

CENTRO MORAES RÊGO

II SIMPOSIO DE MINERAÇÃO

CAPITULO XVIII

SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR DA ESCAVAÇÃO E TRANSPORTE NAS MINAS

DA C.V.R.D.

Eng^o Guilherme Almeida Gazolla

Eng^o Francisco de Oliveira Filho

APRESENTAÇÃO DOS AUTORES

Guilherme Almeida Gazolla é Engenheiro de Minas, graduado pela Escola de Minas de Ouro Preto em 1967. Em 1971 fez o curso de "Surface Mining", ministrado por professores da École Polytechnique de Montreal - Canadá, em convênio com a EMOP. Trabalha desde 1968 na Companhia Vale do Rio Doce, no Departamento de Minas, em Itabira, MG., exercendo atualmente a função de Chefe Técnico de Mineração, que envolve trabalhos de operação e planejamento de lavra na Mina do Cauê. Faz parte do Grupo de Projeto de Mina, que presentemente realiza estudos de lay-out de mina, "pit design", método de lavra, equipamentos, cubagens e análises econômicos para o PROJETO CONCEIÇÃO.

É membro da Sociedade Brasileira de Geologia, do American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers-AIME, e do The Canadian Institute of Mining and Metallurgy.

Francisco de Oliveira Filho, é Engenheiro de Produção, formado pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) em 1969. Trabalhou até agosto de 1970 na Zanini S/A - Equipamentos Pesados, como Chefe do Departamento de Contrôlo de Qualidade. Trabalha desde 1970 na Companhia Vale do Rio Doce - Departamento das Minas, onde atualmente é Gerente do Grupo de Engenharia de Sistemas, da Divisão de Engenharia Industrial. Este Grupo tem desenvolvido projetos de sistemas de computação para planejamento e contrôlo nas áreas de mineração, manutenção e custos para o Departamento das Minas.

I N D I C E

I - INTRODUÇÃO

I.1 - Introdução geral

1.1.1. - a Companhia

1.1.2. - os planos de expansão

I.2 - a operação atual e seus problemas

1.2.1. - a lavra em Itabira

1.2.2. - instalações de tratamento e pátios de estocagem

1.2.3. - considerações

1.2.4. - demanda, planejamento e controle de qualidade

1.2.5. - a produtividade do sistema

II - PROPÓSITOS DO ESTUDO

II.1.- O estudo como instrumento de gerência

II.2.- Os problemas atuais

II.3.--Os problemas da expansão

III - DISCUSSÃO DO MÉTODO

III.1. - Generalidades

III.2. - As técnicas da pesquisa operacional

III.3. - A simulação probabilística em G.P.S.S. no computador

III.4. - O uso de funções probabilísticas na simulação

IV - O MODELO DE SIMULAÇÃO

IV.1. - Descrição do sistema físico

IV.2. - Levantamento estatístico dos dados

IV.3. - O modelo

V - RESULTADOS

V.1. - Obtenção dos resultados - os "outputs"

V.2. - Análise dos resultados

VI - FUTURO DO ESTUDO

VI.1. - Refinamentos e extensões

VI.2. - Aplicações futuras

VII - CONCLUSÃO

ANEXO I - Diagrama de blocos de Modelo de Simulação

ANEXO II - Relatórios do Modelo de Simulação.

SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR DA ESCAVAÇÃO E TRANSPORTE NAS MINAS DA COMPANHIA VALE DO RIO DOCE.

RESUMO

A CVRD opera suas minas em Itabira, MG., com uma frota de 36 caminhões e 12 escavadeiras, que movimentará em 1972 42.000.000 - de toneladas de minério e rejeito, representando 53% do custo de mineração.

Projetos de ampliação em curso elevarão este total para 75.000.000 t/ano a partir de 1974, sendo que novo aumento já está em estudo.

Dada a complexidade do sistema, necessitamos uma ferramenta de análise que possibilite decisões bem fundamentadas sobre novos dimensionamentos, previsões de produção, execução de orçamentos de custos ou estudos de máxima produção, mínimo custo total, mínimo desembolso, etc.

Optamos pela Simulação Probabilística, que torna viáveis extensas experimentações das hipóteses em modelo matemático que reproduz o sistema real, com menores custos, e interferências na operação, além de permitir construção e análise de situações fictícias, fornecendo resultados de alta significância e sensibilidade.

Considerando a quantidade de variáveis interrelacionadas no sistema foi necessária a utilização de nosso computador IBM/360 para processar os volumosos cálculos; usamos a linguagem GPSS (General Purpose Simulation System), especial para programação de simulação.

A formulação do modelo foi precedida de grande levantamento de dados, que receberam tratamento estatístico adequado (inclusive análises de regressão e "smoothing"), obtendo-se as distribuições de probabilidades dos tempos de carregamento, descarga, atendimento nos britadores, viagem, carga dos caminhões, intervalos e durações das realizações dos britadores e escavadeiras, etc..

Numa primeira fase de funcionamento do modelo decidimos sobre o tempo de simulação para ocorrer a estabilização do sistema e conduzimos testes de calibração e ajustagens para reprodução da realidade.

Realizando então experiências com diferentes situações, obtivemos curvas de produção da frota, utilização dos britadores, custos por tonelada, medidas de filas, de utilização das máquinas e suas produções horárias, etc., de grande valia para resolução de nossos -

problemas.

Continuamos atualmente a introduzir refinamentos que melhorarão a performance do modelo e nos permitirão seu intenso uso nos estudos do Projeto Conceição (ampliação), Novas Instalações de Tratamento do Cauê (ampliação para 46.000.000 tons. em 1973), Alocação de Frota com auxílio de "Dispatcher" (economia de até 5% do custo de mineração, comprovada em minas americanas e canadenses) e Estimativas e Acompanhamentos para Orçamentos de Custos e Gerência por Objetivos.

Itabira. 19 de julho de 1972.

I. INTRODUÇÃO

I.1 - Introdução Geral

I.1.1 - A Companhia

A Companhia Vale do Rio Doce lavra em Itabira suas minas do Cauê e Conceição desde 1942, somando até o presente 177.000.000 de toneladas de minério produzidas.

Situa-se entre as maiores empresas de mineração do mundo, sendo suplantada em produção apenas pela United States Steel Corp. e The Hanna Mining Co., no campo de minério de ferro. Nos dois últimos anos ultrapassou em produção a Luossavaara Kirunavaara A.B. e a Pick-hands Mather Co. (Skilling's).

Para enfrentar a taxa de crescimento da produção mundial de aço, média de 5,7% ao ano na última década, a Cia. Vale do Rio Doce atingiu o incremento anual médio de suas exportações de 17,4% no mesmo período, o que novamente vem demonstrar o gigantesco progresso que tem obtido.

A Companhia adota uma política de comercialização agressiva e procura principalmente a garantia dos contratos de fornecimento a longo prazo, que já lastream 85% de suas exportações, e sabe estar caminhando para, dentro de curto intervalo, ocupar a primeira posição entre os demais produtores de minério de ferro.

Como empresa voltada principalmente ao comércio exterior, aproximadamente 95% de sua produção é exportada através dos portos de Tubarão e Vitória, ligados a Itabira por estrada de ferro de 540 Km de extensão. No mercado interno a maior parcela é consumida pela Usiminas, estando em curso negociações com outras empresas brasileiras, o que aumentará o total vendido no país para mais de 5.000.000 tons., a partir de 1980.

1.1.2 - Os Planos de Expansão

O objetivo do Programa de Expansão, que ora vem sendo desenvolvido, é explorar (CVRD e associadas) 55.000.000 de toneladas por volta de 1975, além das vendas no mercado interno. Os investimentos - em mineração no período 70/74, que permitirão atingir esta meta, são da ordem de 190 milhões de dólares.

As principais obras em execução nas minas são as constantes do PROJETO CAUÊ, que possibilitarão um grande aumento de produção na mina do mesmo nome. O Projeto Cauê tem suas bases no tratamento do itabirito, minério de médio teor, anteriormente rejeitado e de que a CVRD possui grandes reservas.

Este tratamento foi viabilizado tècnicamente com o desenvolvimento de um processo de concentração pelos centros de pesquisas da CVRD. Com a evolução das tecnologias de aglomeração de minérios de ferro de granulometria fina e o conseqüente deslocamento da demanda para êste tipo de minério, teve viabilidade econômica e concentração do itabirito, que fornece justamente o produto de maior procura.

Em escala pioneira no mundo estão sendo construídas as Novas Instalações de Tratamento do Cauê, que constarão de britagem primária, secundária e terciária, peneiramento, pátões de homogeneização, instalação de classificação de finos de hematita, instalação de concentração de itabirito, silos e pátões de produtos.

Seu funcionamento se dará por etapas, e já em 1974 serão lavradas 46.000.000 de toneladas no Cauê, que conduzirão à produção de 38.000.000 t de minérios classificados e concentrados (minérios para aciaria, alto forno, sinterização e pelotização).

O Projeto Cauê visa não apenas possibilitar tal aumento de capacidade, mas também aprimorar a qualidade e adequar os produtos às novas exigências do mercado, e ainda fornecer meios que assegurem a manutenção de suas especificações.

Também como parte do mesmo Plano de Expansão, terá início nos próximos meses a produção de concentrados na nova mina de Piçarrão.

Desde fins do ano de 1970 funcionam na mina de Conceição novas instalações de britagem e peneiramento que permitiram sua expansão para 9.000.000 de toneladas (1.750.000 em 1969).

A movimentação total, a partir de 1974, pode ser vista no quadro:

Movimentação total a partir de 1974	
Cauê	Hematita : 20.000.000 t
	Itabirito: 26.000.000 t
	Rejeito : 8.000.000 t
Conceição	Minério : 9.000.000 t
	Rejeito : 7.000.000 t
Piçarrão	Minério : 3.000.000 t
	Rejeito : 1.000.000 t
Movimentação de Depósitos : 1.000.000 t	
Movimentação Total : 75.000.000 t	

Para cumprir este extenso programa será usado o equipamento mostrado no quadro abaixo, na mina do Cauê:

Equipamento da Mina Cauê em 1974		
Equipamento	Capacidade	Nº Unid.
Escavação Cauê	12 j.c.	7
	9 j.c.	4
Total Escavação		11
Transporte Cauê	100 - 200 t	44
Total Transporte		44

Outra importante obra constante no PROJETO CAUÊ é a construção da Oficina Centralizada, com área de 14.000 m², que garantirá a eficiente manutenção dos equipamentos.

O Programa de Expansão prosseguirá em ritmo acelerado, com vistas agora para as minas de Conceição e Dois Córregos.

Presentemente está sendo estudado o Projeto Conceição e analisadas as hipóteses que satisfaçam as diversas possibilidades de colocação de minérios no mercado consumidor.

Números da ordem de 17 a 30.000.000 toneladas têm sido ventilados, com possibilidade para entrada nos próximos quatro ou cinco anos.

Outro projeto, atualmente na fase de estudos de viabilidade econômica, é o do minério da Serra dos Carajás, no Estado do Pará. A prospecção, praticamente terminada na área escolhida para início dos trabalhos (por suas melhores possibilidades), evidenciou minério de ferro com teor médio de 67% em uma reserva medida de 1,6 bilhões de toneladas, indicada de 2,0 e inferida de 6,6 bilhões de toneladas. Para a lavra da jazida foi criada a Amazônia Mineração S.A., com participação majoritária da CVRD (50,9%) e da Cia. Meridional de Mineração.

Os estudos em curso visam a implantação de um sistema integrado mina-transporte-pôrto, para a produção e exportação de no mínimo 20.000.000 de toneladas, ainda nesta década.

Com a política de diversificação de suas atividades, a CVRD entrou no campo dos minerais ferrosos e não ferrosos, criando em 1971 a empresa subsidiária Rio Doce Geologia e Mineração S.A. - DOCE-GEO, com a finalidade de promover exploração geológica em proveito da empresa mãe ou de suas associadas. Um "Plano de Pesquisas Geológicas" está em execução, com geólogos atuando nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Goiás, Bahia, Pará e Amazonas.

Ainda outra subsidiária, denominada Rio Doce Engenharia e Planejamento foi criada com a finalidade de promover estudos técnico-econômicos e elaborar projetos e programas necessários para consecução dos empreendimentos de expansão e diversificação da CVRD. Esta nova subsidiária já se encontra engajada no importante estudo de viabilidade do Projeto Pará e está também capacitada para prestar serviços externos de consultoria e de "engineering".

1.2 - A Operação Atual e Seus Problemas

1.2.1 - A Lavra de Itabira

Nas operações de lavra das minas de Itabira é empregado o método de bancadas a céu aberto, em meia encosta, com desmonte por explosivos e transporte por caminhões carregados com escavadeiras. A distância média atual das frentes de minério aos britadores é de 1.000 metros para o Cauê e 2.500 m para Conceição.

Também o rejeito é retirado com escavadeiras e caminhões, e transportado por distâncias de 1.000 m a 2.200 m.

O equipamento de escavação e transporte analisado neste trabalho é de grande porte, perfeitamente compatível com os altos níveis de produção que estão sendo mantidos, e é dos mais modernos atualmente em uso no mundo.

São utilizados caminhões Lectra Haul (Unit Rig and Co.)M-100

de 120 toneladas de capacidade e Haul Pack (Wabco) 120-B de 120 toneladas, todos diesel-elétricos, com motores de 1.000 HP.

Suas escavadeiras são Bucyrus-Erie e P H de 6, 9, e 12 jardas cúbicas de capacidade, nos modelos 150-B e 280-B das primeiras e 1900 e 2100 das últimas.

No quadro a seguir tem-se a distribuição dos equipamentos nas duas minas em operação.

Quadro dos equipamentos nas minas de Itabira

Equipamento	Capacidade	Nº de unidades		Total
		Caúê	Conceição	
Escavação				
Bucyrus 150 B	6 j.c.	-	4	4
Bucyrus 280 B	12 j.c.	2	-	2
P H 1900	9 j.c.	4	-	4
P H 2100	12 j.c.	2	-	2
Total		8	4	12
Transporte				
Lectra Haul	120 s.t.	24	4	28
Haulpack	120 s.t.	-	8	8
Total		24	12	36

Durante o ano de 1972 será colocada nos mercados a soma record de 28.000.000 tons. Para obter tal produção sua frota fará as movimentações mostradas no quadro abaixo.

MOVIMENTO DE MATERIAIS EM 1972

CAUÊ:		
Minério		18.000.000 t
Rejeito		7.000.000 t
Regularização taludes finais		2.000.000 t
CONCEIÇÃO:		
Minério		9.000.000 t
Rejeito		3.000.000 t
Movimentação de estoques		3.000.000 t
TOTAL:		42.000.000 t

Considerando-se o custo total da mineração até a entrada dos britadores, os custos referentes às operações de carregamento e transporte representam a parcela de 53% (escavação 20% e transporte-33%), constituindo dentre todos os mais importantes, consequentemente merecedores dos mais aprofundados estudos.

A produção diária é da ordem de 90.000 t de minério e 40.000 t de rejeito, nas duas minas, que trabalham em três turnos por dia (22 horas e 15 minutos), em seis dias por semana, com parada nos domingos.

I.2.2. - Instalações de Tratamento e Pátios de Estocagem

Funcionam no Cauê as instalações de tratamento denominadas Mecanizada I (Mec.I) e Mecanizada II (Mec.II), produzindo respectivamente 7.200.000 e 10.800.000 t/ano.

Em Conceição outras duas instalações produzem 3.000.000 e 6.000.000 t/ano.

Os tipos básicos de minérios produzidos são os granulados (Lump, Pebble e Pellet Ore) e os finos (Finos de hematita e blue dust, êste da mina de Conceição), com predominância dos últimos.

A capacidade total de estocagem em pátios na mina do Cauê é de 530.000 ton; entretanto, os finos devem ser quase diretamente embarcados, pois as obras de construção das novas instalações interferiram com parte da área destinada à acumulação destes minérios.

Também na mina de Conceição os pátios são pequenos: existem pilhas onde pode ser lançado o minério em caso de necessidade, mas tanto quanto possível procura-se embarcá-lo tão logo produzido.

A capacidade de estocagem do Pôrto de Tubarão é de - - - - 1.000.000 tons. No entanto, boa parte desta quantidade é reservada aos estoques mínimos de segurança, necessários para fazer frente à entrega dos diversos tipos de minérios aos navios dos compradores, nas eventuais paralizações dos sistemas de carga nas minas, na ferrovia ou nos sistemas de descarga no Pôrto.

1.2.3 - Considerações

Mesmo comparada com outras grandes operações mineiras de países mais desenvolvidos, os serviços da CVRD podem ser considerados como bem conduzidos (Michaelson and Hammes, Pfleider and Weaton).

Entre os fatores que levaram a empresa à privilegiada posição que ocupa no mercado mundial, sem dúvida representam importante -

papel a pontualidade e a seriedade com que são cumpridos seus contratos de venda de minérios, quer quanto à homogeneidade de características físicas e químicas, quer em relação aos prazos de entrega. E isto naturalmente só é possível graças ao rígido controle e aos constantes aperfeiçoamentos que são introduzidos em seus trabalhos.

O aumento da procura de minérios de granulometria fina e as crescentes exigências quanto à qualidade conduziram a uma grande mudança nos tipos de minério que eram produzidos na época da construção das atuais instalações de tratamento, que funcionam há mais de 10 anos. Apesar de terem sido executadas as adaptações necessárias, não se pode considerar as instalações atuais como perfeitamente adequadas ao atendimento das presentes condições do mercado.

Como solução estão sendo construídas as Novas Instalações do Cauê, já citadas, que terão um pátio de homogeneização com capacidade para 540.000 toneladas e pátios de produtos para 700.000 t, devendo ser ainda somadas as 530.000 t de capacidade dos pátios atuais, que serão mantidos.

Também no Pôrto de Tubarão estão sendo aumentados os pátios, cuja capacidade passará de 1.000.000 para 5.000.000 de toneladas.

Para contornar as dificuldades atuais, tomaram-se providências quanto à alimentação das instalações ou seja, parte do problema foi transferido para a operação de lavra.

1.2.4 - Demanda, Planejamento e Controle de Qualidade

Para se processar a entrega de minério aos compradores são feitos programas mensais de produção por tipos, constantemente atualizados, em que são levados em consideração as programações de exportação, as chegadas de navios (com tonelagem e tipo que virão receber), os estoques nas minas e portos, e as capacidades de produção das minas e de transporte da estrada.

O cumprimento das responsabilidades de produção da mina, tanto em relação à quantidade como à qualidade depende de certos cuidados, que têm sido tomados com grande eficiência, como amplamente explanado pela equipe da CVRD em 1971, no 1º Simpósio de Mineração - do Centro Moraes Rêgo.

A necessidade dos cuidados surge com a ocorrência em meio aos minérios de alto teor de numerosas faixas de misturas de teor - mais baixo, que devem ser lavradas em conjunto. Esta heterogeneidade obriga um rigoroso planejamento de lavra, que é executado em modelo

físico tridimensional da jazida.

Dentro de um plano diretor anual são realizados os planos bimensais, que no entanto não consideram ainda a fundo o problema da qualidade. Semanalmente reúnem-se as equipes de Operação, Planejamento, Controle de Qualidade, Geologia e Manutenção, para o estabelecimento do programa operacional da semana, sendo obedecidas as determinações do plano bimensal. Analisando a programação de exportação atualizada e com base nos mapeamentos detalhados e amostragens das frentes do serviço, que fornecem suas características qualitativas, procede-se a escolha das áreas a serem detonadas e estabelecem-se as prioridades de trabalho das diversas escavadeiras. O acompanhamento constante da qualidade dos produtos resultantes permite os ajustes das posições das máquinas, de modo a fornecer material dentro das especificações (E. Gazolla, Freitas, Vaz de Mello e Fonseca).

Apesar dos bons resultados que vêm sendo obtidos, as equipes de Planejamento, Produção, Controle de Qualidade, Geologia e Engenharia Industrial estão empenhando seus maiores esforços no sentido de melhorar as previsões das características do minério "in situ" e possibilitar um funcionamento mais livre da Operação da Mina. Para tal, aprofundados estudos de Amostragem, Geologia de Mina, Geoestatística e Simulação de Lavra em Computadores têm sido desenvolvidos, já se podendo prever que chegarão a bom termo.

Atualmente o principal produto de exportação é o fino, que, como visto, é o tipo de minério de que se tem menor capacidade de estocagem nas minas, o que torna difícil sua homogeneização. A parcela de responsabilidade na homogeneização que poderia ser delegada ao Pôrto é restringida pela consideração do risco de saída de produtos fora das especificações, que a empresa procura minimizar.

Assim, a maior parte do "blending" é realizada na mina, sendo para isto as escavadeiras localizadas nas diversas frentes, conforme os tipos de materiais existentes e as características que se deseja obter, de acordo com o planejamento.

De cada uma das máquinas deve sair uma produção tal que forneça, após a passagem pelas instalações de tratamento, e em mistura com os materiais provenientes das outras escavadeiras, a química adequada. O mesmo ocorre relativamente à granulometria dos produtos, devendo-se escolher as frentes que produzam ou mais granulados ou mais finos, de acordo com a demanda a curto prazo.

Estas mesmas circunstâncias obrigam também a alocação rígida de caminhões a escavadeiras determinadas, isto é, num certo intervalo

de tempo, sempre os mesmos caminhões recebem carga em cada escavadeira. Trabalha-se desta maneira para que possa ter segurança de que o número de viagens carregadas em cada escavadeira forneça a quantidade certa e necessária à blendagem.

I.2.5 - A Produtividade do Sistema

A necessidade do rigoroso controle de qualidade e a temporária diminuição da capacidade de estocagem de finos conduziram a um afastamento da operação da mina de seu ponto de máxima produtividade.

Como exemplos, as mudanças de escavadeiras em procura de material adequado para "blending", a alocação rígida de caminhões, impedindo que o veículo seja sempre carregado pela máquina que esteja no momento mais folgada e a utilização de escavadeiras abaixo de sua capacidade nominal, quando o minério que está sendo apanhado só pode ser misturado com os outros em pequena escala, etc., contribuem para afastar o sistema de seu funcionamento ótimo.

Outros problemas relacionados são a produção de minérios especiais, de especificações mais rígidas, com todas as dificuldades envolvidas, e também a ocorrência de diminuição dos estoques do Pôrto, devida a uma alta demanda de certo tipo de minério, que obriga a produção direta mina-trem-navio e torna necessário maior cuidado no controle de qualidade.

Para se obter as características especificadas verifica-se que a produtividade para seu tributo, o que significa que o dimensionamento da frota deve ser visto de forma mais flexível, para que se possa, com segurança, atender "piques" ocasionais de produção ou problemas de blending.

II - PROPÓSITOS DO ESTUDO

II.1 - O Estudo como Instrumento de Gerência

A Companhia Vale do Rio Doce, como exportadora que se vê face às variações e flutuações do mercado internacional de minério de ferro, praticamente dominado pelos compradores, adota uma linha de ação em que a agressividade é a tônica.

Sua posição geográfica é desvantajosa em relação aos concorrentes; ainda assim consegue dominar uma significativa fatia do mercado, mas seu objetivo não se restringe apenas a manter esta participação.

A CVRD precisa estar pronta a atender todas as possibilida-

des de venda de minério que se apresentarem, esperando assim conseguir cada vez abraçar uma parcela maior.

Esta agressividade se reflete em toda a Companhia, e o sistema escavadeira-caminhão não é encarado de forma diferente.

Entretanto, para trabalhar com custos competitivos nestas circunstâncias, e possibilitar a grande expansão da Cia. Vale do Rio Doce, verifica-se a necessidade de seus executivos terem em mãos uma ferramenta de análise que possibilite a tomada de decisões bem fundamentadas, para a solução dos inúmeros problemas relacionados à escavação e ao transporte em suas minas.

Estes problemas poderão ser ou a escolha de uma política de lavra, ou um novo investimento, e eles serão conscientemente solucionados desde que se disponha de uma maneira de avaliar com acerto as vantagens e desvantagens que advirão. Exatamente fornecer um instrumento que permita reunir e correlacionar todos os fatores envolvidos e o propósito deste estudo.

O campo de aplicação do trabalho pode ser dividido entre o estudo da operação atual, que permitirá, a cada mudança de situação optar pelo melhor esquema de funcionamento e a análise dos problemas que surgirão em decorrência dos planos de expansão.

II.2 - Os Problemas Atuais

Uma frota pode trabalhar basicamente sob várias formas diferentes, que conduziriam ou à máxima produção, ou mínimo custo total (operacional e propriedade) mínima despesa, máximo lucro, etc., Principalmente isto ocorre neste caso, em que devido às peculiaridades do sistema, o dimensionamento da frota abrange uma faixa de produção que pode se adaptar às várias condições da demanda.

Como ilustração, exemplos de situações que exigem decisão são evidenciados a seguir.

1º) No ano de 1971 ocorreu uma forte retração no mercado consumidor, sentida por todos os exploradores mundiais de minério. O Mercado Comum Europeu sofreu uma redução de 5,3% e o Japão diminuiu sua produção em 5% em relação a 1970. Considerando que aproximadamente 70% das vendas da CVRD são efetuadas para o Japão e o MCE, e ainda considerando que de 1969 para 1970, ano do "boom do aço", tinha havido um incremento na produção mundial de 5,7%, sendo igualmente otimistas as previsões para 1971, depreende-se o que significou tal queda do mercado. Ainda assim conseguiu-se aumentar a produção em 15,6% no ano de 1971. (Rangel-12). Entretanto, como era previsto aumento maior, a re -

tração afetou negativamente o fluxo de receita esperado pela empresa, obrigando uma adaptação das despesas operacionais às novas circunstâncias, para que se pudesse manter no mesmo ritmo acelerado os investimentos na expansão, já que havia absoluta confiança no mercado a médio prazo. Passou-se então a trabalhar de modo a fornecer a mínima despesa operacional, sendo ainda adiados todos os trabalhos cujo atraso não prejudicaria, a curto prazo, a produção de minério. A retirada de rejeito foi temporariamente reduzida e o equipamento liberado passou a ser usado como reserva para imediata substituição das máquinas que sofririam qualquer paralização. Alguns caminhões foram mantidos carregados e desligados nas proximidades dos britadores, para suprir as faltas de minério, que passaram a ocorrer frequentemente, com a diminuição do número de escavadeiras e caminhões em funcionamento normal. Também durante o período chuvoso, em que a retirada de rejeito é dificultada, esta mesma atitude costuma ser adotada.

2º) Normalmente é preferível que os britadores funcionem com um índice de utilização ligeiramente inferior ao absoluto (isto é, em 1 a 2% de seu tempo disponível ocorra falta de minério), pois, caso contrário ter-se-ia que usar mais caminhões e seria frequente a formação de filas, com prejuízo no custo de mineração. Algumas vezes, entretanto, é interessante utilizar ao máximo os britadores, obtendo-se a máxima produção, já que o custo de mineração é apenas uma parte do total da Companhia, e os lucros na venda podem justificar a atitude.

Como exemplo, podem ser citados 2 meses do corrente ano, em que uma greve em outros produtores possibilitou um inesperado aumento das vendas. Chegou-se mesmo, em julho, a bater o "record" mensal de produção no Cauê, com 1.690.000 toneladas. Em agosto, novo "record" foi estabelecido, com 1.715.000 toneladas.

3º) Caso ocorra uma diminuição de transporte na estrada de ferro, ou por qualquer motivo estejam os pátios de estocagem cheios na mina ou no pôrto, é de inteiro valor trabalhar-se ao nível de mínimo custo por tonelada, ainda que a produção fique abaixo do necessário nos períodos normais.

4º) Problemas de manutenção podem reduzir o número de unidades disponíveis para o trabalho e conforme o caso, deve-se promover a máxima utilização ora do equipamento de escavação, ora dos caminhões. Outros fatores, como necessidade de deslocar equipamentos para outros serviços, podem levar à mesma necessidade.

II.3 - Os Problemas da Expansão

Problemas de outra ordem, talvez mais importantes por significarem novos e vultosos investimentos, em cuja análise realmente poder-se-ia trazer palpáveis economias, muito maiores que as passíveis de serem conseguidas com o aprimoramento de um esquema já instalado, surgem com a época de grande expansão que está sendo atravessada.

A construção das novas instalações de tratamento do Cauê, com o aumento da produção e da distância de transporte, exigirá paralelamente um grande investimento em equipamento de mineração. A dimensão das novas instalações determinou sua localização a uma distância maior da mina, e o transporte médio sofrerá um aumento de 1.000 para 2.600 metros.

Aliado ao aumento das distâncias de transporte, o incremento da retirada do itabirito, desmontado diretamente com escavadeiras, sem auxílio de explosivos (menor custo), causará uma modificação do balanço de custos de mineração, mais ainda sendo salientado o custo de transporte, que atualmente é responsável por 33% do total.

Haverá uma mudança radical no esquema de operação da mina, pois o itabirito, antes rejeitado, passará a ser considerado minério e existirão amplos pátos de blendagem para as instalações de lavagem e concentração. Isto trará um aumento da produtividade do equipamento de mina, então liberado de boa parte da responsabilidade de "blending", sendo evitadas as mudanças de frentes e o trabalho das escavadeiras abaixo de sua capacidade nominal.

A análise desta situação, que será completamente nova, poderá vir a modificar o dimensionamento da frota, que era normalmente estabelecida pelos processos convencionais (Bishop, Deshmukh) ou, no mínimo, mostrar seu acerto.

Haverá também, parte em vista da escala de produção e parte devida aos pátos, uma certa liberdade na alocação dos caminhões às escavadeiras; considerando ainda o aumento da distância de transporte e o fato de todos os veículos usarem a mesma estrada de acesso ao britador, num percurso de 1,8 Km, pode tornar-se interessante a livre alocação dos caminhões, controlada por um "dispatcher", que, situado em posição estratégica, verifique qual a máquina em melhor situação para carregá-lo, e o informe por meio de rádio transmissor-receptor. Algumas minas americanas e canadenses (Pima Mining Co., Quebec Cartier Mining Co., Twin Butte, Duval e outras), obtiveram até 5% de economia no custo de transporte com o uso deste método. Outros benefícios, de influên

cia difícil de ser quantificada, são os decorrentes do aumento do controle e supervisão que também são trazidos (Cross, Williamson).

A via principal de acesso ao britador primário tem uma rampa constante de - 7%, descendo carregado os caminhões. É também de grande interesse verificar a influência da construção de estrada de retorno - mais curta e com rampa mais forte sobre a produtividade da frota.

Outro campo de aplicação da ferramenta desenvolvida neste trabalho é o Projeto Conceição, que está estudando a ampliação da mina de mesmo nome e a entrada em operação da mina de Dois Córregos, funcionando para ambas uma nova usina de lavagem e concentração.

Este complexo mineiro se caracteriza por uma relação minério-rejeito não tão favorável quanto a do Cauê, estando previsto um movimento muito grande de materiais.

III - DISCUSSÃO DO MÉTODO

III.1 - Generalidades

A exploração de u'a mina é um dos mais dinâmicos sistemas de produção industrial, contrastando com outros processos menos sujeitos à natureza, tais como linhas de montagem e outras indústrias manufatureiras.

O problema do carregamento e transporte de minério em minas a céu aberto envolve um número muito grande de variáveis, além de incontáveis alternativas na escolha de uma configuração do sistema: número e posicionamento de escavadeiras; número e alocação de caminhões às escavadeiras; critérios de filas, etc. (Gibbs, Gross and Pfleider).

Sua solução pelo método de cálculo convencional, que usa apenas o valor médio de cada fator, revela uma série de desvantagens, principalmente devidas à dificuldade de se considerar o inter-relacionamento de todos os parâmetros envolvidos (Hayes, Splaine and Whitaker).

A utilização do processo de tentativas que envolvam o sistema real, dada a magnitude dos custos, mostra-se impraticável na maioria dos casos (Achttien and Stine, O'Neil and Manula).

III.2 - As Técnicas da Pesquisa Operacional

Para se estudar o problema da otimização da operação do sistema de carregamento e transporte de minério de maneira apropriada torna-se necessário o auxílio das técnicas da Pesquisa Operacional.

Uma hipótese seria fazer um modelo analítico do sistema usando Programação Linear ou Teoria das Filas. Este método de estudo apre-

sentada a vantagem de indicar diretamente o ponto ótimo de operação do sistema, porém, tem as desvantagens de ser pouco dinâmico quanto às frequentes alterações do esquema real, e ser de difícil modelação, devido às características de complexidade do problema (Falkie, O'Neil and Manula).

Outra técnica de uso possível seria a simulação da operação do sistema por meio de um modelo probabilístico. Este método tem a propriedade de depender de um modelo de fácil construção e apresenta a vantagem de ser bastante dinâmico, a ponto de poder ser modificado a cada mudança introduzida no sistema, porém, apresenta a desvantagem de necessitar tentativas, o que dificulta a obtenção do ponto ótimo de funcionamento do sistema.

O método da simulação probabilística tem um amplo campo de aplicação na indústria por suas características de permitir uma exaustiva experimentação de hipóteses sem que se afete o sistema real, o que de outra forma seria impossível, pelos altos custos e interferências pouco praticáveis.

Como definição de simulação pode-se dizer que é um método que reproduz e permite manipular as propriedades de um sistema de produção real, reduzido à forma de um modelo matemático, constituído por um conjunto de regras que governa a integração dos diversos elementos do sistema (Gross and Williamson, O'Neil and Manula, Falkie and Mitchell). A operação simulada, que transcorre de acordo com estas regras, pode ter seu tempo comprimido pelo uso de processos especiais de cálculo (Falkie and Mitchell). Verifica-se imediatamente que a possibilidade de se executar os cálculos com rapidez adiciona grande poder aos métodos de simulação, depreendendo-se que os computadores eletrônicos são o instrumento natural de execução da simulação de sistemas complexos. A velocidade da computação encoraja a análise de um grande número de soluções diferentes, permitindo estudar o problema sob todos os ângulos possíveis, o que adiciona nova e indiscutível vantagem ao método (Falkie, O'Neil, Manula).

III.3 - A Simulação Probabilística em GPSS no Computador

Tendo-se em vista as características do sistema de carregamento e transporte na mina do Cauê, optou-se pelo método de simulação do sistema. Para se executar a simulação montou-se um modelo probabilístico (vide capítulo IV), que foi codificado em GPSS (General Purpose Simulation System), linguagem especial para simulação em computadores (IBM, Geoffrey).

Em GPSS utilizam-se macro instruções (blocos) para descrever o modelo, o que facilita o trabalho de confecção e codificação do mesmo. Isto feito, êle pode ser processado em computador. No nosso caso, usamos a máquina da CVRD em Vitória, um IBM-System/360, modelo 40, com 256.000 bytes de memória. Êste modelo de computador pode processar sistemas contendo até 500 blocos. O que usamos na simulação do sistema de carregamento e transporte na mina do Cauê tem cerca de 300 blocos.

III.4 - O Uso das Funções Probabilísticas na Simulação

Como regra geral a simulação estocástica envolve a substituição de um universo estatístico (de elementos) real pelo seu correlativo teórico, um universo descrito por uma determinada distribuição de probabilidades (por exemplo a distribuição normal) e, a seguir, uma amostragem dessa população teórica por meio de um tipo qualquer de gerador de números randômicos.

Neste modelo de simulação foi usada uma técnica conhecida genericamente por Método de Monte Carlo, para simular processos probabilísticos. O princípio básico do método é que o valor amostrado no universo teórico (modelo) deve ocorrer com a mesma frequência relativa - com que ocorre no universo estatístico real (Deshmukh, Wilson, Falkie and Mitchell).

IV - MODÉLO - SIMULAÇÃO

Introdução

Numa primeira fase, a título de se testar o método e preparar a equipe para aplicações mais sofisticadas, foi desenvolvido um modelo experimental do sistema existente no Cauê, voltado principalmente ao estudo da frota de caminhões, que constitui o item de maior custo da operação da mina. Algumas simplificações feitas na parte referente às escavadeiras e britadores não comprometeram a confiabilidade do modelo, conforme foi verificado por comparação do resultado obtido com dados reais.

IV.1 - O Sistema Físico

O sistema físico representado inclui todas as hipóteses atuais de produção de minério e recuperação de finos do estoque (quadro).

Estão representados os britadores primários da Mec. II (capacidade de 2.200 t/hora), da Mec. I, unidade direita (750 t/hora), e o

da Mec. I, unidade esquerda, de mesma capacidade.

A produção dos dois primeiros britadores e das instalações de tratamento posteriores a eles é lançada diretamente nos pátios de produtos.

Entretanto, para se obter flexibilidade de poder passar minérios cujos granulados atendam às especificações e os finos devem ser estocados para futura concentração, a produção do britador da Mec. I, unidade esquerda, sofre um peneiramento primário que descarta os finos daqueles minérios. Naturalmente não se deve alimentar esta unidade com finos recuperados de antigas pilhas de estocagem existentes no Cauê.

Também como entrada das mecanizadas funciona uma instalação de repeneiramento de finos de recuperação (a Recuperação Pitangueira).

Podem funcionar no sistema até 4 escavadeiras, de capacidade de produção a escolher, sendo 3 na mina e uma na pilha de finos. Todos os caminhões que bascularão nos britadores convergem para um ponto de triagem, onde se forma uma fila de espera dos britadores. A chamada dos caminhões pode obedecer ao critério de o primeiro a chegar ser o primeiro descarregado ou podem ser estabelecidos prioridades de atendimento ou alocação fixa a um dos britadores, conforme o tipo de material que estejam transportando.

Em geral o 2º sistema é adotado, por causa das diferenças dos produtos das instalações. Exemplificando, a Mec. I produz um minério que exige peneiramento mais rigoroso e deve conter pequena parcela de undersize, não sendo conveniente que se lance finos em seu circuito, o que poderia sobrecarregar as peneiras e fazer fugir das especificações o produto.

Na ocorrência de piques de grande demanda de finos ou mesmo problemas nos britadores primários e secundários, que apenas permitam a alimentação com finos, faz-se a retomada dos finos primários da bica da Mec. I, unidade esquerda, para a Mec. II, caso em que os caminhões que o transportam têm absoluta prioridade de descarga, não sendo retidos na fila, o que poderia causar paralização da bica e consequentemente da Mec. I, unidade esquerda.

A escavadeira na pilha de finos tanto pode alimentar os britadores como a instalação de recuperação; e a bica de finos pode ter sua produção transportada para a pilha, os britadores ou a recuperação. As escavadeiras podem ser de 8,9 ou 12 jardas, e os caminhões são todos de 120 T. A posição das escavadeiras na mina pode ser escolhida, assim como o número de caminhões alocados a cada uma.

IV.2 - OBTENÇÃO DE DADOS

Uma fase importantíssima do estudo é o levantamento dos dados, pois a sua precisão, aliada ao acerto na formulação do modelo é que dará confiabilidade aos resultados finais. Os dados podem ser colhidos por amostragem do sistema real, retiradas de relatórios históricos ou mesmo avaliados com base em operações similares (Falkie, Mitchell).

Valendo-se dos recursos disponíveis da estatística aplicada, foram feitos o dimensionamento das amostras, delineamento dos experimentos, ajuste de curvas aos dados, aplicados testes de aderência e determinadas funções matemáticas com componentes aleatórias para representar as diversas etapas da simulação.

São os seguintes os parâmetros que devem ser medidos para a montagem do modelo, que serão detalhados:

- a) Tempo de carregamento
- b) Tempo de viagem (ida e volta)
- c) Tempo de descarga
- d) Tonelagem transportada por viagem
- e) Tempo de britagem de cada carga
- f) Tempos e intervalos das paralizações dos britadores
- g) Tempos e intervalos das paralizações das escavadeiras
- h) Percentagem de finos da Mec. I, esquerda
- i) Dados para checagem.

a) Tempo de Carregamento

Foram cronometradas todas as combinações escavadeira-caminhão-tipo de minérios, sendo os desvios obtidos por determinações em várias condições de ambiente, durante o dia, à noite, com diversos operadores e em condições boas e piores de desmonte e ainda em local recém detonado (fralda de pilha), no meio da pilha e na limpeza final da frente. Os valores muito discrepantes foram devidamente analisados e com estes cuidados pudemos tomar dados que abrangeram todas as possibilidades da situação real.

A curva obtida para a distribuição de probabilidades se assemelha a uma log.-normal.

b) Tempo de viagem

Os tempos de viagem foram especificados como função de três variáveis:

- distância percorrida no horizontal
- distância percorrida em aclave
- distância percorrida em declive.

Foram cronometrados, sob as mais variadas condições, os tempos gastos para percorrer distâncias pré fixadas no horizontal, subindo e descendo rampas para caminhões carregados e vazios. Com os conjuntos de valores observados foram ajustadas as funções lineares de três variáveis através da análise de regressão. Foram assim obtidas equações matemáticas que forneciam os tempos de viagem dados o perfil do percurso para o caminhão carregado e o tempo de volta, pelo mesmo percurso, para o caminhão vazio. Levantadas cronometragens reais para os mesmos percursos, foram medidos os desvios entre os tempos calculados e os observados, sendo encontrada uma distribuição normal de erros, que somada aos tempos calculados fornecia dados com as variações do sistema real.

O dimensionamento sequencial das amostras foi baseado na estabilização dos coeficientes das funções lineares.

Outro processo de obtenção dos dados de viagem é a simulação determinística, baseada na performance mecânica do veículo, na resistência ao rolamento, no perfil da estrada, e em restrições específicas de cada operação.

Muitos fabricantes de caminhões "fora de estrada" têm programas de computador especificamente aplicados aos seus veículos, e fornecem os resultados desde que o comprador entre com os "inputs" de seu serviço. Em geral estes resultados são ligeiramente (cerca de 10%) superiores ao que se consegue obter na prática, pois o programa simula sempre a operação do caminhão ao nível de máximo rendimento, difícil de ser obtido, e não inclui os atrasos devido ao interrelacionamento com outras variáveis (Gibbs, Gross, and Pfleider, O'Neil and Manula).

c) Tempo de descarga nos britadores

* Também cronometrado para diversos caminhões e motoristas, sendo os desvios em relação à média introduzidos no modelo de simulação.

d) Tonelagem transportadora por viagem

Como não se dispõe de balança com capacidade para pesar caminhões de 120 T (peso total de 190 T) e seria trabalhoso fazer uma partição de cargas para pesagem, foram utilizados dados das balanças integradoras das instalações de tratamento, realizando diversas leituras

com 1 hora de intervalo, obtendo-se média e desvio padrão das cargas. Como as balanças são instaladas nas correias dos pátios de produtos, precisa-se usar intervalos de hora nas leituras, pois uma carga leva 12 minutos para atravessar toda a instalação, diluindo-se assim as irregularidades.

e) Tempo de britagem de cada carga

Após o britador da Mec. II existe um silo regulador do sistema, com capacidade para 150 t. de minério. Dependendo do tipo do material lançado no britador e da velocidade de funcionamento, pode ocorrer seja necessário, mesmo após ter passado toda a carga, aguardar a saída do material pelo alimentador de saída, até caber novo volume de 120 st. Mesmo estando o britador vazio, o motorista deve aguardar um sinal do operador da britagem para bascular sua carga. Considera-se então como tempo de britagem o decorrido entre 2 sinais de basculamento consecutivos, naturalmente desde que não ocorra falta de caminhão, caso em que o alimentador é paralisado. A amostragem foi realizada abrangendo diversos tipos de minérios. Na Mec. I, unidades esquerda e direita, a medida do tempo de britagem é realizada da mesma forma.

f) Tempos e intervalos de paralização dos britadores

Mesmo em funcionamento normal dos britadores ocorrem pequenas paralizações devidas a entupimentos, matacos, pequenos reparos, paradas das instalações subsequentes, etc., que devem ser deduzidas do tempo corrido de operação.

Foram tomados dados históricos de 3 meses e assim construiu-se um histograma dos tempos de paradas dos britadores. Verificando a distribuição encontrada que, como de esperar, muito se assemelhava a uma log-normal, foram desprezadas as paradas maiores, que geralmente ocorrem menos de uma vez por semana; feito tratamento de "smoothing", obteve-se uma curva mais homogênea, usada então nesta forma. Foi levantado também o intervalo entre as paradas, que forneceu uma distribuição normal.

g) Tempos e intervalos de paralização das escavadeiras

Também com dados históricos de 3 meses, retiramos os tempos de reparos, e o intervalo de ocorrência da paralização das escavadeiras.

h) Porcentagem de finos da Mec. I, esquerda

Obtida de dados históricos.

i) Dados para checagem

Também retirados de dados históricos, foram obtidos tempos

médios de viagens, produções de cada britador, tempo de utilização dos britadores, número médio de caminhões em fila nos britadores, tonelagem de fino primário, produzido na Mec. I esquerda, etc., para as situações específicas que depois seriam reproduzidas no modelo.

A comparação dos dados reais com os obtidos pela simulação - fornecerá a estimativa da confiabilidade. (O'Neil and Manula).

IV.3 - O Modelo - Formulação

Para a representação do sistema físico descrito, caracterizada pelos dados coletados, foi elaborado um modelo probabilístico, codificado em GPSS.

Como dados de entrada, que devem ser fornecidos ao computador ("inputs") tem-se:

- Número e parâmetros dos caminhões (capacidade, tipo, grau de prioridade e coeficientes para as fórmulas de cálculo).
- Alocação dos caminhões às escavadeiras.
- Capacidade das escavadeiras.
- Perfil de todas as estradas que serão percorridas.
- Tempo de simulação.

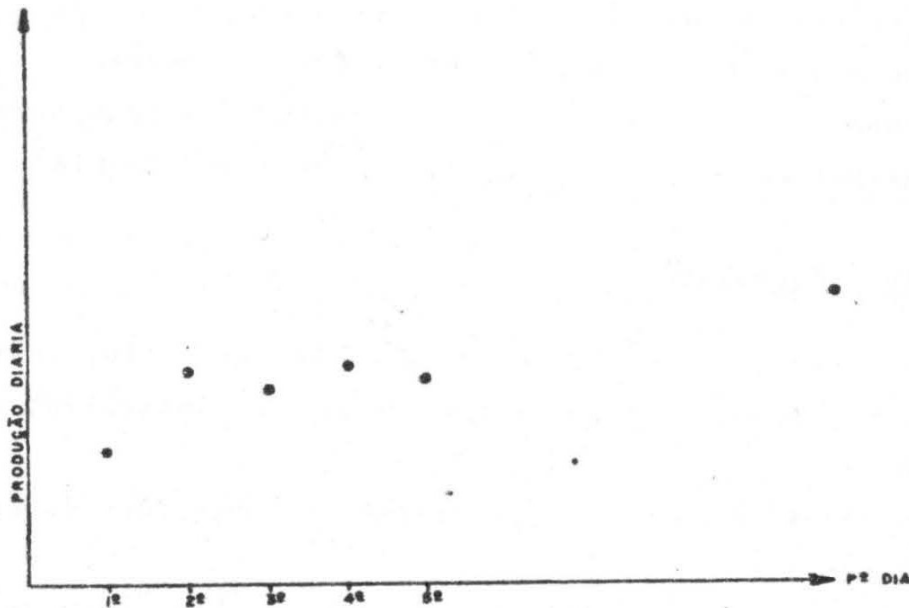
Todas as distribuições de probabilidades representativas dos parâmetros anteriormente descritas foram introduzidas no modelo.

O diagrama de blocos do modelo, contendo as explicações necessárias ao seu entendimento, pode ser visto no anexo I.

Para se calibrar o modelo usado na simulação, fez-se processamento deste para uma situação bem conhecida, comparando-se os resultados obtidos (filas, produção, tempo de ciclo dos caminhões) com os resultados da prática. Foram então feitas correções nos parâmetros do modelo até que seus resultados não apresentassem discrepância dos dados reais. Admitem-se como bons os resultados da simulação quando ficam na faixa de 5 a 10% de diferença da realidade. O mais importante é ter-se uma noção das tendências, e não o dado absolutamente correto - (Gross and Williamson, O'Neil and Manula).

Para que se usasse o modelo com confiabilidade controlada, foi seguido o seguinte procedimento:

- 1) Executou-se o processamento do modelo para p dias, obtendo-se para cada novo dia as medidas dos resultados (p. ex.: a produção diária).
- 2) Os resultados foram colocados em um gráfico de produção diária versus dias (1^o dia, 2^o , 3^o ... p^o dia).



- 3) Com êstes dados foram calculadas estimativas da média diária de produção e do desvio padrão de um dia (\bar{P} , $\bar{\sigma}_1$, respectivamente).
- 4) Imposta então a condição de que o modelo deverá apresentar um desvio padrão máximo da média diária de produção igual a um determinado , foi calculado quantos dias (N) se deverá simular para ser obtida a média com as características desejadas, pois:

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma}_1}{N}$$

donde:

$$N = \frac{\bar{\sigma}_1^2}{\sigma^2}$$

Isto feito, o modelo está pronto a extrapolar seus resultados. Escolhe-se uma situação do sistema a ser simulada, entra-se com os parâmetros desta situação e opera-se o modelo para N dias, fazendo-se variar, a cada passo, o número de caminhões no sistema, devendo os resultados acumulados serem divididos por N.

V. RESULTADOS

V.1 - OBTENÇÃO DOS RESULTADOS - OS "OUTPUTS"

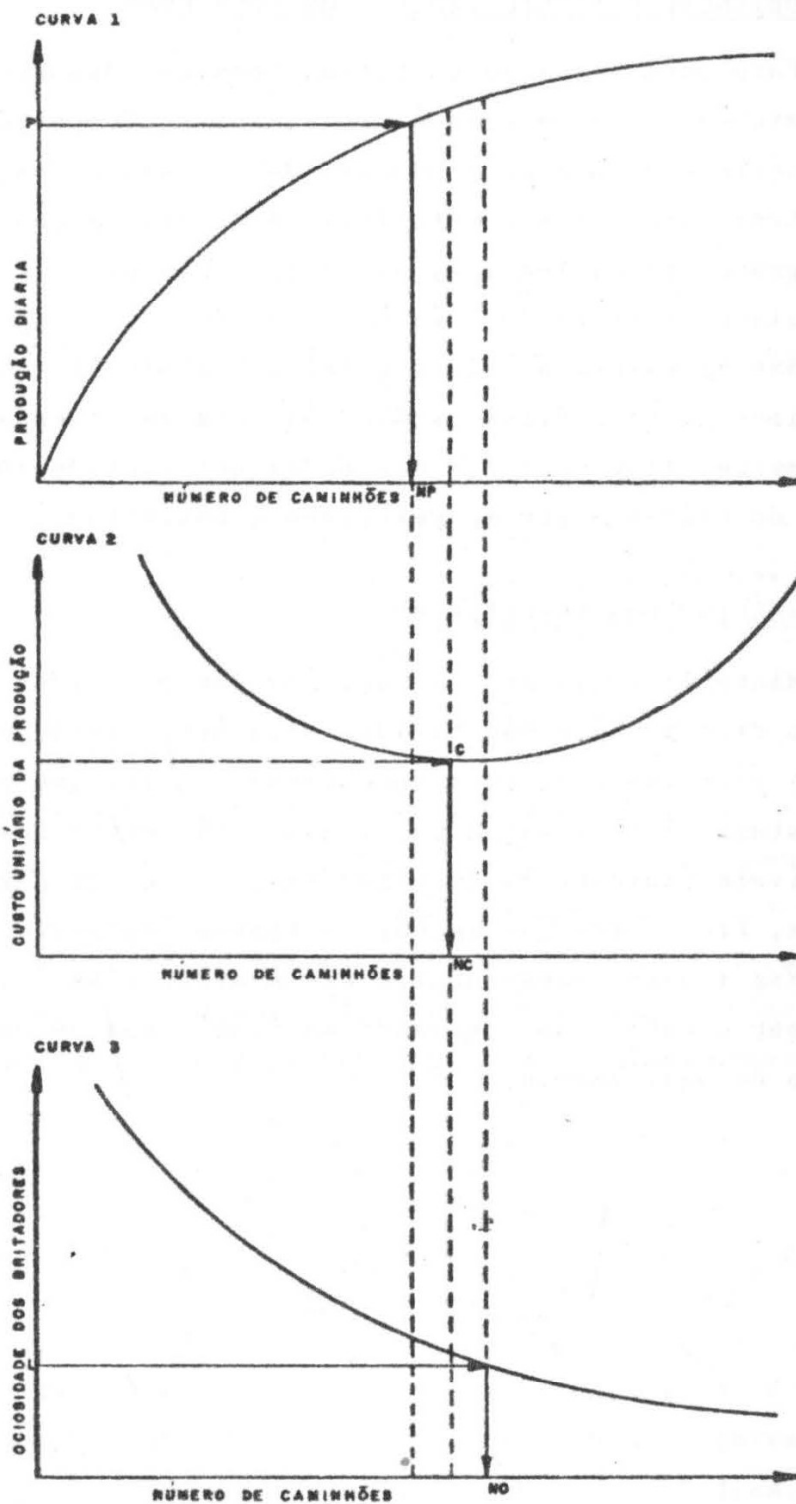
Para cada situação escolhida (posição das escavadeiras e número de caminhões) a simulação é processada no Computador e é fornecido um relatório contendo as produções das escavadeiras, britadores, total do sistema, as diversas estatísticas de utilização, quebras, filas e os histogramas de ciclos e filas, etc.. Cada dia (22 horas e 15 minutos) é simulado em cerca de 4 minutos de tempo de computação.

São apresentadas algumas folhas (ANEXO II) que exemplificam todos os tipos de relatórios produzidos, com os comentários explicativos. Os números nelas contidos não podem ser considerados como representativos do sistema, por se referirem a uma situação específica.

V.2 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Mantendo-se as mesmas posições das escavadeiras e variando-se o número de caminhões são tirados relatórios análogos, e com todos estes dados podem-se construir as diversas curvas que permitirão o estudo do sistema. É necessário que sejam então estudadas as mais diversas e possíveis posições de escavadeiras, número de caminhões, perfis de estradas, etc., para que as curvas tenham realmente significância.

Nas figuras subsequentes são mostradas as diversas curvas que podem ser construídas, entrando-se também com os custos unitários de produção do equipamento.

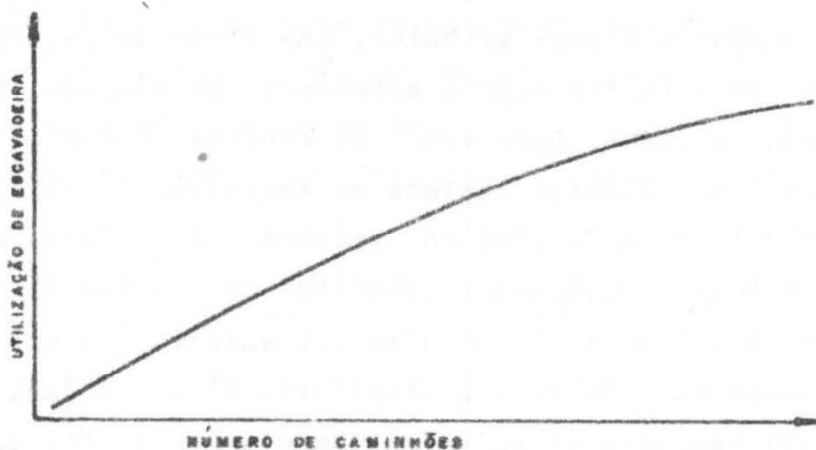
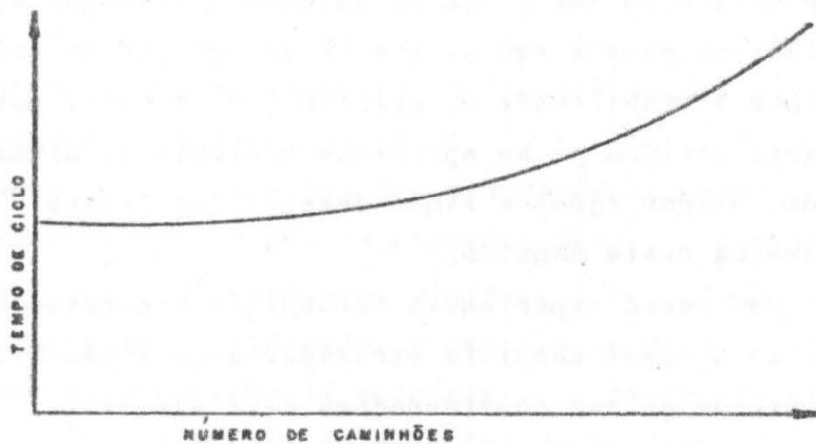
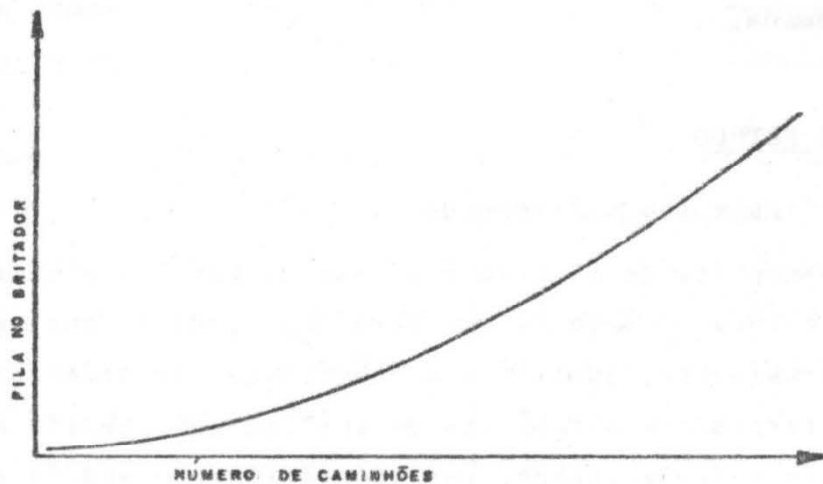


Se o objetivo for operar o sistema a mínimo custo (ponto C na Curva 2) pode-se determinar o número ótimo de caminhões (NC), com auxílio da curva de custo unitário da produção.

Da mesma maneira com o auxílio da Curva 1, pode-se determinar o número de caminhões (NP) para produzir a um certo nível (P), ou, com o auxílio da Curva 3, determinar o número de caminhões (NO), tal que os

britadores tenham uma ociosidade L.

Ao lado das medidas de produção, custo unitário e ociosidade - dos britadores, tem-se as medidas das várias filas do sistema, das taxas de utilização de escavadeiras e britadores e tempos de ciclo dos cami - nhões (Morgan, Peterson, 21), mostradas nas curvas seguintes:



Outras curvas de interesse, no entanto não mostradas no trabalho, são a de lucro total e a de custo incremental (que mostra o incremento no custo unitário a cada introdução, por exemplo, de outro - caminhão).

Todos os problemas anteriormente citados podem ser perfeitamente estudados, sendo obtidos, para cada situação, os dados de produção, custo, filas, ociosidades, etc., que permitem seja a decisão conscientemente tomada.

VI. FUTURO DO ESTUDO

VI.1 - Refinamentos e Extensões

O transporte de minério é a fase de mais alto custo da mineração, o que, aliado ao fato de que será duplicada a tonelagem e a distância de transporte, justifica a preocupação de desenvolver em primeiro lugar a ferramenta matemática de análise que permita estudá-lo através de dados suficientemente representativos. O modelo experimental, que foi desenvolvido com o fim de estudar o transporte, teve grande utilidade didática para a equipe que se encarregou do trabalho, e mostrou claramente a viabilidade da aplicação do método, pois os resultados até agora obtidos já se aproximam bastante da situação real que foi simulada. Alguns ajustes ainda deverão ser feitos e atualmente a equipe trabalha neste sentido.

O sucesso desta experiência fez surgir interesse na extensão do trabalho ao sistema completo escavadeira-caminhão-britador, para o que uma série de outras considerações deve ser feita.

Além dos estudos sobre tempos e intervalos de paralização das escavadeiras por defeitos ou por problema de blendagem, que diminuem seu tempo disponível para trabalho, uma série de pequenas paradas inerentes à operação faz cair a eficiência da máquina. Normalmente nestas pequenas paradas, para troca ou acertos de dentes da caçamba, pequenas manobras, ajustes rápidos no mecanismo de abrir a caçamba, lubrificação, limpeza de piso com tratores ou retirada de maticos da frente, os caminhões aguardam a reentrada da máquina para serem carregados. Para o estudo dos caminhões foi suposto que uma escavadeira só poderia trabalhar 80% de seu tempo disponível. O índice de 20%, estabelecido para representar estes pequenos atrasos, foi adotado para se ter segurança de não ultrapassar a capacidade real de produção do equipamento, o que acarretaria a formação de filas de caminhões na máquina, que não seriam detectadas pela simulação.

Talvez este número esteja alto, e para um estudo detalhado será necessária uma análise aprofundada dos tempos da máquina.

Quando entra em ação a rotina de quebra em uma escavadeira do modelo, os caminhões são automaticamente enviados para a máquina reserva, sem que haja a mínima perda de tempo. Realmente tal não se passa desta maneira, pois apesar de todo o cuidado da supervisão, e da existência dos rádios nas máquinas para pronta comunicação, há sempre uma relativa perda de tempo dos caminhões. E também, quando se sabe que a parada será muito curta, prefere-se aqui também que o caminhão aguarde na máquina.

Outro problema a ser considerado nas escavadeiras, referente ao tempo de carregamento, é o fato de que a máquina aproveita o intervalo em que não surgem caminhões para receber carga, realizando o trabalho útil de desmontar material ou mesmo enchendo a caçamba.

Causa-se conseqüentemente uma distorção na distribuição do tempo de carregamento tanto maior quanto menos utilizada a máquina, porque todo caminhão que se apresenta após um intervalo é carregado com muito maior facilidade. Esta observação leva ao preceito de se usar menos caminhões em u'a máquina quando se deseja incrementar a produtividade do transporte: além de se ganhar na diminuição das filas, tem-se um tempo de carregamento mais curto.

Também apenas na média dos tempos de carregamento entrou um importante fator condicionante da produtividade, referente às características do desmonte. Sabe-se que um material bem ou mal desmontado, um pé preso, um lançamento exagerado, a ocorrência de matacos, etc., afetam profundamente o trabalho da escavadeira. (Bauer, Calder). O estudo das condições de fragmentação do material desmontado e a sua produção de finos deverá ser também realizado com maior apuro e poderá ainda servir de base para um importantíssimo trabalho, que será a análise global da produtividade e custos do sistema desmonte-escavação-transporte-brigagem do minério, com sua otimização.

Também não foram consideradas as trocas de turno, onde ocorrem pequenos atrasos, se bem que a mudança dos motoristas é feita com o carro em funcionamento, com a mínima perda de tempo, sendo a viagem em curso completada pelo operador que está iniciando seu horário. Da mesma forma, não foram levadas em conta as paradas para refeições e a entrada de caminhões para a oficina, com os atrasos para sua substituição por outro que estaria a disposição ou trabalhando no rejeito, onde cabe a observação de que as perdas de tempo são também pequenas.

O estudo será completado com a introdução de dados de manuten

ção dos caminhões (Sense), principalmente sua disponibilidade física, e com sua extensão ao carregamento e transporte de rejeito.

VI.2 - Aplicações Futuras

O modelo será de inestimável auxílio nos estudos do Projeto Conceição, no dimensionamento final do equipamento que atenderá às Novas Instalações do Cauê e na análise econômica da viabilidade da implantação do sistema de alocação de caminhões por "dispatcher".

Algumas adaptações deverão ser realizadas, tais como determinação dos tempos de atendimento nos novos britadores (por comparação com dados de outros usuários), o estabelecimento de um mecanismo automático de alocação do caminhão segundo as regras a serem obedecidas pelo "dispatcher" e, principalmente o estabelecimento de novas equações para o cálculo dos tempos de viagem, que passarão a ser predominantemente caracterizadas por longo transporte descendente.

Uma nova e importante possibilidade de aplicação de estudos desta natureza é a mudança de filosofia de controle que dentro de pouco tempo será aplicada na CVRD: A Gerência por Objetivos. A simulação se aplicará com grande propriedade para o estabelecimento do orçamento de custos e as previsões de produção que serão as metas a atingir.

VII - CONCLUSÃO

Ainda este ano será instalado em Itabira um terminal de computador, que permitirá teleprocessamento na máquina de Vitória.

A Companhia Vale do Rio Doce entrou no campo da computação aplicada à mina e pretende alcançar um alto nível de estudos neste ramo, preocupando-se basicamente com a mentalização, preparação e formação de equipes que saberão bem utilizar esta nova e importante ferramenta de trabalho.

Uma série de trabalhos tem sido desenvolvida, tais como estudos de Geoestatística, Custos, Cubagens para os PROJETOS CONCEIÇÃO E PARÁ, Simulações de Lavra, Manutenção, Simulação da Usina de Concentração e Análises Estatísticas de seus testes, Estudos para a Nova Oficina Centralizada, etc.

O presente trabalho faz parte desta etapa inicial, e, se bem não ter tido ainda aplicação prática, abriu um fértil campo, que levará a importantes resultados. Sua apresentação neste Simpósio vale como uma contribuição científica ao desenvolvimento da indústria e do ensino das ciências minerais no país, de que a Companhia Vale do Rio Doce, co

mo empresa firmemente interessada no progresso da Nação Brasileira, acredita ser um dos polarizadores.

AGRADECIMENTOS

Os autores registram seu agradecimento à Companhia Vale do Rio Doce pela permissão de publicação do trabalho e aos colegas Pilonel Félix Pereira, responsável pelo levantamento estatístico dos dados, Darcy José Germani, Antônio João Martins Tôres, Bernardo Spiegel, Odi de Abreu Sampaio Leme e Eduardo Almeida Gazolla, pela revisão e oportunas sugestões que lhes apresentaram.

Itabira ,agosto de 1972.

BIBLIOGRAFIA

1. - Falkie, Thomas V. - "Production Systems Engineering" - "Surface Mining", American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, AIME, New York, 1968.
2. - Bishop, Thomas S. - "Haulage and Transportation - Trucks" - Idem, "Surface Mining".
3. - Sense, J.J. - "Equipment Scheduling - Including Utilization and availability" - Idem, "Surface Mining".
4. - Michaelson, Stanley D. and Hammes, John K. - "Copper Ore Mining" - Idem, "Surface Mining".
5. - Pfleider, Eugene P. and Weaton, George F. - "Iron Ore Mining" - Idem, "Surface Mining".
6. - Cross, Balton K. and Williamson, Gary B. - "Digital Simulation of an Open Pit Truck Haulage System". - "A Decade of Digital Computing in the Mineral Industry", Society of Mining Engineers of AIME, New York, 1969.
7. - Gross, R. Ward - "The Changing Economics of Surface Mining: a Case History" - Idem, "Decade of Digital..."
8. - Trafton, Burke O. and Kochanowsky, Boris J. - "A Computer Application for Truck Allocation with Shovel, Crusher and Quality Constraints". - Idem, "Decade of Digital ..."

9. - Gazolla, Eduardo Almeida - "Planejamento Operacional e Sistema de Controle de Qualidade na CVRD". - "Geologia e Metalurgia" nº 32, 1º Simpósio de Mineração, Centro Moraes Rêgo, São Paulo , 1971.
- 10.- Freitas, Ulysses Rodrigues de - "Princípios Gerais do Planejamento de Mina na CVRD". - Idem, 1º Simpósio de Mineração...
- 11.- Vaz de Melo, Marcos Tadeu e Fonseca, Juarez Cesar da - "Geologia de Detalhes, Elemento Básico do Planejamento da Mina e Controle de Qualidade". - Idem, 1º Simpósio de Mineração ...
- 12.- Rangel, Gen. Orlando, Diretor da C. R.D. - "Uma Empresa de Mineração Influi no Desenvolvimento Econômico do Brasil". - " O Minério" Orgão informativo de circulação interna, Abril/Maio - de 1972.
- 13.- Skilling's Mining Review - "1971 Company Iron Ore Shipments" - Pages 14-15 - May, 27, 1972.
- 14.- Deshmukh, S.S. - "Sizing of Fleets in Open Pits" - "Mining Engineering": Societu of Mining Engineers of AIME. New York, December, 1970.
- 15.- Wilson, E.B. - "Using Operations Research" - Canadian Mining Journal, June, 1968.
- 16.- Hayes, E.N.; Splaine M. and Whitaker, R.D.R. - "How Get the Most Out of the Open Pit Fleet" - Engineering and Mining Journal, - McGraw Hill, New York, May 1969.
- 17.- Achttien, Donald B. and Stine, Robert H. - "Computer Simulation of a Haulage System". - Mining Congress Journal, october, 1964, vol. 50, nº 10.
- 18.- Gibbs, L.W.; Gross, J. R. and Pfleider, E.P. - "System analysis for Truck and Shovel Selection" - Transactions - Society of Mining Engineers of AIME, New York, December, 1967.
- 19.- Fitzpatrick, J.J. - "Practical Truck Performance Studies by Computer" - Bulletin of The Canadian Mining and Metallurgical Institute, Montreal, August, 1967.
- 20.- Bauer, Alan and Calder, Peter N. - "Planning Open Pit Mining - Operations Using Simulation". - The 1972 International Symposium on Computer Applications and Operations Research in the Mineral Industry. Johanesbourg, South Africa, 1972.
- 21.- Morgan, W.C. and Peterson, L.L. - "Comparison of Estimating Techniques for Determining Shovel Truck Productivity". - Society of Mining Engineers of AIME preprint Nr 68 - AR-310, New York.
- 22.- O'Neil, Thomas J. and Manula, C.B. - "Computer Simulation of

- Materials Handling in Open Pit Mining. - Special Research Report - SR-56, Department of Mining, The Pennsylvania State University, Penn, USA, June 1966.
- 23.- Relatórios de Diretoria e Relatórios Internos Diveros - Companhia Vale do Rio Doce.
- 24.- Falkie, T.V. and Mitchell, David R. - "Probability Simulation for Mine Haulage Systems". - Transactions of the Society of Mining Engineers of AIME ; New York, December, 1963.
- 25.- Nayler, Thomas H.; Balintfy, Joseph L.; Burdick, Donald S.; Chung, Kong. - "Técnicas de Simulação em Computadores" - Editora Vozes - Ltda. - 1971.
- 26.- Gordon, Geoffrey. - "System Simulation" - Prentice-Hall, Inc. - Englewood Cliffs, 1969.
- 27.- General Purpose Simulation System/360 USER's Manual, International Business Machines - Manual HZO-0326-2.
- 28.- General Purpose Simulation System/360. - Operator's Manual, IBM. - Manual HZO - 0327/1.

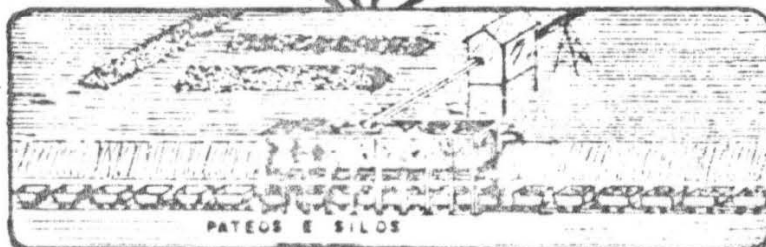
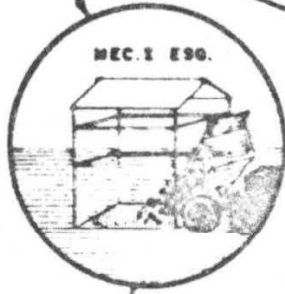
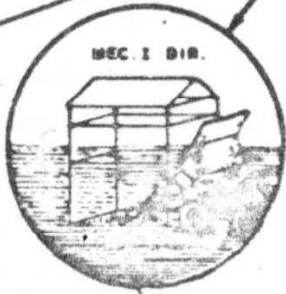
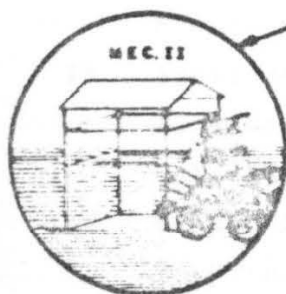
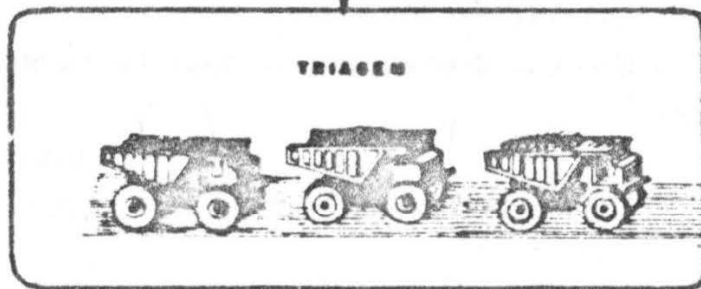
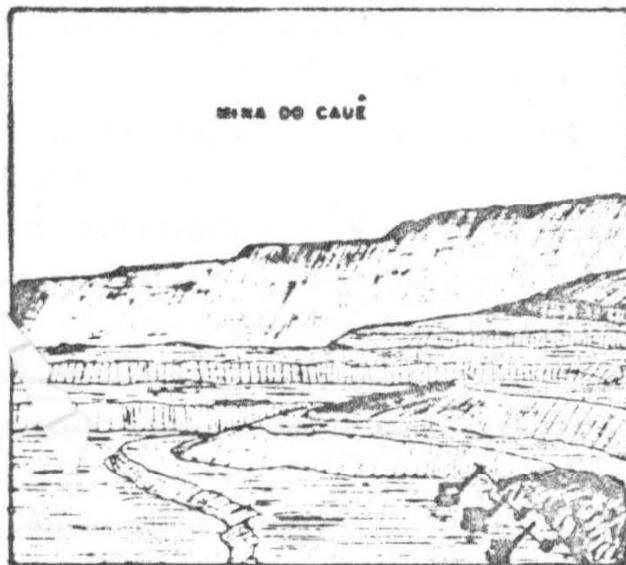


DIAGRAMA DE BLOCOS RESUMIDO DO MÓDELO DE SIMULAÇÃO

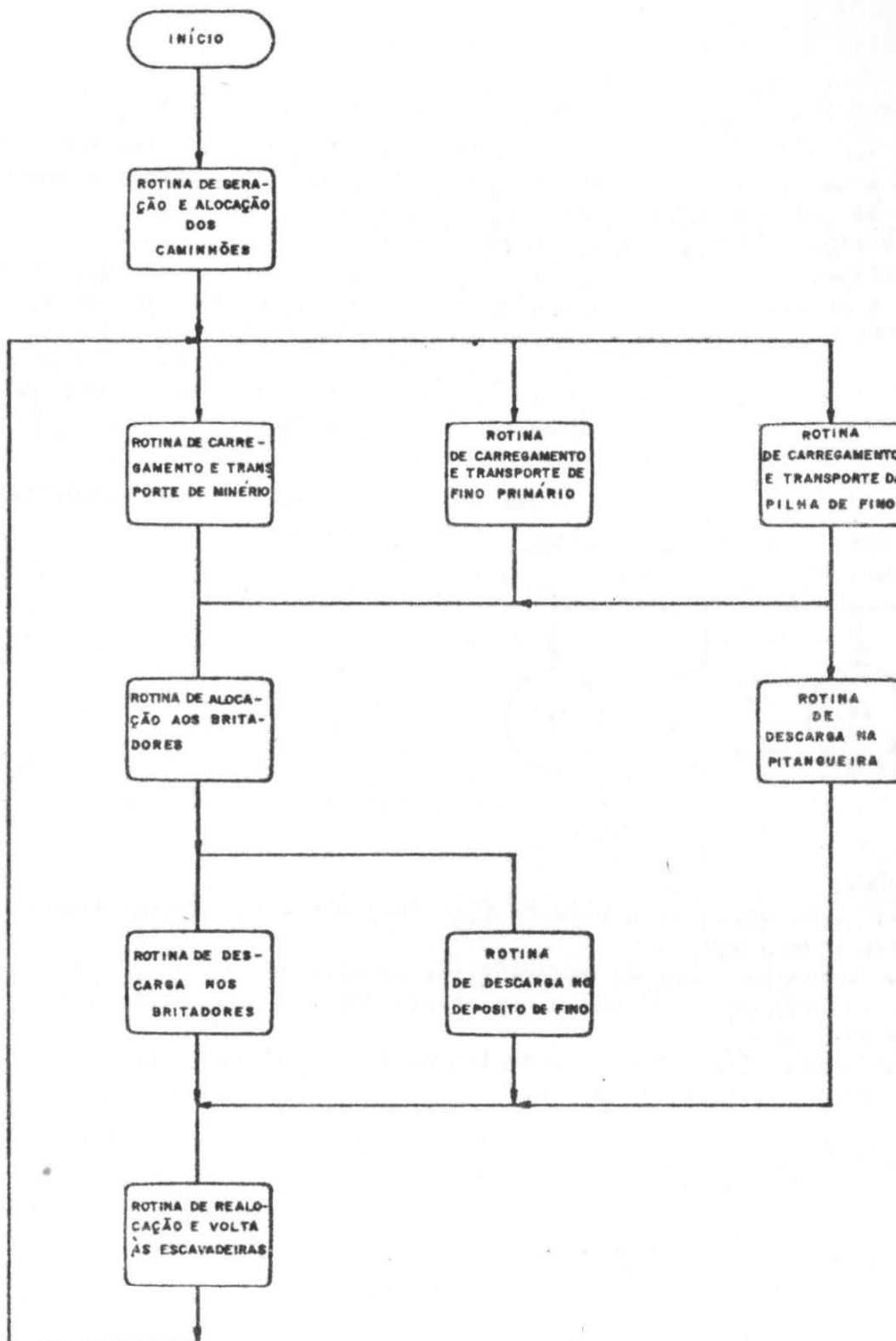
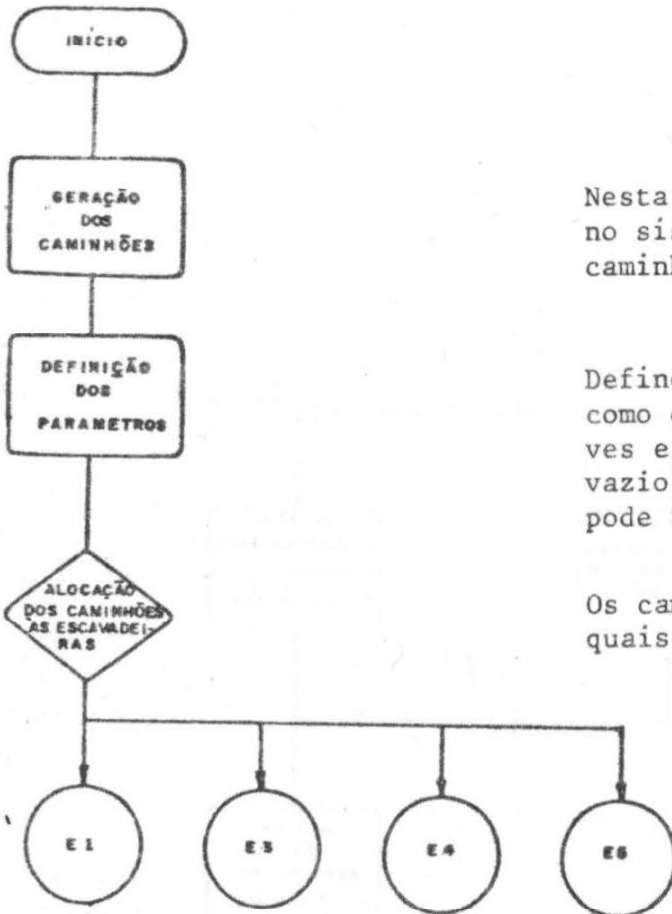


DIAGRAMA DE BLOCOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO

1. ROTINA DE GERAÇÃO E ALOCAÇÃO INICIAL DOS CAMINHÕES



Nesta sub-rotina os caminhões são introduzidos no sistemas. É necessário definir o número de caminhões (N) no sistema.

Definem-se os parâmetros dos caminhões, tais como capacidade, velocidade em aclives, declives e em nível, para o veículo carregado ou vazio, grau de prioridade, etc. Cada caminhão pode ter até 127 parâmetros (usamos 12)

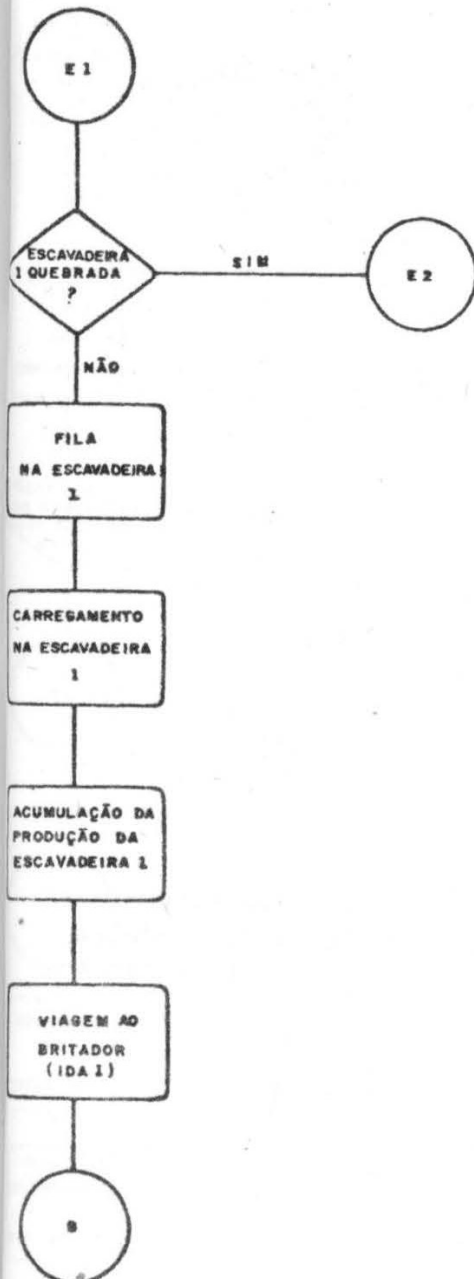
Os caminhões são alocados às escavadeiras nas quais serão carregados.

OBSERVAÇÕES:

1. Os caminhões alocados à bica de fino (E4) são considerados tipo 1 e tem prioridade 1.
2. Os caminhões alocados às escavadeiras de minério (E1, E2, E3) são considerados do tipo 2 e tem prioridade 0 (mais baixa que a dos do item 1)
3. Os caminhões alocados à escavadeira de fino (E5) são considerados do tipo 3 e tem prioridade 0.

DIAGRAMA DE BLOCOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO

2. Rotina de carregamento e transporte de minério



É feito um teste para verificar se a escavadeira está parada por motivo de quebra. Se não estiver, entra na fila. Se estiver, vai para a escavadeira de reserva (E2). O tempo de paralização por quebra tem distribuição log-normal e o intervalo entre quebras tem distribuição normal.

Fila na escavadeira. Esta sub-rotina gera as estatísticas de fila na escavadeira.

O caminhão gasta um tempo médio para ser carregado T_c , função da capacidade do caminhão e da capacidade da escavadeira. O tempo de carregamento tem distribuição normal.

Acumula-se a capacidade do caminhão em acumuladores especiais, para se ter a medida da produção da escavadeira.

O caminhão gasta um tempo médio T_i para percorrer o trajeto até o britador. Este tempo é função das características do caminhão e da estrada, e tem distribuição normal.

DIAGRAMA DE BLOCOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO

3. Rotina de carregamento e transporte de fino

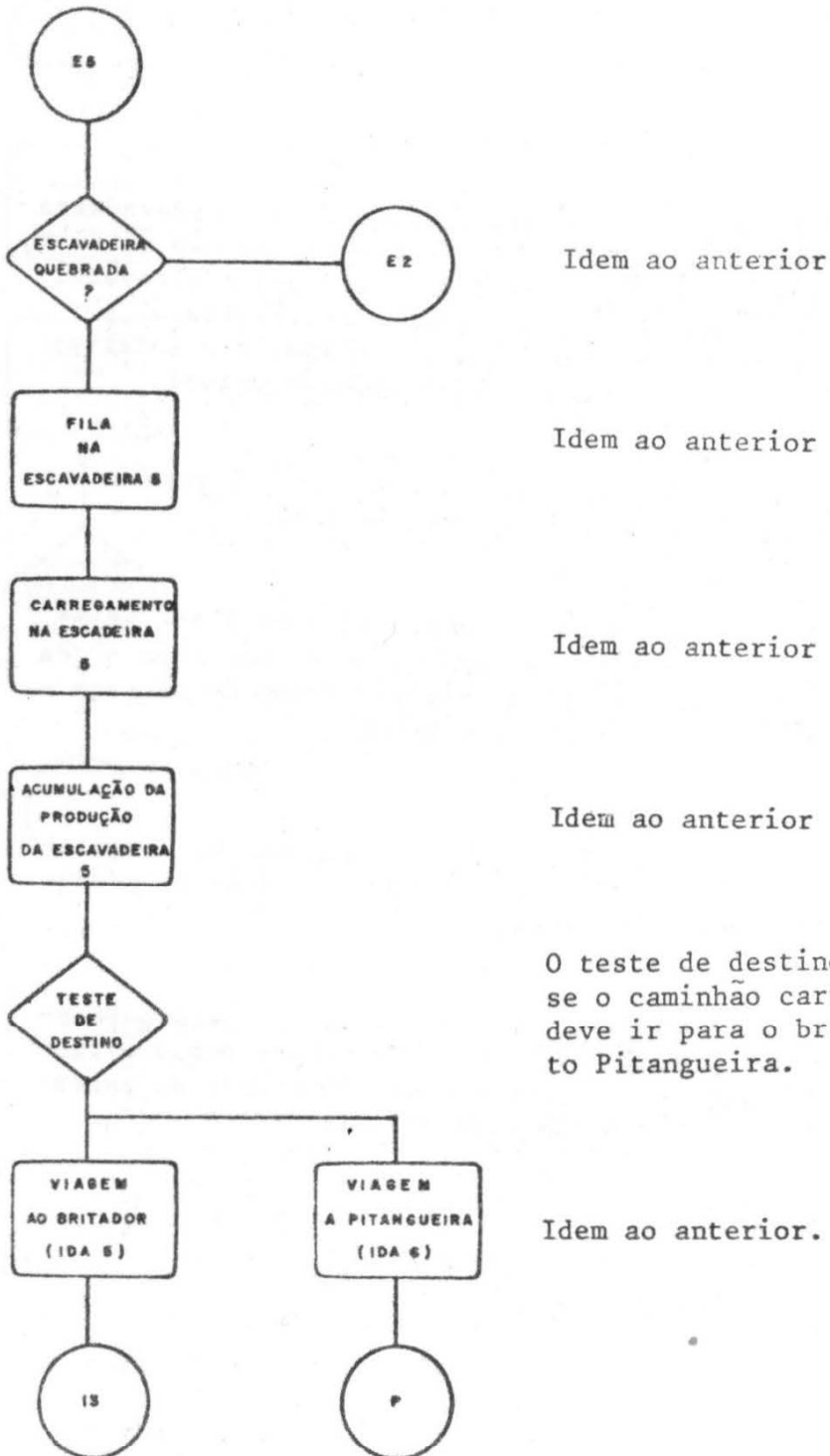
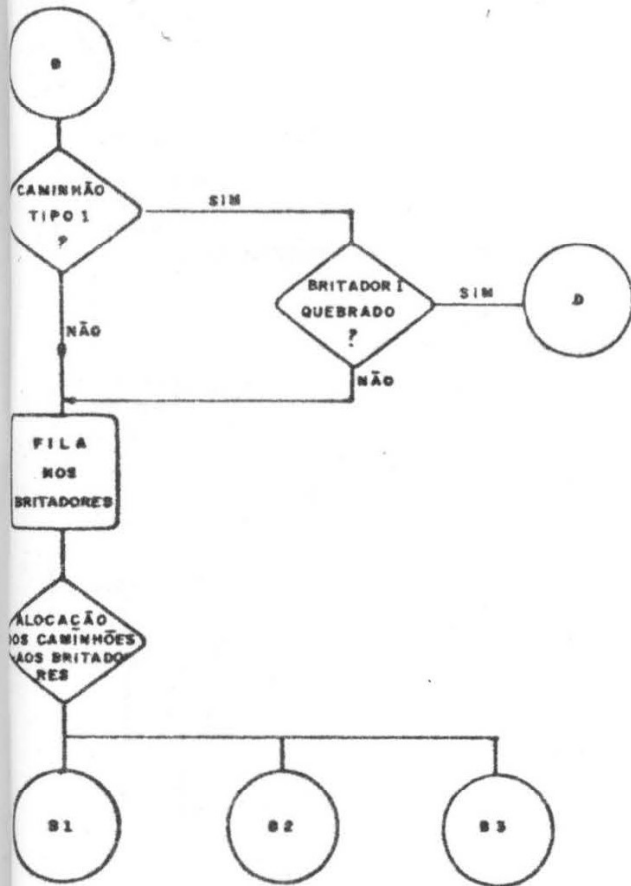


DIAGRAMA DE BLOCO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Rotina de alocação dos caminhões aos britadores



Sub-rotina inicial.

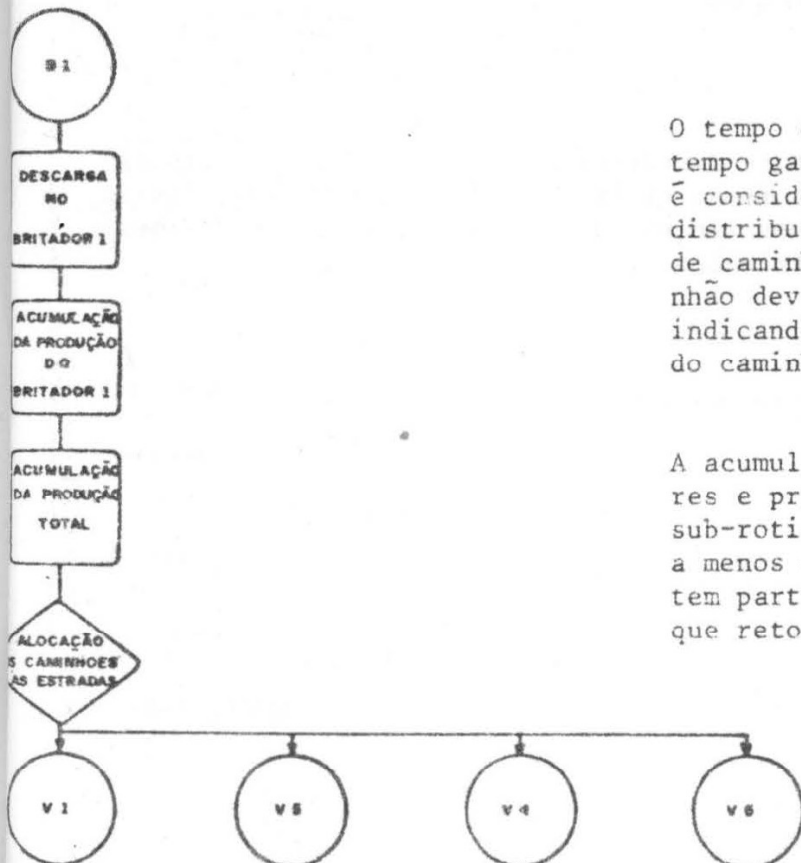
Se o caminhão é do tipo 2 ou 3 ele entra na fila. Se o caminhão é do tipo 1 é feito um teste para determinar se o britador 1 está quebrado. Se o britador estiver quebrado, o caminhão do tipo 1 vai descarregar no depósito (D). Caso contrário, ele entra na fila.

Fila nos britadores. Esta sub-rotina dá as estatísticas desta fila. Cumpre notar que os caminhões tipo 1 (prioridade 1) tem prioridade no atendimento pelos britadores (são sempre os primeiros da fila).

A alocação dos caminhões aos britadores é feita de acordo com as regras de decisão pré-definidas.

O tempo de paralização por quebra tem distribuição log-normal e o intervalo entre quebras tem distribuição normal.

Rotina de descarregamento dos caminhões nos britadores.



O tempo de descarga do caminhão é o tempo gasto para bascular. Este tempo é considerado como sendo normalmente distribuído e a média é função do tipo de caminhão. Antes de bascular o caminhão deve aguardar sinal do britador, indicando que já foi britada a carga do caminhão anterior.

A acumulação da produção dos britadores e produção total é semelhante à sub-rotina analoga para escavadeiras, a menos do britador 3, cuja produção tem parte recuperada como fino primário que retorna para o britador 1.

DIAGRAMA DE BLOCOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO

6. Rotina de retorno dos caminhões às escavadeiras



Idem viagem da escavadeira aos britadores

7. Rotina de descarregamento dos caminhões no depósito



Idem viagens.

O tempo de descarregamento no depósito é simplesmente o tempo de basculamento do caminhão, considerado como função do tipo do caminhão e normalmente distribuído.

Idem viagens.

DIAGRAMA DE BLOCOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO.

8. Rotina de carregamento de fino na bica de fino



O tempo de carregamento na bica de fino depende da capacidade do caminhão e do fluxo de minério no britador 3, pois, parte do minério (cerca de 50%) britado no britador 3 é recuperado por ca-minhões nesta bica.

9 Rotina de descarregamento na Pitangueira.



Semelhante ao descarregamento nos britadores.

CONTENTS OF FULLWORD SAVEVALUES (NON-ZERO)

SAVEVALUE	NR.	VALUE	NR.	VALUE	NR.	VALUE	NR.	VALUE	NR.	VALUE
1	1	34068	2	15738	3	33174	4	13700	5	44580
6	6	62935	7	22424	8	29526	9	23698	10	122479
11	11	266966	12	253751	13	266953	14	266964	15	266323
20	20	266775	21	266681	22	266766	28	154	41	100
42	42	200	44	266484	46	266484	47	17	48	1952
51	51	631	52	224	53	298	56	290	60	2200

RELATÓRIO DE PRODUÇÕES

OBSERVAÇÕES:

- OS VALORES DOS ACUMULADORES 1, 2, 3, REPRESENTAM A PRODUÇÃO (EM TONS) DAS ESCAVADEIRAS ALOCADAS NO MINÉRIO. A ESCAVADEIRA 2 FOI CONSIDERADA COMO MÁQUINA DE RESERVA.
- O VALOR DO ACUMULADOR 4 REPRESENTA A PRODUÇÃO DA BICA DE FINO.
- O VALOR DO ACUMULADOR 5 REPRESENTA A PRODUÇÃO DA ESCAVADEIRA ALOCADA NO FINO.
- O VALOR DO ACUMULADOR 6 REPRESENTA A QUANTIDADE DE MINÉRIO RECUPERADO ATRAVÉS DO PENEIRAMENTO - PITANGUEIRA.
- OS VALORES DOS ACUMULADORES 7, 8, 9, REPRESENTAM A PRODUÇÃO DOS BRITADORES 1, 2, 3, RESPECTIVAMENTE.
- O VALOR DO ACUMULADOR 10 REPRESENTA A PRODUÇÃO TOTAL DO SISTEMA, ISTO É, O MINÉRIO DISPONÍVEL - PARA O EMBARQUE.
- OS OUTROS ACUMULADORES SÃO APENAS ACUMULADORES LÓGICOS DO PROGRAMA E NÃO APRESENTAM INTERESSE NESTA ANÁLISE.

FACILITY	AVERAGE UTILIZATION	NUMBERS ENTRIES-	AVERAGE TIME/TRAN	SEIZING TRANS. NO.	PREEMPTING TRANS. NO.
1	.768	648	158.401	9	
2	.554	224	330.388		
3	.665	317	280.375	11	
ESC1	.291	180	216.188	22	
ESC2	.141	87	217.160		
ESC3	.581	204	380.475	24	
ESCF	.230	240	127.966		
PITAN	.882	288	408.968		
BFINO	.791	77	1372.220	1	
31	.105	3	4715.332		
33	.152	3	6772.000		
35	.208	4	6955.000		
41	.151	13	1554.384		
42	.305	19	2149.894	13	
43	.298	19	2099.473		
45	.076	7	1262.714		

RELATÓRIO DE UTILIZAÇÕES

OBSERVAÇÕES:

1. A COLUNA INTITULADA "FACILITY" DÁ O NOME DO GUICHE ESTUDADO.
2. OS GUICHES 1,2,3, REPRESENTAM OS BRITADORES, OS GUICHES ESC 1, ESC 2, ESC 3, REPRESENTAM AS ESCAVADEIRAS ALOCADAS NO MINÉRIO, E ASSIM POR DIANTE.
3. OS GUICHES 31, 33, REPRESENTAM AS QUEBRAS DAS ESCAVADEIRAS ALOCADAS NO MINÉRIO, E O GUICHE 35 REPRESENTA AS QUEBRAS DA ESCAVADEIRA ALOCADA NO FINO.
4. DA MESMA MANEIRA, OS GUICHES 41, 42, 43, 45, REPRESENTAM AS QUEBRAS DOS TRÊS BRITADORES E DO PENEIRA - MENTO PITANGUEIRA, RESPECTIVAMENTE.
5. A COLUNA INTITULADA "AVERAGE UTILIZATION" DÁ A UTILIZAÇÃO MEDIA DE CADA UM DOS GUICHES.
6. A COLUNA INTITULADA "NUMBER ENTRIES" DÁ O NUMERO DE VEZES QUE CADA GUICHE FOI UTILIZADO.
7. A COLUNA INTITULADA "AVERAGE TIME/TRAN" DÁ O TEMPO MEDIO DE ATENDIMENTO POR CLIENTE EM CADA GUICHE.
8. POR EXEMPLO, PARA SE ANALISAR O DESEMPENHO DO BRITADOR 1; ENTRA-SE NO GUICHE INTITULADO 1 (PRIMEIRA LINHA). NA SEGUNDA COLUNA TEM-SE SUA UTILIZAÇÃO MEDIA (76,8% DO TEMPO OCUPADO), NA TERCEIRA COLUNA TEM-SE O NUMERO DE CAMINHÕES (648) QUE BASCULARAM NESTE BRITADOR, E NA QUARTA COLUNA TEM-SE O TEMPO MEDIO DE BRITAGEM DA CARGA DOS CAMINHÕES (APROXIMADAMENTE 158 CENTESIMOS DE MINUTO). ENTRA-SE ENTÃO NO GUICHE INTITULADO 41 E TEM-SE, NA SEGUNDA COLUNA, A PORCENTAGEM DO TEMPO QUE O BRITADOR FICOU PARADO POR MOTIVO DE QUEBRA (915,1%), SENDO QUE QUEBROU 13 VEZES (TERCEIRA COLUNA) SENDO 1554 CENTÉSIMOS DE MINUTO O TEMPO MEDIO DAS PARADAS (QUARTA COLUNA).
9. AS OUTRAS DUAS COLUNAS SÃO PARA CONTROLE DO PROGRAMA E NÃO APRESENTAM INTERESSE NESTA ANÁLISE.

QUEUE	MAXIMUM CONTENTS	AVERAGE CONTENTS	TOTAL ENTRIES	ZERO ENTRIES	PERCENT ZEROS	AVERAGE TIME/TRANS	COVERAGE TIME/TRANS	TABLE NUMBERS	CURRENT CONTENTS
FESCI	2	.093	180		.0	69.699	69.699		
FESC2	4	.089	87		.0	138.000	138.000		
FESC3	3	.261	204		.0	171.000	171.000		
FFINO	3	.100	240		.0	55.933	55.933		
FLPIT	2	.129	144		.0	119.680	119.680		
FBRIT	9	3.751	640	310	48.4	782.609	1517.787		6
FBICA	1	.192	77	43	55.8	333.194	754.588		

COVERAGE TIME/TRANS = AVERAGE TIME/TRANS EXCLUDING ZERO ENTRIES

RELATÓRIO DE FILAS

OBSERVAÇÕES:

1. NA PRIMEIRA COLUNA ESTÃO OS NOMES DAS FILAS FESC 1, FESC 2, FESC 3, REPRESENTAM AS FILAS NAS ESCAVADEIRAS ALOCADAS NO MINERIO, FFINO REPRESENTA A FILA NA ESCAVADEIRA ALOCADA NO FINO, E ASSIM POR DIANTE.
2. A SEGUNDA COLUNA DÁ O COMPRIMENTO MÁXIMO OBSERVADO DA FILA. POR EXEMPLO, A FILA NA ESCAVADEIRA 2 (FESC 2 - SEGUNDA LINHA) TEVE SEU COMPRIMENTO MÁXIMO IGUAL A QUATRO CAMINHÕES.
3. A TERCEIRA COLUNA DÁ O COMPRIMENTO MÉDIO DA FILA NO BRITADOR (FBRIT-SEXTA LINHA) TEVE COMPRIMENTO MÉDIO DE 3.751 CAMINHÕES.
4. A QUARTA COLUNA DÁ O NUMERO TOTAL DOS CAMINHÕES QUE PASSARAM PELA FILA. PELA FILA NA ESCAVADEIRA 3 (FESC 3 - TERCEIRA LINHA) PASSARAM 204 CAMINHÕES.
5. A QUINTA COLUNA INDICA O NUMERO DE CAMINHÕES QUE FORAM ATENDIDOS SEM QUE HOUVESSE FILA (ENTRARAM DIRETO). NA BICA DE FINO (FBICA - SETIMA LINHA) ENTRARAM 42 CAMINHÕES SEM QUE HOUVESSE FORMAÇÃO DE FILA.
6. A SEXTA COLUNA DÁ A PORCENTAGEM DOS CAMINHÕES QUE ENTRARAM DIRETO PARA SEREM ATENDIDOS PELO GUICHE EM RELACÃO AO NUMERO TOTAL DE CAMINHÕES ATENDIDOS. NO CASO ANTERIOR, OS 43 CAMINHÕES QUE ENTRARAM DIRETO REPRESENTAM 55,8% DO TOTAL DE CAMINHÕES ATENDIDOS NA BICA DE FINO.
7. A SETIMA COLUNA DÁ O TEMPO MÉDIO DE PERMANÊNCIA EM FILA. OS CAMINHÕES ATENDIDOS PELA ESCAVADEIRA 3 (FESC 3 - TERCEIRA LINHA) PERMANECERAM, EM MEDIA, 171 CENTÉSIMOS DE MINUTO NA FILA.
8. A OITAVA COLUNA DÁ O TEMPO MÉDIO DE PERMANÊNCIA EM FILA NÃO CONSIDERANDO OS CAMINHÕES QUE ENTRARAM DIRETO.
9. AS OUTRAS DUAS COLUNAS NÃO APRESENTAM INTERESSE NESTA ANÁLISE.

TABLE C1CL4
ENTRIES IN TABLE
209

UPPER LIMIT	MEAN ARGUMENT 3793.774	STANDARD DEVIATION 2008.000	SUM OF ARGUMENTS 792899.000	NON-WEIGHTED DEVIATION FROM MEAN		
OBSERVED FREQUENCY	PER CENT DE TOTAL	CUMULATIVE PERCENTAGE	CUMULATIVE REMAINDER	MULTIPLE OF MEAN		
1500	1	.47	.4	99.5	.395	-1.142
2000	8	3.82	4.3	95.6	.527	-.893
2500	29	13.87	18.1	81.8	.658	-.644
3000	60	28.70	46.8	53.1	.790	-.395
3500	32	15.31	62.2	37.7	.922	-.146
4000	16	7.65	69.8	30.1	1.054	.102
4500	20	9.56	79.4	20.5	1.186	.351
5000	5	2.39	81.8	18.1	1.317	.600
5500	11	5.26	87.0	12.9	1.449	.849
6000	2	.95	88.0	11.9	1.581	1.098
6500	5	2.39	90.4	9.5	1.713	1.347
7000	2	.95	91.3	8.6	1.845	1.596
7500	6	2.87	94.2	5.7	1.976	1.845
8000	3	1.43	95.6	4.3	2.108	2.094
8500	2	.95	96.6	3.3	2.240	2.343
9000	1	.47	97.1	2.8	2.372	2.592
9500	2	.95	98.0	1.9	2.504	2.841
10000	0	.00	98.0	1.9	2.635	3.090
10500	2	.95	99.0	.9	2.767	3.339
11000	1	.47	99.5	.4	2.899	3.588
11500	0	.00	99.5	.4	3.031	3.837
12000	0	.00	99.5	.4	3.163	4.086
12500	0	.00	99.5	.4	3.294	4.335
13000	0	.00	99.5	.4	3.426	4.584
13500	0	.00	99.5	.4	3.558	4.833
14000	0	.00	99.5	.4	3.690	5.082
14500	0	.00	99.5	.4	3.822	5.331
15000	0	.00	99.5	.4	3.953	5.580
15500	0	.00	99.5	.4	4.085	5.829
16000	0	.00	99.5	.4	4.217	6.078
16500	0	.00	99.5	.4	4.349	6.327
17000	0	.00	99.5	.4	4.481	6.576
17500	0	.00	99.5	.4	4.612	6.825
18000	1	.47	100.0	.0	4.744	7.074

REMAINING FREQUENCIES ARE ALL ZERO

RELATÓRIO DE CICLO DE CAMINHÕES

OBSERVAÇÕES:

1. HISTOGRAMA DOS TEMPOS DE CICLO DOS CAMINHÕES ATENDIDOS NA BICA DE FINO (CICL 4).
2. NO TOPO DA PAGINA TEM-SE O NUMERO TOTAL DE CICLOS CONSIDERADOS (209), O TEMPO MEDIO DE CICLO (3793.774), O DESVIO PADRÃO (2008.000) E A SOMA DOS ARGUMENTOS (792 899.000).
3. A PRIMEIRA COLUNA DO HISTOGRAMA DÁ OS LIMITES SUPERIORES DOS INTERVALOS, A SEGUNDA COLUNA INDICA A FREQUÊNCIA ABSOLUTA OBSERVADA EM CADA INTERVALO, A TERCEIRA COLUNA INDICA A FREQUÊNCIA RELATIVA EM PORCENTAGEM, A QUARTA COLUNA DÁ A PORCENTAGEM ACUMULADA, A QUINTA COLUNA DÁ A ACUMULADA DAS DIFERENÇAS (100% - PORCENTAGEM), A SEXTA COLUNA DÁ A MULTIPLICIDADE DE CADA INTERVALO EM RELAÇÃO A MEDIA, E A SETIMA COLUNA DÁ O DESVIO ENTRE CADA INTERVALO E A MEDIA - (EM NUMERO DE VEZES O DESVIO PADRÃO).

TABLES FESC5
ENTRIES IN TABLE
11

UPPER LIMIT	OBSERVED FREQUENCY	MEAN ARGUMENT .272	STANDARD DEVIATION .646	SUM OF ARGUMENTS 3.000	NON-WEIGHTED
1	10	PER CENT OF TOTAL 90.90	CUMULATIVE PERCENTAGE 90.9	MULTIPLE OF MEAN 3.666	DEVIATION FROM MEAN 1.124
2	1	9.09	100.0	7.333	2.671

REMAINING FREQUENCIES ARE ALL ZERO

RELATÓRIO DE HISTOGRAMA DAS FILAS

OBSERVAÇÕES:

1. HISTOGRAMA DA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUENCIAS NA FILA NA ESCAVADEIRA ALOCADA NO FINO. SEMELHANTE AO HISTOGRAMA DOS CICLOS DOS CAMINHÕES (PAGINA ANTERIOR).