadas pelo tempo total. Os dados das quatro etapas são importantes para identificar em que ponto as vantagens foram alcançadas em cada máquina.

4) - Resultado do Estudo

É muito importante a forma de compilação e apresentação dos dados de um estudo: o registro e a exatidão das áreas de vantagens ou desvantagens. Os "onde" e os "porquês" podem ser tão importantes quanto os números. Os comentários do operador devem ser também considerados. Com freqüência, ele poderá enxergar características de uma máquina, que outro observador pode não perceber (esta é uma outra boa razão para se manter um único operador).

5) – Recursos de apresentação - Visual

Fotografa-se todas as fases do estudo de campo para documentar os resultados, conferindo maior credibilidade aos relatórios e publicações.

3 – SIMULAÇÃO: UMA FERRAMENTA DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO

3.1 - INTRODUÇÃO

Muitas situações do mundo real podem ser consideradas complexas devido ao grande número de variáveis que devem ser consideradas na definição das mesmas através de um modelo matemático. Devido ao excessivo gasto computacional ou aproximações de simplificações do modelo para a solução de um problema, tais métodos não se justificam. É o que acontece com os sistemas de manipulação, transporte e estocagem, onde encontra-se uma grande quantidade de variáveis relevantes a serem consideradas para uma tomada de decisão rápida e a baixo custo.

Uma das alternativas para solucionar-se este impasse, é o uso da simulação. A simulação é uma técnica de resolução de problemas pela observação do comportamento, sobre o tempo, de um modelo dinâmico de um sistema (GORDON, 1978).

Através de um programa de computação, a simulação estuda o comportamento de um sistema, utilizando-se da estatística e outros instrumentos de engenharia, de condicionantes e variáveis e ainda, outras ferramentas.

Para que uma simulação seja realizada é necessário que se saiba exatamente o que se quer simular e se essa ferramenta pode ser utilizada para auxiliar na decisão que precisa ser tomada. Normalmente, quem trabalha com simulação não trabalha sozinho. Sempre existe uma equipe composta por programadores, pessoas que conhecem o problema e pessoas que conhecem simulação.

A simulação permite ao analista tirar conclusões sobre novos sistemas sem precisar construí-los, ou mesmo alterar sistemas já existentes. Como afirmaram ROHRER & STRONG (1997), a simulação disponibiliza uma bancada de teste onde as alterações necessárias podem ser avaliadas previamente à realização de qualquer mudança em um sistemas existente. É uma ferramenta que permite analisar as interações entre sistemas e entender como vários componentes interagem entre si e como afetam o desempenho do sistema como um todo.

A simulação é uma ferramenta que apresenta resultados em função das perguntas “e se”, não otimizando o processo, mas fornecendo subsídios para as tomadas de decisões dos administradores. Os resultados obtidos só serão confiáveis se os dados de entrada também forem precisos e/ou confiáveis.

O processo de simulação consiste em definir, formular, validar, analisar e recomendar. Ele fornece uma especificação funcional, um modelo de simulação e uma avaliação estatística para que os responsáveis pelos sistemas simulados tomem as decisões.

3.2 SISTEMAS

Um sistema é uma coleção de entidades relacionadas, cada uma caracterizada por atributos que se relacionam entre si.

Os sistemas podem ser:

Natural – quando não é feito pelo homem. Neste caso a modelagem é possível desde que o sistema seja transformado em um sistema não natural, e também sejam geradas as restrições do sistema natural.



Aberto ou Fechado – sistemas que podem existir em vários ambientes ou em um só ambiente.

Adaptativo ou Não-Adaptativo – quando reagem às mudanças do ambiente ou quando não reagem.

O procedimento para realizar a simulação dos experimentos depende da natureza do estudo:

- Análise de sistemas – tem por finalidade entender como um sistema opera, ou seja, qual o seu comportamento.
- Projeto de sistemas – produzir ou definir um sistema que atenda certas especificações.
- Postulação de sistemas – simulação empregada em estudos médicos, políticos, econômicos e sociais, onde os comportamentos dos sistemas são conhecidos, mas os processos que os produzem não os são.
-

3.2.1 - Simulação de processos discretos ou não contínuos

Um sistema discreto é aquele no qual o estado do sistema muda de acordo com um número finito de mudanças no tempo. A simulação de eventos discretos envolve o modelamento de um sistema e o seu desenvolvimento sobre um período de tempo.

Sistema Discreto – onde o interesse principal está no evento. As equações expressam as condições para que um evento ocorra. As variáveis podem reagir independentemente de outras, podendo ser seqüenciais. No caso de

variáveis estocásticas, é necessário que o sistema seja executado até que todas as condições sejam atingidas.

A simulação de eventos discretos começa pela definição matemática e lógica de como o estado do sistema irá mudar no tempo. Uma série de variáveis de estado são estabelecidas para coletar estatísticas sobre o desempenho do sistema. O tempo decorrido de um sistema é simulado por um relógio do sistema que dita o valor atual do tempo de simulação. O tempo se processa de acordo com um calendário de eventos que contém a lista de tempos de cada evento que irá ocorrer no sistema.

A modelagem do sistema a ser simulado pode ser implementada de duas maneiras diferentes:

- Escrevendo-a em uma linguagem de propósito geral, ou
- em uma linguagem especial de simulação.

Muitas linguagens de simulação fornecem uma boa capacidade de modelagem do sistema. Todavia, estas linguagens tem limitações na capacidade de modelagem por apresentarem-se na forma de blocos de funções. Para modelos mais sofisticados, os usuários podem escrever o programa usando linguagens de propósito geral. Várias linguagens de simulação também fornecem aos usuários uma série de funções úteis tais como as definidas para o gerenciamento dos eventos, coletar e mostrar estatísticas, gerenciamento de filas e geração de números aleatórios.

3.2.2 - Simulação de processos contínuos

Um sistema contínuo é aquele no qual o estado do sistema muda continuamente no tempo (BENETT,1995).

Sistema Contínuo – onde o interesse principal está em mudanças suaves. Um conjunto de equações diferenciais são geralmente usadas para descrevê-los. Na sua execução, todas as variáveis mudam ao mesmo tempo. Só existe um comportamento e somente uma combinação entre as variáveis.

Um exemplo de um sistema contínuo é a concentração de um reagente dentro de um processo químico. O fluxo do produto dentro destes sistemas é contínuo e muda constantemente em relação ao tempo. Tipicamente, os modelos de simulação contínuos envolvem uma ou mais equações diferenciais que reproduzem o relacionamento das taxas de mudança das variáveis de estado em relação ao tempo. Da mesma forma que a simulação de eventos discretos, a simulação de eventos contínuos começa pelo modelamento matemático e lógico, definindo como o estado do sistema irá mudar no tempo. As variáveis do estado são minuciosamente definidas no modelo para avaliar-se as medidas estatísticas. A mudança de tempo de um sistema é dirigida pelas equações diferenciais que definem a mudança no estado do sistema.

3.3 MODELOS

Modelo é o corpo de informações sobre um sistema, obtido com o propósito de estudá-lo.

Os propósitos mais importantes para o uso de modelos em estudos de simulação são:

- permitir ao investigador organizar suas crenças teóricas, suas observações empíricas, e deduzir as implicações lógicas desta organização;
- permitir maior compreensão do sistema;
- aumentar a velocidade de análise;
- permitir testar as modificações do sistema;
- facilitar a manipulação dos dados;
- permitir o controle de mais variáveis.

Um dos grandes problemas da definição de um modelo é chegar a um nível de detalhamento onde não haja mais dúvidas sobre sua construção. Durante este processo algumas perguntas são importantes, tais como:

- Para que usar o modelo?
- Quem vai usar o modelo?
- Quais os recursos necessários para executar o modelo?

Os modelos de simulação são matemáticos (numéricos ou analíticos) e podem, ainda ser classificados como modelos de sistema contínuo ou discreto.

3.4 PASSOS PARA FAZER SIMULAÇÃO

Fazer simulação requer mais do que exatos conhecimentos de como usar um produto de simulação. Um estudo de simulação é, por natureza, um projeto. Como qualquer projeto, há tarefas a serem completadas e recursos que são exigidos para completá-las.

Para ser bem sucedido, um projeto de simulação tem que ser planejado com um entendimento das exigências de cada uma das tarefas envolvidas. As falhas são resultados de um salto precipitado dentro de uma simulação, sem que tenha sido dispendido o devido tempo para considerar-se todos os passos envolvidos no desenvolvimento de um plano para o procedimento.

3.4.1 Definição dos Objetivos do Estudo

Todo estudo de simulação começa pelo desenvolvimento de uma clara afirmação dos propósitos, metas e objetivos do projeto. Geralmente, a maioria dos estudos inicia-se com uma afirmação relativamente vaga, descrevendo um problema geral ou, ainda pior, um sintoma do problema.

Podem haver muito modelos diferentes do mesmo sistema, cada um dos quais é válido para suas metas ou propósitos particulares. A meta ou propósito do estudo é o fator que guiará o projeto e as experiências a serem executadas. Para isso, desenvolve-se um modelo que ajuda a responder certas questões acerca do sistema.

Assim, estudos de simulação são usados para o projeto de novos sistemas e modificações e/ou melhoramentos na operação de um sistema existente. Mas o objetivo deve ser definido em detalhes e não considerado como uma

simples questão. O analista deve estar habilitado a definir a espécie de decisão que deve ser tomada no sentido de responder a questão.

Conforme mencionado anteriormente, e visando os objetivos de uma simulação, as seguintes perguntas devem surgir:

- Por que a simulação está sendo executada?
- Quem usará o modelo?
- Para quem os resultados da simulação serão apresentados?
- Quais informações são esperadas?
- Qual a importância da decisão a ser tomada?

Com o entendimento básico do sistema de operação e um conhecimento do trabalho de referência ou interesse, um ou mais objetivos podem ser definidos. A simulação deve ser usada se, em função dos objetivos, for determinado que esta é a ferramenta mais adequada. Tipos comuns de simulação incluem as seguintes análises:

Análise de Desempenho - Qual a evolução do desempenho do sistema considerando um conjunto de circunstâncias baseados em medidas de significância (utilização, "throughput", tempo de espera, e outros)?

Análise de Capacidade - Qual o processamento máximo ou a capacidade de produção do sistema?

Análise de Aptidão - O sistema é capaz de encontrar a exigência de execução específica ("throughput" e tempo de espera)? Se não, que

mudanças (adicionar recursos ou improvisar métodos) são recomendadas para fazê-lo capaz?

Estudo de Comparação - O quanto muda uma configuração do sistema ou execução de variação do projeto comparado com outro?

Análise de Sensitividade - Quais decisões (variáveis) são as mais influentes sobre uma ou mais medidas de execução, e o quanto influentes elas são?

Análises Resposta/Decisão - Quais são os relacionamentos entre os valores de uma ou mais decisões para que o sistema responda àquelas mudanças?

Efetividade de Comunicação - Quais variáveis e representações gráficas podem ser usadas para, mais efetivamente, retratar o comportamento dinâmico ou a operação do sistema?

Alguns modelos são construídos e considerados do tipo “descartável”, ou seja, são usados somente uma vez e então são descartados. Estes necessitam ser providos de respostas quantitativas, são planejados para uso somente do analista e são construídos para tomada de decisões de menor consequência.

Outros são construídos para serem usados para uma análise continuada, exigem animações realísticas, são planejados para uso de administradores com um mínimo de conhecimento de simulação e são construídos para se tomar decisões de maior porte.

3.4.2 Procedimento Geral

A decisão para realizar-se um experimento de simulação, usualmente, resulta de uma percepção que a simulação pode ajudar a resolver um ou mais problemas, associados com o projeto de um novo sistema, ou a modificação de um sistema existente.

Informações básicas devem ser obtidas, acerca da natureza do problema, para determinar se a simulação é a ferramenta adequada para o estudo do problema.

Uma vez que um problema ou projeto, tenha sido identificado como um candidato a simulação, decisões devem ser tomadas sobre a condução dos estudos. Não há regras escritas sobre como executar um estudo de simulação, contudo os seguintes passos são geralmente recomendados como guia para o estudo (SHANNON, 1975), (GORDON, 1978) e (LAW, 1991):

- 1 - Plano de estudo;
- 2 - Definir o sistema;
- 3 - Construir o modelo;
- 4 - Correr os experimentos;
- 5 - Analisar as saídas;
- 6 - Relatório de resultados.

Os passos podem ser iniciados sem que o anterior tenha sido completamente finalizado. O procedimento para fazer uma simulação é

interativo, no qual as atividades são refinadas, e algumas vezes redefinidas, com cada interação. Descrevendo estes processos iterativos, PRITSKER e PEGDEN (1979) observaram :

“Os estágios de simulação são raramente executados em uma seqüência estruturada, começando com a definição do problema e terminando com sua documentação. Um projeto de simulação pode desenvolver falsas partidas e suposições errôneas, as quais devem, mais tarde, ser abandonadas. Pode-se esperar também a necessidade de reformulações dos objetivos, reavaliação e reprojeção do modelo. Se apropriadamente feito, este projeto interativo resultaria em um modelo de simulação o qual acessa alternativas e realça a decisão no andamento do processo”.

3.4.3 Procedimento para a condução de um estudo de simulação

Enquanto as exigências para cada passo variam de simulação para simulação, o procedimento básico é essencialmente o mesmo. A importância da adoção de um procedimento sistemático, é poder assegurar que o projeto será conduzido de maneira organizada, oportuna e com a máxima efetividade na execução dos objetivos.

Muitos projetos de simulação tendem a falhar desde o princípio devido à pobreza do planejamento. Objetivos indefinidos, expectativas irrealísticas e uma deficiência geral de entendimento das exigências, freqüentemente resultam em frustração e desapontamento. Para um projeto de simulação ser bem sucedido, deve-se desenvolver um plano realístico, claramente comunicável e facilmente seguido. Planejar um estudo de simulação envolve as seguintes sub-tarefas: Definição de objetivos; identificação de restrições e preparação de especificações da simulação.

Com objetivos e restrições claramente definidos, pode-se então especificar as exigências de um estudo de simulação.

Aspectos do projeto de simulação que constituem as especificações, incluem:

- Alcance;
- Nível de detalhes;
- Grau de exatidão.

Pode-se descrevê-los da seguinte forma:

Alcance - O alcance refere-se à amplitude do modelo ou quanto do sistema o modelo conterá. A determinação do alcance do modelo seria baseado em quanto suporta ou impede uma atividade particular durante a realização dos objetivos da simulação.

Uma tendência comum é modelar o sistema inteiro, mesmo quando a área do problema e todas variáveis relevantes estão realmente isoladas dentro de um sub-sistema menor.

Nível de detalhes - O nível de detalhes define a profundidade ou resolução do modelo.

O alcance do modelo afeta somente o seu tamanho. O nível de detalhes, ao contrário, afeta a complexidade do modelo tanto quanto o tamanho.

A determinação do nível apropriado de detalhes é uma decisão importante. Muitos detalhes dificultam e consomem tempo para desenvolver um modelo

válido. Poucos detalhes podem tornar o modelo muito irreal, com a exclusão de variáveis críticas.

O nível de detalhes é largamente determinado pelo grau de precisão exigido na saída.

Graus de Exatidão. - O grau de exatidão depende da correção dos dados que estiverem sendo usados. Para alguns modelos, ou para certas atividades, a informação não necessita ser tão precisa ou exata, como para outros.

O grau de exatidão exigido é determinado pelos objetivos do estudo. Se a decisão for importante ou a comparação for fechada, maior pode ser a exatidão exigida. A exatidão, algumas vezes, tem que ser sacrificada se a informação correta e segura for simplesmente indisponível, como é o caso do modelamento de um sistema completamente novo.

O tempo e esforços necessários para coletar os dados são significativamente dependentes do grau de exatidão exigido. Porém, o impacto é freqüentemente pequeno sobre o tempo de construção do modelo, isto porque um modelo pode ser construído com valores estimados que podem, mais tarde, ser substituídos por valores mais exatos. A precisão da saída é freqüentemente governada pelo grau de exatidão do modelo.

3.5. DEFINIÇÃO DO SISTEMA

Com objetivos claramente definidos e um planejamento bem organizado para a condução do estudo, pode-se iniciar o desenvolvimento de um modelo conceitual, sobre o qual a simulação será baseada. O processo de concentração e validação de informações do sistema poderá ser

assoberbante, pois os dados raramente encontram-se disponíveis na forma que define exatamente como o sistema trabalha.

3.5.1 Determinação dos dados exigidos

O primeiro passo no sistema de agrupamento de dados é determinar quais são os dados necessários para construir o modelo. Isto é ditado, preliminarmente, pelo alcance e nível dos detalhes exigidos para alcançar-se os objetivos do modelo. Os autores LOBÃO & PORTO (1995) recomendam ir do geral para o específico no sistema de acumulação de dados.

O foco inicial seria sobre definição do processo global corrente, para prover um esqueleto a fim de, posteriormente, incluir-se mais informações detalhadas. Tais informações podem, então, ser adicionadas gradualmente conforme a viabilidade do próprio processo (recursos exigidos ou tempos de processamento). Partir com o processo global fluente proporciona uma abordagem ordenada ao agrupamento de dados, permitindo que o processo de construção do modelo seja iniciado ao mesmo tempo, reduzindo-se a quantidade de tempo necessário para construir e executar o modelo. Freqüentemente, os dados ausentes tornam-se mais evidentes durante o processo de construção do modelo.

Na definição dos fluxos básicos das entidades através do sistema, um diagrama de fluxo pode ser útil como meio de documentação e visualização do fluxo físico da entidade, de locação para locação. Uma vez que um diagrama de fluxo esteja feito, uma checagem estruturada pode ser conduzida para assegurar que o fluxo está correto e que nada tenha sido esquecido. O próximo passo pode ser a definição dos detalhes, de como as entidades se movem entre as locações e que recursos são usados para executar-se as operações em cada locação. Neste ponto é apropriado

identificar-se as capacidades de locação, tempos de movimento, tempos de processamento, entre outros.

Para dirigir esforços no agrupamento de dados pode-se preparar uma lista específica de questões pertinentes que identifiquem os dados necessários. Esta lista pode incluir o seguinte [TANAKA, 1998].

- Quais são os tipos de entidades, e atributos, que são processadas no sistema? E se algum deles distingue o meio no qual as entidades do mesmo tipo são processadas ou encaminhadas para vias determinadas.
- Quais são as locações de rotas no sistema (incluindo todos lugares onde ocorrem processamento ou enfileiramento, ou onde as decisões de rotina são tomadas), e quais são as suas capacidades (isto é, quantas entidades podem estar acomodadas em um único local ao mesmo tempo)?
- Além das locações de rota, que outros tipos de recursos (pessoal ou veículos, por exemplo) são usados no sistema e quantas unidades de cada tipo existem (recursos usados intercambiáveis podem ser considerados do mesmo tipo)?
- O que é uma rotina de seqüência para cada tipo de entidade no sistema?
- Qual atividade, se alguma, toma lugar de cada entidade em cada rota de locação (definir em termos de tempo exigido, recursos usados, número de entidades envolvidas e qualquer outra decisão lógica que toma lugar)?
- Onde, quando e em que quantidade as entidades entram no sistema (definir a relação, tempo de chegada, padrão de chegada cíclica, ou condições em que iniciam cada chegada)?

- Em que ordem, as entidades partem de cada locação (primeiro entra, primeiro sai, último entra, primeiro sai)?
- Em situações onde uma entidade de saída é encaminhada para uma das diversas locações alternativas, como a rotina de decisão é feita?
- Como uma entidade move-se de uma locação para outra (definir em termos de tempo e os recursos exigidos)?
- O que dispara o movimento de entidades de uma locação para outra (isto é, capacidade na próxima locação, uma demanda de correnteza na locação, uma condição externa)?
- Como os recursos movem-se, de locação para locação, para executar tarefas (definir qual dos dois, em termos de velocidade e distância ou tempo)?
- O que os recursos fazem quando eles terminam a execução de uma tarefa e não há outra esperando (param ou movimentam-se para outro lugar)?
- Em situações onde múltiplas entidades são esperadas para a mesma locação, qual o método usado para fazer uma seleção de entidades (entidade esperando mais tempo, entidade fechada ou ainda, prioridade mais alta)?
- Qual a relação de viabilidade para recursos e locações (definir em termos de relação de transferência e paradas)?
- Quais falhas aleatórias são executadas pelos recursos e locações (definir em termos de distribuição, descrição do tempo para falhas e tempo para reparo)?

As respostas destas questões proporcionam quase todas das informações necessárias para a construção de um modelo. Porém, dependendo do propósito da simulação e do nível de detalhes necessários, algumas destas questões não podem ser aplicadas.

3.6 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Uma vez que as informações suficientes para definir a operação básica do sistema tenham sido compiladas, a atividade de construção do modelo pode ser iniciada. Fazer com que a construção do modelo se inicie antes dos dados estarem completamente reunidos, pode até ajudar a identificar a falta de informações necessárias ao procedimento.

A meta da construção do modelo é proporcionar a validade da representação da operação do sistema definido. Adicionalmente, o modelo deve ser hábil a proporcionar qualquer outra representação estatística ou gráfica necessária para satisfazer-se os objetivos do estudo. Um modelo não é verdadeiro nem falso, mas útil ou não útil. Um modelo útil é aquele que é válido e proporciona as informações necessárias para encontrar os objetivos da simulação.

3.6.1 Refinamento Progressivo

Uma agradável característica da simulação é que os modelos não tem que incluir todos os detalhes finais antes que eles tenham ocorrido. Isto permite a utilização de uma estratégia de refinamento progressivo. Assim, os detalhes são adicionados ao modelo progressivamente. Com isso, os modelos são construídos e correm mais rápidos além de ficar mais fácil sua execução.

A complexidade do modelo construído não pode ser subestimada, e é sempre melhor começar a partir de um modelo simples e adicionar a “complexidade” no lugar de criar, desde o seu início, um modelo inteiro e complexo. É também mais fácil adicionar do que remover detalhes em um modelo. Ao construir um modelo em estágios, permite-se localizar e corrigir as falhas com maior facilidade. Enfatizando a importância da aplicação do refinamento progressivo para a construção do modelo, LAW e KELTON (apud 1991) advertem: *“Embora haja poucas regras firmes sobre como alguém agiria acerca do progresso de modelagem, a maioria dos autores concordam sobre o ponto que é sempre uma boa idéia partir-se com um modelo simples o qual pode, mais tarde, sofrer uma sofisticação, se necessário”*. Um modelo pode conter detalhes somente para capturar a essência do sistema, para o propósito no qual é pretendido. Não é necessário ter uma correspondência total entre os elementos do modelo e elementos do sistema. Um modelo com detalhes excessivos pode tornar-se muito caro para ser programado e executado.

3.6.2 Expansão Incremental

Existem modelos que tem um largo escopo, e são algumas vezes mais fácil de construir em fases, nas quais seções aditivas são incrementadas ao modelo. Este método permite que uma porção do modelo seja construído, testado e executado antes de adicionar-se novas seções, tornando uma grande tarefa mais confortável.

A divisão de grandes modelos é, na maioria das vezes, de grande utilidade. Modelo dividido é o processo de subdivisão de um modelo dentro de dois ou mais módulos que representam fisicamente seções separadas do sistema. O propósito do modelo dividido é permitir que seções sejam construídas e executadas, possivelmente, sempre por porções separadas,

independentemente umas das outras. Uma vez que as seções estejam terminadas, elas podem ser incorporadas para criar o modelo total. Este método “divide e conquista” do modelo em construção, pode reduzir grandemente o tempo e a dificuldade na construção e execução dos grandes modelos.

3.6.3 Verificação e validação do Modelo.

Uma vez definido o modelo, usando-se uma ferramenta selecionada, este deve ser executado, geralmente para assegurar que o mesmo trabalha corretamente. O processo de demonstração e verificação de que o modelo trabalha como se pretende, é referido na literatura de simulação como Verificação do Modelo. É muito mais fácil executar um modelo construído em estágios e com o mínimo de detalhes que um modelo grande e complexo.

Durante o processo de construção, o modelador deve estar constantemente interagindo com o modelo. O processo de determinação do grau para com o qual o modelo, ou os documentos de sua especificação, correspondem ao sistema real é definido como Validação do Modelo. Proporcionar validação absoluta é uma meta não atingível. Por esta razão, o que realmente se procura estabelecer é um alto grau de validade. Por validade entende-se como sendo, todas as indicações externas que levam o modelo a se parecer com o sistema real. Deste ponto de vista, a validação de um modelo é o processo de comprovar que este, dentro de seu domínio de aplicação, é suficientemente preciso para a aplicação pretendida, (apud SCHLESINGER, 1979).

Não há testes simples para estabelecer a validade de um modelo. Validação é um processo indutivo, no qual o modelador extrai conclusões acerca da

sua exatidão, baseado nas evidências viáveis. É necessário reunir evidências para determinar a validade do sistema e para permitir o exame da estrutura do modelo (isto é, os algoritmos e relacionamento). Verifica-se então, se o modelo corresponde à definição do sistema real. Em modelos que possuem controles lógicos complexos, a animação gráfica pode ser usada efetivamente como uma ferramenta de validação.

Finalmente, os resultados de saída necessitarão ser analisados para averiguar se parecem razoáveis. Se as circunstâncias permitirem, o resultado do modelo pode sempre ser comparado àquele do sistema real para verificar como eles se correspondem. Se estes procedimentos são executados sem encontrar discrepâncias entre o sistema real e o modelo, pode-se afirmar que este possui aspecto de validade.

3.7 CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS (PORTO, 1996)

Um outro passo no estudo de simulação é conduzir o experimento. Simulação é basicamente uma aplicação de um método científico. Em simulação, inicia-se com uma teoria do por que certas regras de projeto ou estratégias de gerenciamento são melhores que outras e, baseado nestas teorias, o planejador desenvolve uma hipótese que será testada através da simulação. Em um experimento de simulação há variáveis de entradas definindo o modelo, as quais são independentes e podem ser manipuladas ou alteradas. Os efeitos desta manipulação sobre outra, depende das respostas das variáveis que são medidas e correlatadas.

Em alguns experimentos de simulação o interesse maior é no comportamento “estado-estável” do modelo. Comportamento “estado-estável” não entende que a simulação produz um resultado estável, mas pelo contrário, a distribuição ou variação estatística no resultado não muda

sobre o tempo. Por exemplo, uma produção volumosa pode causar flutuação entre 200 e 220 peças por hora sob condições normais de operação. Para muitas simulações o interesse pode ser em um período de tempo particular, tal como alguns dias corridos no trabalho de loja. Para estes estudos, a simulação nunca pode alcançar um estado - estável.

Como com qualquer experimento envolvendo um sistema que possui características variadas, o resultado da simulação também será variado por natureza. Os resultados de uma simples execução de simulação representa, somente, uma das diversas possibilidades de resultado. Isto exige que múltiplas replicações sejam executadas para testar a *reprodutibilidade* dos resultados.

O modelador deve também decidir quais tipos de experimentação são apropriados. Ao conduzir experimentos de simulação, as seguintes questões devem, ainda, ser feitas:

- O modelo tem como finalidade o comportamento de estado constante do sistema ou de um período específico da operação?
- Qual é o melhor método para obter observação de exemplos que podem ser usados para estimar a verdade esperada do comportamento do modelo?
- Qual o “comprimento” apropriado para a simulação?
- Quantas réplicações precisarão ser feitas?
- Quantas execuções aleatórias precisarão ser usadas?

Respostas para as questões acima são determinadas pelos três seguintes fatores:

- natureza da simulação (terminativa ou não terminativa);
- objetivo da simulação (análise de capacidade e comparações alternativas);
- precisão exigida (estimativa ou confiança de intervalo estimada).

3.7.1 Simulações terminativas e não-terminativas

Como parte do levantamento dos experimentos de simulação, deve-se decidir que tipo de simulação vai ocorrer. As simulações são usualmente distinguidas como sendo de dois tipos: terminativas e não-terminativas. A diferença entre as duas é que a primeira se interessa pelo comportamento do sistema sobre um período particular de tempo e a segunda pelo procedimento estado-estável do sistema. A decisão entre executar uma simulação terminativa ou não-terminativa tem menor relação com a natureza do sistema do que com o procedimento de interesse.

Uma simulação terminativa é aquela na qual a simulação parte de um estado definido ou tempo definido. Um estado inicial pode ser o número de peças do sistema no início de um dia de trabalho. Um estado terminal ou evento pode ser quando um número particular de trabalho tenha sido completado.

As simulações terminativas não são propostas para medir o comportamento estado-estável de um sistema. Em uma simulação terminativa a média das medidas são de pouco significado.

Uma simulação não terminativa ou estado-estável é aquela, na qual está sendo analisado, o comportamento estado-estável do sistema. Uma simulação não-terminativa não se preocupa com o término da simulação.

Ela somente pretende que a simulação possa, teoricamente, funcionar indefinidamente sem mudanças estatísticas no comportamento. Para simulações não terminativas, o modelador deve determinar um comprimento adequado de tempo para correr o modelo. O comprimento de uma corrida de simulação é determinado pelo tempo necessário para tornar um estado-estável representativo de comportamento do modelo.

3.8. RELATÓRIO DOS RESULTADOS

O último passo no procedimento de simulação é fazer recomendações para melhorar o sistema atual baseado nos resultados de um modelo simulado. Estas recomendações devem ser suportadas e claramente apresentadas de modo que uma decisão informada possa ser tomada. É interessante que a documentação dos dados usados, os modelos desenvolvidos e os experimentos executados, sejam todos incluídos como parte de um relatório final de simulação.

O processo de venda de resultados de simulação é amplamente um processo de estabelecimento de credibilidade do modelo. Não é o bastante para o modelo ser válido. O cliente ou o responsável pelo sistema simulado deve também ser convencido de sua validade, uma vez que ela é para ser usada como uma ajuda na tomada de decisão. Finalmente, os resultados devem ser apresentados em termos de fácil entendimento e avaliação. Reduzindo-se os resultados para fatores econômicos sempre se produz um caso impelindo para fazer mudanças no sistema.

Ao apresentar os resultados, é importante ser sensível para a forma na qual as recomendações serão feitas. Geralmente, é sensato apresentar soluções alternativas e suas implicações para a execução do sistema, sem sugerir uma alternativa sobre outra. Na verdade, é melhor que a pessoa que irá

tomar as decisões veja somente os aspectos logísticos do sistema e que ele não leve em consideração o potencial de reações ou o potencial de dificuldades que os envolvidos possam vir a ter na aceitação de uma solução particular.

3.9. SIMULAÇÃO E PRODUTIVIDADE

.Os sistemas (softwares) de simulação, de propósito geral, que chegam a mais de trinta diferentes propostas, embora atendam à teoria clássica da simulação apresentada neste capítulo, são de difícil, ou impossível, utilização na simulação de produtividade de tratores de esteiras.

Este fato não é único, pois os peritos em simulação já reconheceram mais de uma centena de sistemas em que o uso de simulação de propósito geral não pode ser feito. Para esta centena de casos, desenvolveu-se simuladores dedicados, os quais apresentam como principais características:

- Sistema pré-definidos
- Variáveis pré-definidas
- Estudos pré-definidos
- Interface amigável com o usuário.

4 - ENSAIOS DE MODELAGEM

Com o objetivo de estudar em detalhes as características de um sistema (SOFTWARE) de simulação específico para a análise de produtividade, dedicou-se atenção e tempo considerável ao DOZSIM, um sistema de simulação voltado para a aplicação de tratores de esteiras. Um segundo objetivo da análise detalhada deste sistema é a tentativa de capturar a sistematização dos ensaios de produtividade, utilizada pelos construtores do software.

4.1 - DOZSIM, UM SISTEMA DE SIMULAÇÃO VOLTADO PARA APLICAÇÕES DE TRATORES EM MINERAÇÃO.

Este sistema, denominado DOZSIM, foi o único identificado no mercado que atende, de certa forma, os objetivos deste trabalho. Consiste de um programa gráfico desenvolvido em plataforma Windows 95, que permite estimar o tempo e o custo de remoção de material, através de um modelo de escavação, ou mina, definido. O DOZSIM apresenta como vantagem a possibilidade de simular a movimentação de material por camadas.

Contudo, este é um sistema desenvolvido por um dos maiores fabricantes de máquinas e equipamentos de terraplenagem sendo, por este motivo, voltado apenas para os seus produtos e somente para aplicações em mineração onde, normalmente, utiliza-se tratores com potência nominal superior a 300 hp, devido a questões de produtividade. Desta forma o sistema está direcionado a um único tipo de aplicação e uma classe específica de máquinas.

Este capítulo está baseado no manual do sistema DOZSIM (Cat Large Track-Type Tractor DOZSIM, 1997).

Especificamente DOZSIM, através de telas de entrada de dados, permite:

- Definir os parâmetros das máquinas;
- Definir as características do material;
- Definir o modelo de escavação;
- Definir a movimentação de material em camadas,
- Visualizar ou imprimir relatórios por camada ou para o corte todo;
- Modificar os parâmetros a partir do relatório mostrado na tela;
- Ativar uma demonstração que permita a visualização de todas as camadas de um modelo de mina.

DOZSIM foi projetado para auxiliar na avaliação de um grande número de equipamentos e em soluções de projetos de minas. Com o auxílio deste programa pode-se comparar dois ou mais tratores de esteiras e medir suas diferenças de desempenho e custo. Para cada camada ou para a operação como um todo, o sistema calcula:

- o total de metros cúbicos movimentados e perdidos;
- produtividade em metros cúbicos ou jardas cúbicas por hora;
- total de horas trabalhadas;
- custo por metro cúbico;
- custo total;
- distância média de movimentação;

- inclinação de movimentação média;
- velocidade de movimentação em sentido contrário.

4.2 - UTILIZANDO O DOZSIM

No sistema de simulação DOZSIM, cada estudo de produtividade é denominado de projeto.

A tela principal apresenta a barra de tarefas que oferece, na forma dos programas desenvolvidos em plataforma Windows, as opções de File, Units, Machine, Site, Pit, Model, Output, Tools, Windows e Help.

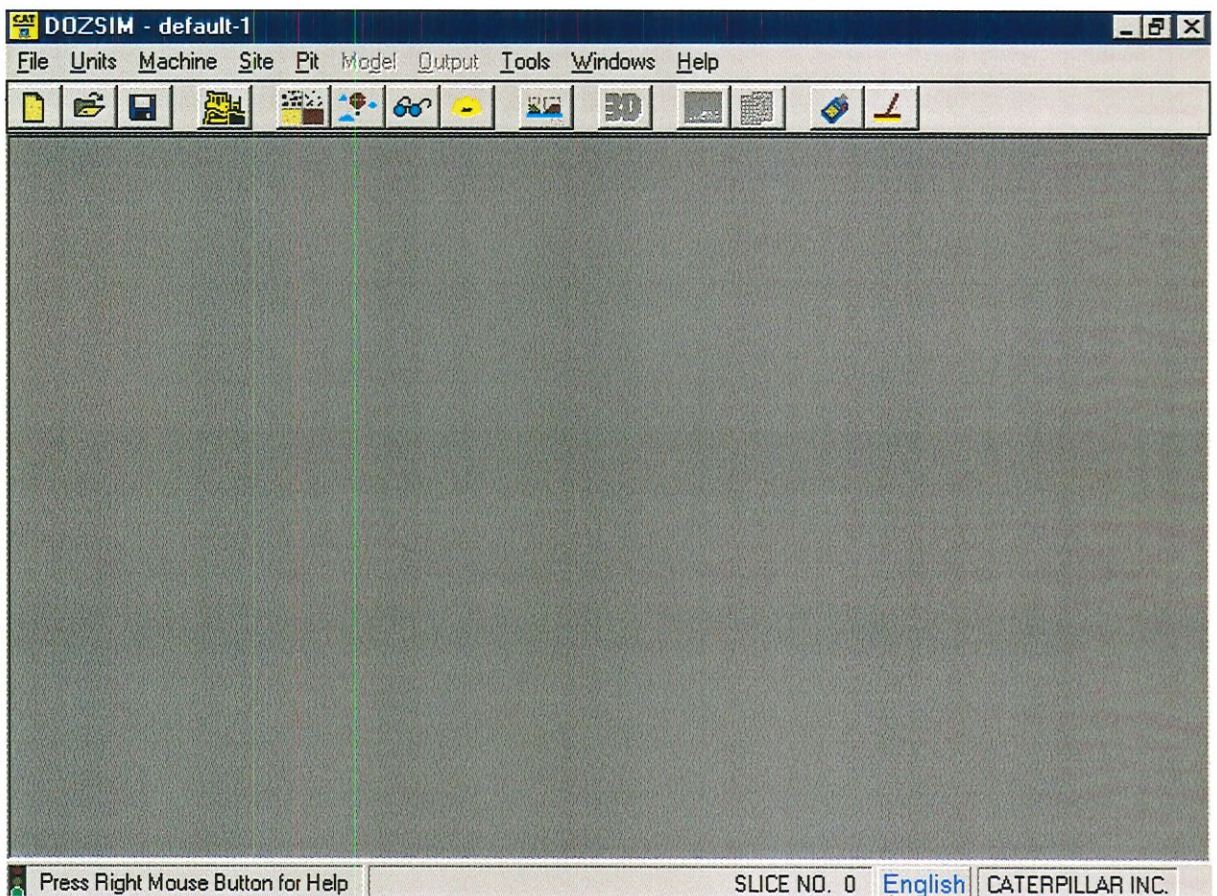


FIGURA 12 - Tela principal de sistema DOZSIM

O sistema permite a seleção entre dez opções de menus de barras.

A ação File, quando acionada, permite a criação de um novo projeto, abrir um projeto existente, salvar um projeto em andamento ou ainda renomeá-lo. Como última opção pode-se ainda finalizar o programa através do comando Close DOZSIM.

A Segunda coluna de opções na barra de tarefas, denominada Units, oferece a escolha pelo sistema métrico de unidades ou pelo sistema Inglês.

A opção Machine, onde de fato se começa a trabalhar com a produção de buldozeres, trás uma tela onde se faz a escolha pela máquina ou trator de esteiras que se deseja avaliar. Uma característica deste sistema é que as opções de máquinas estão limitadas às máquinas destinadas a trabalho em mineração de grande porte, ou seja, tratores de esteiras com potência nominal superior a 300hp, conforme mencionado anteriormente. Este é um fator limitante do sistema, uma vez que a grande população de tratores no Brasil está na faixa de 80 a 200 hp.

Também faz parte desta tela a definição do fator de disponibilidade de máquina, em porcentagem de horas; a seleção de acessórios como tipo de lâmina, existência ou não dos cilindros de inclinação; a largura das sapatas e a seleção da velocidade de retorno. Para a seleção da velocidade de retorno encontra-se como opção retorno sempre em primeira marcha ou marcha selecionada pelo sistema. Neste caso o sistema determinará automaticamente a melhor engrenagem de reverso, utilizando-se o ângulo de inclinação disponível.

Uma vez definidos os acessórios identificados no parágrafo anterior o sistema calcula, automaticamente, o peso de operação da máquina.

Completa-se os dados de entrada, na tela Machine, o valor do custo por hora da máquina trabalhada. Este é um valor que deve ser fornecido pelo usuário do sistema e que vai compor o valor do custo total da operação simulada.

A seguir descreve-se, passo a passo, as seleções da máquina e suas características, assim como os parâmetros envolvidos na definição dos fatores de correção da produtividade.

4.2.1 - Seleção de Máquina

Passo 1 = Clique sobre o botão **Machine** na barra de ferramentas. Ou, clique sobre **Machine** no menu principal . A caixa de diálogo Dozer aparece.

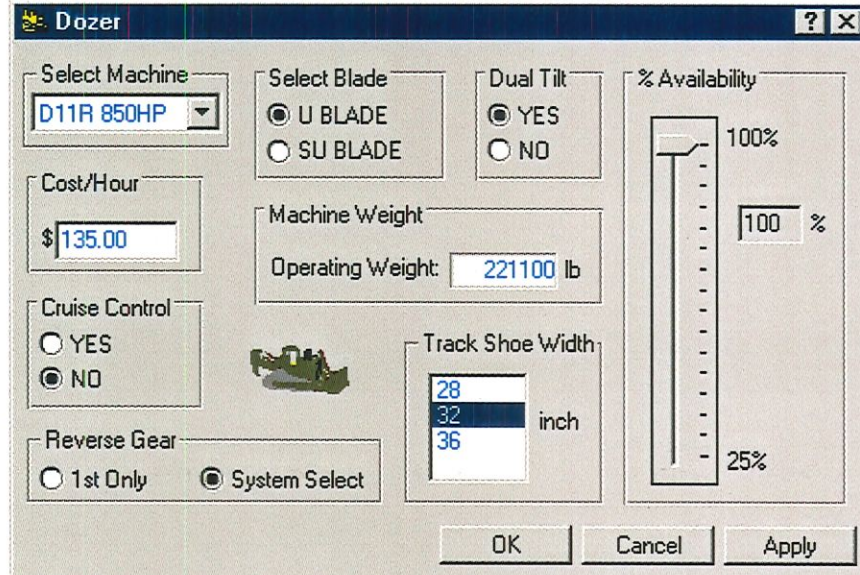


FIGURA 13 - Tela da seleção da máquina no sistema DOZSIM

Passo 2 = Preencha a informação Dozer usando a tabela Selection/Description como um guia.

Dozer Selection

Descrição.

Select Machine

Seleciona-se um trator.

Cost/Hour

Adiciona-se o custo por hora de operação da máquina selecionada.

Reverse Gear

Seleciona-se **System Select** para permitir ao sistema DOZSIM determinar a velocidade apropriada de reversão para o trator em função da inclinação. Se existem condições especiais sobre o local que requeiram trabalho mais lento do que a velocidade de reversão usual, selecione **1st Only** para limitar a velocidade máxima de reversão.

Select Blade

Selecione os tipos de lâminas da máquina, Lâmina U ou Lâmina SU.

Dual Tilt

Selecione **Yes** ou **No** para uma lâmina equipada com cilindros hidráulicos de inclinação.

Track Shoe Width

Selecione a largura da sapata da esteira disponível para a máquina selecionada.

Machine Weight

Um peso padrão de operação é registrado automaticamente quando você seleciona a máquina. Pode-se anular o peso padrão introduzindo seu próprio valor.

Availability

Colocar a disponibilidade da máquina pelo uso da barra de deslizamento.

Passo 3 = Clique sobre **OK** na caixa de diálogo Dozer.

Nas quatro próximas posições do menu de tarefas define-se os seguintes parâmetros de correção: Altitude, Visibilidade, Capacidade do Operador e as características do Material.

4.2.2 - Seleção do Material

Caminhando para a seleção do Material, na tela principal escolhe-se a opção **material** através dos seguintes passos.

Passo 1 = Clicar sobre o botão **Material Selection** na barra de ferramentas. Ou, clicar sobre o **Site, Materials** no menu principal.

A caixa de diálogo **Material Properties** aparece.

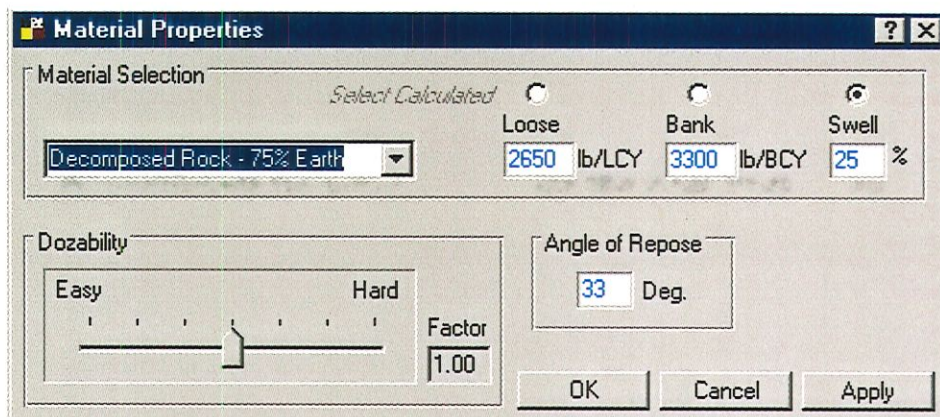


FIGURA 14 - Tela da seleção do material no sistema DOZSIM

Passo 2 = Preencher a informação de propriedade do material usando a tabela **Selection/Description** como um guia.

As seguintes seleções aparecem na caixa de diálogo **Material Properties**:

<u>DOZSIM Selection</u>	Descrição
<u>Material Selection</u>	Seleciona o material deste menu.
<u>Dozability</u>	Clique sobre a barra de deslizamento para ajustar a facilidade de trabalhar o material, de fácil para difícil.
<u>Loose/Bank/Swell</u>	A densidade dos materiais solto e compacto, e a porcentagem de empolamento são preenchidos automaticamente para o material selecionado.
<u>Angle of Repose</u>	O Ângulo de repouso é automaticamente preenchido baseado no material selecionado.

Nota: A informação na caixa de diálogo **Material Properties** pode ser introduzida manualmente. Se o material a ser removido não está na lista **Material Selection**, pode-se escolher qualquer material.

Passo 3 = Clique **OK** na caixa de diálogo **Material Properties** para selecionar os parâmetros do material.

4.2.3 - Estabelecendo altitude

Conforme visto no capítulo 2, a altitude influencia na eficiência dos motores. Da mesma forma descrita na seção anterior, passamos agora a seleção da altitude do local da obra, com os seguintes passos

Passo 1 = Clique sobre o botão **Altitude** na barra de ferramentas. Ou, clique sobre **Site, Altitude**.

A caixa de diálogo **Altitude** aparece.

Passo 2 = Colocar a altitude aproximada usando a seta para cima ou para baixo.

Passo 3 = Clique **OK** na caixa de diálogo altitude para colocar o parâmetro altitude.

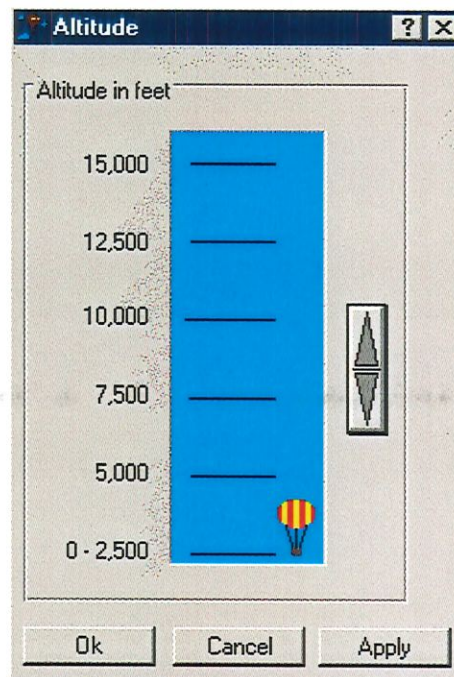


FIGURA 15 - Tela da seleção da altitude de operação no sistema DOZSIM

4.2.4 - Definindo o parâmetro relacionado com a visibilidade

Passo 1 = Clique no botão **Visibility** na barra de ferramentas. Ou, clique sobre o **Site, Visibility** no menu principal.

A caixa de diálogo **Visibility** aparece.

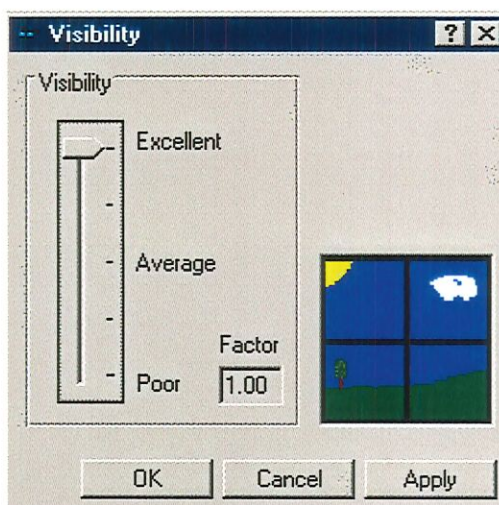


FIGURA 16 - Tela da seleção da visibilidade no sistema DOZSIM

Passo 2 = Ajustar visibilidade usando a barra de deslizamento.

Passo 3 = Clique sobre **OK** na caixa de diálogo Visibilidade para colocar o parâmetro visibilidade.

4.2.5 - Estabelecendo os parâmetros do Operador

Passo 1 = Clique sobre o botão **Operator** na barra de ferramentas. Ou, **Site, Operator** no menu principal.

A caixa de diálogo **Operator** aparece.

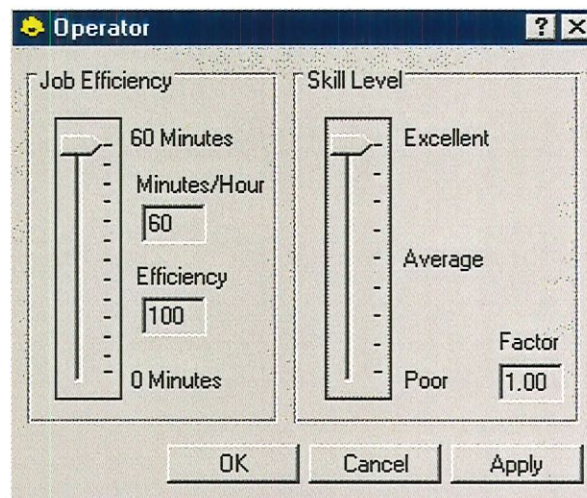


FIGURA 17 - Tela da seleção das características do operador no sistema DOZSIM

Passo 2 = Estabelecer o **Job Efficiency** em minutos por hora de operação de produtividade usando a barra de deslizamento.

Passo 3 = Estabelecer o **Operator Skill** usando a barra de deslizamento **Skill Level**.

Passo 4 = Clique **OK** na caixa de diálogo **Operator** para estabelecer os parâmetros do operador.

4.3 - TIPOS DE OPERAÇÃO

Em continuidade à definição do projeto na próxima opção da barra de tarefas, faz-se a definição geométrica do local da obra, e o procedimento a ser utilizado pela máquina para movimentar o material. Para esta definição geométrica o DOZSIM, utiliza-se do sistema CAD denominado DESIGN CAD.

Durante a operação de corte definida, DOZSIM criará um dos três seguintes tipos de pilhas de despejo do material. Os três tipos são:

- Sobre a margem, **(over the edge)**
- Sobre o banco **(benching)**
- Acima da pilha de despejo **(up the spoil pile)**

A determinação do volume de escavação de um corte pelo sistema DOZSIM inicia-se com a movimentação do material por sobre a margem ou limite do seu excesso que é determinado pela definição geométrica da mina. Assim que o material preencha a trincheira existente, atingindo-se a altura da margem do excesso, DOZSIM começará a colocar o material movimentado além do banco, sobre a pilha de despejo. Uma vez que este banco alcance a pilha de despejo ele começará a movimentar o material além da pilha de despejo.

4.3.1 - Centróides , Distâncias de Movimentação e Inclinação

DOZSIM usa o centróide ou centro de gravidade do volume a ser removido e o volume resultante para determinar a distância média de trabalho e a inclinação média do material.

Na movimentação de material sobre a margem, o centróide do excesso de material é projetado normalmente à linha de corte. A interseção desta projeção e a margem determina a distância média de trabalho. A inclinação média, no caso, é o ângulo no qual a linha de despejo foi definida.

Na movimentação de material sobre o banco, o centróide do material de excesso é projetado normalmente à linha de despejo. O centróide do material de despejo é também projetado normalmente à linha de corte. A distância entre estas duas interseções é a distância média de trabalho. A inclinação média segue a mesma orientação do caso anterior.

Para a movimentação de material acima da linha de despejo o centróide do material de excesso é usado como o início do movimento. O ponto final é também o centróide do material de excesso. Desta forma criam-se duas etapas com diferentes médias de distância de trabalho e médias de inclinação. Dois cálculos de produtividade separados serão, portanto, realizados para definir cada etapa deste tipo de trabalho.

4.3.2 - Distância Mínima de Trabalho

Para todas máquinas, o manual do sistema informa que a distância mínima de movimentação é de 30 pés ou 9.14 metros. Esta é, segundo os construtores do software, a distância que uma máquina necessita para efetivamente carregar uma lâmina. Se um modelo apresenta uma distância de movimentação mais curta do que a distância de movimento mínima, DOZSIM usará automaticamente a distância mínima, pois busca o cálculo da máxima produtividade.

4.3.3 - Sólidos Desagregados

Um sólido é um grupo de planos e superfícies que forma uma figura fechada. Cada forma representando o excesso do material, também chamado de lixo, é um sólido.

Sólidos desagregados em DOZSIM são considerados sólidos independentes representando ou o excesso ou o despejo sólido. Durante a criação do modelo da mina é recomendado evitar a construção de sólidos desagregados. Quando isto ocorrer, provavelmente o cálculo da produtividade será afetado negativamente, pois o sistema trabalha cada sólido independentemente, o que não ocorre em uma operação real. Suspeitando-se então, que um sólido desagregado foi criado deve-se eliminar o corte e realizar-se nova tentativa. Esta situação pode ser evitada alterando-se o ângulo da linha de corte, ou removendo-se mais material com a linha de corte.

4.4 - CRIANDO UM MODELO DE MINA

Ao iniciar-se o programa DOZSIM, o usuário coloca-se diante de uma tela que contém todos os elementos necessários para construir uma réplica de uma mina. A partir da opção **pit dimensions** deve-se incluir as informações relativas a geometria das trincheiras e as características das máquinas disponíveis para a movimentação de material

4.4.1 – O modelo de mina, passo a passo.

Passo 1 = Clique sobre o botão **Pit Dimensions** na barra de ferramentas. Ou, clique sobre **Pit** no menu principal.

A caixa de diálogo Projeto Mina aparece.

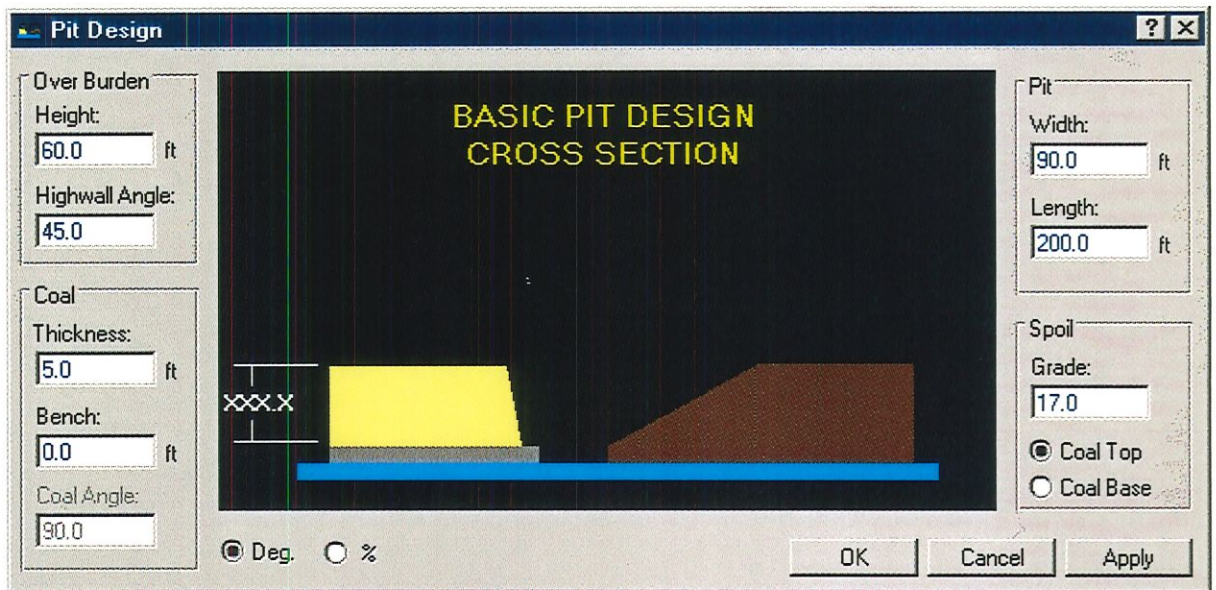


FIGURA 18 - Tela da definição da mina no sistema DOZSIM

Passo 2 = Preencha a informação Projeto Mina usando a tabela Selection/Description abaixo como um guia.

<u>DOZSIM Selection</u>	Descrição
<u>Overburden</u>	Preencha a altura e o ângulo da parede na caixa de material.
<u>Coal</u>	Preencha a dimensão ou espessura da camada de carvão da mina modelo e sua profundidade. Preencha o Ângulo do Carvão se o botão Base do Carvão tiver sido selecionado.
<u>Pit</u>	Preencha a Largura da Mina e o seu comprimento na trincheira da Mina.


Spoil

Preencha o ângulo de despejo e clique sobre o botão Topo do Carvão (coal top) ou Base do Carvão (coal base).

Deg ou %

Selecione Deg ou % para unidades de ângulos ou graus.

Passo 3 = Clique sobre **OK** na caixa Pit Design.

Passo 4 = Clique sobre o botão **3D** DesignCAD. 

A tela DesignCAD aparecerá com uma estrutura “**wireframe**” descrevendo a mina.

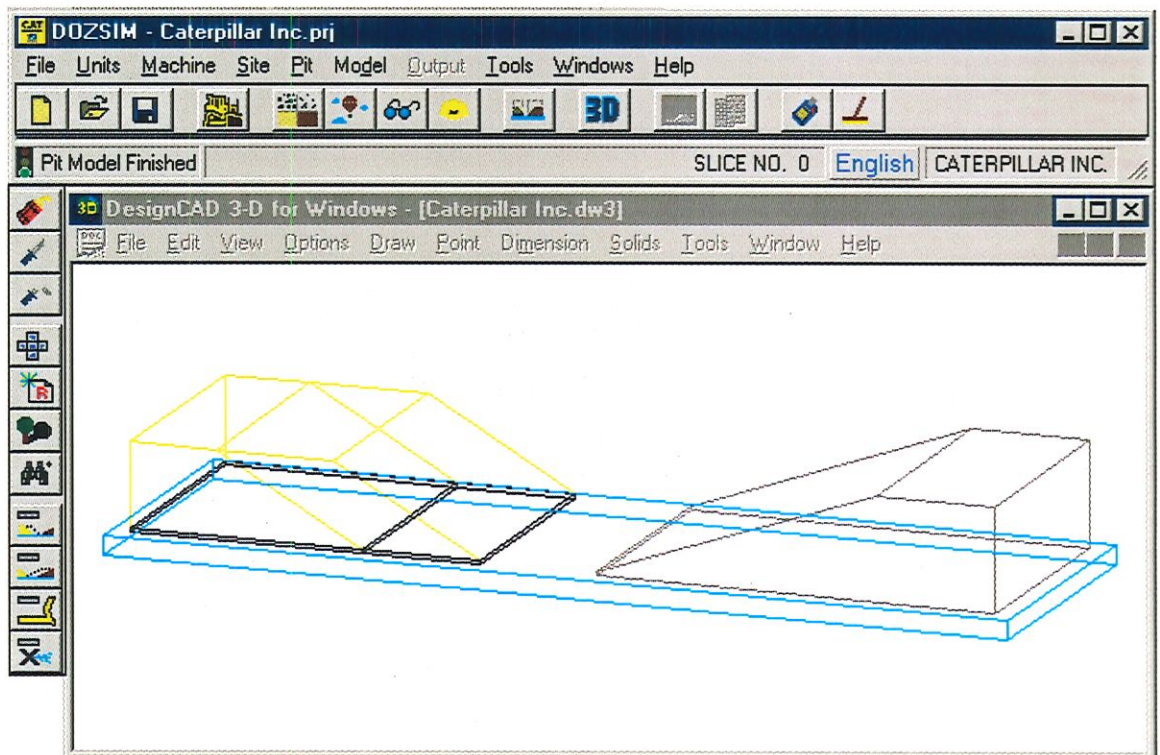


FIGURA 19 - Tela do sistema "DesignCAD 3D" ilustrando a mina definida

Neste ponto concluíram-se as entradas de informações que definem a mina, os materiais e outras variáveis. Com o DOZSIM, até seis cortes podem ser gerados, cada um representando o movimento do material de excesso para a pilha de despejo.

4.4.2 - Criando uma Detonação

Existem 4 perfis de detonação incluídos em DOZSIM. A detonação da mina é considerada o primeiro passo do modelo escavado. Quando a detonação não for utilizada inicia-se pela criação de camadas (Creating Slices). Para criar uma detonação, segue-se os passos:

Passo 1 = Clicar sobre o ícone **Creat Blast** na barra de ferramenta do

DesignCAD. 

A caixa de diálogo dos Perfis de Detonação aparece.

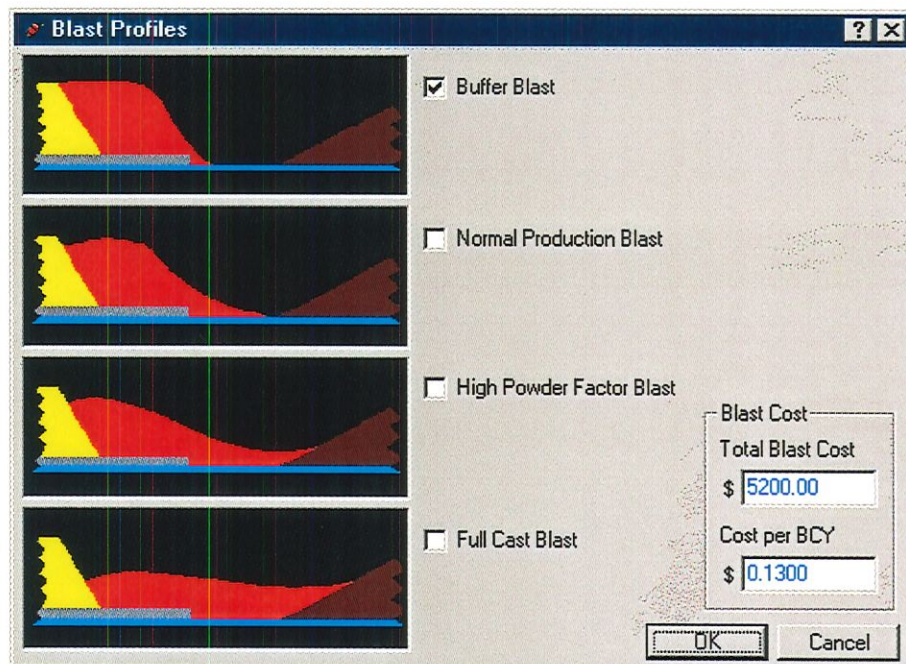


FIGURA 20 - Tela do sistema DOZSIM apresentando opções de detonação

Passo 2 = Selecione um perfil de detonação.

Passo 3 = Entrar em um dos parâmetros do Custo de Detonação (**Blast Cost**).

Passo 4 = Clicar sobre **OK**.

A tela de esboço (**Stretcher**) aparece.



FIGURA 21 - Tela de esboço, apresentando-se a mina em corte lateral para definição do volume de material a ser removido

Passo 5 = Use o eixo X ou Y ou a seta X e Y para formar a detonação.

Passo 6 = Clicar sobre **Restart** para voltar ao perfil de detonação original.

Passo 7 = Clicar sobre **OK** para aceitar o perfil de detonação

Um aumento de volume é aplicado para o perfil de detonação, e um novo modelo de escavação será gerado.

4.4.3 - Criando Camadas

Esta seção descreve o processo de remover uma parte do excesso de material da mina ou a detonação prévia. O excesso pode ser distribuído em seis partes, para fora da mina de carvão e sobre a pilha de despejo. Com o modelo de escavação 3D sobre a tela, segue-se estes passos:

Passo 1 = Clicar sobre o botão **Slice** (fatiar).

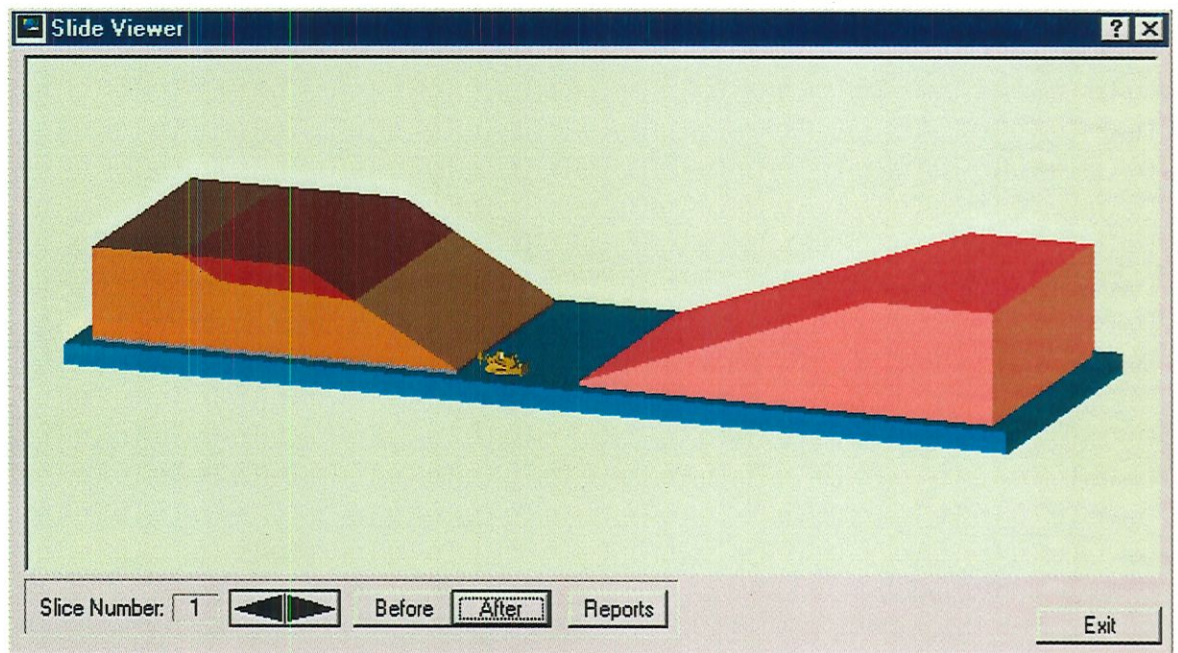


FIGURA 22 - Tela "Slide Viewer" do sistema DOZSIM destacando o primeiro corte a ser realizado

Passo 2 = Usando o cursor em forma de cruz, marca-se o ponto 1 e o ponto 2 da linha fatiada pela clicagem do botão esquerdo do “mouse”. O menu indicando a linha de segmentação (slice line) aparecerá ao alto da tela.

Passo 3 = O menu da linha de segmentação oferece a opção de mostrar a origem XY e ajustar os valores X e Y, pontos inicial e final da linha de segmentação. Pode-se também mudar o ângulo de segmentação, se necessário.

DOZSIM processará a segmentação ou fragmentação do material. Isto poderá tomar um longo tempo de processamento do computador. O resultado é o modelo de mina com a primeira fatia removida.

Passo 4 = Repetir os passos 1-3 para remover as 5 sucessivas fatias do excesso.

Passo 5 = Clicar sobre o botão **Last Slice** (última fatia).

Isto removerá todo o excesso remanescente do material detonado indiferentemente de quantas passadas foram anteriormente feitas.

4.5 – CÁLCULO RÁPIDO

DOZSIM provê, ainda, um meio de realizar cálculos rápidos de produtividade em movimentação de material, com a lâmina de um trator de esteira, sem a necessidade de projetar um modelo de mina. Neste caso deve-se conhecer a distância e o volume do material movimentado, assim como o seu fator de empolamento e a inclinação da rampa de despejo. Porém, isto significa que as respostas de produtividade podem ser identificadas em poucos passos:

Passo 1 = Clique sobre o botão **Quick Calculation** na barra de ferramenta.

A tela **Quick Calc** aparece.

Passo 2 = Entrar dados na caixa **Input Values**

Passo 3 = Duplo clique nos campos de dados **Machine** e **Site**.

Passo 4 = Entrar dados nas caixas de diálogo **Machine** e **Site**.

The screenshot shows the 'Quick Calc' dialog box with the following data:

Input Values	
Push Distance	100 ft
Push Slope	10 deg
Bank Moved	4000 yd ³
Loose Moved	5000 yd ³

Machine Data	
Machine	D11N
Weight	215000 lb
Shoe Width	32.0 in
Dual Tilt	Yes
Blade	U Blade
Cruise Control	No
O&D Cost	\$120.00

Site Data	
Material	Decomposed Rock - 75%
Bank Density	3300 lb
Loose Density	2650 lb
Swell	25%
Dozability	1.00
Altitude	0-2500 ft
Visibility	Excellent
Operator Ability	Excellent
Job Efficiency	100.0%

Output Values	
Bank	
Yards per Hour	1097.7
Cost per Yard	\$0.109
Loose	
Yards per Hour	1372.1
Cost per Yard	\$0.087
Total Hours	3.64
Total Cost	\$437.28

At the bottom, there are radio buttons for 'Deg.' (selected) and '%', and buttons for 'OK', 'Print', and 'Exit'.

FIGURA 23 - Tela do relatório dos resultados da simulação.

Passo 5 = Clicar sobre **OK** para ver os resultados na caixa **Output Values**.

Passo 6 = clicar sobre **Print** para imprimir relatório **Quick Calc**.

4.6 - VISTA (VIEW)

A opção **View** capacita a movimentação para trás e para frente entre o deslizamento da tela de cortes e a tela de relatório. Isto permite-se referir cada corte a seu respectivo relatório, e determinar se o corte foi efetivamente projetado.

4.7 - DELETAR (DELETE)

Delete permite ao usuário eliminar ou reprojetar um corte. Se ele eliminar um corte intermediário, os cortes que se seguem também serão eliminados.

4.8 - CUSTO

O DOSZIM permite um cálculo do custo da movimentação do material. Como no caso do método de cálculo rápido de produtividade, é necessário indicar o valor do custo-hora da máquina.

4.9 - ALTERANDO PARÂMETROS (CHANGING INPUT PARAMETERS)

A alteração dos Parâmetros provê um método de comparar máquinas alternativas e especificações locais. Os passos seguintes trilham as mudanças dos parâmetros de entrada:

Passo 1 = Clicar sobre o botão **Machine** na tela Report. Os dados Machine aparecerão à direita mais alta da tela Report.

Passo 2 - Duplo clique sobre qualquer dos dados do campo para trazer a caixa de diálogos Dozer.

Passo 3 = Fazer mudanças em quaisquer dos parâmetros da máquina.

Passo 4 = Clicar sobre o botão **Site** na tela de Relatório.

Passo 5 = Duplo clique sobre qualquer dado do campo para trazer a apropriada caixa de diálogo: Altitude, Visibilidade, Operador ou Eficiência do Trabalho.

Passo 6 = Fazer mudanças em quaisquer dos parâmetros, novamente.

Imediatamente, qualquer alteração feita em quaisquer dos parâmetros da máquina ou local da mina é refletida nos relatórios parciais e totais.

4.10 - RELATÓRIOS

Os relatórios podem ser gerados e impressos para cada corte removido do excesso. Um relatório, resumindo os totais de cada corte também é gerado, conforme ilustram as figuras 24 e 25.

	Bank Cubic Yards	Loose Cubic Yards
Total Moved	XXXXX	13787.9
Carried On (from previous slices)		6136.8
Yards per Hour	XXXXX	958.4
Total Hours		14.39
Cost per Yard	XXXXX	\$0.130
Total Cost		\$1798.22

Machine Data	
Machine	D11N
Weight	215000 lb
Shoe Width	32 in
Dual Tilt	Yes
Blade	U Blade
Cruise Control	No
O&D Cost	\$125.00
Availability	100%

Slice Options	
Average Push Distance	215.5 ft
Average Slope	3.8 deg
Reverse Speed	5.05 mph

FIGURA 24 - Tela do relatório dos resultados, por corte da simulação da produtividade do Sistema DOZSIM

FIGURA 25 - Tela da caixa de dialogo de impressão

No caso de impressão pode-se ter um relatório sobre cada corte selecionado, e um relatório total de informação do projeto será automaticamente impresso com cada relatório de cortes.

4.11 – LIMITAÇÕES DO DOZSIM

O sistema de simulação, da forma como foi investigado, mostrou que considera todos os parâmetros de um trabalho de movimentação de material utilizando-se tratores de esteira. Pôde-se notar que a produtividade máxima de uma máquina, através da definição de suas características, e os fatores de correção facilmente aplicados, compuseram os cálculos de produtividade simulado.

Porém, como já foi citado no decorrer deste capítulo, a utilização do sistema está restrita a uma gama de máquinas predeterminada que, se por um lado facilita a entrada de dados, por outro impossibilita sua aplicação em máquinas de diferentes tamanhos e de outros fabricantes.

Uma outra limitação do DOZSIM é que, por ser específico para a área de mineração, ele não permite a simulação de diferentes perfis topográficos com diferentes “approch” para a movimentação de solo. Estas possibilidades seriam muito importante para fornecer suporte de vendas e de aplicação de tratores de esteiras.

A qualidade de dados e de interface do DOZSIM somada a novas possibilidades de simulação de diferentes perfis topográficos, diferentes máquinas com diferentes “métodos” de movimentação, comporiam o simulador ideal para tratores de esteiras em terraplenagem.

5 - ENSAIO PRÁTICO E RESULTADOS

O ensaio prático foi realizado conforme a sistematização proposta, considerando-se as cinco fases apresentadas. A finalidade desta parte prática foi principalmente verificar a validade da proposta do trabalho. E, como este foi também um teste verdadeiro e procurando buscar dados o mais próximo do real possível, as pessoas envolvidas não tiveram conhecimento da finalidade acadêmica do ensaio e finalmente, os resultados obtidos foram publicados, prestando-se a informações de produto e ferramenta de vendas.

5.1 – ETAPA 1 - VARIÁVEIS DO ESTUDO

5.1.1 - Operador

A questão do fator humano foi minimizada pela utilização de um único operador, já familiarizado com todas as máquinas do estudo.

5.1.2 - Material

Os testes de produtividade foram realizados em solo do tipo latossolo roxo, na área de demonstração de um fabricante de máquinas de terraplenagem. O terreno foi preparado antecipadamente, através de um processo de escarificação do solo com riper escarificador, a uma profundidade

aproximada de oitenta centímetros, seguido de uma compactação, com a finalidade de obter-se uma homogeneização entre as áreas de teste.

5.1.3 – Máquinas

A seleção das máquinas está diretamente relacionada com os resultados aos quais o estudo de produção se destina. Utilizou-se máquinas pertencentes a uma mesma classe, ou seja, máquinas destinadas a uma mesma faixa de mercado ou aplicação. A tabela 05 contém as características técnicas das máquinas escolhidas para o teste de produtividade.

Em uma ação prévia ao início dos ensaios, as máquinas foram sujeitas a uma revisão onde verificaram-se itens importantes que poderiam influenciar ou alterar os resultados finais de produtividade. Os principais itens verificados foram: a rotação do motor em vazio, que deve estar na nominal para manter válidas as características de potência determinadas pelo manual da máquina; a tensão das esteiras também deve estar de acordo com as normas do fabricante; os níveis de óleo do motor e do tanque hidráulico, que serve ao acionamento dos acessórios; além da verificação dos filtros de ar e óleo.

TABELA 05 – Dados técnicos dos tratores

CARACTERÍSTICAS	MAQ 1	MAQ 2	MAQ 3	MAQ 4
POTÊNCIA (hp)	140	140	140	140
PESO (kgf)	12500	15050	15250	15050
CAPACIDADE DA LÂMINA (m ³)	3,57	3,18	4,28	3,18
TAMANHO MOTOR (l)	10,5	6,6	6,6	6,6
CAPACIDADE DO TANQUE DE COMBUSTÍVEL (l)	295	311	311	311
ÁREA DE CONTATO COM O SOLO (m ²)	2,21	3,06	3,06	3,06
TIPO DE TRANSMISSÃO	PS	PS	PS	PS
HORÍMETRO (h)	2913	25	1799	42
ESCARIFICADOR	SIM	SIM	NÃO	SIM

5.2 – ETAPA 2 – ORIENTAÇÕES

Para a realização dos ensaios práticos foram definidas as seguintes condições: O terreno seria homogeneizado, e escolheu-se o corte de



trincheira como operação para todas as máquinas, conforme ilustra a figura 26.



FIGURA 26 - Fotografia do teste de Produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil

5.3 – ETAPA 3 – ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

5.3.1 - Tamanho das escavações e transporte

As caixas de corte definidas para cada máquina possuíram dez metros de largura, o que é equivalente a aproximadamente duas vezes e meia a largura das lâminas das máquinas. O comprimento para cada caixa foi fixado em vinte metros, destinados exclusivamente à operação de escavação. Mais dez metros finais foram considerados para a operação de transporte, ou seja, destinado apenas para a realização de movimentação material, sem a penetração da lâmina no solo.

5.3.2 - Número de escavações

Considerando-se que o número de máquinas envolvidas no teste é pequeno, decidiu-se por duas repetições das escavações, por máquina, salvo a impossibilidade causada pela chuva. Desta forma o valor médio final, por máquina, estaria mais próximo do real.

5.3.3 - Estaqueamento

O processo de estaqueamento foi realizado de acordo com o proposto pelo trabalho, ou seja, as estacas perimetrais foram posicionadas com um espaçamento de cinco metros proporcionando um rápido levantamento topográfico e servindo também como referência para o operador. Após a colocação dessas estacas, foram colocadas então as estacas internas mantendo-se, neste caso um espaçamento de 2 metros na seção transversal.

Desta forma, conforme ilustram as figuras 27 e 28, permitiu-se o levantamento topográfico, inicial e final, de cada uma das trincheiras definindo assim o cálculo do volume escavado e da produção horária, em (m^3/h), com maior facilidade.



FIGURA 27 - Fotografias flagrante do levantamento topográfico durante teste de produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil



FIGURA 28 - Fotografias flagrante do levantamento topográfico durante teste de produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil

5.3.4 - Distância de transporte

Na definição de distância de transporte, seguindo mais uma vez as orientações propostas, procurou-se padronizar o percurso no qual as máquinas movimentam material em segunda marcha e sem a penetração da lâmina no solo. Foram, desta forma, fixados dez metros de transporte, além da área de corte.

5.3.5 - Área de despejo

Devido a localização e planicidade do terreno não oferecerem um área de despejo específica, esta foi definida como iniciando-se imediatamente após o final da área de transporte. Contudo este fato não interfere na produtividade das máquinas em corte de lâmina

5.3.6 - Instruções ao operador

O operador foi selecionado e conduzido, dias antes do início dos teste, a uma sala de treinamento onde foi-lhe apresentado o objetivo e os procedimento dos testes. Solicitou-se que as máquinas fossem operadas em primeira marcha para escavar a trincheira. Após deixarem a mesma, o material deveria ser carregado usando-se a segunda marcha, sendo então depositado em uma pilha de despejo, fora da área de estudo. Para obter-se resultados comparativos válidos, foi solicitado ainda que o operador conduzisse todas as máquinas utilizando as mesmas orientações.

5.3.7 - Condução do teste

Dentro das informações apresentadas ao operador, figurou-se os quatro primeiros passos da fase 3.7 da proposta de sistematização apresentada no capítulo 2.5 e aqui reproduzidos:

- Passo 1. Inicia-se pela frente do buraco. A profundidade do corte e da trincheira é definida à medida que o operador avança na cova. Esta condição estabelece imediatamente uma situação de carga em descida e uma trincheira para máxima retenção da carga da lâmina;
- Passo 2. Quando a primeira trincheira estiver concluída (primeira largura de lâmina), passa-se para a segunda removendo-se o material da mesma forma. Entre as duas trincheiras resulta uma parede de material de aproximadamente um terço da largura da lâmina;
- Passo 3. Remove-se esta parede;
- Passo 4. Ao término da remoção da parede, pára-se o teste. O operador pode então percorrer o fundo da trincheira, a fim de nivelar a seção transversal. O material adicional da trincheira não deve ser removido nesta operação.

Repete-se então os mesmos passos com as outras máquinas do estudo.

Após o término de cada escavação dá-se início ao passo 5, ou seja, executa-se o levantamento do volume escavado através das seções transversais.

5.3.8 - Registro dos dados

Um vez definidos todos os parâmetros do estudo escolheu-se uma das máquinas para iniciar-se as operações e durante uma hora contínua de trabalho foram levantadas os dados de tempo. Posteriormente verificou-se o volume escavado. Finalmente, para este teste, foi decidido também verificar o consumo de combustível.

Os dados de tempo foram anotados conforme os tempos parciais do ciclo da operação, ou seja, os tempos de corte, transporte, despejo e retorno.

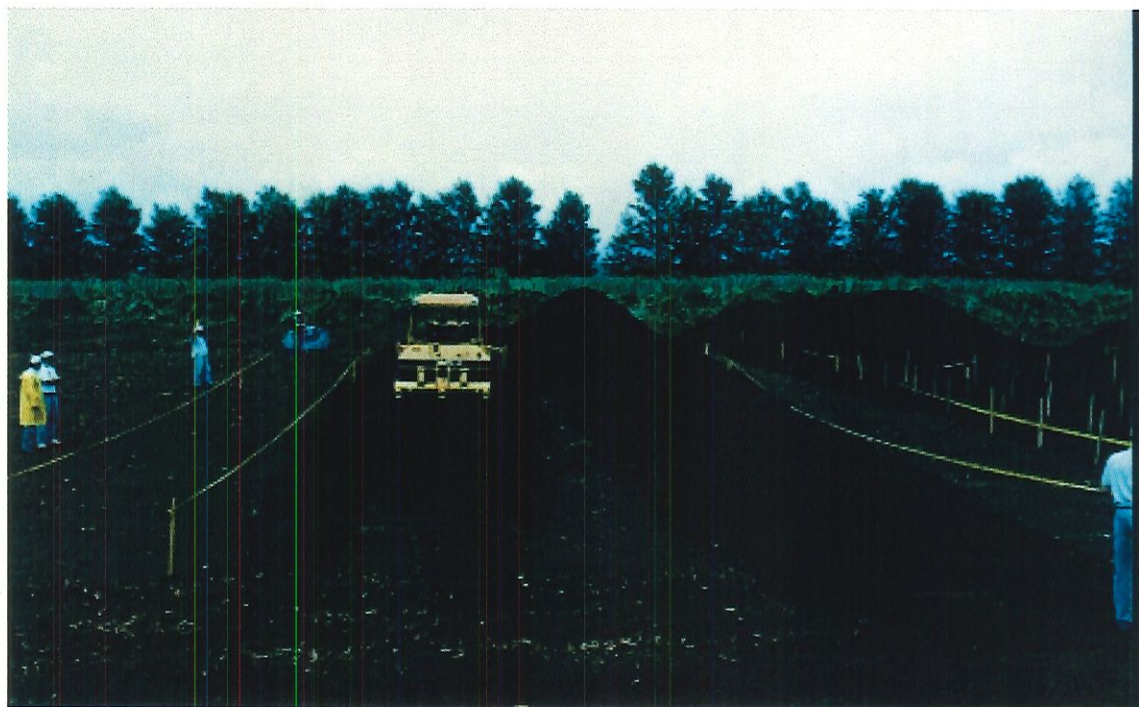


FIGURA 29 - Fotografia flagrante do levantamento de dados durante teste de produtividade realizado na Área de Demonstração da Caterpillar Brasil

Para o processo de registro dos dados de tempo de operação foram envolvidos, inicialmente, quatro pessoas. A primeira, posicionada na lateral da trincheira, foi responsável pela indicação, com um movimento de braço, do início do ciclo. Este é definido pelo operador da máquina quando, dando início ao corte do material, coloca a lâmina em contato com o solo. A

MODELO	DATA			NUM. DA ESCAVAÇÃO							OPERADOR			
ESTAÇÃO #	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	PROF. TOTAL	
EMBAIXO														
EM CIMA														
PROF.														
EMBAIXO														
EM CIMA														PROF. MEDIA
PROF.														
LARGURA		EM-BAIXO	COMPR=() X LARG.() X PROF. () =										MCC	
		RAMPA	COMPR= () X LARG.() X PROF. () /2 =										MCC	
		RAMPA	COMPR= () X LARG.() X PROF. () /2 =										MCC	
LARG. TOTAL														
LARG. MEDIA														

FIGURA 30.b - Formulário para levantamento de dados de produtividade e análise de ciclos de tratores de esteiras

Como apontado anteriormente, o levantamento topográfico, para cada uma das trincheiras, foi realizado em duas etapas. Antes de iniciar-se a escavação, fez-se o levantamento da área para evitar-se desvios significativos devido à planicidade do terreno. Posteriormente, ao término das operações de escavação e transporte, refez-se o levantamento topográfico concluindo-se o cálculo do volume escavado pelas máquinas em estudo.

5.4 – ETAPA 4 – CÁLCULO DOS RESULTADOS

Por ser este um ensaio real e considerando-se que foram tomados os cuidados necessários para eliminar-se a influência das variáveis, o resultado da produtividade das máquinas que participaram do teste é calculado

considerando-se o volume total escavado e o tempo total percorrido pela máquina.

Como o tempo percorrido pelos tratores, durante os testes, foi fixado e obedecido em uma hora e os fatores de correção da produtividade, para todas as máquinas, iguais a um, o valor da produtividade coincide com o valor do volume escavado.

A tabela 04 ilustra os resultados obtidos e calculados para as quatro máquinas do teste.

TABELA 04 – Resultados dos estudos de produtividade

TRATOR	MAQ 1	MAQ 2	MAQ 3	MAQ 4
PRODUÇÃO EM 60 MIN (M³)	192,84	189,55	192,27	193,53
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (L/h)	28,21	24,66	25,40	24,64
EFICIÊNCIA DE COMBUSTÍVEL (M³/L)	6,84	7,69	7,55	7,86
TEMPO MÉDIO DE CICLO (MIN)	0,83	0,94	0,89	0,81
CARGA MÉDIA POR CICLO (M³)	2,66	2,97	2,85	2,60

5.5 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

De acordo com a orientação proposta por este trabalho, procurou-se registrar os ensaios de campo com o maior número de fotografias possível. Parte destas fotografias foram utilizadas para compor e ilustrar alguns capítulos desta dissertação.

As fotografias porém, não são suficiente para traduzir os resultados de produtividade dos tratores em números relativos, de forma a informar ou esclarecer o desempenho das máquinas que participaram de um teste.

Desta forma, recomenda-se a apresentação de gráficos, conforme ilustram as figuras 31 e 32, para proporcionar interpretação rápida dos resultados de um estudo de produtividade, tanto por parte dos revendedores como dos clientes.

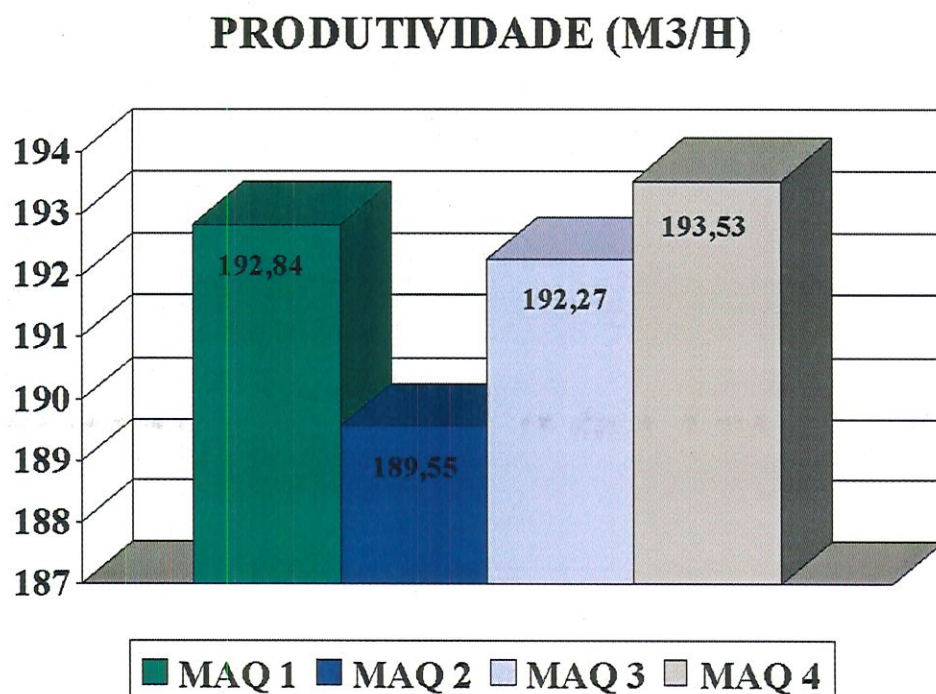


FIGURA 31 - Gráfico do Produtividade das máquinas, resultante do teste realizado na área de demonstração da Catepillar Brasil.

Assim, pode-se facilmente observar que as máquinas 1, 3 e 4 foram mais produtivas no corte de trincheiras em relação à máquina 2.

Quanto à eficiência no consumo de combustível as máquinas 2, 3 e 4 mostraram-se mais eficientes que a máquina 1 como pode-se notar no gráfico 32, a seguir.

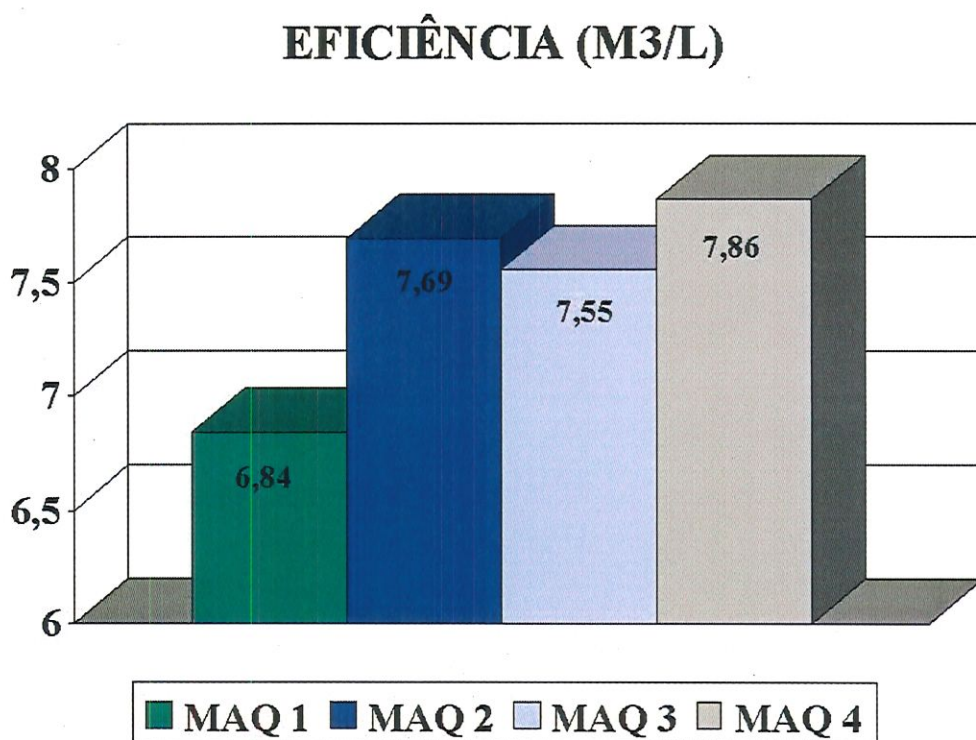


FIGURA 32 - Gráfico do Eficiência em combustível das máquinas, resultante do teste realizado na área de demonstração da Catepillar Brasil.

6 – CONCLUSÃO

6.1 – Conclusões sobre o projeto

O trabalho apresentado, de um forma geral, conseguiu atender os objetivos propostos.

A sistematização proposta e descrita no capítulo 2, cobriu todos aspectos conceituais e práticos que devem ser considerados para a realização de um ensaio de campo. No capítulo 5 descreveu-se um teste de produtividade realizado na área de demonstração de uma fabrica de tratores de esteiras onde foram seguidos, com sucesso, todas as fases propostas.

Com relação à verificação de um sistema de simulação existente no mercado e voltado aos testes de produtividade, o DOZSIM foi o único identificado. O sistema consiste de um programa gráfico desenvolvido em plataforma Windows 95, de fácil utilização e que permite calcular o tempo e volume de material removido em uma operação, através de um modelo de escavação rascunhado pelo usuário.

Uma característica interessante e positiva é a forma como são tratados os parâmetros que definem os fatores de eficiência. Estes são apresentados na forma de menus com controles deslizantes, de fácil iteração.

Pode-se ainda observar que a metodologia do DOZSIM possui características semelhantes à sistematização proposta por este trabalho, porém sem utilizar todas as fases. A utilização de uma ferramenta gráfica, por exemplo, elimina a necessidade do estaqueamento e posterior levantamento do volume escavado. Contudo, a falta de uma metodologia na condução do teste, como foi proposto e apresentado na fase 3.7 – Condução

do teste, pode gerar diferenças nos resultados da produtividade de dois testes distintos.

Finalmente, foram identificados mais três pontos negativos, ou pontos que impedem uma utilização mais ampla deste sistema. O primeiro, já comentado no capítulo 3, é a característica do DOZSIM estar voltado apenas para tratores com potência nominal superior a 300 hp e não cobrindo, desta forma, o maior volume de máquinas e clientes do mercado brasileiro; o segundo ponto é a restrição ao tipo de terraplenagem que pode ser simulado, pois o sistema é restrito a escavações típicas de mineração, e o terceiro, porém não menos importante, deve-se ao fato do programa estar totalmente escrito na língua inglesa.

6.2 - Considerações adicionais

A utilização de ferramentas gráficas na indústria mecânica, como são os sistemas de simulação, está voltada principalmente para desenvolvimento e análise de projetos e processos. Porém pouco se utiliza destas ferramentas para a venda do produto acabado.

Com o crescente desenvolvimento da concorrência, em razão da globalização, as indústrias tendem a focalizar e buscar o mais baixo custo possível e a excelência em qualidade, esquecendo-se, muitas vezes que no final do percurso de um produto dentro de uma fábrica está justamente o início de um conjunto de atividades de marketing, tão importante quanto as atividades internas.

A criação de uma sistematização ou metodologia para a realização de estudos de produtividade de tratores de esteiras, busca uma forma lógica de procedimento que possa contribuir para que os conhecimentos e as técnicas

de simulação, até então voltadas principalmente para a engenharia, auxiliie a construção de poderosas ferramentas de vendas.

6.3 – Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para futuros trabalhos, pode-se colocar, como citado no item 4.11, o desenvolvimento de um sistema de simulação para testes de produtividade para tratores de esteiras, e até mesmo outras máquinas de terraplenagem, incluindo os fatores de correção e uma metodologia na condução dos testes, afim de obter-se dados comparativos.

E, em relação a este novo sistema, o uso da técnica de Realidade Virtual permitirá o desenvolvimento de uma interface de usuário no R⁴ (VALÉRIO NETO, 1998), e a implantação de novas funções que permitirão interagir com diferentes perfis topográficos, ou seja, permitirá a simulação da terraplenagem propriamente dita. O anexo 01 apresenta maiores informações sobre realidade virtual.

Esta sugestão está baseada nos trabalhos de pesquisa desenvolvidos no Laboratório de Simulação do SEM-EESC-USP, e em um teste realizado neste mesmo laboratório. Neste teste implementou-se, em um ambiente de realidade virtual (com uma ferramenta de desenvolvimento “world tool kit”), uma lâmina de trator e um “solo” como mostrado na figura 33.

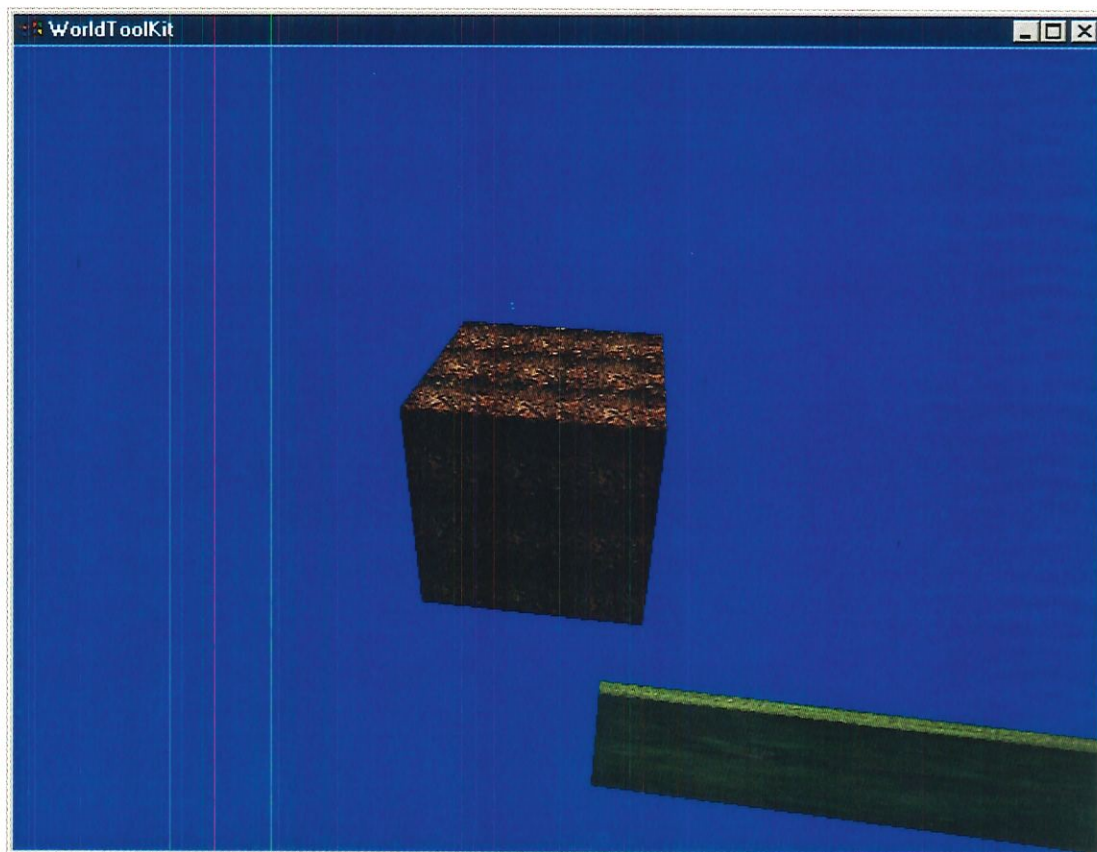


FIGURA 33 – Representação da lâmina e do solo em sistema de RV

As funções e os movimentos básicos de um trator, ou lâmina, foram habilitados, permitindo ao operador escolher os deslocamentos da lâmina em relação ao solo, como em um serviço de terraplenagem, conforme ilustra as figuras 34 e 35, onde é possível identificar-se o movimento inicial da lâmina e o “final” da movimentação do material.

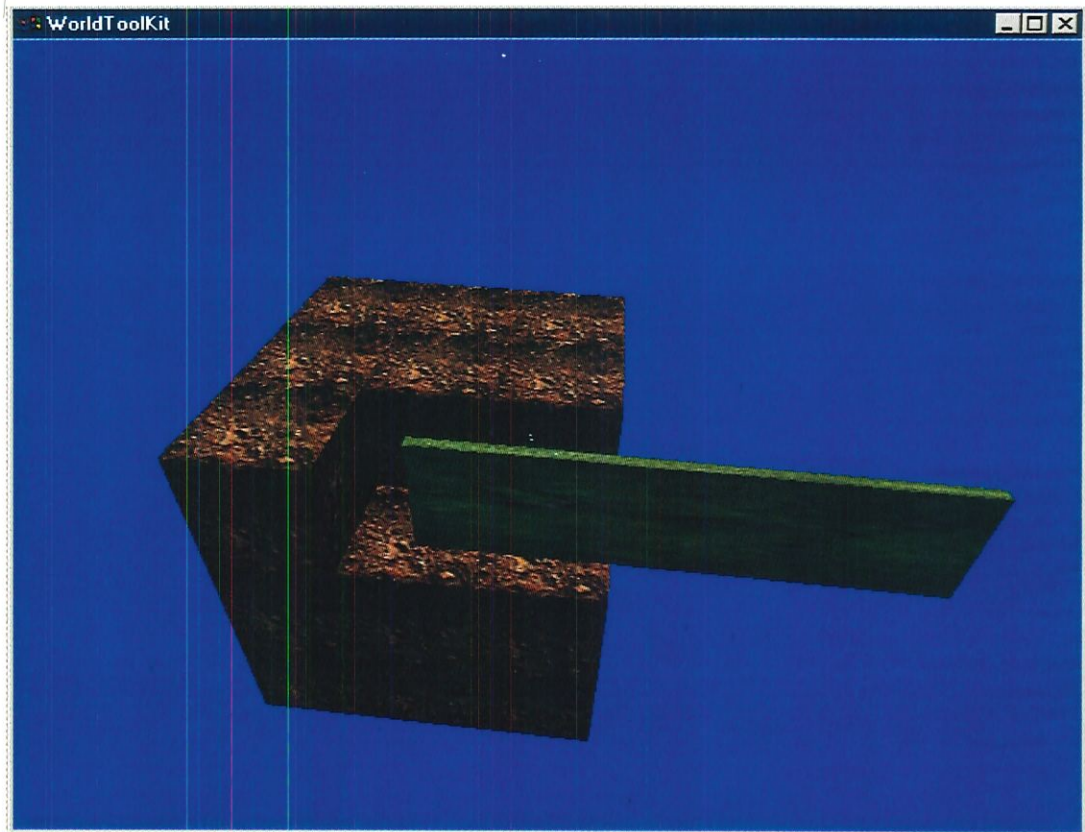


FIGURA 34 – Representação do corte de lâmina no solo, em sistema de RV

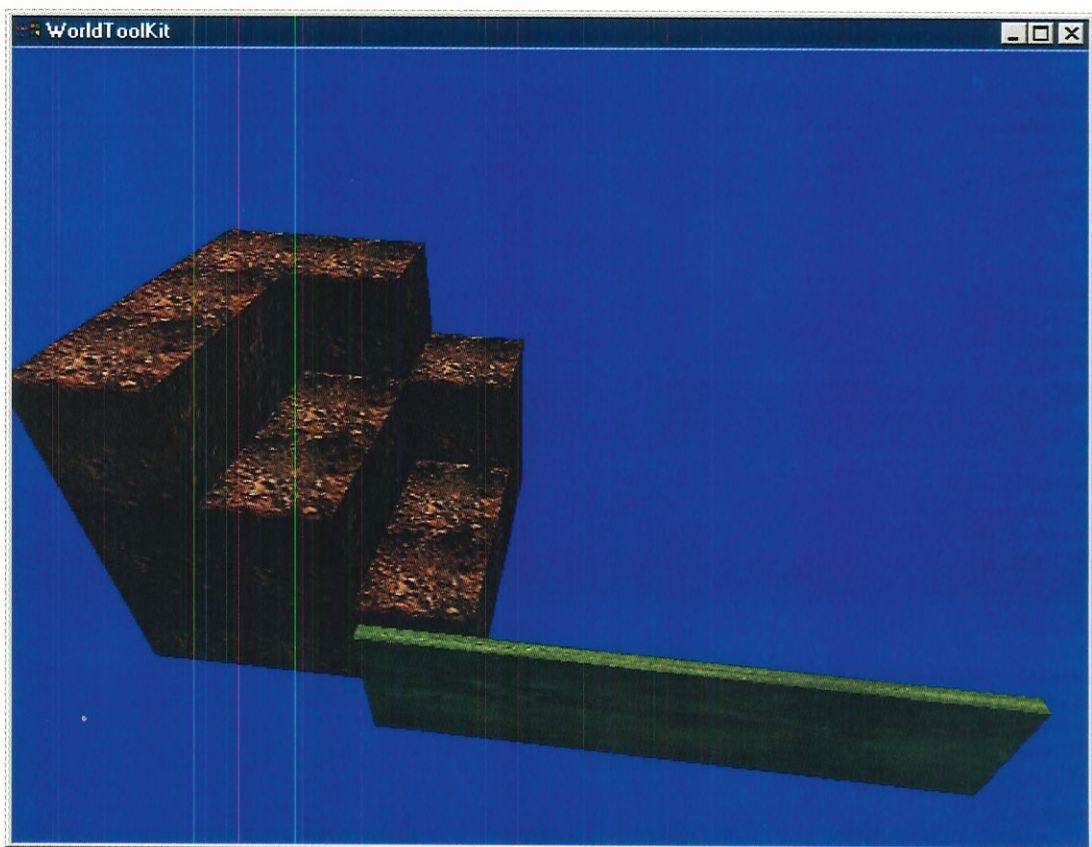


FIGURA 35 – Representação final da movimentação do solo em sistema de RV

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (1996). *Anuário estatístico da indústria brasileira - 1996*. São Paulo.

BANKS, J. , NORMAN, V. , *Simulation of Manufacturing and Material Handling Systems*, Mini-curso 2, International Congress of Industrial Engineering/16, 1996

BENJAAFAR, S.; *Intelligent simulation for flexible manufacturing systems: An integrated approach*. Computers & Industrial Engineering v 22, n 3 p 297-311, July 1992.

BENNETT, B.S., *Simulation fundamentals*, Prentice-Hall International series in system and control engineering, Great Britain, 1995.

CAPRA, F. *O Ponto de Mutação*. Ed. Cultrix, São Paulo, 1982.

CATERPILLAR BRASIL S.A. (1977). *Princípios básicos de terraplenagem*. São Paulo.

CATERPILLAR BRASIL S.A. (1992). *Princípios básicos de terraplenagem*. Edição número 2. São Paulo.

CATERPILLAR INC. (1988). *Job report (report D8N0986B)*. Peoria, Illinois.

CATERPILLAR INC. (1989). *Product training bulletin (report TECB1043)*. Peoria, Illinois.

CATERPILLAR BRASIL S.A. (1992). *Notícias de produto*. São Paulo.

CATERPILLAR INC. (1995). *Caterpillar Performance Handbook*. Peoria, Illinois.

CATERPILLAR INC. (1995). *Manual de Produção Caterpillar*. Peoria, Illinois.

CATERPILLAR BRASIL LTDA. (1996). *Tratores de Esteiras - Séries M & R*. Piracicaba.

CATERPILLAR INC. (1997). *Cat Large Track-Type Tractor DOZSIM* (report TEKQ0164). Peoria, Illinois.

CATERPILLAR INC. (1997). *Caterpillar PC Software DOZSIM*. Peoria, Illinois.

CONSTRUÇÃO (1997). São Paulo. N.349, Novembro.

CONWAY, R.; MAXWELL, W.L. and WORONA, S. L., *User's guide to xcell factory modeling System*, The Scientific Press, Palo Alto, CA, p 65-66, 1986.

COSTA, M A. B da, *Atuando com simulação de sistemas: experiências de uma década*, Congresso Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 95, Anais/ São Carlos: UFSCar, p 1110- 1113, 1995.

COUTINHO, L., FERRAZ, J. C. *Estudo da competitividade da industria brasileira*. Campinas. Papirus, 1994.

CROSS, K. F., LINCH, R. L. *The Smart way to define and sustain success*. National Productivity Review. V.8,n.1, p23-33, 1988.

DEJONG, C. A.. *Virtually Assembled*. Automotive Manufacturing & Production (AMP), p.58-62, January, 1998.

DOLGUI-ALEXANDRE; OFITSEROV-DMITRY, *Stochastic method for discrete and continuous optimization in manufacturing systems*, Journal-of-Intelligent -Manufacturing.v 8 n 5, p 405-413, Oct 1997.

FERREIRA, A. B. H. *Novo dicionário básico da língua portuguesa*. Rio de Janeiro. Nova Fronteira, 1988.

FLAPPER, S. D. P., FORTUIN, L., STOOP, P. P. M. *Towards consistent performance management system*. International Journal of Operations & Production Management. Cambridge, v.16, n.7, p.27-37,1996.

GORDON, G.;1978. *System simulation*, 2nd ed., Prattice Hall Inc, Englewood Cliffs, NJ apud PROMODEL, *PROMODEL for windows*, User's Guide, Promodel Corporation, 1994.

HARREL, C. R. et al, *System Improvement Using Simulation*, Edited by PROMODEL Corporation, 1992.

HARREL, C.R. , *Modeling Beverage Processing Using Discrete Event Simulation*, PROMODEL Corporation, Winter Simulation Conference Proceedings, IEEE Service center, NJ, USA, p 845-850, 1993.

HAUSER, J. R. & CLAUSING, D. (1998). *The House of Quality*. Harvard Business Review.

Hoover, Stewart V. And Perry, Ronald F., *Simulation: a Problem Solving Approach*, Addison-Wesley, Reading, Massachusettes, 1990 apud PROMODEL, *PROMODEL for windows*, User's Guide, Promodel Corporation,1994.

INGELS,, DON M.. *Wath every engineer should know about computer modeling and simulation*, Marcel Dekker Inc., New York, USA, 1995.

IICA & PROVARZEAS NACIONAL. *Projeto demonstrativo de irrigação e drenagem*. Brasília. /Informação técnica nº 1/,1986.

KOTLER, P. *Administração de Marketing*. Ed. Atlas, São Paulo, 1996.

LAS CASAS, A. L. *Qualidade Total em Serviços*. Ed. Atlas, São Paulo, 1995.

LAW ,A.M. and McCOMAS, M.G., *Secrets of sucessful simulation studies*, Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference, Phoenix-Arizona/USA, p 21-27, December 8-11, 1991.

LAW, A.M. and KELTON, D. W., *Simulation modeling and analysis*, McGraw-Hill, Inc. NY, 1991.

LAW, A.M., *Introduction to Simulation: A Powerful tool analysing complex manufacturing systems*, Industrial Engineering, p46-63, May 1986.

LOBÃO, E. de C., PORTO A. J. V., *Proposta para Sistematização de Estudos De Simulação*, Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP, Departamento de Engenharia Mecânica, 1997.

LOBÃO, E. de C., PORTO, A.J.V., *Uma técnica de modelagem para simulação de máquinas que leva a um bom produto*. Revista Máquinas e Metais, p 22-23, Dez., 1995.

MACHADO, A. *Máquina e Imaginário*. Ed. EDUSP, São Paulo, 1993.

MAHONEY, D. P. *Launching a Construction Simulation*. Computer Graphics World, p.60-62, August, 1998.

MANIVANNAN, S.; BANKS, J.; *Towards a realtime knowledge- based simulation system for diagnosing machine tool failure*. 90 Winter Simulation Conference Proceedings, publ. by IEEE Service Center, NJ, USA, p 603-608, 1990.

MORITO, S, TAKANO, T.; MIZUKAWA, H.; MIZOGUCHI, K.; *Design and analysis of a flexible manufacturing system with simulation-effects of flexibility on FMS performance*. Winter Simulation Conference Proceedings. IEE Service center, NJ, USA, p 294-301, 1991.

MOTT, J. and TUMAY, K., *Developing a Strategy for Justifying Simulation*, Industrial Engineering, July 1992.

MUELLER, S. P. M. *O crescimento da ciência, o comportamento científico e a comunicação científica: algumas reflexões*. Belo Horizonte, UFMG, 1995.

NAYLOR, T.H.; BALINFY, J.L.; BURDICK,D.S.; CHU, K., *Técnicas de simulação em computadores*, Ed vozes, 1991.

NEELAMKAVIL, Francis, *Computer simulation and Modeling*, John Wiley & Sons, 1987.

OZDEMIREL-NUR-E; YURTTAS-GAZANFER-Y; KOKSAL-GULSER, *Computer-aided planning and design of manufacturing simulation experiments*, Simulation. v 67 n 3, p 171-191, Sept 1996.

PARALLEL PERFORMANCE GROUP - SIMULATION NEWSLETTER, *A New Approach to System Design*, Volume 1 Issue 2, August 1994.

PEDGEN,C.D.; SHANNON, R.É.; SADOWSKI, R.P., *Introduction to simulation using SIMAM*, second edition, McGraw Hill, NJ, 1995.

PORTER, M. *Competitive advantage: creating and sustaining a superior performance*. New York. Free Press, 1985.

PORTO, A. J.V., *Simulação de Sistemas de Manufatura*, Notas de Aula, Dpto Eng. Mecânica, EESC - USP, 1996 (b).

Pritsker, Alan .B. and Pegden, Claude Dennis, 1979, *Introduction to simulation and SLAM*, John Wiley & Sons, N.Y. apud PROMODEL, *PROMODEL for windows*, User's Guide, Promodel Corporation, 1994.

PROMODEL, *PROMODEL for windows*, User's Guide, Promodel Corporation, 1993.

REVISTA APELMAT (1998). São Paulo, n.78, jul./ago.

ROHRER, M.; STRONG, B. *Automotive applications of Discrete Event Simulation*. *Automotive Manufacturing & Production (AMP)*, p.38-41, July, 1997.

RUBINSTEIN-REUVEN-Y, *Optimization Of Computer Simulation Models With Rare Events*, *European-Journal-of-Operational-Research*. v 99 n 1 p 89-112, May 16 1997.

SAVORY-PA; MACKULAK-GT, *Aggregation procedure for simulating manufacturing flow line models*, *Computers-and-Operations-Research*. v 24 n 11, p 1063-1073, Nov 1997.

SCHIESS, C., *Simulation: How to Set Goals and How to Get Started*, *Industrial Engineering*, May 1993.

- Schlesinger, S., , "Terminology for model credibility" , *Simulation*, 32(3),1979, p 103-104 apud PROMODEL, *PROMODEL for windows*, User's Guide, Promodel Corporation,1994.
- SCHRIBER, T. S., *An Introduction Of Simulation*, Edited by John Wiley & Sons, 1990.
- SHANNON, R.E., *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, 1975.
- SHANNON, ROBERT E., *Introduction to simulation*, Winter Simulation Conference, IEEE, Service center, NJ, USA, p65-73, 1992.
- SILVEIRA, G. M. *Os cuidados com o trator*. Ed. Globo. Rio de Janeiro, 1987.
- SYSTEMS MODELING CORPORATION, *ARENA User's guide*, ARENA, USA, 1994.
- SULLIVAN, L. P. *Quality function Deployment*
- TANAKA, J. T., *Proposta de Sistematização de Estudos De Simulação em Indústrias Alimentícias*, Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP, Departamento de Engenharia Mecânica, 1998.
- THESEN, A. and TRAVIS, L. E., *Simulation for decision making*, West Publishing Company, 1992.
- WATSON, G. H. *The Benchmarking workbook: adapting best practice for performance improvement*. Portland. Productivity press,1992.

ANEXOS

Anexo 1

Revisão bibliográfica sobre Realidade Virtual

A1.1 - O que é realidade virtual

O termo realidade virtual é creditado a Jaron Lanier, fundador da VPL Research, que cunhou este termo no início dos anos 80 para que se pudesse diferenciar as simulações tradicionais feitas por computador das simulações envolvendo múltiplos usuários em um ambiente compartilhado (ARAÚJO, 1996). Pesquisas como a de Myron Krueger nos meados da década de 70, já utilizavam frases com o termo realidade artificial e William Gibson utilizou o termo *cyberspace* em 1984 no seu romance de ficção científica chamado *Neuromancer* (MACHOVER & TICE, 1994).

Porém, os primeiros trabalhos científicos nesta área surgiram em 1958 quando a Philco desenvolveu um par de câmeras remotas e um protótipo de um capacete com monitores que permitiam ao usuário um sentimento de presença quando dentro de um ambiente. Posteriormente este equipamento passou a se chamar *head-mounted display* ou simplesmente HMD (COMEAU & BRYAN, 1961; ELLIS, 1994).

Existem diversas definições conhecidas na literatura com relação a realidade virtual (RV). De uma maneira simplificada, pode-se dizer que a R.V. é:

- a forma mais avançada de interface do usuário de computador até agora disponível (HANCOCK, 1995).
- uma interface homem-máquina que simula um ambiente real e permite aos participantes interagirem com o mesmo (LATTA & OBERG, 1994).
- uma forma das pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com computadores e dados extremamente complexos (AUKSTAKALNIS & BLATNER, 1992).
- um paradigma no qual nós usamos um computador para interagir com alguma coisa que não é real, mas que pode ser considerado real enquanto está sendo usado (HAND, 1994).

A realidade virtual também pode ser definida como o uso de computadores e interfaces homem-máquina, para criar o efeito de mundos tridimensionais que possuem objetos interativos com uma forte sensação de presença tridimensional (Bryson, 1996). Além disso, pode-se dizer que realidade virtual significa um conjunto de técnicas e ferramentas gráficas 3D que permite aos usuários interagirem dentro de um ambiente gerado por computador em tempo real, com uma pequena ciência de que está usando uma interface homem-computador (LESTON, 1996).

Uma outra definição propõe que realidade virtual seja a simulação do espaço-tempo 4D, isto é, animação de pontos de observação apresentada em um contexto interativo e em tempo real. A realidade virtual proporciona uma maneira do participante interagir com um ambiente simulado 3D. O termo espaço-tempo 4D, é geralmente usado para se referir a imagens computadorizadas 3D animadas onde foi acrescentada às imagens a quarta dimensão, que é o tempo. Usualmente representada pela notação (x,y,z,t).

A realidade virtual é freqüentemente confundida com animação, CAD ou multimídia, apesar de existirem algumas características diferentes entre estes termos. Em comparação com estas tecnologias alternativas, a RV é (LESTON, 1996):

- Orientada a usuário;
- Fazer *rendering* (atualização da textura e da geometria do objeto) das imagens em tempo real,
- Mais imersiva, existe uma grande sensação de presença dentro do mundo virtual;
- Mais interativa, existe uma grande faixa de modificações sobre o comportamento dos objetos que o usuário pode influenciar;
- Mais intuitiva, existe pouca ou nenhuma dificuldade em manipular as interface computacionais existentes entre o usuário e a máquina.

Um sistema de RV envolve estudos e recursos ligados com percepção, *hardware*, *software*, interface do usuário, fatores humanos e aplicações (BISHOP *et al.*, 1992). Para a elaboração de sistemas de realidade virtual é necessário ter algum domínio sobre: dispositivos não convencionais de E/S, computadores de alto desempenho e boa capacidade gráfica, sistemas paralelos e distribuídos, modelagem geométrica tridimensional, simulação em tempo real, navegação, detecção de colisão, avaliação, impacto social, projeto de interfaces, e aplicações simples e distribuídas em diversas áreas (KIRNER, 1996).

A1.2 - Noções básicas sobre Realidade Virtual

Existem várias definições e conclusões aceitas para o assunto Realidade Virtual ou Ambiente Virtual. Isto é devido, em partes, à natureza interdisciplinar da área e também à sua evolução. De uma maneira ou de outra, os sistemas de Realidade Virtual desenvolveram-se a partir de sistemas computacionais de mesa, simuladores, sistemas de teleoperação, etc (KIRNER, 1996).

Uma outra definição que não está tão clara é a forma de classificação dos sistemas de RV. Por exemplo, SHEPHERD (1993) classifica os sistemas de realidade virtual em duas grandes classes: telepresença, onde um ambiente sintético comum é compartilhado entre várias pessoas como uma extensão ao conceito de trabalho cooperativo suportado por computador, e teleoperação, onde robôs agem sobre um elemento, seja ele um corpo humano ou um produto sendo manufaturado.

Os termos acima, entretanto, sofreram vários desdobramentos, inclusive inversões. Desta forma, as aplicações de RV, no geral são classificadas da seguinte forma: telecolaboração, telepresença, visualização científica, visualização de dados 3D e outros (ARAÚJO, 1996).

Na telecolaboração, usuários remotos compartilham um ambiente virtual para realizar uma tarefa em comum. Estes sistemas são na verdade, extensões do conceito de trabalho cooperativo apoiado por computador (*Computer Supported Cooperative Work - CSCW*). Protótipos de sistemas de telecolaboração implementados permitem aos usuários compartilhar um mesmo espaço e manipularem objetos, sentindo o peso dos mesmos por meio de dispositivos de *feedback* de força (ARAÚJO, 1996).

Um sistema de telepresença ou telexistência estende a capacidade motora e sensora de um operador humano, bem como a suas habilidades de

resolução de problemas, para um ambiente remoto. Na telepresença, também referenciada como teleoperação ou telerobótica, o robô que executa as tarefas está fisicamente separado de seu operador humano. As ações executadas pelo operador são traduzidas em ações executadas pelo robô em seu ambiente remoto, ao mesmo tempo em que são emitidos *feedback* de sensações ao operador humano de tal forma que este se sinta como se estivesse realmente presente no ambiente remoto (ARAÚJO, 1996). A telepresença pode ser mais claramente vista como uma técnica de visão que realça a função intermediária entre o participante e o ambiente (LATTA & OBERG, 1994).

A visualização científica permite que enormes quantidades de dados gerados por meio de simulações por computadores possam ser mapeados de forma significativa em gráficos 3D, onde estes dados são representados como pontos, linhas, curvas, superfícies, volumes, cores diferentes e até mesmo como sons. Também são manipulados, visualizados em vários ângulos e posições ou seccionados, permitindo assim, uma ampla exploração das propriedades globais de soluções numéricas.

Outras aplicações de RV, que apesar de envolverem sistemas complexos e grande quantidade de dados, não se encaixam perfeitamente na classificação de visualização científica, são denominadas de visualização de dados 3D. É o caso da visualização de *software*, cujo objetivo é o de facilitar o desenvolvimento de sistemas altamente complexos e de grande porte, como por exemplo, gerenciamento de redes de telecomunicações, controle de tráfego aéreo, gerenciamento de linhas metroviárias e ferroviárias.

A1.3 - Visão geral sobre o emprego da realidade virtual

Basicamente, a realidade virtual pode ser aplicada à cinco áreas específicas: jogos e entretenimento, comunicação à distância, simulação e treinamento, telepresença e visualização (GRIMES, 1991). Para Jean Leston (LESTON, 1996) as empresas têm utilizado a RV nos seguintes campos: automação de projetos, venda e *marketing*, planejamento e manutenção, treinamento e simulação e concepção e visualização de dados, embora a todo momento, surjam novas aplicações nas mais variadas áreas do conhecimento e de maneira bastante diversificada, em função da demanda e da capacidade criativa das pessoas. Em muitos casos, a RV vem revolucionando a forma de interação das pessoas com sistemas complexos tratados com o uso de computadores, propiciando maior desempenho e economizando custos.

A visualização científica é o uso da computação gráfica na investigação de fenômenos científicos. A computação gráfica permite aos pesquisadores entenderem a estrutura qualitativa de um fenômeno, através de gráficos e desenhos detalhados, que não poderiam ser conseguidos de outra forma. A computação gráfica interativa permite um controle em tempo real sobre como os gráficos são gerados, favorecendo o aumento da habilidade dos pesquisadores de explorarem o fenômeno através do computador (BRYSON, 1993). Os ambientes virtuais viabilizam uma total interação com interfaces tridimensionais para exibição e controle da computação gráfica interativa (BRYSON & LEVIT, 1991).

A1.4 - Aplicações de realidade virtual na indústria

Embora muitas pessoas acreditem que a realidade virtual resultará principalmente em melhores jogos de entretenimento, muitas empresas a adotaram como uma forma mais acessível financeiramente de projetar o

futuro, uma maneira mais eficaz de vender seus produtos, mais rápida de validar seus protótipos e uma outra forma para treinar seus funcionários, ou no caso de uma universidade, seus alunos (VALERIO NETTO *et al.*, 1997).

Alguns artigos (INTELLIGENT MANUFACTURING, 1995; KREITLER *et al.*, 1995; SIMULATION BASED DESIGN, 1997) citam as vantagens e facilidades de se utilizar a realidade virtual na indústria, principalmente na área da manufatura, inclusive com uma sinopse de todos os campos envolvidos. Por exemplo, a RV pode ser utilizada para (EXHIBITORS, 1997):

- projetar máquinas que podem ter suas propriedades estruturais avaliadas e testadas;
- desenvolver uma ergonomia funcional e confiável, sem ter que construir um modelo em escala real;
- projetar produtos que possuam *design* estético de acordo com a preferência de cada cliente;
- garantir que os equipamentos fabricados estejam dentro das normas estabelecidas pelos órgãos governamentais;
- facilitar operações remotas e controle de equipamentos (telemanufatura e telerobótica);
- desenvolver e avaliar processos que assegurem a manufaturabilidade, sem ter que de fato produzir o produto em escala comercial;
- desenvolver planos de produção e *schedules*, e simular se esses estão corretos;

- educar empregados em técnicas avançadas de manufatura, principalmente com ênfase em segurança no trabalho.

Essa área está crescendo de tal forma que já existem projetos em andamento desenvolvidos pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) para padronizar as interfaces e os protocolos de manufatura, com o intuito de permitir a comunicação entre as diversas ferramentas de *software*, bancos de dados e sistemas de produção que empregam aplicações de manufatura virtual e distribuída (KENT, 1997).

Finalmente, um exemplo de aplicação na área de tratores, a Caterpillar INC., sediada em Peoria, Ill., juntamente com a Universidade de Illinois, desenvolveram um ambiente virtual para testes de novos projetos e melhoria dos processos de montagem de equipamentos pesados (MAHONEY, 1995; FOLKS, 1997). Esses testes são para avaliar o *design* do veículo e determinar a visibilidade proveniente da cabine de comando do trator (BLANCHARD, 1995). Neste projeto, o operador senta-se numa plataforma equipada com os mesmos controles, de uma cabine real de um trator, esta plataforma está localizada num CAVE (BANERJEE & BANERJEE, 1995; CRUZ-NEIRA *et al.*, 1992), que é um sistema baseado em RV que possui o formato de um cubo e tem suas paredes forradas com telas, onde são exibidas as animações gráficas, mostrado na figura 36.

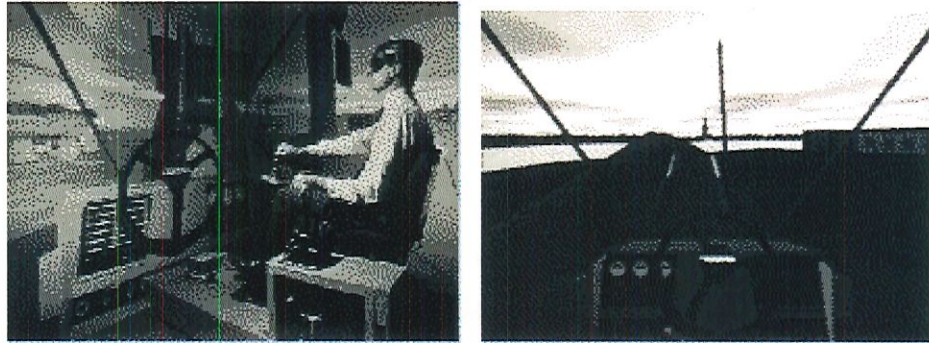


Figura 36 - Test drive dos novos projetos de tratores (Blanchard, 1995).

Os pesquisadores são capazes de realizar uma avaliação dos novos projetos muito mais rápido. Eles podem operar o equipamento e avaliar a montagem e as obstruções sem ter que construir um protótipo físico.

Dessa forma, a realidade virtual vem em auxílio ao desenvolvimento de novos projetos ou a modificação dos já existentes no mercado. Os projetistas podem interagir, manipular e validar suas peças ou produtos com as facilidades que a ferramenta proporciona.

Anexo 2

Referências bibliográficas

ARAÚJO, R. B. (1996). *Especificação e análise de um sistema distribuído de realidade virtual*, São Paulo, Junho, Tese, Depto de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

- AUKSTAKALNIS, S. & BLATNER, D. (1992). *Silicon mirage: the art and science of virtual reality*, Peatchpit Press, Berkeley, CA.
- BANERJEE, A. & BANERJEE, P. (1995). Immersive display interface specification standards in virtual manufacturing: a prototype, *Proc. IFIP WG 5.7*, pp. 266-276, Seattle, September.
- BISHOP, G. et al. (1992). Reseach directions in VR environments, *Computer Graphics - ACM*, 26(3):153-177, Aug.
- BLANCHARD, D. (1995). The reality of virtual manufacturing, *Intelligent manufacturing*,<http://lionhrtpub.com/IM6-Reality.html> (Junho).
- BRYSON, S. & LEVIT, C. (1991). The virtual windtunnel: an environment for the exploration of three-dimensional unsteady fluid flows, *Proceedings of IEEE Visualization'91*, San Diego.
- BRYSON, S. (1993). Virtual reality in scientific visualization, *Computer & Graphics*, pp. 679-685, vol. 17, n. 6.
- COMEAU, C. P. & BRYAN, J. S. (1961). Headsight television system provides remote surveillance, *Eletronics*, pp. 86-90, November.
- CRUZ-NEIRA, C. et al. (1992). The CAVE audio visual experience automatic virtual environment, *Communication of the ACM*, 35(6):64-72, June.
- EXHIBITORS (1997). *Virtual reality in manufacturing research and education*. http://www_ivri.me.uic.edu/symp96/preface.html (Agosto)
- FOLKS (1997). They're taking h-i-t-l virtual prototyping to max, *Published for Caterpillar*, pp.1 e 3, March.

- GRIMES, J. (1991). Virtual reality 91 anticipates future reality, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 81-82, November.
- HANCOCK, D. (1995). Viewpoint: virtual reality in search of middle ground, *IEEE Spectrum*, 32(1):68, Jan.
- HAND C. (1994). Other faces of virtual reality, *First International Conference MHVR'94 - Lecture Notes in Computer Science n.1077*, pp. 107-116, Ed. Springer, Moscow, Russia, September.
- KENT, E. (1997). *Summary of panel discussion on role of virtual reality in manufacturing research and education*. http://www_ivri.me.uic.edu/
- KIRNER, C. (1996). *Apostila do ciclo de palestras de realidade virtual, Atividade do Projeto AVVIC- CNPq (Protem - CC - fase III) - DC/UFSCar, São Carlos*
- KREITLER, M. et al. (1995). Virtual environments for design and analysis of production facilities, *IFIP WG 5.7 Working Conference on Managing Concurrente Manufacturing to Improve Industrial Performance*, USA.
- LATTA, J. N. & OBERG, D. J. (1994). A conceptual virtual reality model, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 23-29, Jan.
- LESTON, J. (1996). Virtual reality: the it perspective, *Computer Bulletin*, pp. 12-13, June.
- MACHOVER, C. & TICE, S. E. (1994). Virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 15-16, January.
- MAHONEY, D. P. (1995). Driving VR, *Computer Graphics World*, pp.22-33, May.

SHEPHERD, B. J. (1993). Rationale and strategy for VR standards, *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS'93)*, Seattle, Washington, 18-22 September, pp. 41-46.

VALERIO NETTO, A. et al. (1997). A utilização da realidade virtual na engenharia mecânica, *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM*, Bauru, Dez.