

PLANEJAMENTO DE LAVRA DA JAZIDA DE JACUPIRANGA

POR COMPUTADOR

Comp - Minas - Pl.

Eng^o HÉLIO CAMARGO MENDES e

Dr. GERALDO CONRADO MELCHER

Escola Politécnica - USP.

Coordenador:

Dr. Wildor Theodoro Hennies

Escola Politécnica - USP.

O SR. COORDENADOR - O IVº Simpósio de Mineração tem o prazer de apresentar a esta platéia o engenheiro Hélio Camargo Mendes, atualmente professor do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica de São Paulo.

O engenheiro Hélio Camargo Mendes é formado em 1973, portanto, no ano passado, e já durante o tempo de estudante manifestou interesse pela computação aplicada à mineração. Nesta oportunidade, apresentará o trabalho "Planejamento da Lavra da jazida de Jacupiranga por Computador".

É co-autor deste trabalho o Dr. Geraldo Conrado Melcher, professor do Departamento de Engenharia de Minas dessa escola.

Portanto, passo a palavra ao Eng. Hélio Camargo Mendes, para que nos brinde com a conferência citada.

Ainda neste Simpósio, o Eng. Antonio Wander Garcia, do DNPM, fez uma excelente exposição sobre o complexo de Jacupiranga, sendo desnecessário repetir aqui as completas informações que forneceu.

Apenas, a guisa de introdução, lembramos que na mina da Serrana S.A. em Jacupiranga, Estado de São Paulo, é explorado um depósito com características singulares, aproveitando-se uma combinação muito rara de minerais úteis. Trata-se de um corpo carbonático de forma aproximadamente elíptica em planta, com diâmetros de 1200 a 400 m. Sua profundidade conhecida é de 200 m, sendo provavelmente ainda muito maior a extensão vertical. Essa massa rochosa contém uma reserva de pelo menos 100 m.t., tendo sido pesquisados em detalhe até o presente, cerca de 40 m.t.. O carbonatito é constituído, em média, por 80% de carbonatos, principalmente calcita; por 12% de apatita e 4% de titano-magnetita, ocorrendo ainda alguns outros minerais subordinados. A apatita é concentrada por flutuação e os concentrados constituem matéria prima para a fabricação de fertilizantes. Os rejeitos carbonáticos são utilizados na fabricação de cimento, após separação magnética da titano-magnetita, que encontra mercado esporádico. O teor médio de P_2O_5 do carbonatito é de 4,98% e o de MgO de 3,63%.

Os problemas do aproveitamento mais racional desse minério residem, em sua essência, na necessidade de satisfazer a uma série de condições impostas por fatores tanto geológicos, quanto

técnico-econômicos, destacando-se entre eles:

1. Lavra de minério, com teores de P_2O_5 uniformes, e tão próximos quanto possível da média da jazida.
2. Lavra de minério que, além dos teores adequados de P_2O_5 , deve fornecer rejeitos com teor de MgO dentro das especificações para a produção de cimento.
3. Simplicidade, eficiência e economia das próprias operações de lavra, adequada utilização dos equipamentos, distribuição das frentes de trabalho, etc.

As dificuldades de satisfazer às condições mencionadas são motivadas pela constituição da jazida, na qual os teores de P_2O_5 variam localmente entre 3 e 10% e os de MgO entre cerca de 1% até 17%, sem correlação aparente entre os dois óxidos, sem possibilidade de identificação visual da constituição e com alguns obstáculos adicionais, como a ocorrência de blocos de jacupiranguito estéril e porções de minério de tratamento mais difícil.

Resulta, pois, que para uma lavra racional com pequeno número de frentes em operação, é indispensável um planejamento muito rigoroso da preparação e da sequência de desmonte dessas frentes, o que, por sua vez, exige um conhecimento preciso e detalhado do corpo de minério.

A pesquisa da jazida foi executada por uma combinação de amostragem em superfície com sondagens a diamante, conjugadas, em parte, com galerias. A irregularidade dos teores e a estrutura do próprio carbonatito, além da dificuldade de iniciar sondagens em muitos pontos da superfície indicaram a conveniência de não executar uma malha regular de furos verticais. Optou-se por furos verticais, inclinados e mesmo horizontais, a partir da superfície e das galerias de pesquisa, de acordo com a situação em cada trecho da jazida. O inconveniente de zonas de influência irregulares para o cálculo das reservas foi assim amplamente compensado por uma maior representatividade dos furos.

Para o cálculo da reserva, a jazida foi dividida em níveis com 10 m de altura, correspondentes às futuras bancadas de lavra e delimitadas pelas correspondentes curvas de nível topográficas. Em cada nível foram assinalados os trabalhos de pesquisa e atribuídas zonas de influência cujos limites foram fixados por critério de meias distâncias

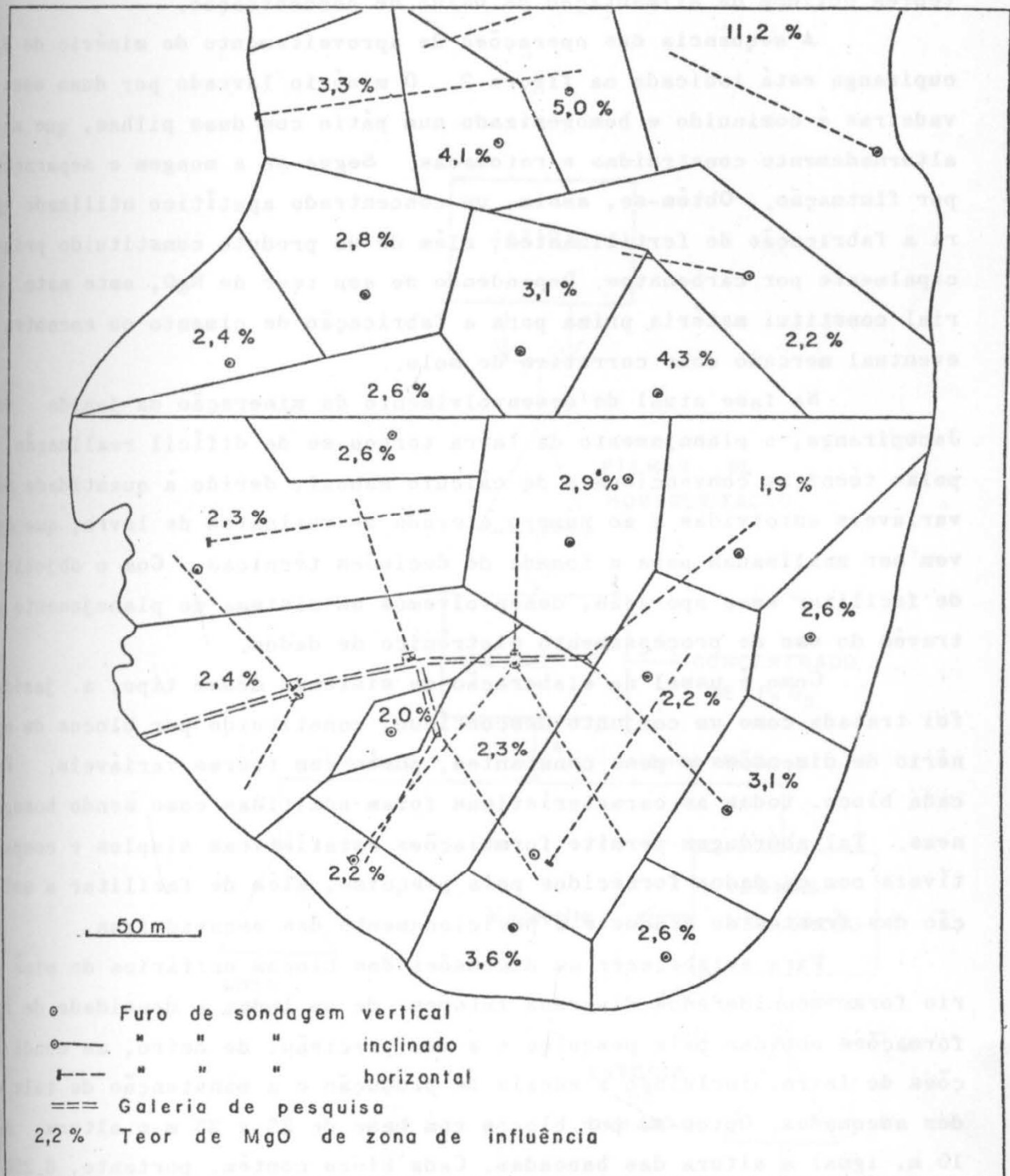


FIG. 1 - PLANTA DE UM NÍVEL DE PESQUISA MOSTRANDO AS ZONAS DE INFLUENCIA CONSIDERADAS

No seu conjunto, a concordância dos resultados da pesquisa com os dados de produção depois obtidos foi bastante boa. Ela serviu, também, para orientar o plano de lavra em seus grandes traços. Entretanto, o grau de detalhe não foi suficiente para a previsão contínua, a curto prazo, dos teores de lavra. Para tanto, tor-

nou-se necessária a observação constante das frentes e o controle dos teores obtidos na alimentação da usina de concentração.

A seqüência das operações de aproveitamento do minério de Jacupiranga está indicada na figura 2. O minério lavrado por duas escavadeiras é cominuído e homogenizado num pátio com duas pilhas, que são alternadamente construídas e retomadas. Segue-se a moagem e separação por flutuação. Obtém-se, assim, um concentrado apatítico utilizado para a fabricação de fertilizantes, além de um produto constituído principalmente por carbonatos. Dependendo de seu teor de MgO , este material constitui matéria prima para a fabricação de cimento ou encontra eventual mercado como corretivo de solo.

Na fase atual de desenvolvimento da mineração da jazida de Jacupiranga, o planejamento da lavra tornou-se de difícil realização pelas técnicas convencionais de cálculo manual, devido à quantidade de variáveis envolvidas e ao número elevado de variantes de lavra, que devem ser analisadas para a tomada de decisões técnicas. Com o objetivo de facilitar essa operação, desenvolvemos um sistema de planejamento através do uso de processamento eletrônico de dados.

Como é usual na elaboração de sistemas desse tipo, a jazida foi tratada como um conjunto descontínuo, constituído por blocos de minério de dimensões e peso constantes, porém com teores variáveis. Em cada bloco, todas as características foram admitidas como sendo homogêneas. Tal abordagem permite formulações estatísticas simples e compatíveis com os dados fornecidos pela pesquisa, além de facilitar a seleção das frentes de ataque e o posicionamento das escavadeiras.

Para estabelecer as dimensões dos blocos unitários de minério foram considerados diversos fatores: de um lado, a densidade de informações obtidas pela pesquisa e a sua precisão, de outro, as condições de lavra, incluindo a escala de produção e a manutenção de taludes adequados. Optou-se por blocos com base de 25 x 25 m e altura de 10 m, igual à altura das bancadas. Cada bloco contém, portanto, 6.250 m^3 correspondendo a 17.500 t. de minério (Figura 3).

No sistema adotado, a jazida é representada por uma matriz de 10 x 20 x 44 elementos, correspondendo aos blocos existentes em 10 níveis a partir da cota de base adotada e ao máximo de 20 blocos dispostos em 44 linhas paralelas e perpendiculares ao eixo maior do depósito, em planta. (Figura 4).

A cada bloco foram atribuídos os teores de P_2O_5 e MgO , de acordo com a área de influência dos trabalhos de pesquisa em que se situa. Quando um bloco continha frações de mais de uma área de influên

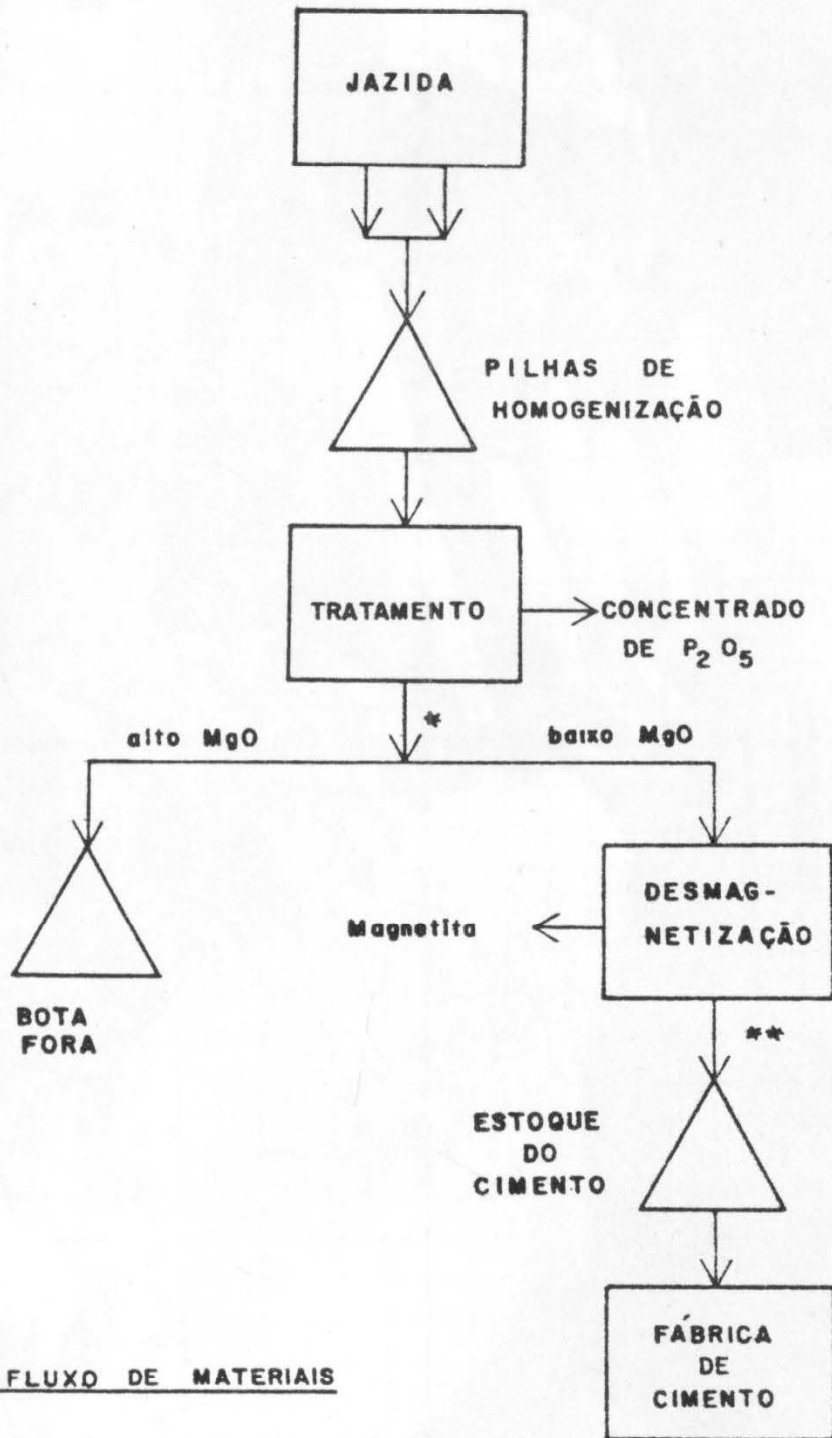


FIG. 2 - FLUXO DE MATERIAIS

* PRODUTO CALCÍCIO

** PRODUTO DESMAGNETIZADO

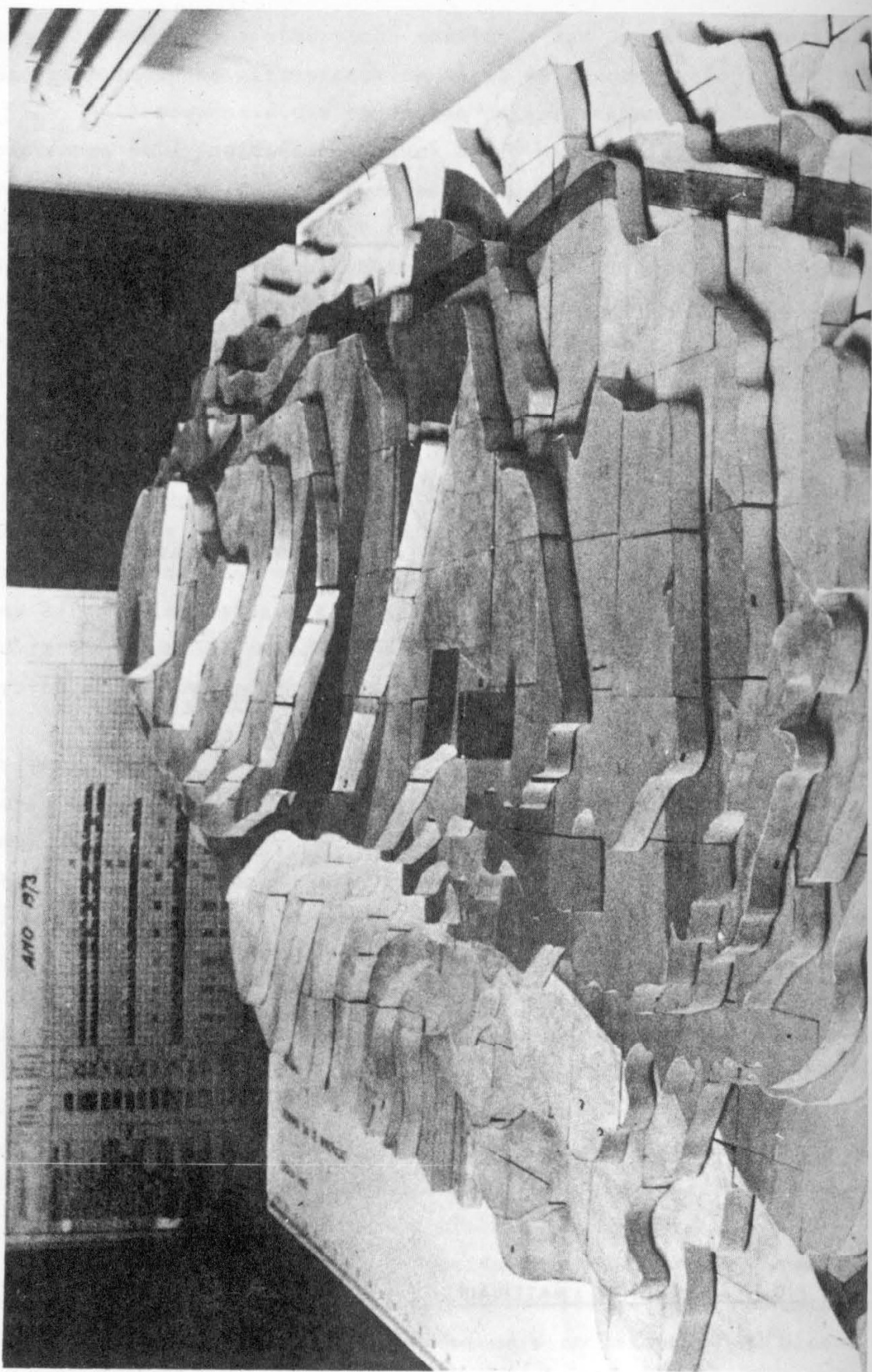


FIG. 3 - FOTO DO MODELO TRIDIMENSIONAL DA JAZIDA, SEMELHANTE AO
MODELO MATEMÁTICO APRESENTADO.

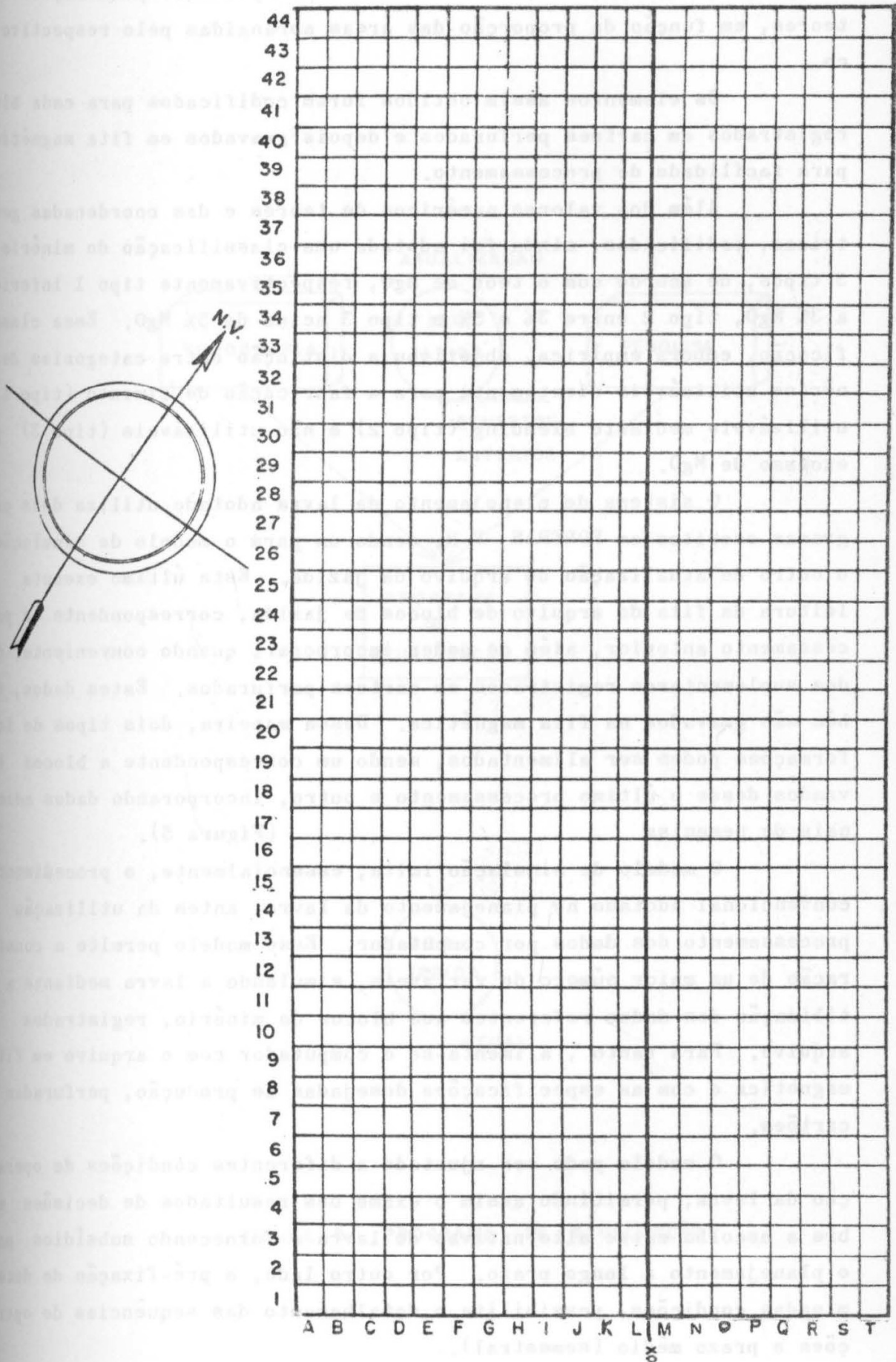


FIG. 4 - PLANTA DE IDENTIFICAÇÃO DOS BLOCOS UNITÁRIOS DE 25x25 m.

cia, com teores diversos, foram feitas as respectivas ponderações de teores, em função da proporção das áreas abrangidas pelo respectivo bloco.

Os elementos assim obtidos foram codificados para cada bloco, registrados em cartões perfurados e depois gravados em fita magnética para facilidade de processamento.

Além dos valores numéricos de teores e das coordenadas geométricas, codificados, ainda foi adotada uma classificação do minério em 3 tipos, de acordo com o teor de MgO , respectivamente tipo 1 inferior a 3% MgO , tipo 2 entre 3% e 5% e tipo 3 acima de 5% MgO . Essa classificação, embora empírica, objetivou a distinção entre categorias de minérios utilizáveis diretamente para a fabricação de cimento (tipo 1), utilizáveis mediante blending (tipo 2) e não utilizáveis (tipo 3) por excesso de MgO .

O sistema de planejamento da lavra adotado utiliza dois programas escritos em FORTRAN V-H, sendo um para o modelo de simulação e o outro de atualização do arquivo da jazida. Este último executa a leitura da fita do arquivo de blocos da jazida, correspondente ao processamento anterior, além de poder incorporar, quando conveniente, dados suplementares registrados em cartões perfurados. Estes dados, também são gravados na fita magnética. Dessa maneira, dois tipos de informações podem ser alimentados, sendo um correspondente a blocos lavrados desde o último processamento e outro, incorporando dados adicionais de pesquisa (Figura 5).

O modelo de simulação imita, essencialmente, o procedimento convencional adotado no planejamento da lavra, antes da utilização do processamento dos dados por computador. Esse modelo permite a consideração de um maior número de variáveis, simulando a lavra mediante a utilização dos dados referentes aos blocos de minério, registrados no arquivo. Para tanto, alimenta-se o computador com o arquivo em fita magnética e com as especificações desejadas de produção, perfuradas em cartões.

O modelo pode ser ajustado a diferentes condições de operação da lavra, permitindo assim o exame dos resultados de decisões sobre a escolha entre alternativas de lavra e fornecendo subsídios para o planejamento a longo prazo. Por outro lado, a pré-fixação de determinadas condições, possibilita o detalhamento das seqüências de operações a prazo médio (semestral).

Para o planejamento, tanto a longo, quanto a médio prazo, as flutuações aleatórias de produção dos equipamentos podem ser despreza-

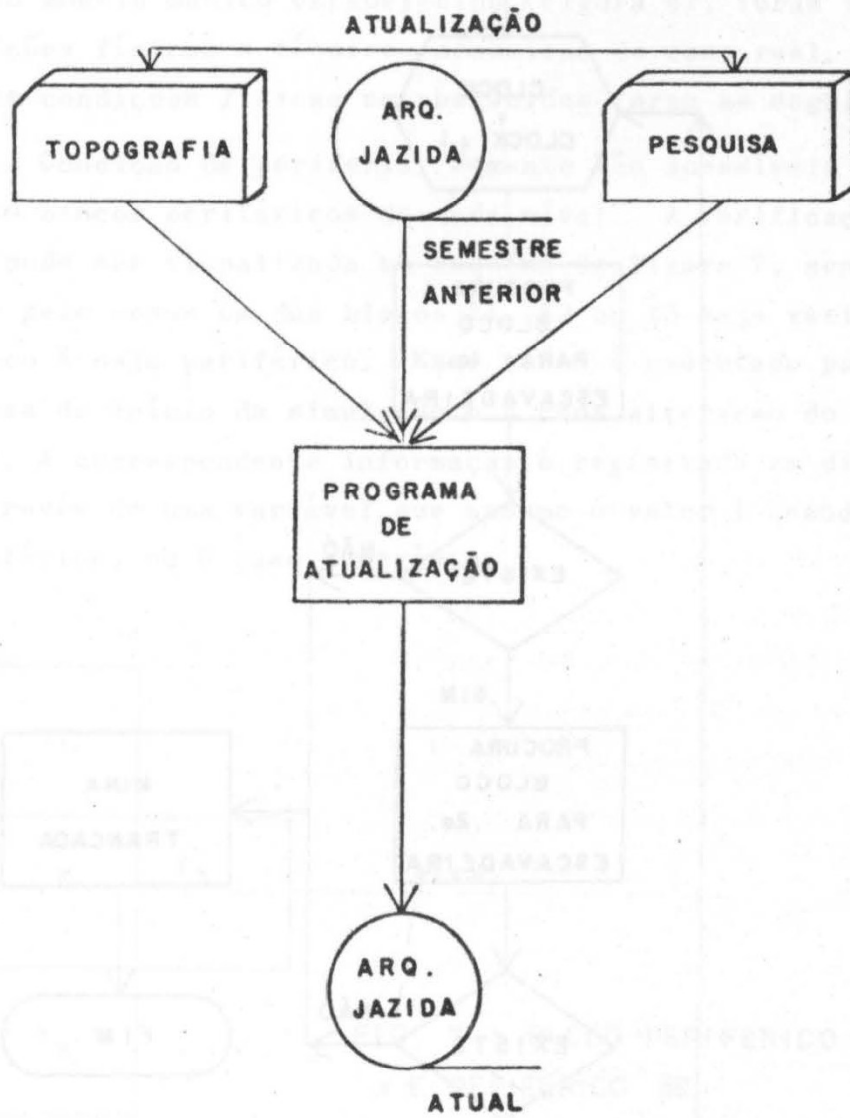


FIGURA 5 - PROGRAMA DE ATUALIZAÇÃO

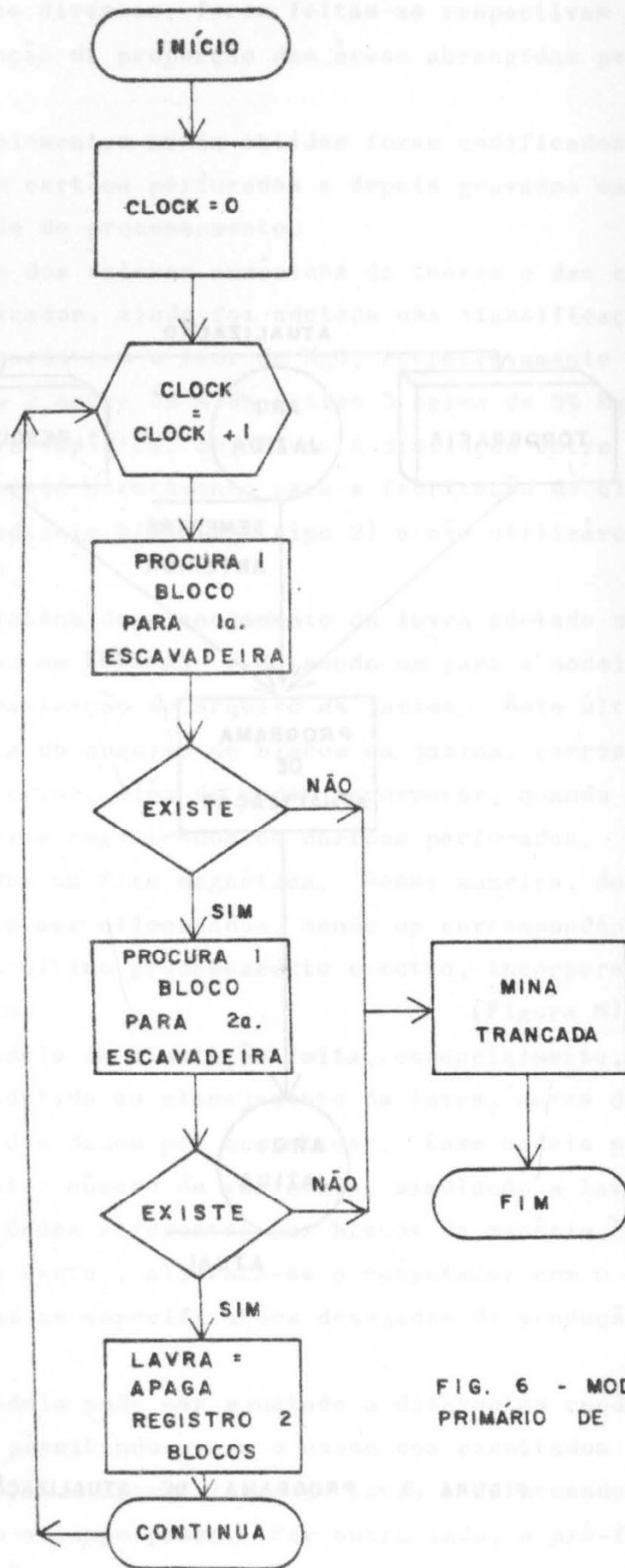


FIG. 6 - MODELO
PRIMÁRIO DE SIMULAÇÃO

das, o que justifica o emprego de um modelo determinístico, eliminando a necessidade da aquisição de dados adicionais.

Na simulação, os incrementos de tempo são realizados mediante a utilização de uma variável CLOCK, que adiciona unidades de tempo constantes e correspondentes à lavra de dois blocos (um por escavadeira), ou seja 35.000 t. extraídas em aproximadamente 5 dias, nas condições vigentes.

Ao modelo básico estabelecido (Figura 6), foram impostas as condições físicas e técnico-econômicas do caso real.

As condições físicas estabelecidas foram as seguintes:

1- Condição de periferia. Somente são acessíveis às escavadeiras os blocos periféricos de cada nível. A verificação dessa condição pode ser visualizada no esquema da figura 7, sendo necessário que pelo menos um dos blocos Y₁, Y₂ ou Y₃ seja vazio para que o bloco X seja periférico. Esse teste é executado para cada bloco antes do início da simulação e a cada alteração do arquivo da jazida. A correspondente informação é registrada em disco magnético através de uma variável que assume o valor 1 quando o bloco é periférico, ou 0 caso contrário.

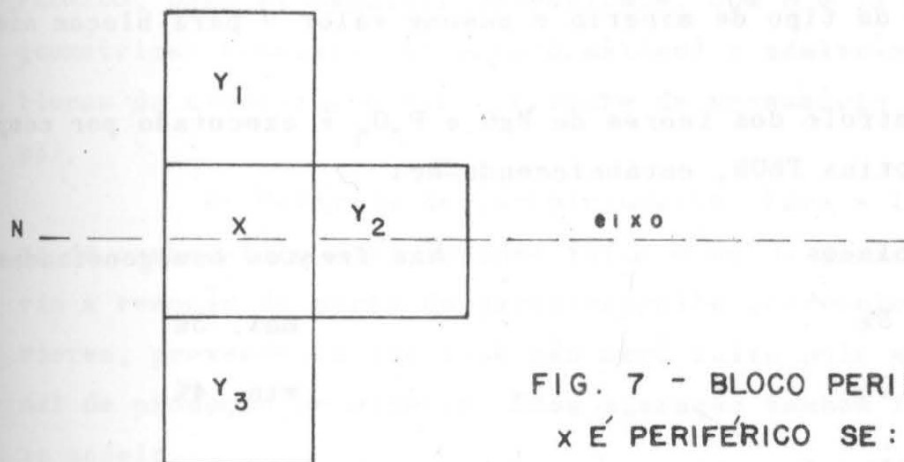


FIG. 7 - BLOCO PERIFÉRICO

X É PERIFÉRICO SE:

Y₁, Y₂ ou Y₃ for vazio

2- Condição de manutenção de talude. Os blocos somente podem ser considerados livres quando afastados mais de 25 m do bloco mais próximo situado no nível superior. Também esta condição é verificada para cada bloco no início da simulação e a cada alteração do arquivo, sendo a respectiva informação registrada em disco.

Para ambos os casos, foi introduzida uma matriz CHAVE, que fornece os endereços no disco através das coordenadas de cada bloco.

Como condições técnico-econômicas foram impostas:

1- Limite da cava. Em cada nível da jazida, foi definida uma linha na matriz LIMITE, representativa dos blocos adjacentes à encaixante de jacupiranguito ou à parte do carbonato ainda não pesquisado, exceto nos níveis superiores, onde foi admitida a possibilidade de remoção de jacupiranguito intercalado no minério e a consequente ampliação da cava.

2- Sequência de desmonte das bancadas. Para a locação dos equipamentos da mina, o modelo escala preferencialmente os níveis superiores, além de impedir a operação simultânea das duas escavadeiras no mesmo nível. Essas condições são verificadas através de uma subrotina ESCALA.

3- Teores de lavra. Os teores de MgO são tratados de dois modos, através da imposição de tipos e pelo controle de teor. Antes do início do loop e a cada modificação da jazida é definido o tipo de minério de cada bloco sendo o registro feito com a variável que indica os blocos livres. Quando um bloco está livre, a variável assume um valor indicativo do tipo de minério e assume valor 9 para blocos não livres.

O controle dos teores de MgO e P_2O_5 é executado por comparações pela subrotina TEOR, estabelecendo-se:

	Nos blocos	Nas frentes homogeneizadas
MgO	max. 5%	max. 3%
P_2O_5	min. 3%	min. 4%

4- Pilha de estoque para cimento. A produção de rejeitos carbonáticos na usina de tratamento é maior do que o consumo de material calcítico pela fábrica de cimento, o que permite acumular um estoque de rejeitos de baixo MgO para alimentar a produção de cimento, enquanto é tratado minério com MgO excessivo. No modelo, essas alternativas foram previstas e imitadas através do conceito de FASE:

FASE=0 : Alimentação da pilha de cimento

FASE=1 : Operação com MgO alto, os rejeitos não alimentam a pilha de cimento.

O nível da pilha de estoque é considerado em uma variável NPI.

Lavra-se em FASE=0 até NPI atingir um máximo, quando passa-se a lavar em FASE=1 até atingir um estoque mínimo.

5- Composição de frentes. Para eficiência do desmonte e limitação da movimentação das escavadeiras, foi imposta ao modelo a condição de serem sempre escaladas frentes constituídas por 8 blocos adjacentes, no mínimo, sendo feita nova escalação de frente apenas após a lavra destes.

Definiu-se a variável DISPT para testar a condição de esgotamento da FRENTE escalada:

DISPT=0 : nenhuma máquina disponível

DISPT=1 : máquina 1 disponível

DISPT=2 : máquina 2 disponível

DISPT=3 : as duas máquinas disponíveis.

Quando há disponibilidade de máquina, é selecionada uma tabela com prioridades de níveis que atendem a FASE e à condição de mínimo de 6 blocos livres periféricos do tipo de material escalável através do uso de uma matriz MIN, que contém estas informações.

A partir do nível prioritário, é tentada a escalação de FRENTEs, para as máquinas disponíveis, com 8 e 11 blocos sob regras geométricas (impostas pelo raio máximo) e admite-se um máximo de 2 blocos de minério com MgO diferente do necessário no momento (tipo).

6- Retirada de jacupiranguito. Para a liberação completa do carbonatito das bancadas inferiores da jazida, será necessário a remoção de parte do jacupiranguito ocorrente em níveis superiores, prevendo-se que isso não será feito pelo equipamento normal de produção de minério. Essa operação também foi incorporada ao modelo.

O arquivo da jazida em disco mencionado é de acesso randômico, sendo acessível cada record (1 bloco = 1 record) através do endereço armazenado na matriz CHAVE, pela localização do bloco em nível, linha, coluna. Cada record é tratado pela matriz A, contendo:

A(1) = nível do bloco (1 a 10);

A(2) = linha do bloco (1 a 20);

A(3) = coluna do bloco (1 a 44);

A(4) = teor de MgO (lido da fita);

- A(5) = teor de P_2O_5 (lido da fita);
 A(6) = condição esteril/minério (lido da fita);
 = 9 Jacupiranguito ou não pesquisado;
 \neq 9 minério;
 A(7) = condições de blocos livres ou não combinados com
 tipo: 1, 2, 3 = bloco livre/tipo de minério do bloco;
 9 = bloco não livre;
 A(8) = condição de periferia:
 0 = não periférico
 1 = periférico.

O esquema mais geral do modelo, impostas as condições citadas, pode ser visto na figura 8. Antes da simulação da lavra propriamente dita (LOOP LAVRA) há a organização do arquivo de disco com os dados da fita magnética e dados calculados de blocos livres e periféricos; simultaneamente é criada a matriz MIN que registra o número de blocos livres e periféricos, por tipos em cada nível. Além disso é impressa a cubagem da jazida com as plantas das bancadas.

O LOOP DE LAVRA (Figura 9) foi construído em forma modular e é integrado por:

- INICIO DO LOOP.

Coordena o relógio de simulação, determina a FASE de lavra e chama a subrotina RELA para impressão dos relatórios semestrais. A coordenação do tempo real com o do modelo é conseguida mediante leitura de cartão perfurado, no primeiro ciclo do loop, contendo informações de produção e data de início (Fig. 10).

- DISPONIBILIDADE DE MÁQUINA.

Determina a disponibilidade de máquina em cada clock; quando não há máquina disponível procede a lavra (subrotinas LAVRA e JACU) e devolve o processamento para o INICIO DO LOOP (Figura 11)

Para corrigir os casos em que as frentes escaladas são não blendáveis e a FASE foi alterada durante sua lavra, DISPONIBILIDADE DE MÁQUINA prevê desvio do processamento para RETORNO

- ATRIBUIÇÃO DE NÍVEL.

Faz a escalação de níveis para a lavra por máquina em disponibilidade, de acordo com regras de prioridade. O primeiro grau de prioridade é atribuído conforme o TIPO de minério, dependendo da fase de lavra e segundo pela condição de seqüência de desmonte das bancadas. A determi-

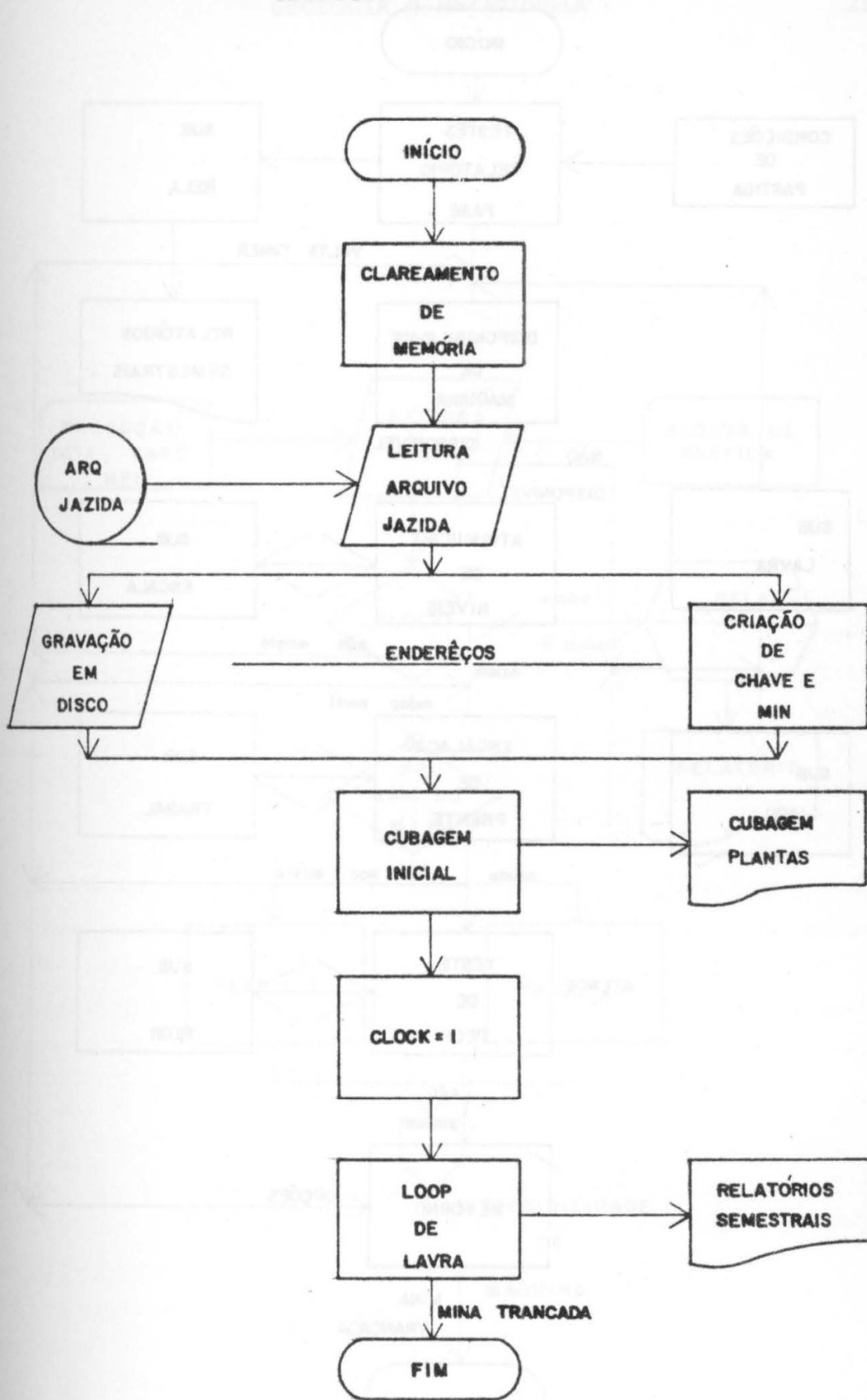


FIG. 8 — ESQUEMA GERAL DO MODELO RESULTANTE DO PRIMÁRIO (FIG. 6), IMPOSTAS AS CONDIÇÕES FÍSICAS E TÉCNICO-ECONÔMICAS

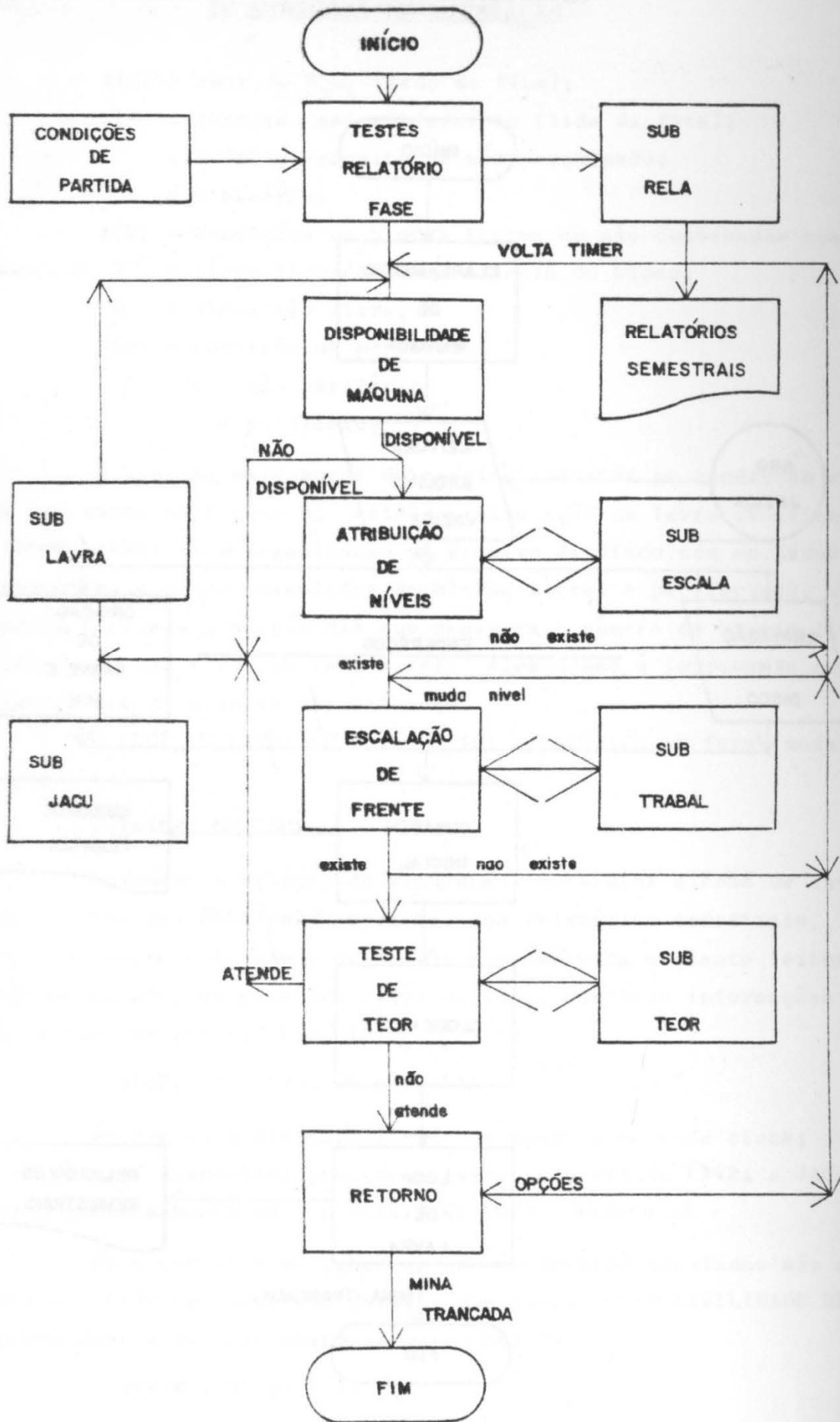


FIG. 9 ESQUEMA DO LOOP DE LAVRA

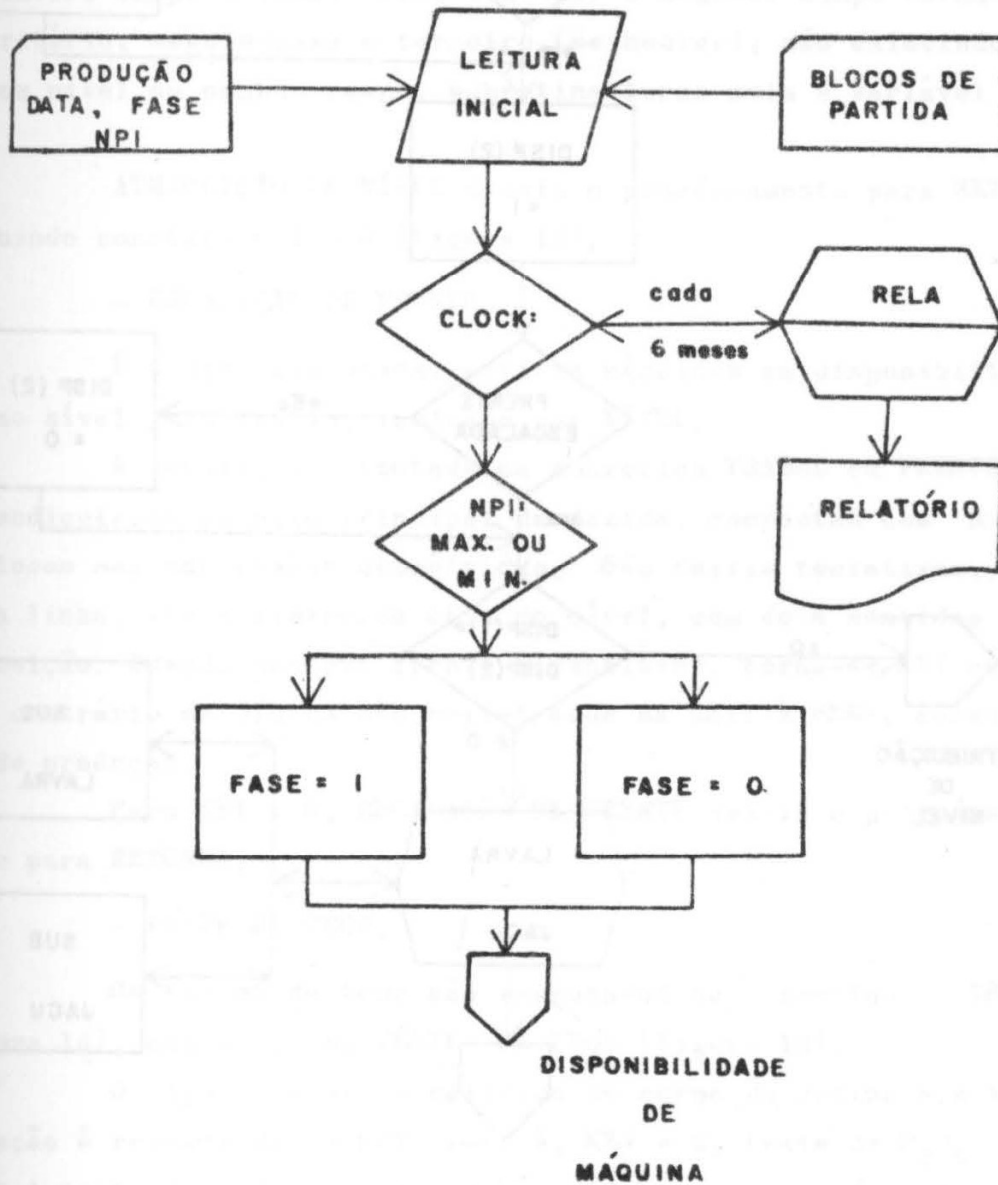


FIG. 10 - INÍCIO DO LOOP

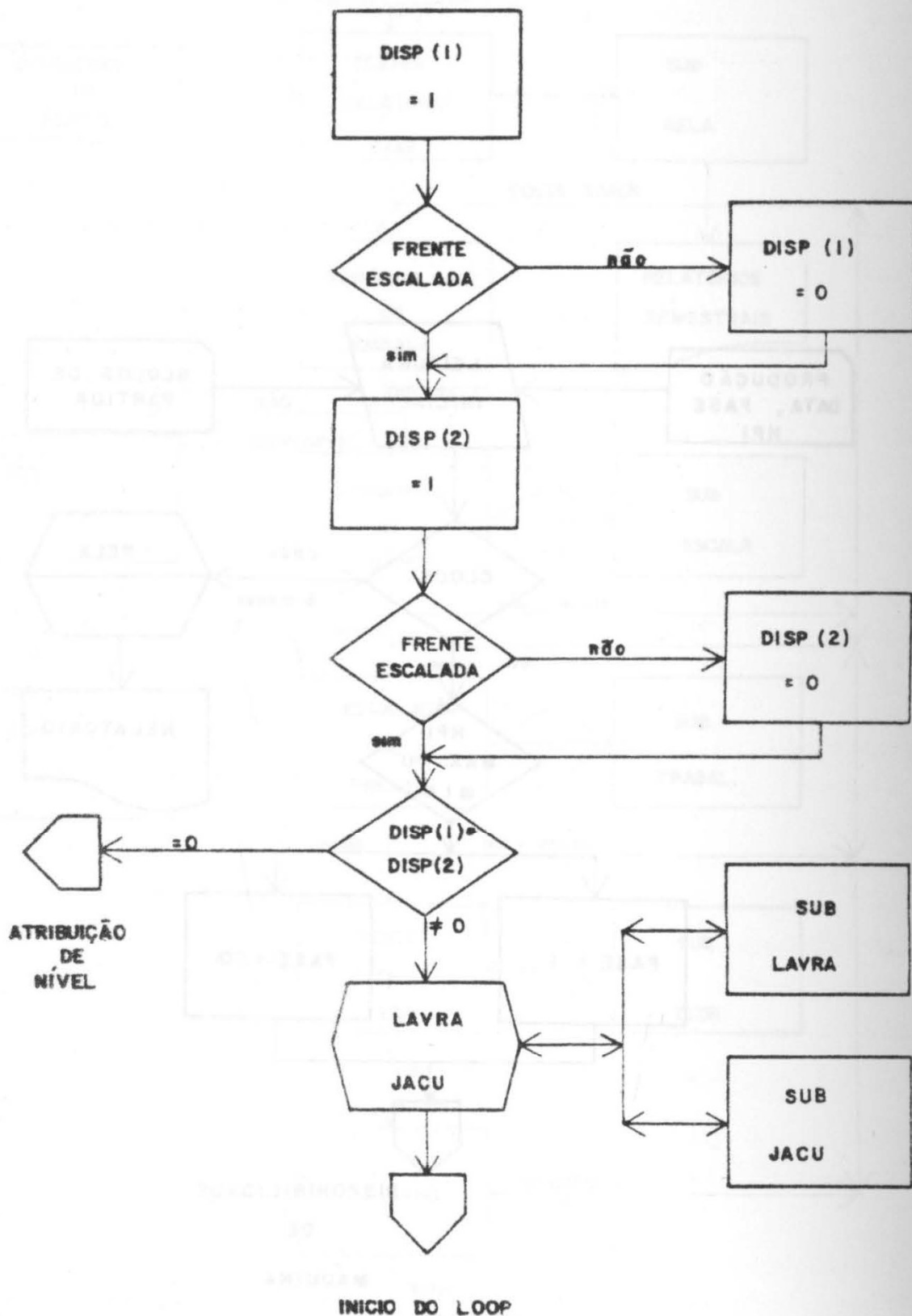


FIG. II — DISPONIBILIDADE DE MÁQUINA

nação de prioridades é feita no corpo de rotina, seguida da escalção de níveis pela subrotina ESCALA, simultaneamente com a determinação de DISPT pela análise de DISP.

ESCALA organiza uma tabela de níveis em três campos na matriz NIVEL. A localização de uma bancada em um dos campos é feita pela análise de TIPO e o posicionamento dentro de cada campo é feito segundo a sequência de desmonte admitida. Quando o primeiro campo é vazio (nenhum nível) o segundo campo torna-se prioritário, seguindo-se o terceiro (se houver); não existindo nenhum nível em nenhum campo, subrotina torna nula a variável - KEY.

ATRIBUIÇÃO DE NÍVEL desvia o processamento para RETORNO quando constata KEY = 0 (Figura 12).

- ESCALAÇÃO DE FRENTE.

É sempre executada, para as máquinas em disponibilidade, no nível prioritário, indicado por NÍVEL.

A escalção é tentada na subrotina TRABAL em FRENTEs perpendiculares ao eixo principal da jazida, compostas com 8 a 11 blocos segundo regras geométricas. São feitas tentativas, linha a linha, até o limite de cava do nível, com dois sentidos de composição. Quando nenhuma frente é escalável, torna-se KEY nula, caso contrário os blocos são registrados na matriz SERV, escaninho de produção.

Para KEY = 0, ESCALAÇÃO DE FRENTE desvia o processamento para RETORNO.

- TESTE DE TEOR.

Os testes de teor são executados na subrotina TEOR (Figura 14), com apoio de TESTE DE TEOR (Figura 13).

O tipo de teste é definido no corpo da rotina e a informação é registrada em KEY, isto é, KEY = 2, teste de P_2O_5 e KEY = 1 teste de MgO. Na rotina há ainda composição dos teores dos blocos das frentes na matriz AUX.

Em TEOR, os teores são testados em AUX de dois modos:

- Blocos na frente da máquina com DISP = 0, três a três segundo KEY;
- Blocos das duas frentes, correspondendo à homogeneização três a três.

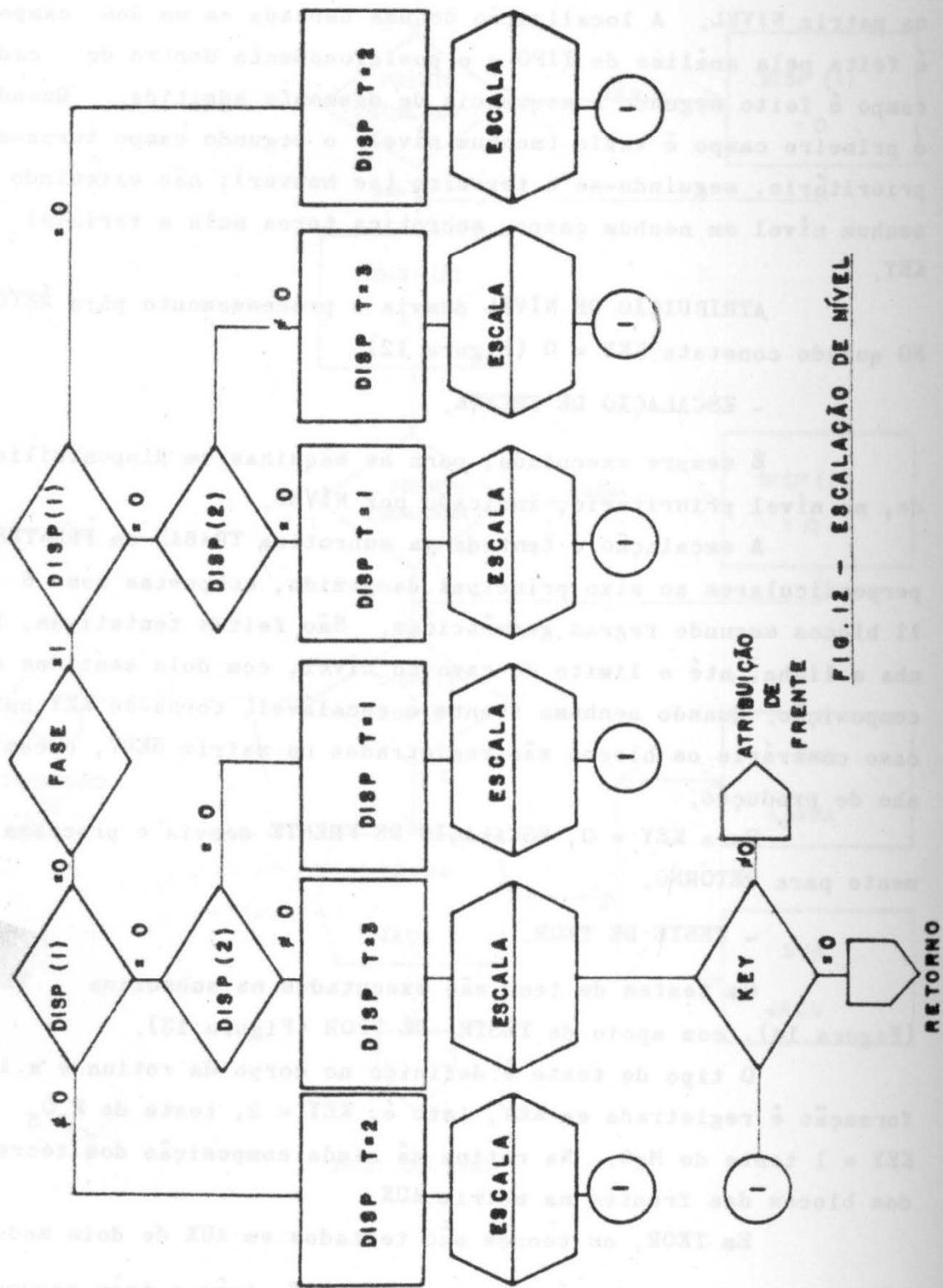


FIG. 12 - ESCALAÇÃO DE NÍVEL

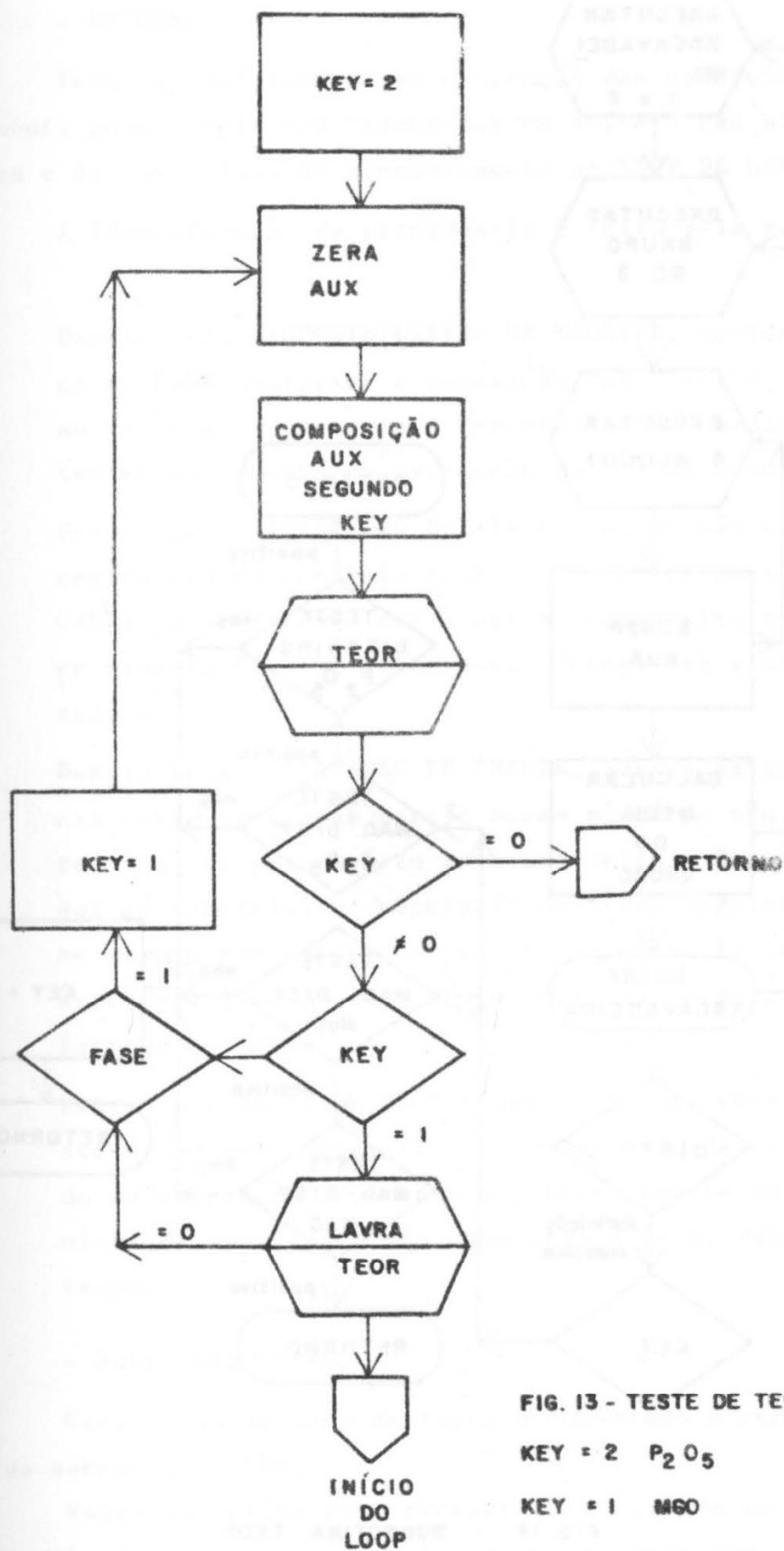


FIG. 13 - TESTE DE TEOR

KEY = 2 P₂O₅

KEY = 1 MgO

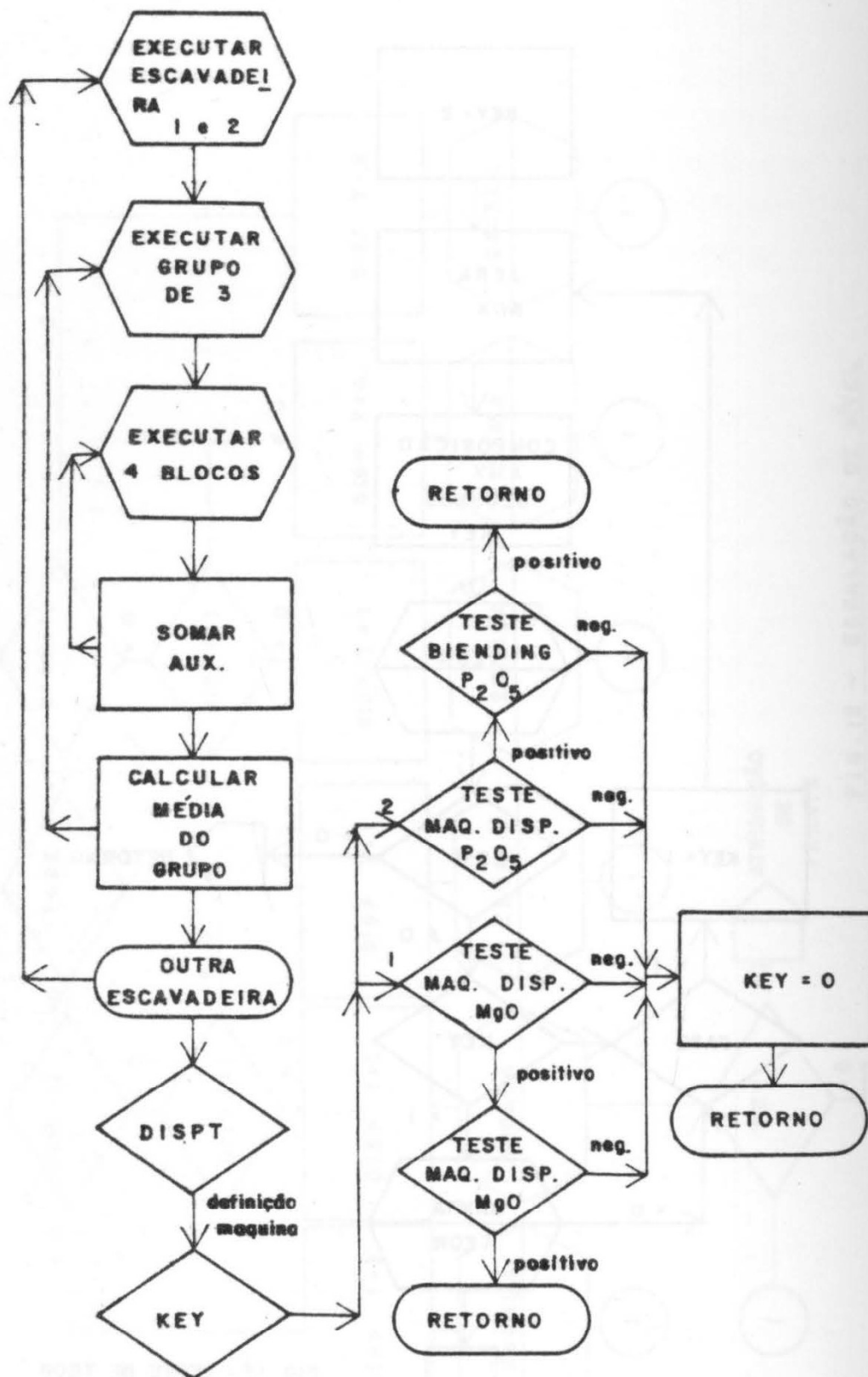


FIG. 14 - SUBROTINA TEOR

Qualquer teste negativo leva KEY = 0 e impele TESTE DE TEOR a desviar o processamento para RETORNO, que no caso oposto chama LAVRA e JACU e endereça o processamento para INICIO DO LOOP.

- RETORNO.

Todas as iniciativas de alteração das condições fixadas inicialmente pelo modelo são executadas em RETORNO que altera as condições e devolve fluxo do processamento ao LOOP DE LAVRA.

A identificação de procedência é feita pela variável KEY:

- KEY = 0 Desvio pela DISPONIBILIDADE DE MÁQUINA, devido a mudança de FASE posterior à escalação das frentes; neste caso retorna-se no tempo e reproduz-se as condições existentes no momento da escalação da última máquina.
- KEY = 1 Desvio pela ATRIBUIÇÃO DE NÍVEL, quando não há níveis escaláveis na condição FASE = 1, considera-se MINA TRANSCADA; para FASE = 0 com a outra escavadeira trabalhando em minério Tipo 1, retorna-se o tempo até a última escalação.
- KEY = 2 Desvio pela ATRIBUIÇÃO DE FRENTE, quando as duas máquinas estão escaladas para o mesmo nível ou não há frente no nível prioritário para uma delas. Nos dois casos há tentativa de escalação do nível seguinte no mesmo campo, não existindo tentativa de escalação do primeiro nível no próximo campo, caso não seja possível, retorno no tempo.
- KEY = 3 Desvio por TESTE DE TEOR quando a frente escalada não atende ao teor especificado, tenta-se mudança de sentido de escalação de frente e posteriormente mudança de nível de escalação, não existindo níveis, retorno no tempo.

- Subrotina LAVRA.

Cada ciclo de loop de lavra é encerrado e recomeçado através da subrotina LAVRA.

Nesta subrotina está previsto o arquivamento de todos os dados relativos à operação de lavra, o que permitem reconstituir as situações passadas na rotina RETORNO e a acumulação dos blocos lavrados como registro de produção. Além da função de ar-

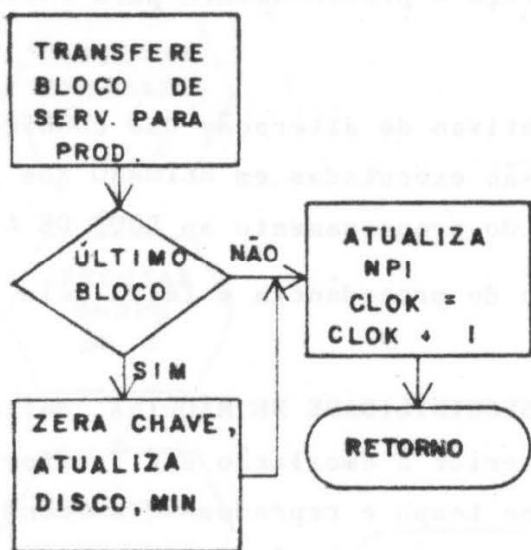


FIG. 15 - SUBROTINA LAVRA

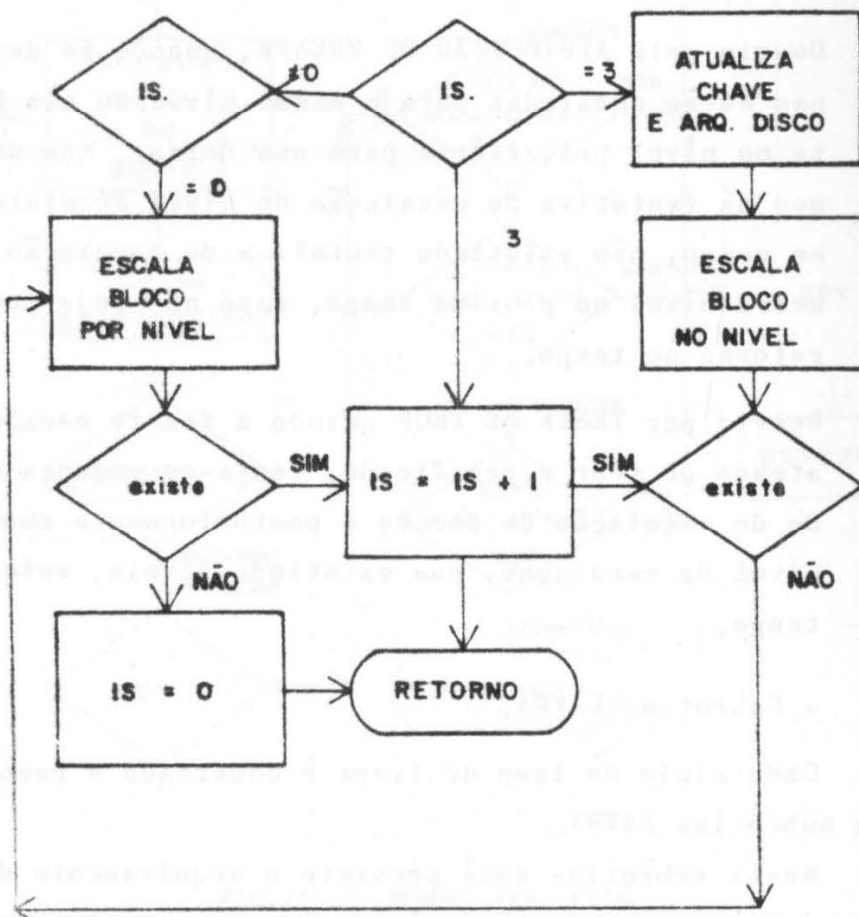


FIG. 16 - SUBROTINA LAVRA

quívamento, esta subrotina promove as alterações do nível da pilha do cimento, o incremento do tempo e a lavra dos blocos escalados.

A lavra propriamente dita, é feita quando constatado o esgotamento de cada frente anteriormente escalada, e nesta operação, que consiste em zerar os valores de CHAVE relativos aos blocos lavrados, é feita a atualização dos dados de blocos livres e de periferia nos registros do arquivo de disco e na matriz MIN (Figura 15).

- SUBROTINA JACU.

Basicamente seu funcionamento prevê a escalação de blocos de jacupiranguito e sua lavra, que é executada de modo semelhante à dos blocos de minérios na subrotina LAVRA. Os blocos lavrados são acumulados em arquivos.

A escalação de blocos faz-se sem constituição rígida de frente, apenas dando prioridade a blocos adjacentes e do mesmo nível dos blocos de jacupiranguito da escalação anterior. Quando não há blocos periféricos e livres nesta condição, JACU procura blocos em outros níveis, dando prioridade aos níveis superiores, a fim de liberar minério para a lavra. Se nenhum bloco da jazida preencher os requisitos num ciclo de loop, nenhum bloco é escalado e o valor de IS, variável que controla a taxa de retirada de jacupiranguito, permanece inalterado; no próximo ciclo a subrotina tenta nova escalação (Fig. 16).

- Subrotina REL A.

Nesta subrotina, estão localizados os comandos que fornecem os outputs do programa. Através de comparação com CLOCK o programa chama esta subrotina cada semestre de produção (calculado em INICIO DO LOOP) para imprimir relatórios. Está prevista a impressão dos avanços de lavra, fornecidos pelas coordenadas dos blocos lavrados por cada máquina, da FASE de lavra, do nível final da pilha de cimento e dos teores médios de produção, a cada mês (Figuras 17 e 19) assim como as plantas dos níveis localizando os blocos lavrados (Figuras 18 e 20) acompanhadas de cubagem.

ANO RELATIVO 1

XXXXXXXXXXXXXXXXXANO INICIAL 75
 XXXXXXXXXXXXMES 1 -

NIVEL INICIAL DA PILHA 70400 T
 FABRICA CIMENTO USANDO PILHA DE ESTOQUE
 NIVEL DE TRABALHO

	MAQUINA 1	MAQUINA 2
	140	120
BLOCOS P/ LAVRA -		
	O 21	N 7
	P 21	M 8
	J 22	L 8
	K 22	K 8

NIVEL INICIAL DA PILHA 50800 T
 BLENDING P/ FABRICA DE CIMENTO
 NIVEL DE TRABALHO

	MAQUINA 1	MAQUINA 2
	130	120
BLOCOS P/ LAVRA -		
	P 12	N 8
NIVEL PILHA NO FIM- 56400 T		
PRODUCAO - MES		
TECRES- MGO 3.59 P205- 4.49 TONELADAS 175000.0		

REMOCAC DE JACUP. DO MES- BLOCOS-

NIVEL190 BLOCO L 33
 NIVEL190 BLOCO M 33
 NIVEL190 BLOCO N 33

XXXXXXXXXXXXMES 2 -

NIVEL INICIAL DA PILHA 56400 T
 BLENDING P/ FABRICA DE CIMENTO
 NIVEL DE TRABALHO

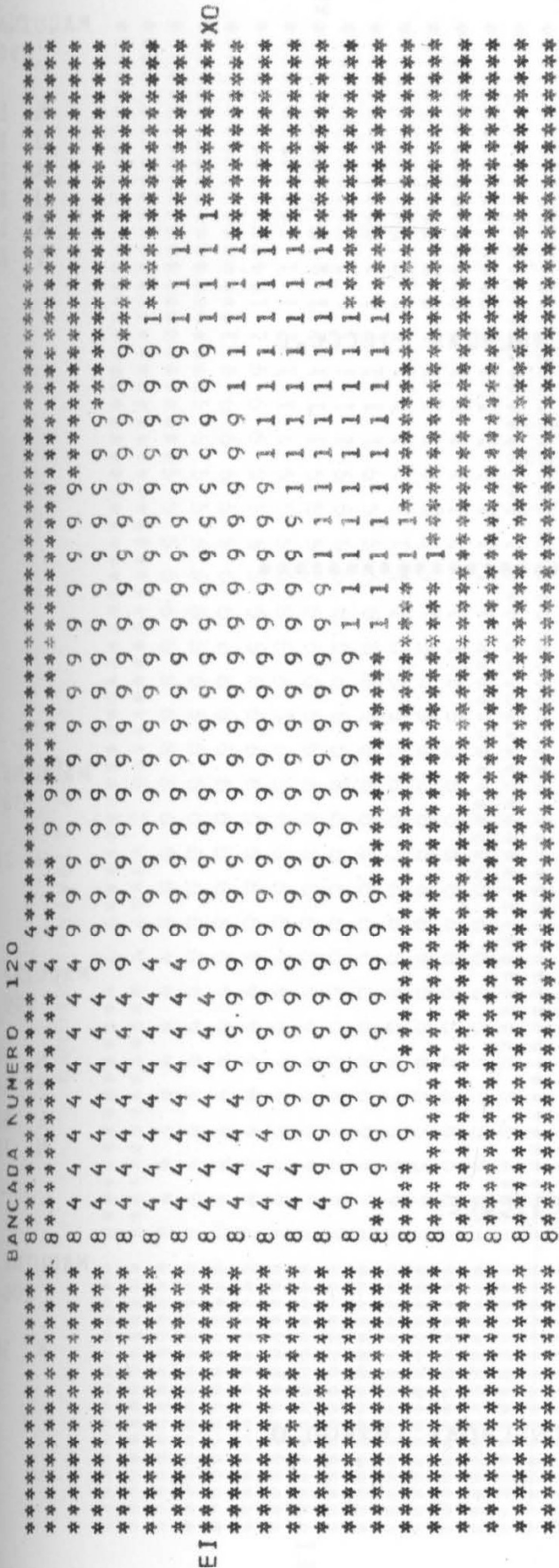
	MAQUINA 1	MAQUINA 2
	130	120
BLOCOS P/ LAVRA -		
	P 13	J 9
	O 14	K 9
	P 14	L 9

NIVEL INICIAL DA PILHA 73200 T
 BLENDING P/ FABRICA DE CIMENTO
 NIVEL DE TRABALHO

	MAQUINA 1	MAQUINA 2
	130	120
BLOCOS P/ LAVRA -		
	N 15	M 9
	M 15	N 9
	L 15	O 9
NIVEL PILHA NO FIM- 90000 T		
PRODUCAO - MES		
TECRES- MGO 2.72 P205- 4.76 TONELADAS 210000.0		

REMOCAC DE JACUP. DO MES- BLOCOS-

NIVEL190 BLOCO K 34
 NIVEL190 BLOCO L 34
 NIVEL190 BLOCO M 34



CUBAGEM ATUAL-INICIAL
 BLENDAVEL-TEORES-MGO 2.97 P205- 4.69 TONELADAS- 3500000.0
 NAO BLENDAVEL- TEOR P205 4.66 TONELADAS- 1277500.0

PLANTAS E CUBAGEM

LEGENDA

- 1,2,3=TIPOS DE MINERIO
- 4=JACUPIRANGUITO OU NAO PESQUISADO
- 9=BLCCC TRANCADO
- **=BLOCO NAO EXISTENTE
- 8=LIMITE DE LAVRA

FIG. 17 - SAIDA REFERENTE À CUBAGEM INICIAL

XXMES10 -

NIVEL INICIAL DA PILHA 109600 T
BLENDING P/ FABRICA DE CIMENTO
NIVEL DE TRABALHC

MAQUINA 1
120
BLOCCS P/ LAVRA -
M 6
L 7
K 7
J 7
I 7
M 7

MAQUINA 2
130
K 17
J 18
K 18
J 19
K 19
I 20

NIVEL FILHA NO FIM- 143200 T
PRDDUCAC - MES

TECRES- MGO 2.94 P205- 5.10 TONELADAS 210000.0

REMCCAC DE JACUP. DO MES- BLOCCS-

NIVEL200 BLOCC L 34
NIVEL200 BLOCC M 34
NIVEL200 BLOCC K 35
NIVEL200 BLOCC L 35

XXMES11 -

NIVEL INICIAL DA PILHA 143200 T
BLENDING P/ FABRICA DE CIMENTO
NIVEL DE TRABALHC

MAQUINA 1
120
BLOCCS P/ LAVRA -
I 8

MAQUINA 2
130
H 21

NIVEL INICIAL DA PILHA 148800 T
BLENDING P/ FABRICA DE CIMENTO
NIVEL DE TRABALHC

MAQUINA 1
120
BLOCCS P/ LAVRA -
J 8
H 9
G 9
I 9

MAQUINA 2
200
N 34
M 35
L 35
N 35

NIVEL INICIAL DA PILHA 129200 T
FABRICA CIMENTC USANDO PILHA DE ESTOQUE
NIVEL DE TRABALHC

MAQUINA 1
140
BLOCCS P/ LAVRA -
P 19

MAQUINA 2
200
K 36

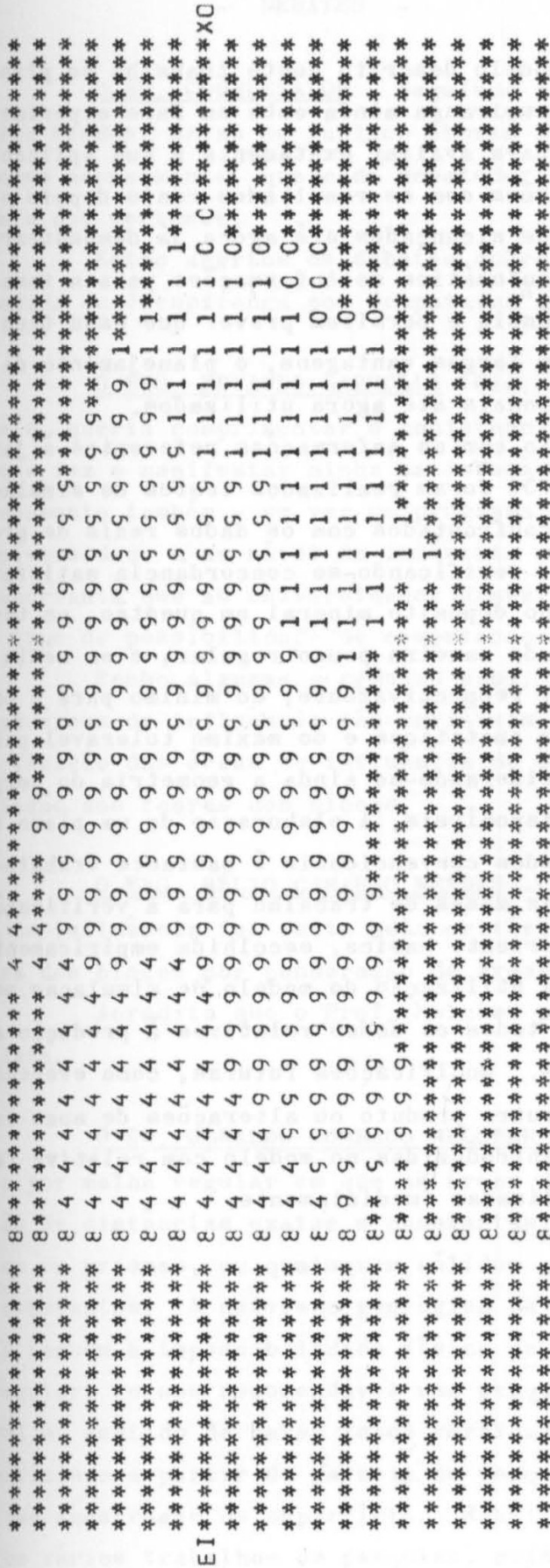
NIVEL PILHA NO FIM- 120800 T
PRDDUCAO - MES

TEORES- MGO 2.85 P205- 5.41 TONELADAS 192500.0

REMOCAO DE JACUP. DO MES- BLOCCS-

NIVEL200 BLOCO L 35
NIVEL190 BLOCO M 31
NIVEL190 BLOCO N 31
NIVEL190 BLOCO L 32

BANCADA (=NIVEL) 120



CUBAGEM ATUAL-FIM DO PERIODO
 BLENDAVEL/TECRES-MGC2.98 P205- 4.67 TONELADAS- 3430000.0
 NAO BLEN DAVEL/ TEOR P205 4.66 TONELADAS- 12775CC.C

PLANTAS E CUBAGEM

LEGENDA

- 0=LAVRADO NO PERIODO
- 1,2,3=TIPO DO MINERIO
- 8=LIMITE DE LAVRA
- 4=JACUFRANGUITO QU N. PESQUISADO
- **=BLOCO N. EXISTENTE
- 7=JACUP. REMOVIDO NO PERIODO

FIG. 20 - SAIDA CORRESPONDENTE AO SEGUNDO SEMESTRE DE 1974

CONCLUSÃO.

A utilização do modelo descrito neste trabalho no planejamento da lavra da jazida de Jacupiranga ainda está em fase experimental e não houve tempo suficiente para avaliar exatamente a sua aplicabilidade, confrontando suas previsões com os resultados reais depois obtidos. Entretanto, alguns resultados alcançados até agora já demonstraram a utilidade do processamento automático de informações para a tomada de decisões práticas de importância e permitem prever que essa técnica substituirá futuramente, com largas vantagens, o planejamento da lavra feito pelos métodos convencionais até agora utilizados.

Alimentado o modelo com as informações referentes à jazida, atualizadas até julho de 1973, foram realizados testes de simulação cujos resultados puderam ser confrontados com os dados reais de produção obtidos nos meses seguintes, verificando-se concordância satisfatória.

Como foi exposto no depósito mineral em questão, os teores de P_2O_5 e MgO se distribuem de maneira pouco regular, e em média, possuem valores muito próximos, respectivamente, do mínimo para a produção desejada de concentrados apatíticos e do máximo tolerável para a fabricação de cimento. Considerando-se ainda a geometria do corpo de minério e os equipamentos disponíveis, a elaboração de um plano de lavra satisfatório pelos métodos convencionais é bastante trabalhoso, requerendo pelo menos um a dois meses de trabalho para a verificação da viabilidade de apenas uma variante básica, escolhida empiricamente.

Em contrapartida a utilização do modelo de simulação permite estabelecer em poucas horas todos os dados relativos à produção a ser obtida em prazos pré-fixados. Modificações futuras, como eventual aumento da produção de um ou outro produto ou alterações de suas especificações, também podem ser introduzidas no modelo com relativa facilidade e as consequências analisadas imediatamente.

- DEBATES -

O SR. COORDENADOR - Seguindo à conferência do Eng. Hélio Camargo Mendes, deixo ao público aberta a palavra para debate pedindo, como normalmente, que cada debatedor decline o seu nome e a empresa a que pertence.

Estão abertos os debates sobre "Planejamento da Lavra da Jazida de Jacupiranga por Computador".

O ENG. EDUARDO GAZZOLLA (Cia. Vale do Rio Doce) - Inicialmente, queria cumprimentar o conferencista pela brilhante exposição que fez e manifestar minha satisfação - trabalho nessa área de planejamento também - em ver um programa deste tipo, feito ao nível de universidade e ao nível de indústria simultaneamente. Acho muito importante que as universidades despertem os profissionais para esse tipo de possibilidade de computação aplicada à mineração.

Tenho algumas perguntas aqui. Inicialmente, você falou que as áreas de influência são variáveis. Queria saber o critério para fixação das áreas de influência de sondagem e o critério para avaliação dos teores dos blocos.

O ENG. HÉLIO CAMARGO MENDES - Pois não. A fixação das áreas de influência foi feita pelo critério de meias distâncias e os teores dos blocos por ponderação de áreas de influência.

Acredito que o Prof. Melcher possa dar informação mais completa.

O DR. GERALDO CONRADO MELCHER - Essa pesquisa não foi feita por malha regular em que as áreas de influência se dividem em função de distâncias exatas e constantes, do que resultariam, então, blocos ou prismas, ou quaisquer sólidos geométricos de dimensões sempre constantes. A natureza geológica da jazida, a variação de teores e também a impossibilidade física de executar malha absolutamente regular, tornou recomendável uma pesquisa bastante variável. Variável no sentido de haver furos verticais, horizontais, a partir da superfície e a partir de galeria de pesquisa, ainda em conjugação com uma amostragem de superfície. Resulta disso que a distância entre os vários trabalhos de pesquisa, evidentemente, não era constante. Para fazer a cubagem, a jazida foi dividida em níveis de 10 metros de altura, o que corresponde à altura das bancadas, e sobre ca

da nível se traçou áreas de influência obedecendo aproximadamente às meias distâncias, se bem que não era possível fazer isso de maneira rigorosa porque, evidentemente, um nível era atravessado perpendicularmente por um furo vertical, de maneira oblíqua por um furo inclinado e às vezes era totalmente perfurado por um furo horizontal. Era preferível, então, dividir cada uma dessas fatias horizontais de maneira a obedecer o critério de meias distâncias na medida do possível, mas evidentemente fazendo algumas simplificações e aproximações.

O ENG. EDUARDO GAZZOLLA - O nível mínimo de planejamento seria, a médio prazo, de seis meses. Então, a minha pergunta seria: você faz planos duas vezes por ano ou seis meses adiante?

O ENG. HÉLIO CAMARGO MENDES - As duas alternativas são válidas. Não temos resultado definitivo, na aplicação do modelo em planejamento. Mas, previu-se simular o modelo cada seis meses, planejando-se para os seis meses adiante, tendo anteriormente definida uma meta, através de simulação de alternativas de lavra.

O ENG. EDUARDO GAZZOLLA - Outra dúvida que eu tive, durante o projeto, foi quanto à dimensão do bloco. Pela projeção do mesmo, tive a impressão que os blocos eram excessivamente grandes, mas, a título de informação, o nosso tamanho de bloco, na Vale, é equivalente à produção de uma escavadeira, em uma semana. De modo que é praticamente o mesmo; são quatro blocos lavrados em cada máquina por mês.

O ENG. HÉLIO CAMARGO MENDES - A média seriam cinco blocos, por escavadeira, em cada mês, no caso do nosso modelo.

O ENG. EDUARDO GAZZOLLA - O que não entendi foi o problema da pilha de homogenização. Você trabalha com a blendagem até completar uma certa pilha? Seria um sub-período de tempo global?

O ENG. HÉLIO CAMARGO MENDES - Trabalhamos com o máximo e o mínimo. Para condição de se alimentar a pilha, atingimos o máximo. O mínimo é definido por um tempo de segurança de operação e o máximo, por limitação física.

O ENG. EDUARDO GAZZOLLA - Em termos de dimensão ou de qualidade?

O DR. GERALDO CONRADO MELCHER - Há duas pilhas, ou melhor, existem várias pilhas. Um conjunto de duas pilhas de homogeneização da usina de tratamento, enquanto uma é alimentada, a outra é retomada, mas quando se falou sobre pilha de cimento, não se referiu a essa pilha. Ocorre que os rejeitos são simplesmente armazenados sem que haja um sistema de homogeneização. Porque, na época em que se trabalha obtendo rejeitos com alto MgO descarta-se o material que não serve para a fábrica de cimento. Então, é simples - mente uma questão de obter volume suficiente para atravessar períodos em que se lava material com alto MgO.

Há, portanto, dois tipos de pilhas, bem distintos, ele estava sempre se referindo à pilha de alimentação da fábrica de cimento.

O ENG. ULYSSES DE FREITAS - (Vale do Rio Doce) - Inicialmente, queria chamar atenção para um problema. O que aconteceu à técnica de computação aplicada? Foi técnica e matemática que existe para fazer planejamento? Deu-se uma distância muito grande à parte do planejamento em si. Estou sentindo cada vez mais na pele o problema do bloco, a precisão do teor do bloco. Você não tem precisão no bloco. Neste ponto, queria chamar atenção para botar mais um pé no chão. Testar mais a qualidade do bloco bruto, testar mais modelos em termos de resultados.

O ENG. HÉLIO CAMARGO MENDES - Certo. Essa consideração foi feita e partiu-se da seguinte premissa: que o planejamento manual parta também da pesquisa. Então, o modelo usado tem praticamente o mesmo nível de confiança. Isso foi encarado.

O ENG. JOSÉ LUIZ BERALDO - (Serrana) - Esse é evidentemente o dilema com que sempre se defronta não só usando técnica de computação mas fazendo qualquer tipo de planejamento. Não se sabe até que ponto a pesquisa é fidedigna num trecho limitado. Precisamos resolver isso sob compromisso. Nós não podemos fazer malha de sondagem de 10 em 10 metros em nenhuma jazida. No caso da Vale do Rio Doce sabemos que não seria exequível, como não exequível em nenhuma outra companhia. Então, nós temos que usar a técnica de computação aplicando-a aos melhores dados de que dispomos. Ninguém faz pesquisa geológica de uma jazida com detalhe necessário para planejamento da lavra detalhada. Isso não é possível.

O que é preciso, é fazer pesquisa tão boa quanto possível, mas que satisfaça com mínimo dispêndio às necessidades da lavra global. Surge, pois, o problema do planejamento detalhado aqui, mas isso tem que ser complementado de várias maneiras, como foi mencionado aqui, com o confronto tão detalhado quanto possível dos resultados obtidos na usina de concentração e os resultados previstos pela lavra. Se esses resultados são concordantes, a pesquisa inicial foi suficiente. Mas se esses resultados divergem excessivamente dentro de período curto ou médio, é preciso realizar qualquer outro tipo de trabalho de pesquisa adicional ou, então, adquirir certa margem de segurança relativamente folgada, como margem de erro no planejamento. Essas são as únicas opções que se dispõe. Caso contrário resultaria em excesso completamente injustificado do ponto de vista econômico no trabalho de pesquisa. Agora, no nosso caso particular, temos a confiança de que embora não havendo coincidência exata de todos os blocos com os resultados previstos, de uma maneira geral, o que se pode observar, há segurança bastante boa, pelo menos a médio prazo.

O SR. RUDI BRAZ GOERCY - (Mina Itapiranga) - A USP poderia, através do seu departamento auxiliar os outros Estados, em plano de pesquisa e planejamento?

O DR. GERALDO CONRAÇO MELCHER (EPUSP) - Certamente, não há nenhuma restrição geográfica. Pode ser no Estado de São Paulo ou em qualquer outro Estado. Em princípio, acredito que não seja função da USP realizar trabalho dessa natureza, mas, desde que tenha um caráter pioneiro de investigação e seja de real utilidade, não só para a indústria, mas, sobretudo para o desenvolvimento desse tipo de pesquisa e também para a docência, isso pode ser feito. De minha parte e da parte dos outros docentes, haveria toda a boa vontade em atender a outras solicitações.

O DR. PAULO ABIB ANDERY - Quero cumprimentar o Hélio pela excelente forma de apresentação do trabalho. Certamente é uma satisfação para mim, por todos os motivos. Eu pediria apenas a ele que me diga se, na simulação já feita, está sendo levada em conta, eventualmente, uma realimentação dos dados efetivamente levantados na lavra dos bancos simulados, de forma a que se possa, de certa maneira, computar as diferenças verificadas. Não sei se o computador teria capacidade de melhoria para um trabalho como esse.

E, ao lado disso, gostaria que me explicasse o seguinte: parece que você disse duas vezes que o projeto inicial previa uma lavra as-

cedente. Dos níveis inferiores para os superiores, e que, através da computação, chegou-se à conclusão que ela deveria ser descendente. Sempre tem que ser descendente. Talvez fosse conveniente esclarecer o auditório que existe alguma liberdade de opção nas bancadas que, na topografia inicial, estão, digamos, descobertas, em relação às outras, e poderiam ser lavradas durante um longo tempo, sem se tocar nas bancadas superiores. Da maneira como você falou, daria a impressão que haveria uma opção. Infelizmente, não existe essa opção, na lavra a céu aberto; somente na lavra subterrânea.

O ENG. HÉLIO CAMARGO MENDES - É possível ser feito, mas ainda não o foi. O que se pensa é fazer uma análise, olhando os resultados e comparando os dados de produção com dados do modelo, isso manualmente. Poderia ser feito por computador.

O DR. PAULO ABIB ANDERY - Provavelmente, nas primeiras passadas do modelo, podem ter passado porções que já foram efetivamente lavradas. Mas, evidentemente, é uma pergunta de quem está de fora do programa. Pode não ser sequer viável, por tempo ou por capacidade do computador.

O ENG. HÉLIO CAMARGO MENDES - Isso seria perfeitamente viável, só que teria que ser estudado durante pelo menos seis meses.

O ENG. JOSÉ LUIZ BERALDO (Serrana) - Anteriormente à tentativa feita com êxito de colocar em computador a programação a médio prazo, foi feito pela Serrana durante praticamente meio ano, um estudo tentando correlacionar teores dos blocos com teores obtidos na lavra das frentes de desmonte, através de amostragem na frente, estudo dos teores obtidos por amostragem da perfuratriz com amostrador que existe, conforme os senhores puderam ver na exposição do engenheiro Wander, na entrada da pilha de estocagem.

Isso mostrou que para médio prazo, os teores anotados para os blocos, servem para controle deste médio prazo, desde que lavrando um bloco mantenha-se o controle de curto prazo na confecção de cada pilha, analisando o teor na entrada da pilha de estocagem. Com isso pode-se verificar um bloco a partir da produção que vem de uma e outra escavadeira e se consegue perfeitamente, a curto prazo, operar na pilha o teor desejado.

Eu acho que isso também poderia responder à pergunta feita anteriormente e que mostra que para isso, para a Serrana, pelo menos atualmente, não parece ser necessário aumentar o detalha-

mento da pesquisa para que essa programação por computador dê bons resultados na escalação de frentes que dariam uma melhor programação do trabalho de escavadeiras, de acordo com os resultados que se pretende a médio prazo. É só isso.

O ENG. ULYSSES DE FREITAS (Cia. Vale do Rio Doce) - Por essa observação pude depreender que a colocação da escavadeira pode ser feita em função do pó mostrado na perfuratriz. Nessas condições, um bloco pode ser lavrado metade minério, metade rejeito. Isto está considerado no modelo?

O ENG. HÉLIO CAMARGO MENDES - Acredito que o Engenheiro Beraldo possa dar informação detalhada sobre isso.

O ENG. JOSÉ LUIZ BERALDO (Serrana) - Pode ser mudada a escavadeira com relação à frente e na usina de Jacupiranga não temos essa possibilidade de passar de minério para rejeito. Aliás, a programação feita pelo computador, de médio prazo, existe exatamente para colocar essa escavadeira numa situação tal que se obtenha, durante o prazo que se deseja, o minério com teor certo, através de blendagem com escavadeira colocada noutra frente.

O SR. COORDENADOR - Devido ao avançado da hora devemos encerrar os debates.

Desejo nesta oportunidade me parabenizar com o Eng. Hélio Camargo Mendes por essa brilhante exposição, por essa demonstração de uma integração entre uma empresa e uma universidade que ficou bastante patente durante estas discussões e também pelo trabalho excelente trazido a este IV Simpósio de Mineração.

Muito obrigado a todos.