

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – LAVRA EM TIRAS

A escolha do método de lavra é uma das decisões mais importantes que são tomadas durante o estudo de viabilidade econômica. Na fase de planejamento, a seleção é baseada em critérios geológico, social, geográfico e ambiental, todavia as condições de segurança e higiene devem ser garantidas durante toda a vida útil da mina. Os aspectos relativos à estabilidade da mina, à recuperação do minério e à produtividade máxima também devem ser considerados.<sup>[7]</sup>

Numa etapa de maior detalhe, pode constituir-se como fator preponderante para uma resposta positiva do projeto. A seleção imprópria tem efeitos negativos na viabilidade da mina. Comumente o método de lavra é designado como sendo a técnica de extração do material. Isso define a importância de sua seleção, já que todo o projeto é elaborado em torno da técnica utilizada para lavar o depósito. Os trabalhos de infraestrutura estão diretamente relacionados com o método. Embora possam ocorrer modificações durante os serviços de lavra, implicando custos adicionais, essas alterações, geralmente, não produzirão um projeto ótimo em termos de eficiência operacional, porém, caso seja imperioso essa mudança, será preciso estabelecer um método que possua maior flexibilidade em termos de variações na técnica de extração. O emprego do termo "técnica de extração" reflete os aspectos técnicos da seleção do método, que é parte fundamental da análise, dimensionamento dos equipamentos, disposição das aberturas e seqüência de lavra.<sup>[7]</sup>

A lavra por tira (*strip mining*) é um método utilizado principalmente para mineração de camadas pouco profundas, subhorizontais e com grande extensão e volume. É muito usada em diversos setores de lavra a céu aberto que apresentam depósitos de formação sedimentar, como bauxita e carvão.

O sistema de lavra em tiras consiste em remover o estéril de uma faixa ou bloco a ser lavado, para uma faixa ou bloco que já foi lavrada. Com isso, tem-se uma minimização na distância de transporte do estéril e facilitação da exposição do minério, bem como agilidade nos processos de recuperação ambiental.

Nesse sistema de lavra são usados equipamentos de terraplenagem de grande porte como tratores de esteira CAT D11R, escavadeiras hidráulicas LIEBHERR 994R, escavadeiras CAT 365 CL E DRAG LINE.

No Brasil, o *strip mining* é utilizado na lavra de folhelho pirobetuminoso – xisto para produção de óleo, em São Mateus do Sul (PR), de carvão a céu aberto de Candiota (RS) e de bauxita em Trombetas e em Paragominas.



usados em nosso dia a dia). Onde são necessárias cerca de cinco toneladas de bauxita para a produção de duas toneladas de alumina, que por sua vez gera uma tonelada de alumínio.<sup>[2]</sup>

Sendo constituída principalmente por:

- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (gibbsítica)
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematita)
- $\text{FeO}(\text{OH})$  (goethita ou limonita)
- $\text{SiO}_2$  (quartzo)
- $\text{TiO}_2$  (anatásio)
- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (caulinita)

No entanto, na bauxita, o alumínio passível de extração pode estar presente principalmente como  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (gibbsítica) e/ou  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (boehmita ou diásporo).<sup>[2]</sup>

Na região de Paragominas, no século XX, as pesquisas de bauxita datam da década de 70, contudo, devido às novas metodologias, principalmente de amostragem, tornou-se necessário uma reavaliação dos platôs da região. Assim, a partir de 2002, a equipe de pesquisa geológica de bauxita da CVRD (Companhia Vale do Rio Doce) iniciou um trabalho de reavaliação de alguns alvos, entre eles Miltônia 3, o mais promissor.<sup>[2]</sup>

A seguir, tem-se um breve histórico dos períodos de pesquisa de bauxita na região.<sup>[2]</sup>

1967 – Descoberta do Distrito Bauxítico do Trombetas.

1971 – Descobertas do Distrito Bauxítico de Paragominas.

1972 – CVRD/DOCEGEO iniciam pesquisa na região de Paragominas.

1973 – Descobertas do Setor Jabuti.

1974 – Descobertas do Setor Gurupi/Futuro.

1978 – Descobertas do setor Camoai(refratário)/Caçador(metalúrgica).

1979 – MRN (Mineração Rio do Norte) inicia operação de Bauxita metalúrgica no Trombetas(Oriximiná).

1982 – Descobertas do distrito Bauxítico do Tiracambu (MA).

1984 – ALBRAS inicia operação da planta de Alumínio em Barcarena (PA)

1991 – CVRD cria ALUVALE para tratar do negócio Bauxita/Alumina

/Alumínio

1995 – ALUNORTE inicia operação da planta de Alumina em Barcarena

2001 – Retomada dos trabalhos em Paragominas com amostragem de 24 t de Bauxita para testes de mineroduto e requerimento de 43 áreas para pesquisa na região.

2002 – Início da pesquisa geológica em Gurupi, Jibóia e Miltônia 3.

2003 – Trabalhos de pesquisa em Miltônia 3, Miltônia 5 e alvos Regionais

2004 – Continuidade nos trabalhos de pesquisa em alvos regionais de Tiracambú e Paragominas, e de detalhe e semi-detalhe em Miltônia3 e Miltônia5.

Ao término das atividades iniciais de pesquisa e estudos de viabilidade econômica, é dado início às operações de lavra e beneficiamento. Por apresentar uma distribuição horizontalizada, o método de lavra empregado na mina será o de lavra em tiras, pois o mesmo traz características mais viáveis e proporciona uma rápida recuperação da área degradada. Em seguida, o minério é beneficiado e mandado para refinarias da Alunorte, através de um mineroduto, sob a forma de polpa que posteriormente será transformado em alumina e alumínio.

Entretanto, para o sucesso econômico de qualquer empreendimento, faz necessário um detalhado acompanhamento dos mais variados setores da produção, permitindo com que os mínimos pontos de falha sejam detectados e corrigidos, impedindo assim, um acúmulo desnecessário nas perdas de produtividade.

O conceito de produtividade vai além dos aspectos restritos ao processo de produção, pois a geração de valor também depende fundamentalmente das demais etapas do processo produtivo. <sup>[3]</sup>

A afirmação permite inferir que tanto falhas na área de lavra, quanto no beneficiamento e no transporte do minério, quando somadas, trarão resultados cada vez mais negativos. Sendo assim, ao se direcionar o enfoque do trabalho para as atividades de lavra, percebe-se que a mesma é subdividida em uma série de processos que merecem atenção dos supervisores, engenheiros e gerentes envolvidos, para que as perdas possam ser corrigidas e cada vez mais minimizadas ao decorrer da lavra.

Dentro do ciclo de atividades das operações de lavra da MBP, encontram-se processos de desmatamento e limpeza das áreas, decapeamento da camada de bauxita, raspagem, carregamento e transporte da laterita, escarificação da camada de bauxita, escavação e carregamento da bauxita, transporte do minério e preparo para reabilitação. Tais processos são realizados por tratores de esteira e de pneus, escavadeiras, pás carregadeiras, caminhões basculantes e com o auxílio dos equipamentos de infra-

estrutura. A operação sincronizada e de acordo com o planejamento de lavra, garante bons resultados de produtividade. Entretanto, assim como diversas outras minas, a MBP trabalha com o sistema de rotação de turnos, ou seja, movimentação dos operadores em três períodos do dia, o que garante uma produção contínua e mais elevada. Mas, falhas durante essas movimentações comprometem diretamente o sistema produtivo e, a partir dessa análise, propõem-se nos capítulos a seguir, uma avaliação do sistema de troca de turno da Gerência de Operação de Mina (GAOME) da MBP, bem como a elaboração de novas metodologias que se adéquem ao sistema de lavra e proporcionem ganhos de produção, realização das movimentações dos operadores com segurança e satisfação da equipe de lavra, sendo também mostrado um levantamento geral dos aspectos geológicos da mina e das operações de lavra.

# CAPITULO 1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS DA MINA DE BAUXITA PARAGOMINAS

## 1.1 PLATÔ MILTÔNIA3 (M3)

O distrito bauxítico de Paragominas está localizado na porção noroeste da Bacia do Parnaíba e ocupa a região sul da chamada Plataforma Bragantina, tectonicamente estável desde o Cretáceo. Os sedimentos que afloram nesta plataforma são de idade cretácea, terciária ou quaternária.

Os depósitos de bauxita ocorrem apenas na parte sul da Plataforma Bragantina e originaram de rochas sedimentares continentais fluviais pertencentes às formações Ipixuna/Itapecurú, depositados em clima semi-árido. Eventualmente, ocorrem horizontes bauxíticos relacionados à Argila Belterra.

O perfil laterítico típico, figura 1.9 do platô M3, visualizado na figura 1.10, é representado por: <sup>[2]</sup>

**1.1.1 CAP - Capeamento Argiloso:** camada argilo-arenosa de coloração amarelada (argilas de belterra), com média de 11 metros de espessura. <sup>[2]</sup>

**1.1.2 BN - Bauxita Nodular Pisolítica e/ou Concrecionária:** de acordo com a figura 1.1, é possível notar que a bauxita apresenta-se com forma de nódulos, de coloração amarelada, lilás, avermelhada. Por vezes com pisólitos ferruginosos em meio a canais e bolsões de argila. Os cristais de gibbissita são pequenos, micro a criptocristalizados. <sup>[2]</sup>



Figura 1.1 – BN <sup>[2]</sup>

**1.1.3 BNC - Bauxita Nodular Cristalizada:** visualiza-se na figura 1.2 a Bauxita com forma de nódulos, de coloração predominantemente avermelhada, com cristais de gibbisita visíveis a olho nu. Presença de canais e bolsões de argila avermelhada. [2]



Figura 1.2 – BNC [2]

**1.1.4 LF - Laterita Ferruginosa e/ou Ferruginosa Gibbisítica:** de acordo com a figura 1.3, apresenta uma camada enriquecida em óxido de ferro, de coloração escura. Ocorre como nódulos soltos ou como concreções, por vezes com cimento bauxítico. [2]



Figura 1.3 – LF [2]

**1.1.5 BC - Bauxita Cristalizada:** bauxita de coloração avermelhada, em geral concrecional, dura, com cristais de gibbissita bem desenvolvidos e presença de canais e bolsões de argila avermelhada. Visualiza-se, de acordo com a figura 1.4, uma estratificação/acamamento da rocha mãe.<sup>[2]</sup>

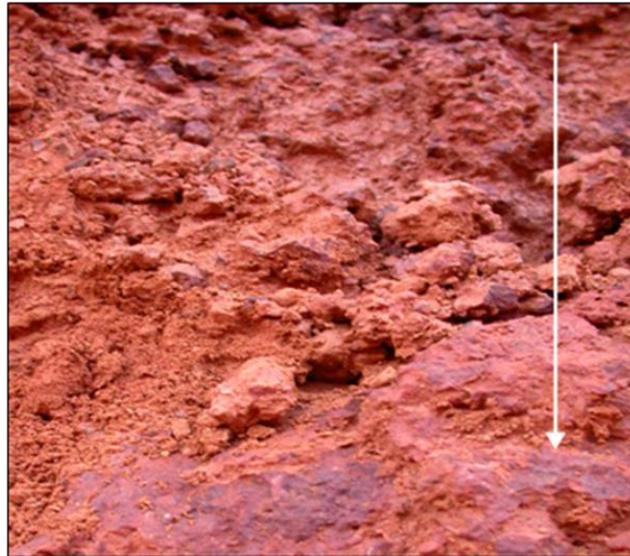


Figura 1.4 – Zona de transição entre a LF e BC <sup>[2]</sup>

**1.1.6 BCBA - Bauxita Cristalizada associada à Bauxita Micro e/ou Criptocristalizada Porcelanada:** é possível observar, nas figuras 1.5, 1.6 e 1.7 uma bauxita de coloração avermelhada, róseo, lilás, com manchas amareladas, esbranquiçadas, podendo ocorrer como concreções duras, como blocos ou como nódulos, em geral possui cristais de gibbissita bem desenvolvidos e presença de canais e bolsões de argila avermelhada ou lilás, por vezes argila caulínica. Frequentemente é possível identificar estratificação/acamamento da rocha mãe. <sup>[2]</sup>



Figura 1.5 – BCBA estratificadas diversas. <sup>[2]</sup>



Figura 1.6 – BCBA típica. <sup>[2]</sup>



Figura 1.7 – BCBA heterogênea. [2]

**1.1.7 BA - Bauxita “Amorfa” Micro e/ou Criptocristalizada Porcelanada Associada à Argila Variegada:** na figura 1.8 tem-se uma bauxita com o ambiente caulinizado do perfil laterítico. O percentual mínimo de bauxita em relação à matriz argilosa, para ser considerada BA, fica em torno de 15% a 20%. Percentuais inferiores recebem a denominação de argila variegada (ARV), contendo traços de bauxita e/ou rocha saprolitizada. [2]



Figura 1.8 – BA e nódulos em ARV [2]

**1.1.8 ARV - Argila Variegada com ou sem Fragmentos Bauxíticos.**



Figura 1.9 - Perfil laterítico típico - Platô Miltônia. [2]



Figura 1.10 - Platô de ocorrência da bauxita – Miltônia3. [2]

De acordo com a Gerência de Geologia e Planejamento da MBP, o principal horizonte bauxítico é a BC e possui, em média, de 25 a 30 % de matriz argilosa. O topo,

em regra, é ferruginoso devido à interface transicional com a LF subjacente. A transição para a fácies subjacente BCBA é representada por uma passagem muito irregular com superfície não definida e muito sinuosa. Além disso, a bauxita cristalizada é caracterizada por:

- Possuir espessura média de 1,5 a 2,0 metros.
- Apresentar nas formas maciça, bloco, nódulo, estratificada e concreção (nódulos ferruginosos com cimento bauxítico).
- Estratigraficamente ocorrer sempre subjacente e concordante com a LF.
- “Granocrescência”, grau de cristalização e a razão bauxita / argila diminuam com a profundidade.
- Conteúdos de alumínio e de ferro diminuam e o da sílica aumentar com a profundidade.

## **CAPITULO 2 - EXTRAÇÃO E TRANSPORTE DO MINÉRIO BENEFICIADO**

A cada ano será lavrada uma área de aproximadamente 240 hectares, com operação inteiramente mecânica, sem o uso de explosivos, onde a produção da bauxita da mina de Paragominas, uma polpa, será enviada para Alunorte, em Barcarena.

### **2.1 MÉTODO DE LAVRA**

As características geométricas e espaciais do depósito de bauxita de Paragominas (ocorrendo em platôs planos, com os corpos mineralizados de espessuras médias não ultrapassando os 2,0 m e em forma tabular e horizontalizado, com capeamentos médios da ordem de 11,45 m no M3), o método de lavra mais indicado é o de lavra em tiras (*strip mining*). Esse método consiste, basicamente, em lavrar a jazida em tiras sucessivas, sendo o estéril da tira sequente lançado na cava resultante da lavra da tira imediatamente anterior. Isso resulta na minimização da distância de transporte do estéril, fator muito importante, em face da elevada relação estéril/minério.

Outra característica relevante é o fato de a área degradada pela lavra poder estar sendo recuperada pouco tempo após a lavra, minimizando os impactos ambientais.

### **2.2 SISTEMA DE LAVRA**

O depósito caracteriza-se por apresentar alta relação estéril/minério (da ordem de 7,6 em volume) e por localizar-se em região com alto índice pluviométrico. Dessa forma o sistema de lavra mais adequado caracteriza-se em dividir a mina (Platô M3) em blocos ordenados de A a K , cada um com 200 metros de comprimentos e lavrados em faixas (tiras) de 25 m de extensão de acordo com a figura 2.1, que apresenta, além de baixos custos operacionais, boa flexibilidade, bem como razoável segurança operacional nos períodos chuvosos. Nesse contexto, um dos pontos mais críticos será o decapeamento da camada de bauxita, em face da elevada relação estéril/minério e de sua característica argilosa. Outra condição exigida do sistema é que apresente alta produtividade, em decorrência da pequena espessura da camada de bauxita, o que implica rápido avanço das frentes de lavra, para atender à escala de produção requerida. Esse sistema é constituído, basicamente, por um conjunto de tratores de esteiras CAT D11R e Escavadeiras hidráulicas LIEBHERR 994, Hitachi EX2500 para o decapeamento, e de Tratores de Esteiras CAT D11R, Escavadeiras hidráulicas CAT 365 e caminhões Rodoviário Scania de 35 t para a escarificação,

escavação, carregamento e transporte de minério respectivamente, sendo estes apoiados por equipamentos auxiliares diversos.

Para a extração e transporte de bauxita, o sistema é o convencional e não há maiores problemas, mesmo em períodos de chuva, visto que os equipamentos trabalham sobre a camada de bauxita, e as estradas são compactadas e revestidas com laterita. <sup>[4]</sup>

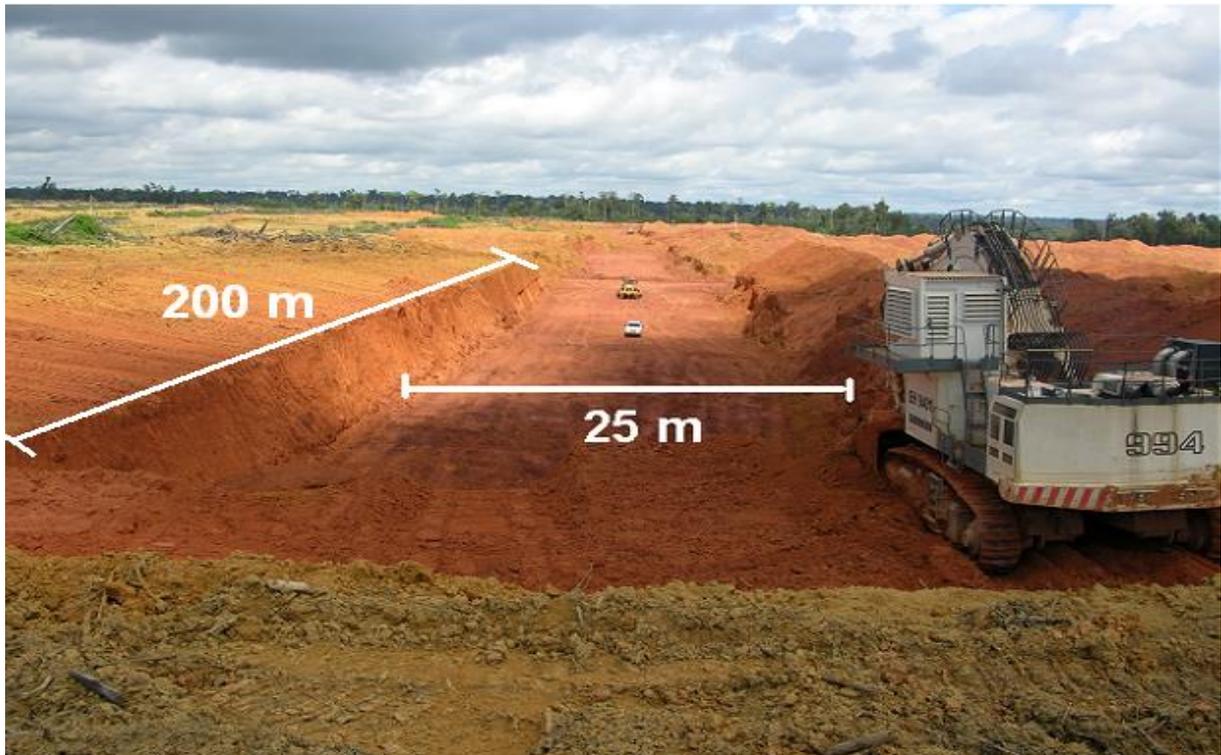


Figura 2.1 – Faixa de lavra

### 2.3 OPERAÇÕES UNITÁRIAS

As operações unitárias de lavra constam, basicamente, das seguintes etapas e podem ser esquematicamente visualizadas na figura 2.2:

- Desmatamento e limpeza das áreas de lavra;
- Remoção e estocagem do solo orgânico;
- Decapeamento da camada de bauxita;
- Raspagem, carregamento e transporte da laterita;
- Escarificação da camada de bauxita;
- Escavação e carregamento da bauxita;
- Transporte de Bauxita;
- Preparo para reabilitação.

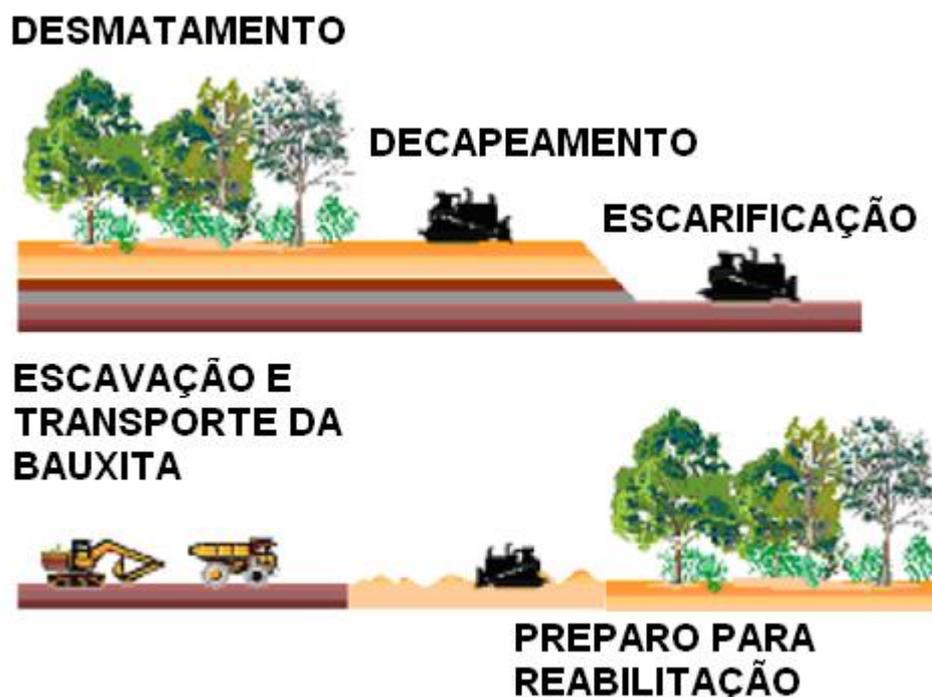


Figura 2.2 – Resumo das operações de lavra <sup>[5]</sup>

### 2.3.1 DESMATAMENTO E LIMPEZA DAS GALHADAS

O Desmatamento e limpeza das galhadas são atividades realizadas preferencialmente no período de “seca”, durante o dia pelos tratores de esteira CAT D11R e seguem os procedimentos de desmatamento do meio ambiente da companhia e o PCA (Plano de controle Ambiental).

Após o desmatamento, as galhadas são depositadas em linhas paralelas ao avanço da lavra numa distância de aproximadamente 100 metros de cada linha. Sendo posteriormente lançadas no fundo da cava com o intuito de ajudar na fertilidade do solo. É de extrema importância que as galhadas não fiquem em contato com a bauxita, sendo que para isso, é preciso fazer um forro de material argiloso, observado na figura 2.3. <sup>[5]</sup>



Figura 2.3 – Limpeza de galhada (forro de material argiloso) <sup>[5]</sup>

### **2.3.2 REMOÇÃO E ESTOCAGEM DO SOLO ORGÂNICO**

A mesma observação feita no item anterior vale para este item, relativa ao PCA.

O solo orgânico, juntamente com as sobras de galhadas resultantes do desmatamento, onde houver, é juntado com auxílio de trator de esteiras e carregado em caminhão basculante, por meio de pá carregadeira. O material é estocado em pilhas, localizadas próximas às áreas de lavra, para posterior utilização na reabilitação de áreas degradadas. <sup>[5]</sup>

### **2.3.3 DECAPEAMENTO**

Para o decapeamento da camada de bauxita, serão empregados, basicamente dois Modelos.

Modelo 1 – As figuras 2.4 e 2.6 esquematizam o decapeamento para espessuras até 8 metros, onde é utilizado somente Trator de esteiras CAT D11R (TE D11R).

Modelo 2 – Para espessuras superiores a 8 metros onde utiliza-se o conjunto de Trator de esteiras D11R e Escavadeira hidráulica, de acordo com as figuras 2.5 e 2.7.

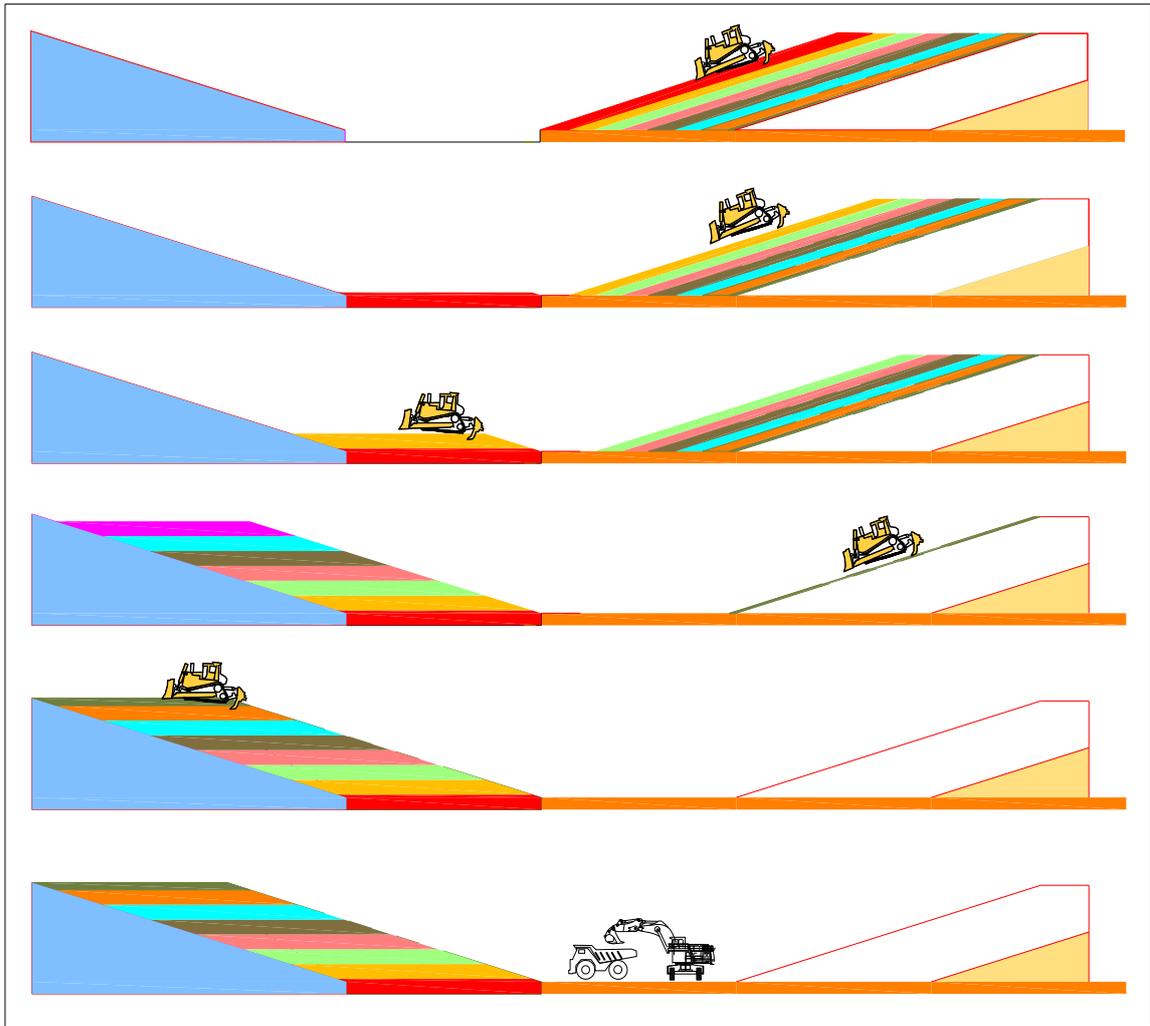


Figura 2.4 – Decapeamento com TE D11R (Modelo 1) [4]

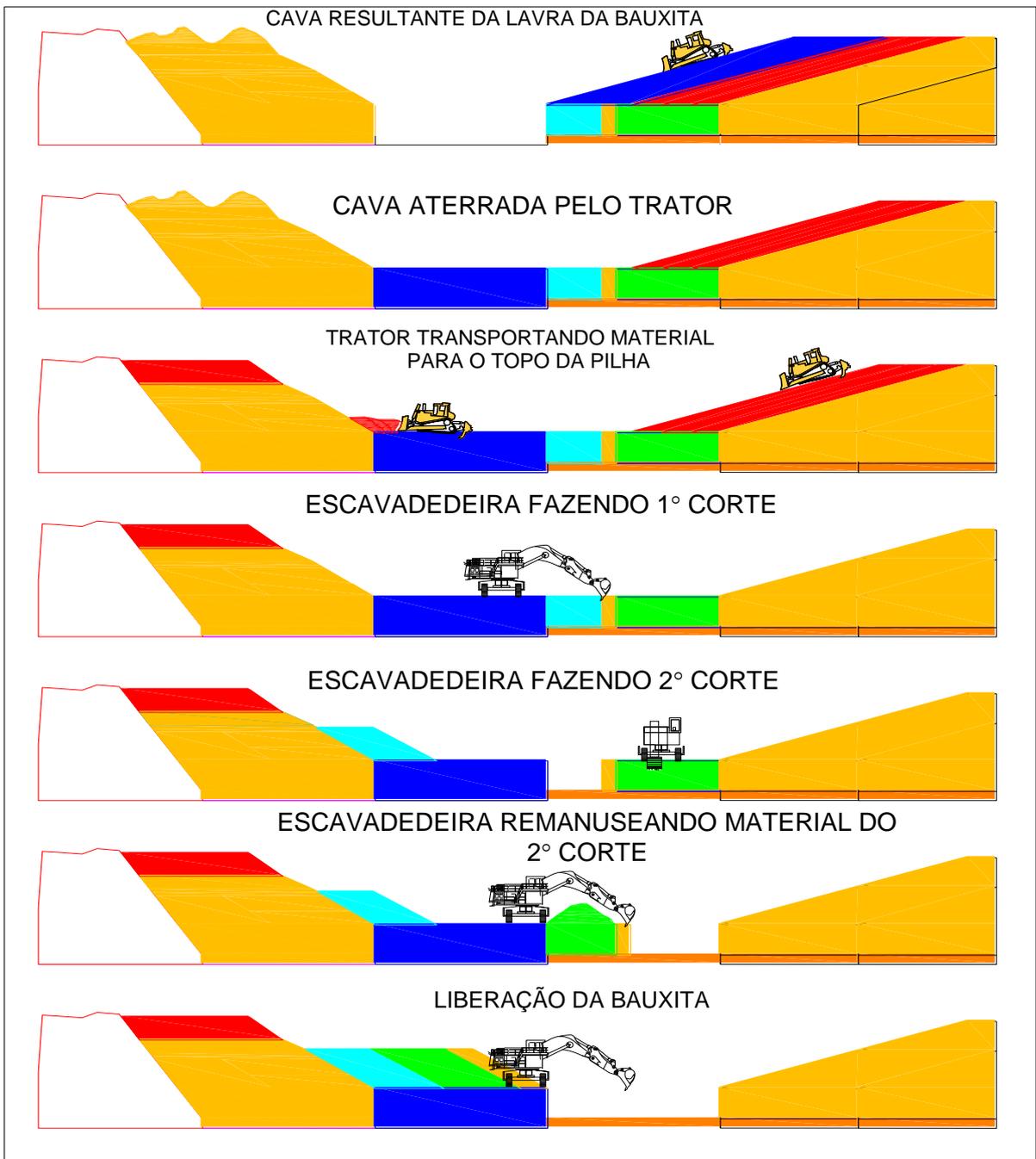


Figura 2.5 - Decapeamento TE D11R e EH (Modelo 2) [4]



Figura 2.6 – Decapeamento com TE D11R (Modelo 1) <sup>[5]</sup>



Figura 2.7 - Decapeamento TE D11R e EH (Modelo 2) <sup>[5]</sup>

### **2.3.4 RASPAGEM, CARREGAMENTO E TRANSPORTE DA LATERITA**

Antes da escarificação, a laterita é raspada por tratores de esteira CAT D11 R E CAT D8T, sendo posteriormente carregada por Escavadeiras CAT 365CL e por Pás Carregadeiras, situação mostrada na figura 2.8, e em seguida, transportada pelos caminhões basculantes para ser utilizada na forração dos pisos de praças e acessos.



Figura 2.8 – Carregamento da laterita <sup>[5]</sup>

### **2.3.5 ESCARIFICAÇÃO**

A camada de bauxita cristalina é bastante compacta e, na maior parte, necessita de “afrouxamento” antes de ser escavada pela escavadeira hidráulica.

Uma das formas de promover esse afrouxamento seria através do uso de explosivos. Entretanto, para diminuir o impacto ao meio ambiente, optou-se pelo desmonte a frio, por meio de escarificação. A eficiência dessa operação de desmonte por escarificador já está plenamente comprovada na Mineração Rio do Norte (MRN), onde há mais de cinco anos vem sendo aplicada, em substituição ao desmonte por explosivos. <sup>[5]</sup>

A escarificação é executada com a adaptação de escarificadores nos tratores de esteiras CAT D11R. Depois da escarificação, a superfície é regularizada com motoniveladora, para facilitar o trabalho da escavadeira e possibilitar o tráfego de caminhões que transportam a bauxita até a britagem primária.

### **2.3.6 ESCAVAÇÃO E CARREGAMENTO DO MINÉRIO**

Uma vez escarificada, a bauxita é escavada e carregada em caminhões basculantes, por meio de escavadeiras hidráulicas, equipadas com implemento retro, trabalhando na parte superior da camada a escavar. Dessa forma, mesmo em períodos de chuvas intensas, a plataforma de operação permanece em condições de trabalho. Diante da pequena espessura da camada de bauxita, o alcance da lança é mais que suficiente, permitindo um bom controle do operador para a seletividade na escavação. <sup>[5]</sup>

### **2.3.7 TRANSPORTE DO MINÉRIO**

O transporte da bauxita é efetuado por caminhões basculantes, até a britagem primária. O caminhão carregado nas frentes de lavra transita sobre a camada de bauxita até um dos acessos perpendiculares às tiras, por onde faz o restante do percurso até o britador primário. Esses acessos foram projetados a um espaçamento máximo de 400 m, um dos outros. Os acessos são revestidos com laterita e a manutenção constante garante a boa condição de tráfego dos caminhões durante todo o ano. O trecho sobre a camada de bauxita não apresenta problemas dada sua própria característica. <sup>[5]</sup>

### **2.3.8 PREPARO PARA REABILITAÇÃO**

O compromisso da empresa consiste em destinar 80% das áreas reabilitadas como reserva legal e 20% da área para outros usos.

Dentre as diferentes possibilidades de utilização dos 20% da área, inclui-se a pastagem, a plantação de espécies para fornecimento de produtos madeireiros e não madeireiros, de frutos, sementes, folhas e galhos para utilização na alimentação, na indústria farmacêutica e de perfumaria. Essas alternativas de uso serão definidas em função de experimentos a serem desenvolvidos com espécies nativas e também considerando as demandas locais e regionais por determinados produtos. <sup>[5]</sup>

#### **2.3.8.1 ETAPAS DA RECUPERAÇÃO**

a) Curto prazo: recomposição da topografia do terreno, controle da erosão e correção dos níveis de fertilidade do solo, amenização do impacto na paisagem e controle da deposição de estéreis e rejeitos.

b) Médio prazo: sucessão vegetal, restauração das propriedades físicas e químicas do solo, ciclagem dos nutrientes e reaparecimento da fauna.

c) Longo prazo: auto-sustentação do processo de recuperação, inter-relacionamento dinâmico entre solo-planta-animal e utilização futura da área.

## **2.4 BENEFICIAMENTO E TRANSPORTE DO MINÉRIO**

A bauxita bruta entra em processo de cominuição em britadores e depois é estocada no pátio, ela, britada é lavada para retirada de argila e areia e em seguida classificada em peneiras e hidrociclones e o minério, acima do tamanho adequado ao transporte, segue para a moagem. A bauxita, com a granulometria adequada para o transporte, segue junto com a água da lavagem para a classificação final, onde é separada em rejeito (argila) e produto final (bauxita fina). Já a bauxita com granulometria inadequada é moída até que chegue ao tamanho ideal para o transporte no mineroduto. Toda água usada no beneficiamento é recuperada, evitando assim, a constante captação de água nova para alimentar a linha de produção. A polpa (bauxita + água – 1:1) é bombeada através de um mineroduto com 20 polegadas de diâmetro e 244 Km de extensão, que atravessa os municípios de Paragominas, Ipixuna do Pará, Tomé-Açu, Acará, Mojú, Abaetetuba e Barcarena, ligando Paragominas a Barcarena, como mostra a figura 2.9.

Salienta-se ainda, que ao longo do mineroduto existem vários pontos de monitoramento do fluxo do minério, tornando o método do transporte seguro e confiável, apresentando baixos custos de implantação e operação, um baixo índice de impacto ambiental e uma eficiência operacional relativamente alta.

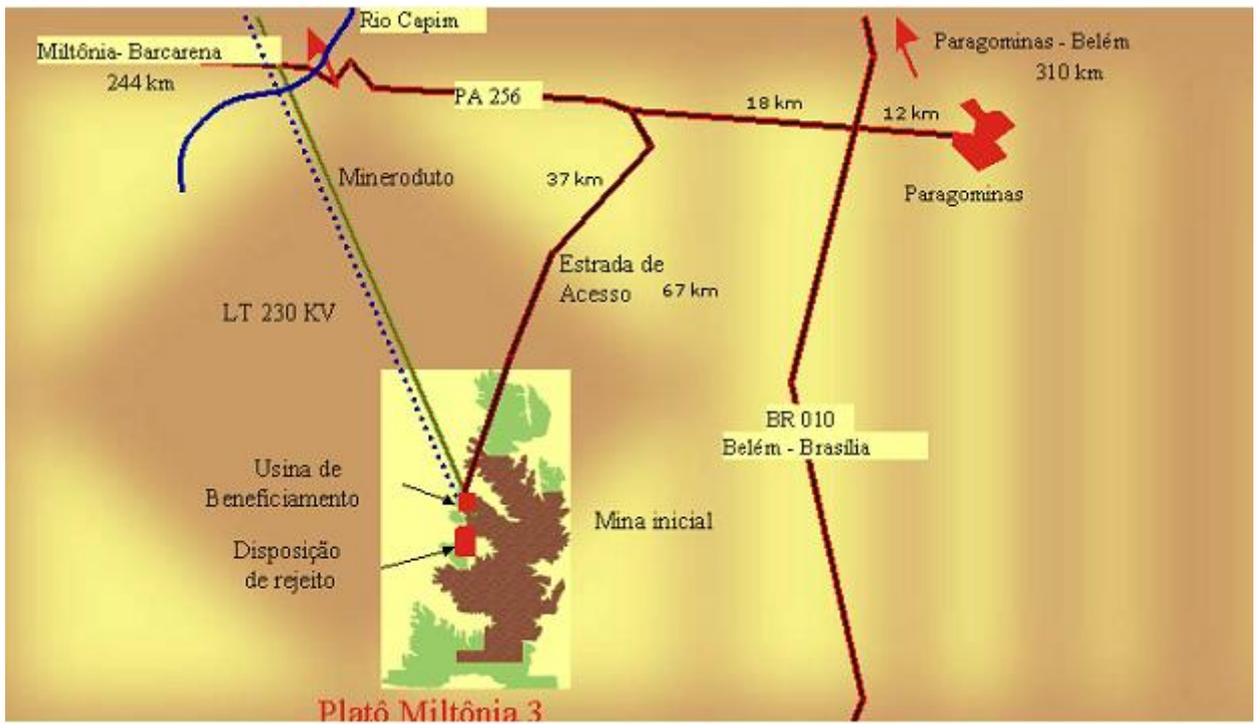


Figura 2.9 – Pontos de referência do projeto<sup>[5]</sup>

## **CAPITULO 3 - SISTEMA DE LOGÍSTICA OPERACIONAL NA ÁREA DE LAVRA – TROCA DE TURNO**

Qualquer atividade, independente do ramo comercial em que atue, busca, durante suas operações, a execução dos trabalhos com qualidade, segurança e produtividade. Nesse contexto, o processo de lavra da Mina de Bauxita Paragominas apresenta pontos de interesses voltados à análise destas metas.

O sistema de troca de turno dos operadores de equipamentos de esteira e de pneus mostra-se como uma das metodologias de trabalho de maior deficiência na atualidade da mina. Com isso, buscando a redução do tempo gasto nesta tarefa e realização da mesma dentro dos padrões de segurança e conseqüentemente, o aumento da produtividade, propõem-se como ponto chave deste capítulo, a realização de uma coleta de dados direcionada ao sistema em questão, bem como visualização das problemáticas existente no mesmo, elaboração de modelos mais eficientes, implantação dos mesmos e análise dos resultados obtidos, relacionando-os com a produtividade e satisfação da equipe de trabalho.

### **3.1 METODOLOGIA UTILIZADA**

Para obter uma análise coerente das atividades de troca de turno, foram considerados os pontos referentes às variáveis que condicionam as possíveis situações, sendo estas caracterizadas pelas distâncias da GAOME até as frentes de lavra, bem como a adoção das rotas do 2º ou do 1º piso e os tempos gastos pelos operadores e pelas caminhonetes para realizarem as trocas e as atividades antes e depois do DSS. Junto a isso foram marcados os tempos reais gastos pelas caminhonetes, de acordo com a rota das mesmas, até o retorno a GAOME, com o intuito de comparação entre estes e os teóricos (calculados de acordo com a distância real da GAOME até as frentes de lavra e velocidade limite, 50 km/h, que as caminhonetes trafegam na mina).

### **3.2 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS**

As variáveis citadas a seguir trazem o aspecto real das atividades de troca de turno, bem como estabelecem os limites de tempo a serem respeitados, podendo assim mostrar, de forma direta, quais parâmetros que devemos seguir na tomada de decisões e implantação dos modelos ótimos de produtividade. A *Eq.1* mostra a relação existente as variáveis TTC (*Eq. 2*), T3 e DSS, estabelecendo assim, o tempo máximo disponível para a troca de turno.

TTC – tempo total gasto pela caminhonete na troca de turno;  
 TI – tempo de ida da caminhonete: GAOME - local da troca;  
 TV – tempo de volta da caminhonete até GAOME;  
 T2 – tempo gasto pelos operadores (subida / descida da caminhonete);  
 TM – tempo máximo disponível para troca;  
 T3 – tempo de movimentação dos operadores antes e depois da DSS;  
 DSS  $\cong$  5 minutos;  
 T3  $\cong$  5 minutos;  
 TM  $\cong$  26 minutos;

$$TTC + T3 + DSS \leq TM \quad (Eq.1)$$

$$TTC + 5 + 5 \leq 26$$

$$TTC \leq 16 \text{ minutos (tempo máximo disponível)}$$

$$TTC = TI + TV + 4.T2 \quad (Eq.2)$$

### 3.3 CÁLCULO DOS TEMPOS TEÓRICOS

A tabela a seguir mostra as distâncias e tempos gastos no deslocamento GAOME – Frente de lavra, tanto para as rotas do 1º, quanto do segundo piso. Sendo posteriormente estabelecido, o cálculo dos tempos teóricos e práticos para as rotas do 1º e 2º piso.

<b>Rota do 1º piso</b>	<b>Distâncias (m)</b>	<b>Tempos (min)</b>
GAOME – IJK (frente de lavra)	2.600	4:36
GAOME – GH (frente de lavra)	2.200	4:16
GAOME – EF (frente de lavra)	1.900	3:53
GAOME – CD (frente de lavra)	1.700	3:36
GAOME – AB (frente de lavra)	2.400	4:36

<b>Rota do 2º piso</b>	<b>Distâncias (m)</b>	<b>Tempos (min)</b>
GAOME – IJK (frente de lavra)	3.500	5:49
GAOME – GH (frente de lavra)	3.200	5:29
GAOME – EF (frente de lavra)	3.000	5:17
GAOME – CD (frente de lavra)	2.800	4:56
GAOME – AB (frente de lavra)	2.400	4:36

Tabela 3.1 – Tempos e distâncias referentes às rotas do 1º e 2º pisos

Os tempos de volta adotados para as rotas do 2º piso devem ser os menores possíveis, sendo que para as rotas do 1º piso, estes são iguais aos tempos de ida.

Foi considerada, na mina, uma velocidade de 50 Km/h para as caminhonetes.

Da GAOME até o trevo de acesso à mina, esquematizado pela figura 3.1, tem-se uma distância de 800 metros, sendo gastos 1 minuto e 36 segundos para percorrer esse percurso. Esse tempo foi somado separadamente, originando os resultados das tabelas acima.

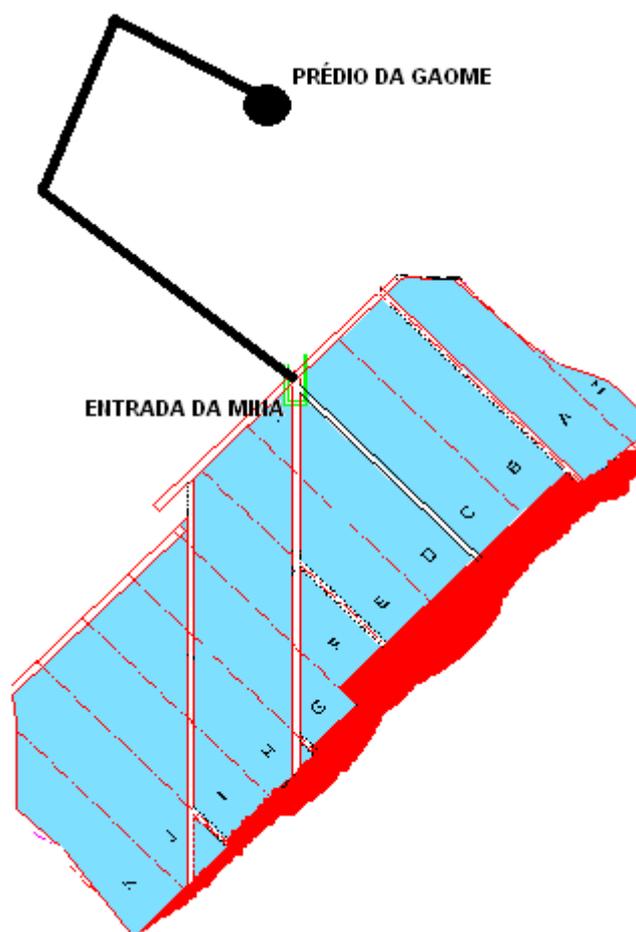


Fig. 3.1 – Esquema de localização: GAOME – Entrada da Mina

### 3.3.1 PARA AS ROTAS DO 1º PISO

A seguir, tem-se, com o auxílio da tabela 3.1, o cálculo dos tempos teóricos para as rotas do 1º piso, podendo os mesmos serem evidenciados no gráfico 1.

GAOME – IJK (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

TI = 4,36 ; TV = 4,36

$$TTC = 4,36 + 4,36 + 4.3$$

$$TTC = 9,12 + 12$$

$$TTC = 21,12 \text{ min.}$$

GAOME – GH (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 4,16 ; TV = 4,16$$

$$TTC = 4,16 + 4,16 + 4.3$$

$$TTC = 8,32 + 12$$

$$TTC = 20,32 \text{ min.}$$

GAOME – EF (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 3,53 ; TV = 3,53$$

$$TTC = 3,53 + 3,53 + 4.3$$

$$TTC = 8,06 + 12$$

$$TTC = 20,06 \text{ min.}$$

GAOME – CD (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 3,36 ; TV = 3,36$$

$$TTC = 3,36 + 3,36 + 4.3$$

$$TTC = 7,12 + 12$$

$$TTC = 19,12 \text{ min.}$$

GAOME – AB (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 4,36 ; TV = 4,36$$

$$TTC = 4,36 + 4,36 + 4.3$$

$$TTC = 9,12 + 12$$

$$TTC = 21,12 \text{ min.}$$

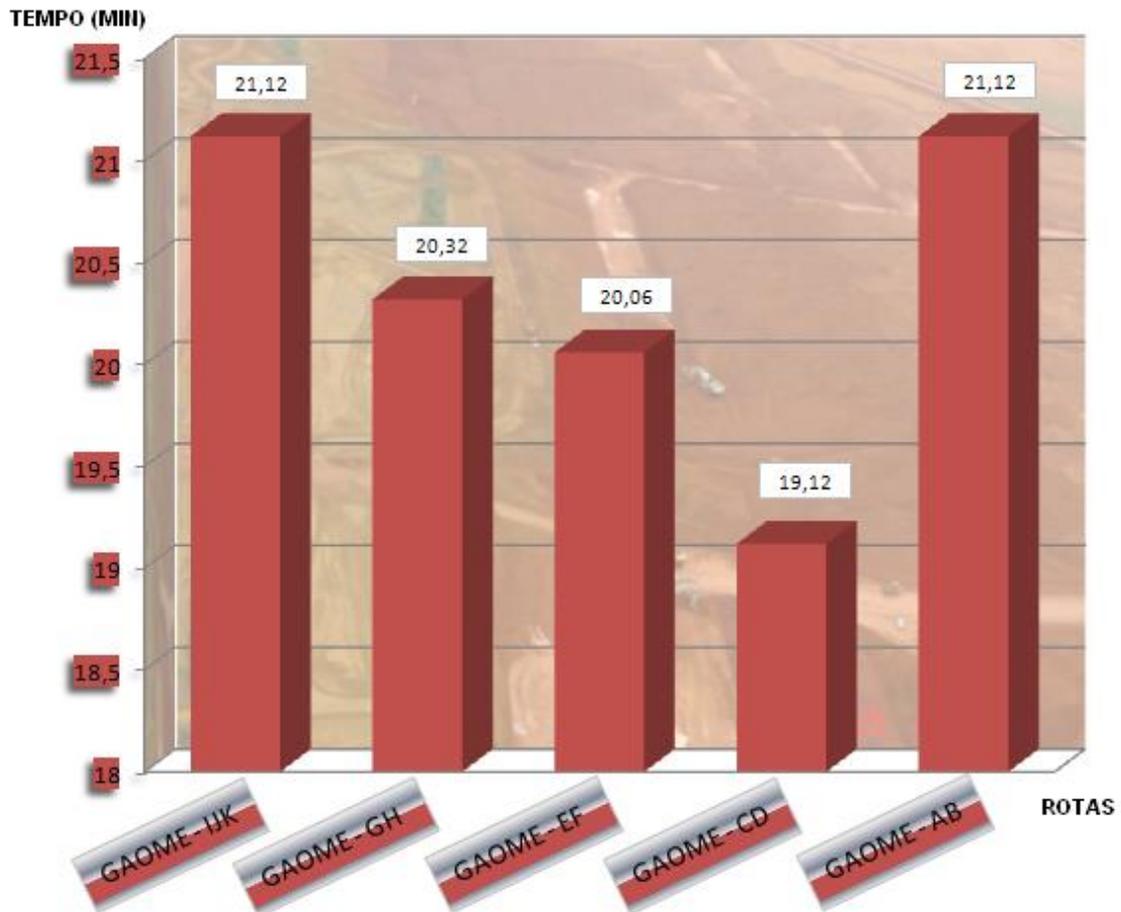


Gráfico 3.1 – Tempos teóricos para as rotas do 1º piso.

### 3.3.2 PARA AS ROTAS DO 2º PISO

Assim como nas rotas do 1º piso, serão calculados os tempos teóricos para as do 2º piso e em seguida, os mesmos podem ser visualizados no gráfico 2.

É válido ressaltar que, nesse item, os tempos de volta considerados serão os do 1º piso.

GAOME – IJK (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 5,49 ; TV = 4,36$$

$$TTC = 4,36 + 5,49 + 4,3$$

$$TTC = 10,25 + 12$$

$$TTC = 22,25 \text{ min.}$$

GAOME – GH (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 5,29 ; TV = 4,16$$

$$TTC = 5,29 + 4,08 + 4.3$$

$$TTC = 9,45 + 12$$

$$TTC = 21,45 \text{ min.}$$

GAOME – EF (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 5,17 ; TV = 3,53$$

$$TTC = 5,17 + 3,53 + 4.3$$

$$TTC = 9,10 + 12$$

$$TTC = 21,10 \text{ min.}$$

GAOME – CD (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 4,56 ; TV = 3,36$$

$$TTC = 4,56 + 3,36 + 4.3$$

$$TTC = 8,32 + 12$$

$$TTC = 20,32 \text{ min.}$$

GAOME – AB (frente de lavra)

Utilizando a (Eq.2):

$$TI = 4,36 ; TV = 4,36$$

$$TTC = 4,36 + 4,36 + 4.3$$

$$TTC = 9,12 + 12$$

$$TTC = 21,12 \text{ min.}$$

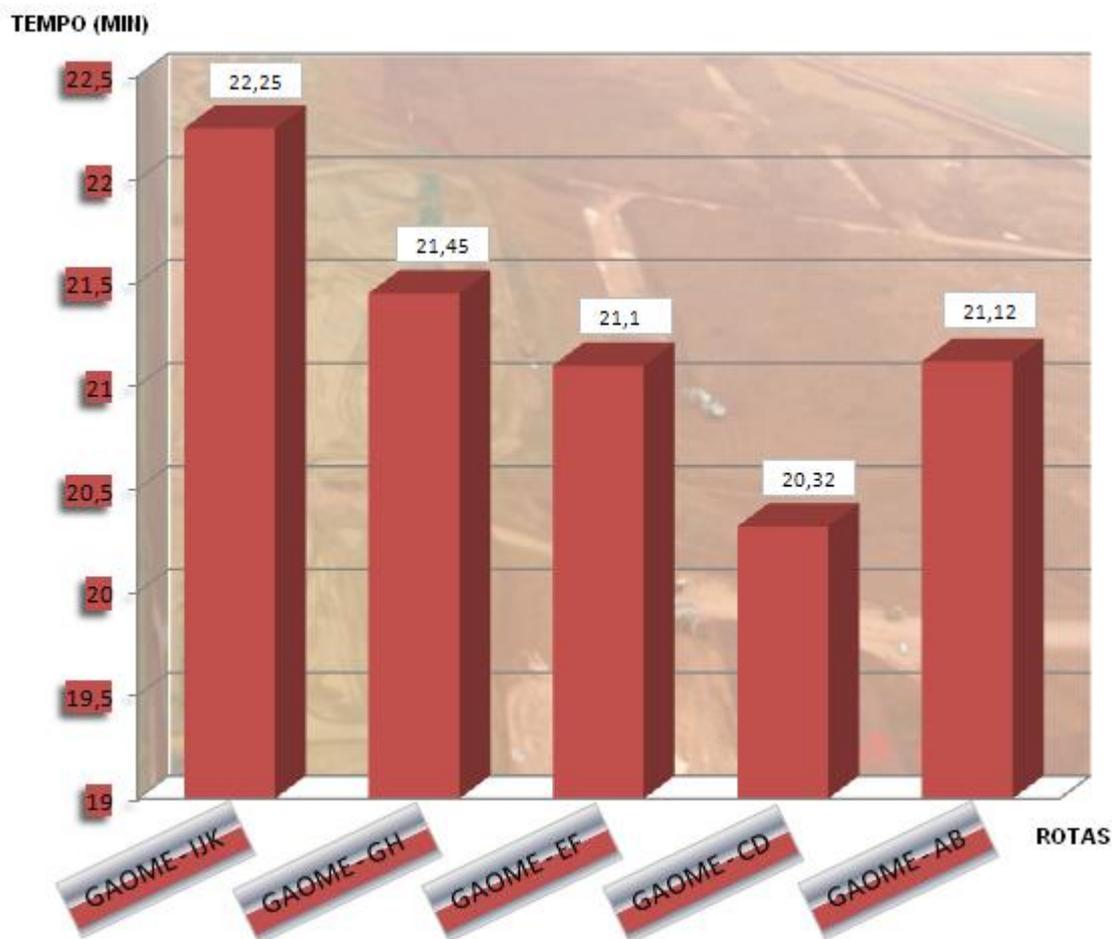


Gráfico 3.2 – Tempos teóricos para as rotas do 2º piso.

### 3.3.3 COLETA DOS TEMPOS PRÁTICOS

Com intuito de comparação destes com os tempos teóricos, calculados no item anterior, para assim obter um quadro da real situação da mina e conseqüentemente, das falhas que possui, temos as seguintes situações:

GAOME – GH (1ºPiso) TTC = 14 minutos

GAOME – CD (foi pelo 2º Piso e voltou pelo 1º) TTC = 15 minutos

Problemas com atoleiro.

GAOME – IJ (2ºPiso) TTC = 25 minutos

Problemas com a rota – dificuldade para chegar aos blocos devido aos acessos interrompidos.

Operadores perderam o ônibus.

GAOME – J (2º Piso) TTC = 11 minutos

GAOME – GH (1ºPiso) TTC = 16 minutos

Problemas com acesso, sendo necessário fazer contorno no CD.

GAOME – K (1° Piso) TTC = 11 minutos

Levou três operadores.

Operadores perderam o ônibus.

GAOME – J (1° Piso) TTC = 12 minutos

Levou três operadores.

GAOME – GH (1° Piso) TTC = 20 minutos

Problemas com atoleiro.

GAOME – CD (foi pelo 2° Piso e voltou pelo 1°) TTC = 18 minutos

Operadores perderam o ônibus.

GAOME – GH (1° Piso) TTC = 8 minutos

Levou três operadores

GAOME – IJ (1° Piso) TTC = 8 minutos

Levou três operadores

GAOME – F (1° Piso) TTC = 11 minutos

Levou dois operadores

Obs: as observações em destaque são fatores contribuintes para os tempos mostrados acima, consideradas como variações das condições ideais de execução das operações de troca de turno.

### **3.4 CONSIDERAÇÕES**

Os modelos acima mostram a atual realidade das trocas de turno – equipamentos de esteira, sendo que em todas as situações analisadas, de acordo com os tempos adotados, o modelo matemático exposto mostra que, para termos revezamentos de turno adequados, com menores taxas de erros e que respeitem as normas de segurança, é necessário encontrar caminhos e técnicas diversificadas, que, dependendo do avanço das frentes de lavra, possam mostrar soluções viáveis para atual problemática.

Em relação aos tempos teóricos, tem-se que as medições individuais de cada rota dos percursos do 1° e 2° piso são superiores ao tempo máximo disponível, 16 minutos (determinado através de uma relação de dependência com a variável T3 e com o tempo de DSS). Já os tempos práticos, fornecem valores menores e que em alguns casos passam a serem adequados ( $TTC < 16$ ), mas para que ocorra tal redução, é

necessário que alguma outra variável esteja sendo modificada, como por exemplo, a velocidade da caminhonete (padrão = 50 km/h), que quando aumentada, conseqüentemente diminui o tempo gasto. Ou então, o tempo de troca entre os operadores (tempo gasto com passagem de informações) está sendo inferior a 3 minutos.

Dessa forma, é necessário optar por estratégias que dinamizem o processo, trazendo consigo os parâmetros de segurança ideais ao decorrer das atividades. A seguir, são testados dois modelos de logística operacional, visando a otimização do processo e a qualidade operacional.

### **3.5 PROPOSTAS DE MODELOS**

#### **3.5.1 USO DOS CAMINHÕES**

Uma forma de ganho de tempo refere-se ao uso dos caminhões no momento das trocas de turno, sendo estas feitas na planar ou, preferencialmente, no britador, de acordo com o seguinte modelo:

No momento da troca de turno, o caminhão, ao passar próximo de um equipamento, seja ele de esteira ou de pneu, pode trazer o operador da máquina e levar consigo até seu ponto de parada (britador ou planar). Neste local, já estarão dois novos operadores que realizarão a troca de turno. A adoção dessa dinâmica fornece como resultado a diminuição do número de operadores / caminhonete e conseqüentemente, uma redução no TTC. Entretanto, o tempo de parada de uma escavadeira, por exemplo, pode ser alto, proporcionando a ocorrência de filas de caminhões nas máquinas que participarem deste tipo de movimentação. Essas hipóteses serão analisadas à medida que testarmos o modelo.

A figura 3.2 ilustra uma situação de distribuição de caminhões e escavadeiras na mina.

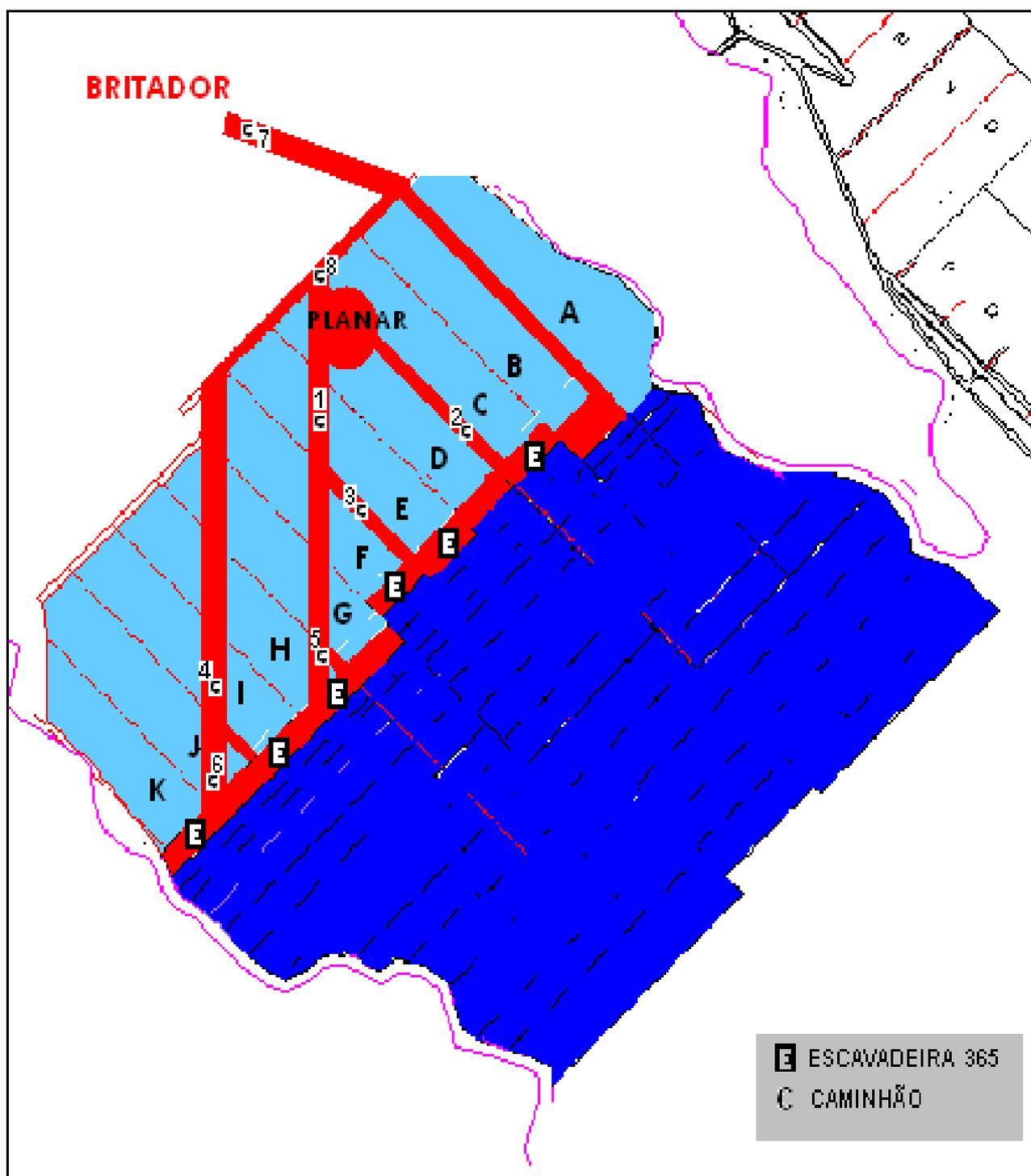


Figura 3.2 – Modelo de movimentação Caminhão x Escavadeira

O esquema da figura 3.3 mostra uma possível situação durante a troca de turno, onde se encontram Escavadeira CAT 365CL nas frentes de lavra e diversos caminhões, para uma troca de turno feita na Planar e outra na GAOME.

### DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PELO CAMINHÃO

#### TROCA FEITA NO BRITADOR (B):

##### **B – AB (frente de lavra)**

Distância = 1.600 metros

Tempo gasto = 2 min 40 seg

##### **B – CD (frente de lavra)**

Distância = 1.700 metros

Tempo gasto = 2 min 55 seg

##### **B – EF (frente de lavra)**

Distância = 1.900 metros

Tempo gasto = 3 min 5 seg

##### **B – GH (frente de lavra)**

Distância = 2.200 metros

Tempo gasto = 3 min 30 seg

##### **B – IJK (frente de lavra)**

Distância = 2.600 metros

Tempo gasto = 4 min 30 seg

#### TROCA FEITA NA PLANAR:

##### **IJK (frente de lavra) – Planar**

Distância = 1.800 metros

Tempo gasto = 3 min 10 seg

##### **GH (frente de lavra) – Planar**

Distância = 1.400 metros

Tempo gasto = 2 min 10 seg

##### **EF (frente de lavra) – Planar**

Distância = 1.100 metros

Tempo gasto = 2 min 5 seg

##### **CD (frente de lavra) – Planar**

Distância = 900 metros

Tempo gasto = 1 min e 35 seg

Figura 3.3 – Cálculo dos tempos teóricos gastos pelos caminhões

Obs: foi considerada a velocidade de 40 km/h (padrão da mina) para os caminhões.

Considerando que o revezamento seja feito no britador, de acordo com a figura 3.4, pode-se ter a seguinte situação:

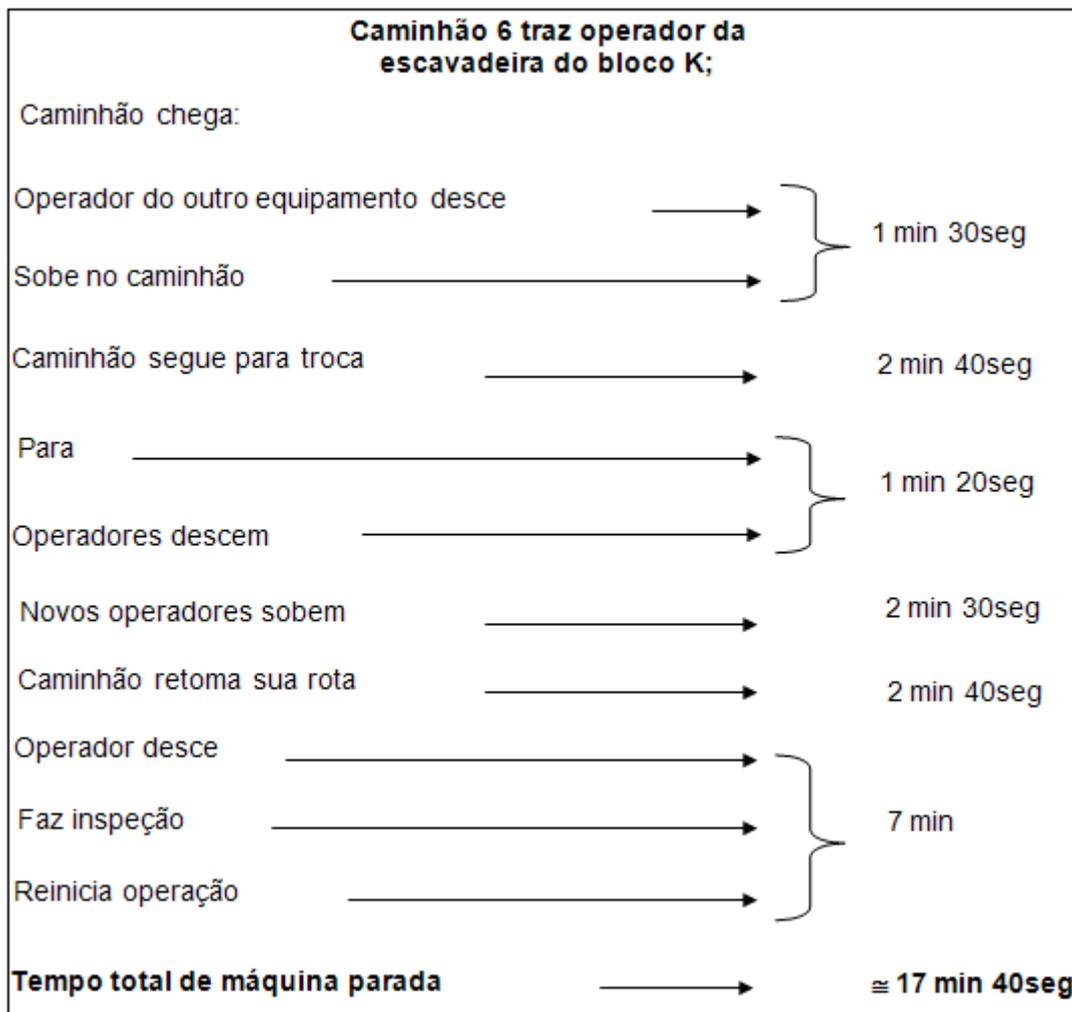


Figura 3.4 – Movimentação teórica de troca de turno entre operadores de caminhão e escavadeira.

### 3.5.1.1 APLICAÇÃO DO MODELO – PRÁTICA

#### Bloco E – Britador (1.900 metros)

Descida do operador da escavadeira / subida no caminhão = 1 min

Tempo gasto - ida = 6 min e 10 seg

Descida dos operadores = 25 seg

Inspeção do caminhão = 3 min

Subida dos novos operadores = 25 seg

Tempo gasto – báscula no britador = 2 min

Tempo gasto – volta = 6 min e 10 seg

Descida do operador da escavadeira = 25 seg

Subida na escavadeira / inspeção = 10 min

**Tempo total (escavadeira parada) = 29 min 35 seg**

### **Bloco G – Planar (1.400 metros)**

Descida do operador da escavadeira / subida no caminhão = 1 min

Tempo gasto – ida = 4 min e 20 seg

Descida dos operadores = 25 seg

Inspeção do caminhão = 3 min

Subida dos novos operadores = 25 seg

Tempo gasto – PLANAR / BRITADOR + báscula no britador +  
BRITADOR / BLOCO G = 10 min

Descida do operador da escavadeira = 25 seg

Subida na escavadeira / inspeção = 10 min

**Tempo total (escavadeira parada) = 29 min 35 seg**

Como o teste foi feito no período chuvoso, pode-se dizer que as condições das pistas foram fatores determinantes na diminuição da velocidade do caminhão, aumentando assim, os tempos gastos de percursos. Outro ponto de destaque é o elevado tempo de inspeção da escavadeira ( $\cong$  10 min) o que conseqüentemente, aumenta o tempo total de parada da máquina.

Pode-se dizer que, durante os dois testes, houve fila de quatro caminhões no 1º dia e de três no 2º. Entretanto, os operadores de escavadeira e caminhão que participaram dos testes não perderam os ônibus do horário de turno.

### **3.5.2 TROCA NA GAOME**

De acordo com a atual situação geográfica da mina e visando respeitar os parâmetros de segurança e horários disponíveis, é possível adotar uma nova metodologia para as trocas de turno, mudando o local dos revezamentos, das frentes de lavra para o prédio da GAOME. Esse método faz com que as caminhonetes possam andar dentro dos limites de velocidade e reduz bastante a probabilidade dos operadores perderem o ônibus do turno. Entretanto, as máquinas que participarem deste tipo de revezamento terão um tempo de parada (teórico) de aproximadamente 15 minutos até a chegada do novo operador.

A figura 3.5 mostra um esquema de movimentação nesse tipo de situação.

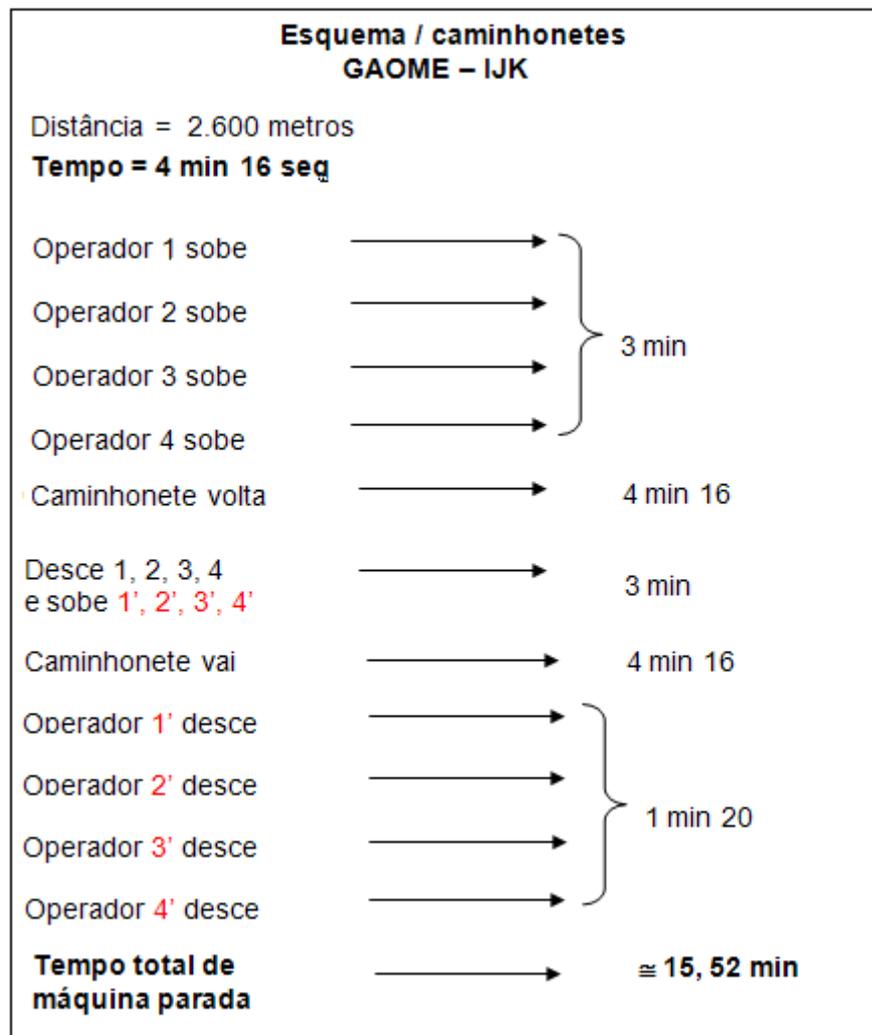


Figura 3.5 - Movimentação teórica de troca de turno no prédio da GAOME - IJK com o auxílio das caminhonetes.

Obs: Ao tempo total de máquina parada não foi adicionado o tempo de inspeção da máquina.

### 3.5.2.1 APLICAÇÃO DO MODELO – PRÁTICA

Durante os testes do modelo, foi possível notar que as atividades práticas se aproximam bastante do campo teórico, e em alguns casos, os tempos gastos no dia-a-dia foram menores e todos os operadores que participaram da movimentação não perderam o ônibus do turno.

#### **Bloco E (1º PISO)**

Subida dos operadores - mina = 1,5 minutos

Descida e subida dos operadores na GAOME = 3 minutos

Tempo de Percurso (ida / volta) = 7,1

Descida dos operadores - mina = 1,5 minutos.

**Total = 13,1 minutos**

#### **Bloco D (2° PISO)**

Subida dos operadores - mina = 1,2 minutos

Descida e subida dos operadores na GAOME = 3 minutos

Tempo de Percurso (ida / volta) = 8,4

Descida dos operadores - mina = 1 minuto.

**Total = 14 minutos**

#### **Bloco EF (1° PISO)**

Subida dos operadores - mina = 1,2 minutos

Descida e subida dos operadores na GAOME = 3 minutos

Tempo de Percurso (ida / volta) = 7,5

Descida dos operadores - mina = 1,2 minutos.

**Total = 13,3 minutos**

Salienta-se que, participaram do teste, apenas Tratores de Esteira CAT D11R e Escavadeiras LIEBHERR R994.

Ao colocar em prática o 2° método foram observadas, em diálogos com os encarregados da turma A (1° turma a executar o modelo), que novas análises poderiam ser feitas e conseqüentemente, proporcionar melhorias ao modelo. Em vez de os operadores trocarem o turno na GAOME, farão essa movimentação na PLANAR. Ao término ou durante o DSS, as caminhonetes fazem o transporte dos operadores das frentes de lavra até a PLANAR para que seja feita a troca de turno com os operadores que vão no ônibus (GAOME - PLANAR). A adoção dessa técnica favorece tanto o diálogo entre os operadores, quanto à redução, cerca de 4 minutos (ida e volta – GAOME - PLANAR), do tempo de máquina parada das escavadeiras e tratores de esteira que participaram da movimentação e, diminuí consideravelmente as possibilidades de operadores perderem o ônibus do turno.

## CONCLUSÃO

Com o objetivo de encontrar melhorias e soluções cada vez mais viáveis, foram estabelecidos os dois modelos acima que priorizam as normas de segurança e a necessidade de soluções imediatas. Entretanto, nota-se a inviabilidade do uso do 1º método junto às escavadeiras CAT 365 CL pelo seu elevado tempo de parada desta máquina, mas não impede que os caminhões auxiliem a troca de turno ou revezamento de outros equipamentos de pneus.

Em relação ao 2º método, tem-se que devido à atual realidade da mina e ao cumprimento das normas de segurança, o mesmo passa a ser uma solução a curto prazo para atual problemática. Sendo que, de acordo com os dados coletados, temos que os tempos de parada das máquinas são superiores quando comparados com os do modelo atual (oito minutos).

A diferença de tempo entre o modelo atual e método proposto é, aproximadamente, cinco minutos.

Entretanto, com a adaptação deste modelo, a diferença de tempo mostrada acima passa a ser de apenas **2 minutos e 30 segundos**. Fato que torna o método viável e adequado às condições atuais da mina.

Ressalta-se que, para perfeita execução do método, é necessário que o tempo de DSS não seja superior a 6 minutos e que haja o melhoramento contínuo na passagem de informações entre os facilitadores, motoristas das caminhonetes e operadores que serão revezados.

Novos métodos para realização das trocas de turno, de acordo com avanço das frentes de lavra, deverão surgir. Implantação do DSS via rádio, criação de um ponto estratégico dentro da mina, efetiva utilização da mochila para transporte de EPI's ou disponibilização de ônibus exclusivos para GAOME nas trocas de turno são algumas das diversas soluções aptas a serem implantadas para facilitarem as movimentações de turno e reduzirem cada vez mais os tempos gastos com essa atividade. Sendo também, de grande importância, a realização de trabalhos de conscientização dos operadores, mostrando que a responsabilidade e os agentes causadores de bons resultados são toda a equipe de operação de mina.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Disponível em <<http://www.guianet.com.br/pa/mapapa.htm>> acessado em 07/07/2008 às 16:25h.
- 2 - Relatório Noções de Geologia – VALE. **Relatório Anual**. Paragominas, 2006. 60 p.
- 3 - MACEDO, Mariano. Gestão de Produtividade nas Empresas - A aplicação do conceito de Produtividade Sistêmica permite determinar o valor adicionado ao processo produtivo. **REVISTA FAEBUSINESS**, n.3, set. 2002. p. 18 - 22)<sup>[3]</sup>
- 4 - RELATÓRIO DE PLANEJAMENTO ANUAL DE LAVRA – 2008 – VALE. **Relatório de produção**. Paragominas, 2008. 40 p.
- 5 - PIMENTEL, E.N.;Delgado, A.D.;Paiva, R.S.;Mendes, R.C. **ASPECTOS GERAIS DAS OPERAÇÕES DE LAVRA MINA DE BAUXITA PARAGOMINAS (MBP)**.V Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e Mina Subterrânea – Workshop Barragens de Regeito.
- 6 - CATALANI, Guilherme., RICA, Helio de S. **Manual Prático de Escavação: Terraplanagem e Escavação de Rocha**. 3.ed: Ed. Pini, 2007.
- 7 - Relatório métodos de lavra – PORMIN. **Ministério de Minas e Energia**, 2006. 5 p.