

**FABIO HIKARU KOGISHI**

**ROTEAMENTO DE CAMINHÕES  
PARA ATENDIMENTO DAS ESPECIFICAÇÕES  
DE QUALIDADE E DE DESEMPENHO NA LAVRA**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas  
do curso de graduação do Departamento de  
Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Giorgio de Tomi

**São Paulo**

**2005**

TF-2005

K892,2

Super 1542621

M2005B

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700005665

#### FICHA CATALOGRÁFICA

**Kogishi, Fabio Hikaru**

Roteamento de caminhões para atendimento das especificações de qualidade e de desempenho na lavra / F.H. Kogishi. -- São Paulo, 2005.

21 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1. Transporte em minas (Planejamento) 2. Minas (Planejamento) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

A toda minha família pelo amor e apoio que me deram e me dão para buscar o sucesso e a felicidade.

## **Agradecimentos**

Agradeço ao Prof. Dr. Giorgio de Tomi por toda orientação e apoio na realização deste Trabalho de Formatura, enriquecendo meus conhecimentos, me auxiliando no meu desenvolvimento profissional.

Ao Eng. Bruno P. S. Pelli que colaborou e apoiou na realização do Trabalho de Formatura.

Ao Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, seus docentes e funcionários pelo apoio e aprendizado durante os anos de convivência no meu curso de graduação.

A todos os meus familiares e amigos que me incentivaram, apoiaram e me ajudaram para a realização do curso de Eng. de Minas e de todos os trabalhos realizados.

## Resumo

O presente trabalho tem por objetivo estudar a importância do roteamento de caminhões para atender as especificações de qualidade e desempenho na mina, apresentando inicialmente uma introdução ao problema e uma revisão bibliográfica do tema.

Em seguida são discutidas as dificuldades operacionais e os benefícios que podem ser potencialmente alcançados com a integração do sistema de roteamento com o planejamento de lavra. A partir dessa análise, é proposta uma metodologia de utilização das funções de roteamento de caminhões para aprimorar o controle da qualidade do minério na lavra.

A metodologia proposta é então aplicada a um estudo de caso realizado junto a uma mina de níquel localizada na região Centro-Oeste, a partir do qual são formulados análises e comentários em relação à possível continuidade do trabalho.

A pesquisa realizada no presente trabalho mostra a importância da integração do roteamento com o planejamento da mina, analisando e entendendo o processo como um todo, de forma a não isolar os processos de tomada de decisão nestas duas áreas.

Palavras Chave: Roteamento, Planejamento, Qualidade, Produção, Processos.

## Sumário

<b>1 – Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2 – Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>2</b>
2.1 – Sistemas de Roteamento com base na Teoria das Filas .....	2
2.2 – Evolução dos Sistemas de Roteamento.....	3
2.3 – Uso Atual dos Sistemas de Roteamento.....	6
<b>3 – Integração do Roteamento com o Planejamento de lavra</b> .....	<b>8</b>
3.1 – Funcionamento do Sistema.....	8
3.2 – Tomada de Decisão de Rotemento na Mineração .....	8
3.3 – Fluxo de Informações na Mineração .....	9
3.4 – Como o Sistema de Roteamento pode ajudar .....	11
<b>4 – Proposta de Metodologia para Roteamento de Caminhões</b> .....	<b>12</b>
4.1 – Mapeamento de Atividades .....	12
4.2 – Análise do Fluxo de Informações .....	12
4.3 – Revisar Objetivos de Produção .....	13
4.4 – Analisar como um Sistema de Roteamento pode aprimorar a operação.....	13
4.5 – Identificar Riscos e Benefícios.....	14
<b>5 – Estudo de caso</b> .....	<b>15</b>
5.1 – Análise de Processos no Planejamento de Lavra.....	15
5.2 – Processo Atual “AS-IS” .....	16
5.3 – Processo Futuro “TO-BE”.....	17
<b>6 – Conclusões</b> .....	<b>20</b>
<b>7 – Referências</b> .....	<b>21</b>

## 1 – Introdução

O controle adequado das operações de lavra depende de um fluxo sofisticado de informações através das várias atividades da cadeia de produção na mina. Uma parte importante desse processo é a comunicação entre planejamento de lavra e o roteamento de caminhões na operação. Quando as informações de planejamento não são adequadamente integradas ao controle de roteamento, o acesso às análises de reconciliação e acompanhamento de índices de desempenho pode ser uma tarefa complexa e demorada.

Em uma mineração o uso tradicional de funções de roteamento de caminhões bem elaborado tem como meta a minimização da distância de transporte na lavra, de forma que se possa transportar o material com o melhor custo benefício possível (relação minério transportado por R\$ gasto) para atingir os objetivos traçados, que se referem à qualidade (teor) e à quantidade (toneladas) planejada de produção de minério.

Para os trabalhos de transporte de minério utilizando-se caminhões, é necessário fazer um dimensionamento adequado da quantidade de veículos a serem utilizados no transporte (caminhões), para minimizar o tempo ocioso de um equipamento durante o período produtivo, tornando o processo o mais otimizado e evitando gargalos na linha produtiva da mina.

Além de um adequado dimensionamento, é necessária também uma boa comunicação entre a equipe de trabalho na mina e o setor de planejamento da mina, para que eventuais problemas e imprevistos que ocorram em campo sejam notificados aos responsáveis pelo planejamento, para que correções e/ou modificações possam ser feitas no roteamento e no planejamento de acordo com a realidade existente na frente de lavra.

Como exemplo de correção pode-se citar a necessidade de um caminhão a mais ou a menos em razão de uma diferença entre as velocidades real e estimada dos caminhões ao longo do ciclo de transporte do minério. Um exemplo de modificação seria uma diferença entre o teor estimado e o teor real de um determinado bloco, ou mesmo a presença de estéril que não estava previsto no bloco, acarretando em uma realocação dos equipamentos para um outro bloco, fazendo com que o planejamento precise ser revisto.

Nesse aspecto a comunicação é essencial para que tais mudanças sejam feitas o mais rapidamente possível a fim de evitar paradas na produção ou mesmo afetar na qualidade do minério lavrando um minério com o teor diferente do planejado.

Outro fator importante no trabalho de mina é o tempo de ciclo dos caminhões, que deve ser considerado, juntamente com a produção planejada, para o dimensionamento da quantidade de caminhões a serem utilizados para cada frente de lavra, de maneira a atender a produção planejada e não formar fila de caminhões, pois a existência de uma fila representaria um mau dimensionamento da frota, que por consequência acarreta em aumento nos custos de produção e possivelmente um desequilíbrio no processo de blendagem do minério e trazendo alteração no teor final do ROM.

## 2 – Revisão Bibliográfica

### 2.1 – Sistemas de Roteamento com base na Teoria das Filas

Segundo Prado (2004), em estudos de planejamento efetuamos estudos de dimensionamento de fluxo, dimensionando a quantidade correta de equipamentos (sejam eles máquinas, veículos, etc) e de pessoas, e o melhor *layout* e o melhor fluxo dentro do sistema que está sendo analisado.

Dessa forma, para um determinado objetivo de produção e/ou qualidade, o estudo da modelagem de sistemas tem como objetivo definir a quantidade adequada de atendentes que devem ser alocados com o melhor *layout* e o melhor fluxo para que o sistema tenha um funcionamento eficiente.

Para se efetuar um estudo, normalmente inicia-se pela definição da qualidade esperada do serviço. Outros fatores importantes que devem ser considerados são os recursos disponíveis e as limitações de funcionamento do sistema. Considerando-se todos esses fatores, a finalidade do trabalho de modelagem é de modelar o sistema de forma que não exista algum gargalo que implique em uma perda de recursos para o sistema todo, ilustrado na figura 2.1.1.

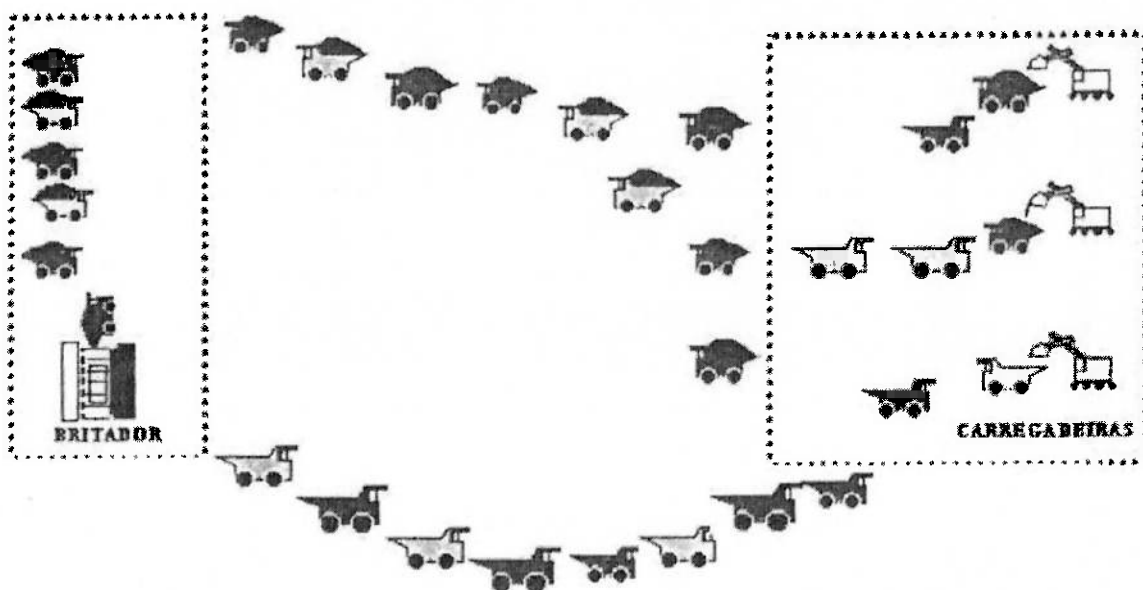


Figura 2.1.1 – Fila de caminhões em uma mineração (Prado, 2004, p.42).

Quando um sistema está devidamente dimensionado, não apresentando gargalo, ele está balanceado, ou seja, não apresenta perda de desempenho e/ou recursos.

Segundo Prado (2004), o objetivo da modelagem de sistemas é, conhecendo o cenário, as características e as necessidades de todos os envolvidos, obter o melhor dimensionamento.

Um importante componente dos sistemas são as filas, que quando assumem valores além dos adequados passam a se constituir em gargalos. A figura 2.1.2 ilustra um sistema de atendimento com fila cujas características estão descritas a seguir:

- Clientes e Tamanho da População: clientes são cada um dos indivíduos de uma população que é atendida pelo sistema;
- Processo de Chegada: taxa média de chegada de clientes e o intervalo médio entre chegada de clientes;
- Processo de Atendimento: ritmo médio de atendimento e a duração média do serviço de atendimento;
- Número de Servidores: quantidade de servidores que atendem os clientes;
- Disciplina da Fila: comportamento da fila e a maneira como é atendida;
- Tamanho Médio da Fila: quantidade média de clientes que aguardam na fila;
- Tamanho Máximo da Fila: quantidade máxima aceitável de clientes na fila;
- Tempo Médio de Espera na Fila: tempo médio que um cliente aguarda na fila até ser atendido.

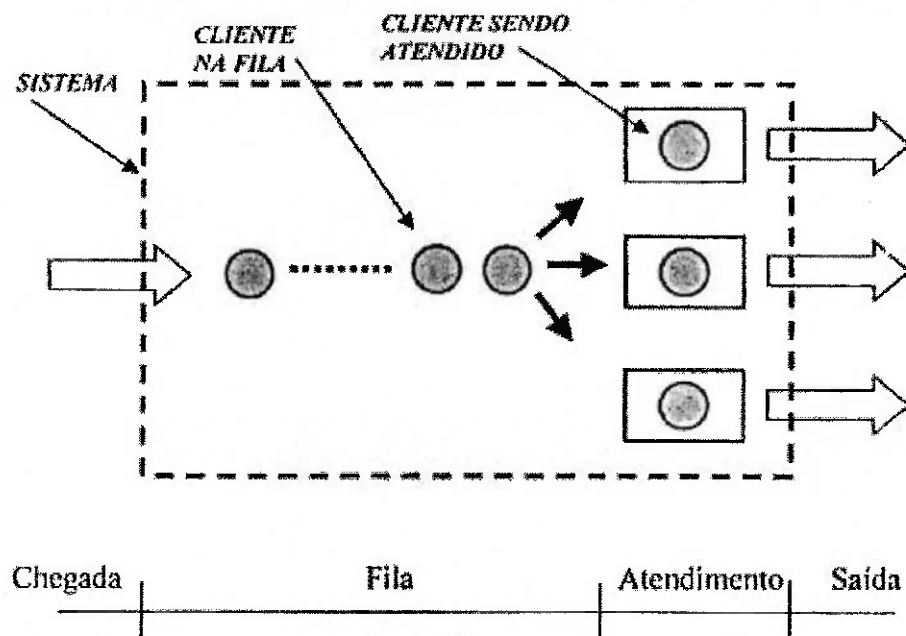


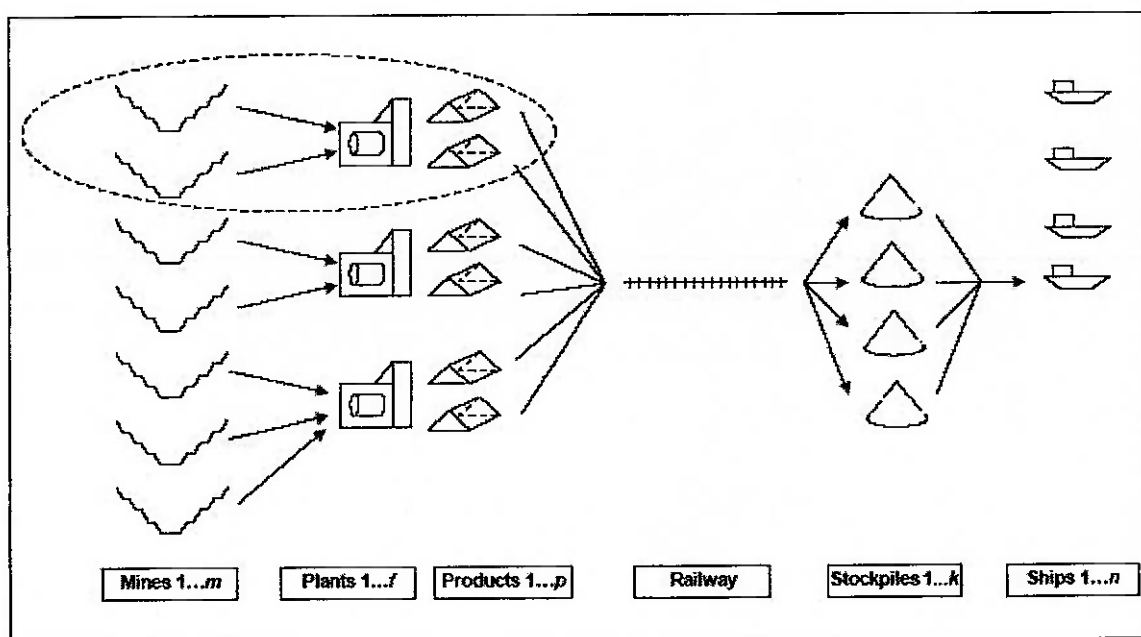
Figura 2.1.2 – Sistema de atendimento com fila.

Essas são as principais características que devem ser consideradas para a análise de um sistema, de maneira a deixá-lo balanceado de acordo com os objetivos traçados.

## 2.2 – Evolução dos Sistemas de Roteamento

A tecnologia de sistemas de roteamento de caminhões na mineração inicialmente era baseada na Teoria das Filas, na qual se baseava na otimização das filas, mas com o passar do tempo a filosofia da metodologia de estudo dos sistemas de roteamento sofreu mudanças.

Segundo De Tomi (2000), o controle de parâmetros de qualidade se tornou fundamental para um empreendimento mineral, pois a fábrica e/ou usina de tratamento exige cada vez mais qualidade nas matérias primas para que o ritmo de trabalho sofra as menores alterações possíveis, de modo a minimizar os custos de operação em decorrência da mudança das especificações o material de alimentação. Outro fator importante é a blendagem da matéria-prima, que deve ser bem feita e planejada de modo a melhor definir a forma da cava final e atendimento das especificações de qualidade do cliente, como pode ser observado na figura 2.2.1.



*Figura 2.2.1 – Blendagem e encaminhamento do produto para o cliente.*

Dessa forma a qualidade do produto para o seu local de destino se torna mais importante que a otimização das filas, pelo fato dos custos de uma fila serem menores que os custos de adequar a usina para uma alimentação com parâmetros diferentes.

Segundo De Tomi (2005), para o planejamento estratégico de uma mina a céu aberto, é importante ter uma análise do sistema de transporte de minério, de maneira a adequar o trabalho de transporte de minério para a usina e para o depósito, e estéril para o depósito de estéril, para que o a blendagem do produto seja bem feita de modo a obter homogeneidade do produto a ser enviado para a usina, como mostrado na figura 2.2.2.

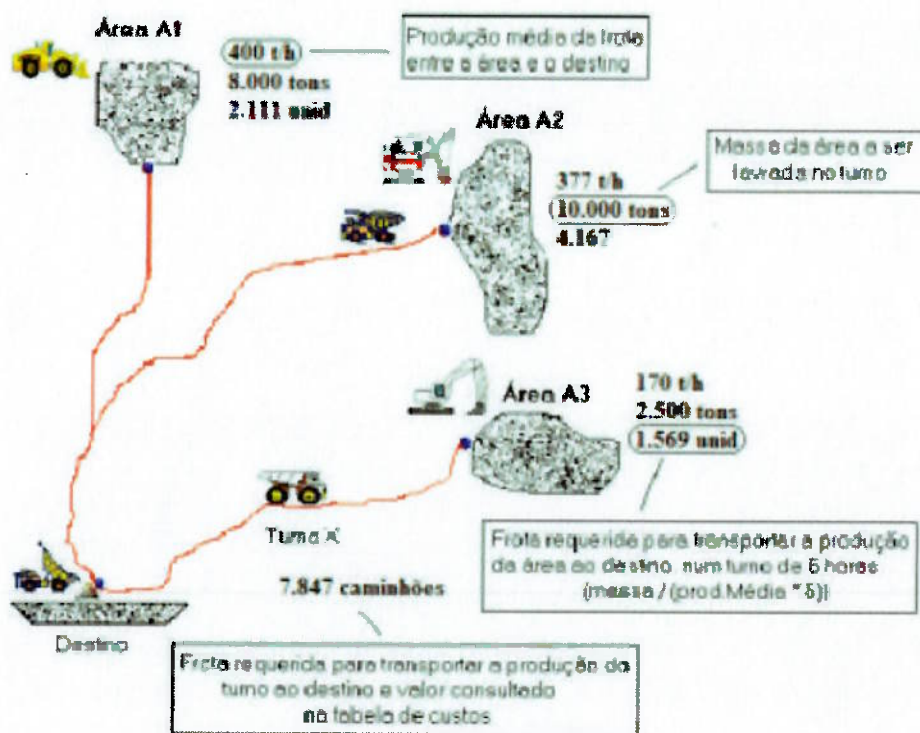
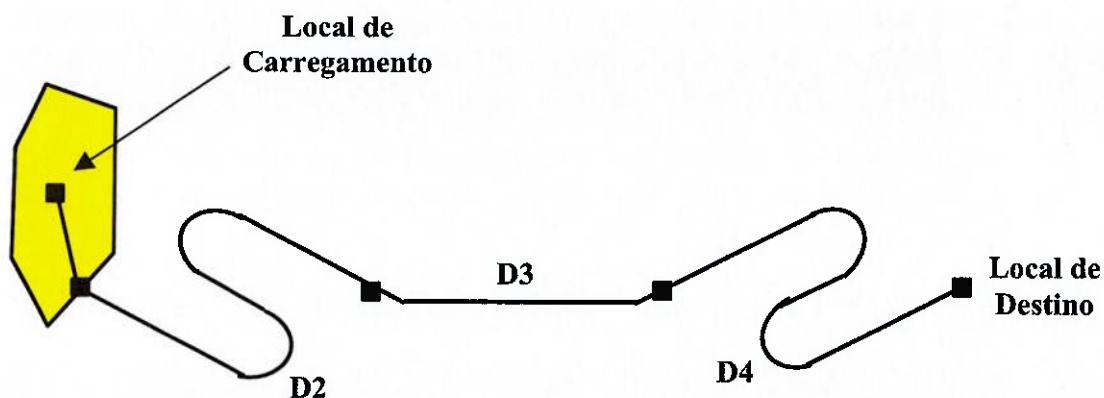


Figura 2.2.2 – Sistema de transporte planejado.

Para a análise do transporte, é importante saber a distância do trajeto a ser percorrido pelo caminhão, e essa distância é dividida em 4 diferentes trechos, ilustrado na figura 2.2.3 a seguir:



- D1: Distância entre o ponto de carregamento até o início da rampa para a saída da cava;
- D2: Distância da rampa, que consiste desde o início da subida até o ponto de saída da cava;
- D3: Distância entre a saída da cava até o ponto de destino do material;
- D4: Distância existente entre a entrada do local de chegada e o local de descarregamento do material e é dado em função do total de material a ser entregue no ponto de destino.

Figura 2.2.3 – Trajeto do caminhão para o transporte do minério.

### 2.3 – Uso Atual dos Sistemas de Roteamento

Atualmente os sistemas de roteamento encontram-se razoavelmente bem intergrados com o planejamento de mina através do uso da tecnologia desenvolvida na área das telecomunicações para transmissão de dados.

Segundo Souza (2005), a produção de uma mina pode ser modelada e gerenciada de forma mais eficiente integrando informações continuamente entre os setores de geologia, planejamento e lavra, administrando bem esse fluxo de informações pode-se tomar decisões mais rapidamente e eficientemente, atendendo as especificações exigidas pelo mercado e melhorando também o gerenciamento e a produtividade da mina.



Figura 2.3.1 – Correlação dos setores da mina para que haja qualidade.

Com o desenvolvimento tecnológico no setor de softwares (programas de gerenciamento de mina) e de hardware (desenvolvimento do sistema wireless), pode-se tomar decisões de forma mais rápida, precisa e realista, porém devem ser considerados dois fatores importantes:

1. Criar modelos representativos de operação de mina em que considere variações relevantes para um planejamento de mina a curto prazo;
2. Integração de sistemas de software para que haja a comunicação entre os softwares de modelamento geológico e de planejamento de mina.

A utilização da tecnologia wireless possibilita o envio contínuo de informações para o planejamento de mina e para a operação de mina e que se utilizado com a tecnologia de posicionamento via satélite GPS, melhora o controle do processo de lavra e da qualidade do produto, cruzando as informações de posicionamento do equipamento de lavra com o mapeamento geológico, podendo ser feito também o monitoramento dos caminhões sabendo

com que tipo de material está transportando e com todas essas informações monitorar em tempo real os teores das pilhas de homogeneização e das pilhas de depósito.

O sistema permite também a comunicação direta com o operador de máquina, que poderá enviar informações para o setor de planejamento que poderá por sua vez orientar o funcionário na realização do trabalho.

### **3 – Integração do Roteamento com o Planejamento de lavra**

#### **3.1 – Funcionamento do Sistema**

Em uma mineração o ideal é que não existam filas de equipamentos de transporte na produção (normalmente, caminhões), sejam elas para carregamento ou descarregamento, e equipamentos parados como uma escavadora parada aguardando a chegada de um caminhão para efetuar o carregamento.

Assim, as características que devem ser consideradas para a análise de um sistema, segundo Prado (2004), terão as seguintes características:

- Clientes e Tamanho da População: o tamanho da população será a frota de caminhões que trabalham na mina, e os clientes são cada um dos caminhões que compõem a frota;
- Processo de Chegada: o intervalo médio de chegada dos caminhões será dado pelo tempo de ciclo e da quantidade de caminhões alocados para determinada frente de trabalho;
- Processo de Atendimento: o atendimento dos caminhões será o tempo de carregamento;
- Número de Servidores: quantidade de equipamentos na frente de trabalho que efetuarão o carregamento dos caminhões;
- Disciplina da Fila: o comportamento da fila é do tipo FIFO (First In First Out), ou seja, o primeiro a chegar será o primeiro a ser atendido;
- Tamanho Médio da Fila: quantidade de caminhões que aguardam o carregamento;
- Tamanho Máximo da Fila: quantidade máxima aceitável de clientes na fila. O ideal é não haver caminhão esperando para ser atendido;
- Tempo Médio de Espera na Fila: no caso de haver necessidade de espera, esse tempo deve ser o mínimo possível.

Atualmente a qualidade do produto é fundamental para o planejamento da mina e um sistema de comunicação integrado entre os setores de planejamento, e operação de mina com o uso de tecnologia para envio de informações, facilita os trabalhos para se alcançar esse objetivo, e a Teoria das Filas entra como uma ferramenta para dimensionar a quantidade adequada de caminhões para efetuar o transporte do minério, mas sempre objetivando a especificação da qualidade definida pelo setor de planejamento da mina.

#### **3.2 – Tomada de Decisão de Rotamento na Mineração**

Durante os trabalhos de lavra podem ocorrer situações de mudança do tipo de minério lavrado ou mesmo o surgimento de estéril no bloco lavrado. Nesses casos é necessário o operador efetuar a comunicação do fato para o supervisor, para que seja realizada uma decisão em tempo real, ou seja, tomar uma decisão imediata para que seja feita a realocação dos caminhões para que o produto lavrado, minério fora do teor especificado ou estéril, seja depositado no seu respectivo local, ou mesmo parar as atividades para dar início à lavra de um outro bloco.

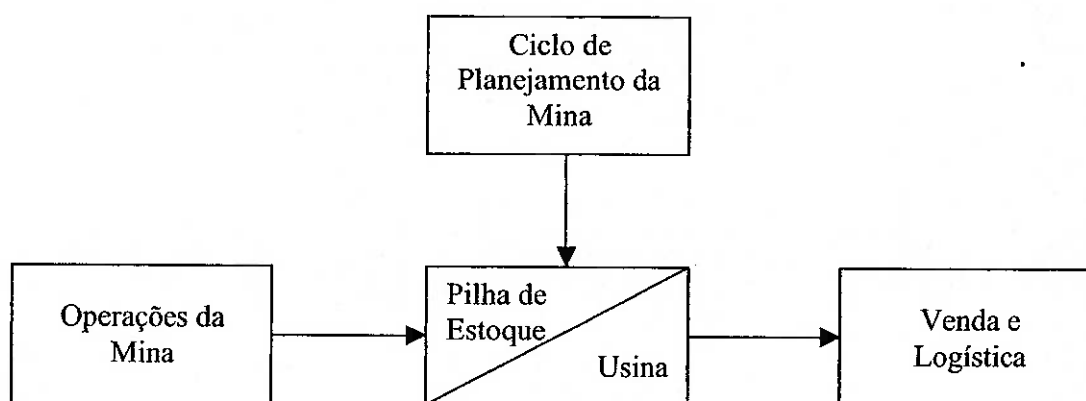
Após a tomada da decisão deve-se comunicar as ações a serem tomadas para os operadores de máquinas e a alocação dos caminhões aos seus respectivos motoristas. Todas essas atividades devem ser comunicadas também para o setor de planejamento, que deverá monitorar as atividades da mina.

Com um sistema de comunicação bem estabelecido entre os setores de planejamento e operação e entre os funcionários (supervisores, operadores e motoristas) pode ser feito um monitoramento dinâmico das atividades da mina, fazendo acompanhamento em tempo real das atividades produtivas, monitorando o ritmo de produção, localização de cada um dos veículos e acompanhamento dos teores dos depósitos e pilhas de estoque de acordo com a lavra dos blocos.

Com esse monitoramento em tempo real, pode-se trabalhar com o tempo de ciclo dos caminhões e das escavadoras, adequando o ritmo de trabalho com os objetivos de produção ou redefinir o roteamento dos caminhões para melhor atender as frentes de trabalho, sejam elas de lavra de minério, estéril ou decapeamento.

### 3.3 – Fluxo de Informações na Mineração

Para exemplificar, segue abaixo na figura 3.1.3.1 o Fluxograma das Informações em uma mina.



*Figura 3.1.3.1 – Fluxograma básico do fluxo de informações em uma mina*

Expandindo o setor de Operações da Mina, para as suas etapas básicas, temos o seguinte fluxo de trabalho representado na figura 3.1.3.2 a seguir:

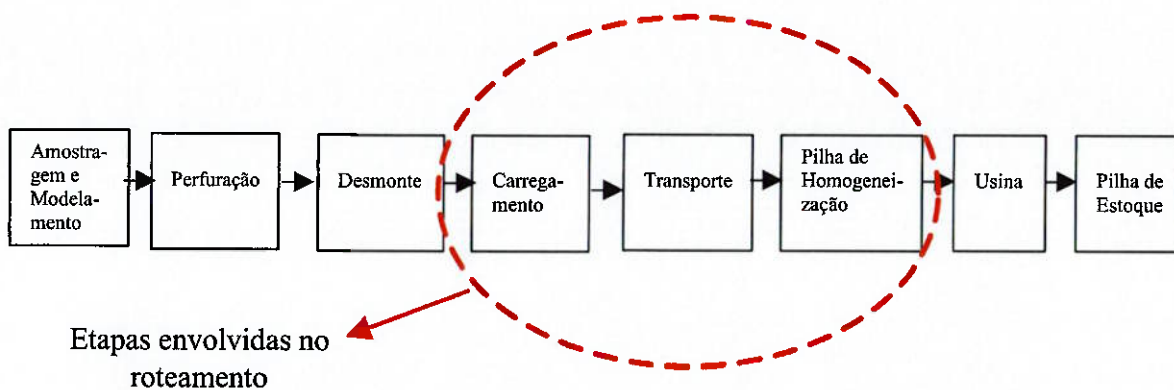


Figura 3.1.3.2 – Etapas básicas na operação de mina.

As etapas de carregamento, transporte e pilha de homogeneização são as que estão envolvidas no roteamento de caminhões, e as informações geradas e as decisões operacionais tomadas em cada uma dessas etapas estão descritas na tabela 3.1.3.1 a seguir:

<b>Etapa</b>	<b>Informação Gerada</b>	<b>Informações necessárias para tomada de decisão</b>	<b>Decisões a serem tomadas</b>
Carregamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor do minério</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor do minério na frente de lavra;</li> <li>• Teor da(s) pilha(s) de homogeneização;</li> <li>• Objetivo de produção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envio do material para a(s) pilha(s) de homogeneização ou de estoque em função do teor da(s) pilha(s) de homogeneização.</li> </ul>
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantidade transportada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor do minério transportado;</li> <li>• Quantidade de minério transportado;</li> <li>• Teor da(s) pilha(s) de homogeneização;</li> <li>• Objetivo de produção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envio do material para a pilha de homogeneização ou para o depósito em função do teor e da produção planejada;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de ciclo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de ciclo;</li> <li>• Limite de velocidade na mina;</li> <li>• Objetivo de produção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção ou alteração da frota de caminhões para atender a produção.</li> </ul>
Pilha de homogeneização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor da pilha de homogeneização.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor da pilha de homogeneização.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção ou alteração do teor do material para formação da pilha.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamanho da pilha de homogeneização.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamanho da pilha de homogeneização.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parada da formação da pilha ou dar início à formação de uma nova pilha</li> </ul>

Tabela 3.1.3.1 – Informações e decisões em cada uma das etapas de trabalho.

### 3.4 – Como o Sistema de Roteamento pode ajudar

O sistema de roteamento atua como um elo de ligação entre o Planejamento e a Operação de Mina, através de ordens de produção aderentes aos objetivos do plano de lavra. A figura 3.1.4.1 ilustra a atuação do sistema de roteamento de uma forma geral no processo e nas etapas envolvidas na operação da mina.

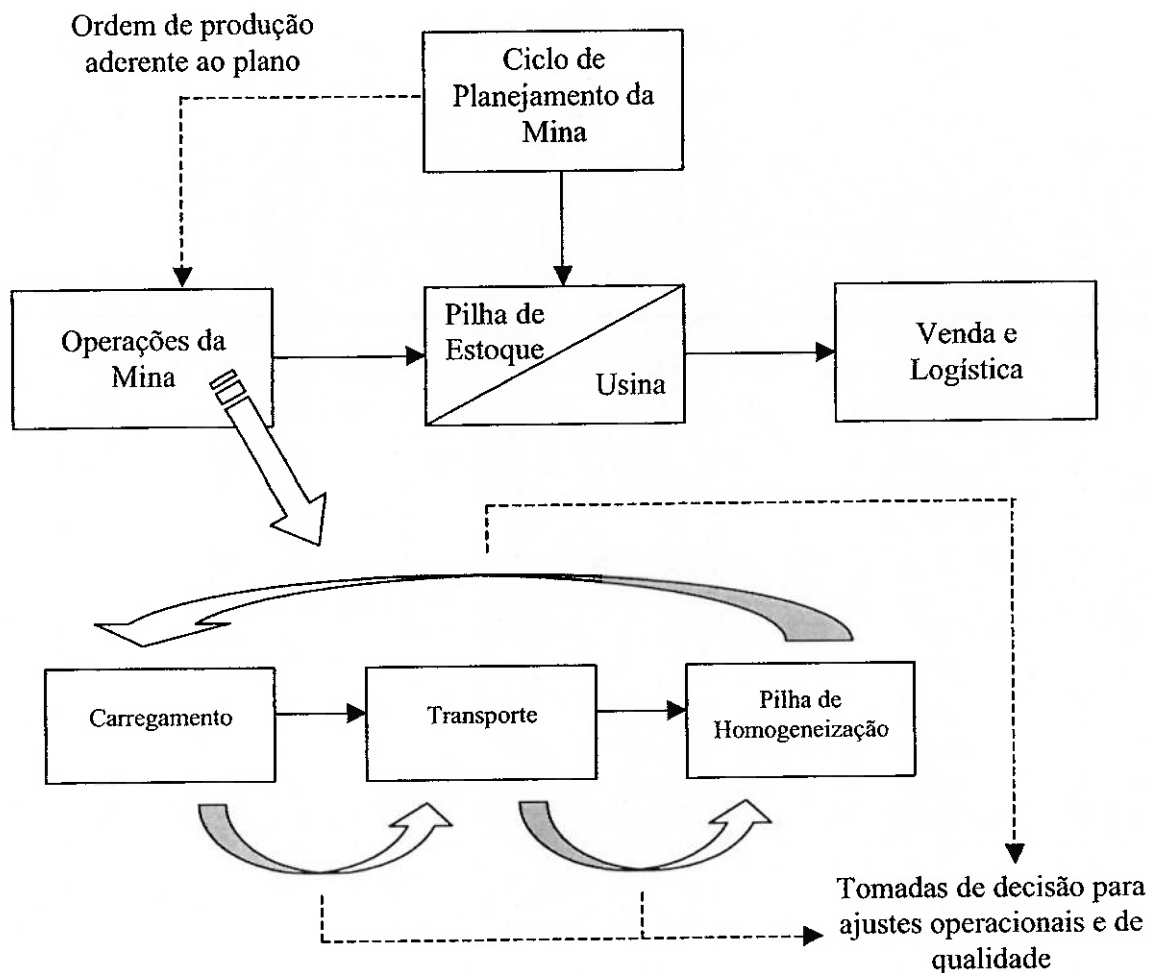


Figura 3.1.4.1 – Atuação do sistema de roteamento.

O sistema de roteamento integrado com o planejamento da mina melhora o controle da qualidade do produto logo no início do seu ciclo produtivo, minimizando variações das especificações da matéria prima e como consequência minimiza os custos operacionais de todo o processo da mina e da usina, melhora a qualidade do produto produzido e aumenta a competitividade da empresa frente ao mercado consumidor.

## 4 – Proposta de Metodologia para Roteamento de Caminhões

Neste capítulo é apresentada e discutida uma proposta de metodologia para a aplicação de um sistema de roteamento visando qualidade do produto e o desempenho da mina.

Para a implantação de um sistema de roteamento será necessário tomar as seguintes ações:

- Mapear Atividades
- Analisar Fluxo de Informações
- Revisar Objetivos de Produção
- Analisar como um Sistema de Roteamento pode Aprimorar a Operação
- Identificar Riscos e Benefícios.

Essas atividades deverão ser seguidas nessa seqüência e estão detalhadas a seguir.

### 4.1 – Mapeamento de Atividades

A etapa de mapeamento de atividades consiste em identificar todas as atividades envolvidas, desde a tomada de decisão do local a ser lavrado até o transporte do minério até a pilha de homogeneização, e organiza-las na seqüência em que são executadas, produzindo assim um modelo de processos.

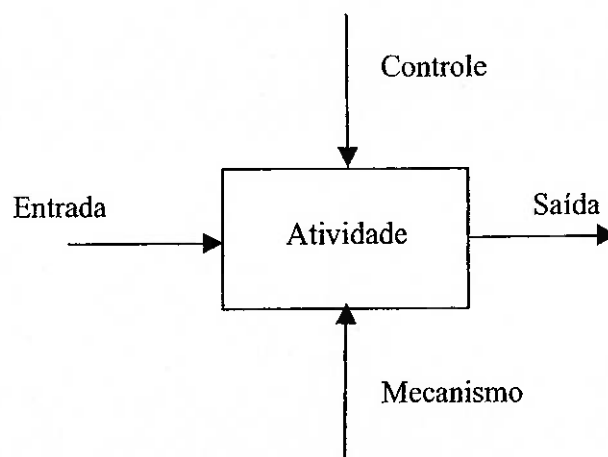
Com o modelo de processos é possível visualizar todas as atividades que são executadas, por quem são executadas e que parâmetros de controle podem ou estão associados a cada atividade.

### 4.2 – Análise do Fluxo de Informações

A análise do fluxo de informações consiste em um complemento do modelo de processos, indicando em cada uma das atividades as informações que chegam até ela para que a atividade seja realizada, as informações geradas na atividade e o destino dessas informações, que é a informação de entrada para atividades subsequentes.

O modelo de processos com o fluxo de informações podem ser combinados para representar o funcionamento global de uma atividade, por exemplo, o ciclo de planejamento de lavra.

Existem várias técnicas para representar modelos de processos. Uma das técnicas mais utilizadas para modelagem de processos de engenharia é a técnica IDEF, que é baseada na Técnica de Análise e Projetos Estruturados (Standard Analysis and Design Technique – SADT), que foi padronizada pela US Airforce. Dentre os diversos métodos de modelagem da técnica IDEF, a que modela processos é a IDEF0, e a estrutura básica utilizada é apresentada na figura 4.2.1 a seguir.



*Figura 4.2.1 – Estrutura básica utilizada no sistema IDEF0.*

### 4.3 – Revisar Objetivos de Produção

Essa etapa contempla a revisão dos objetivos de produção, verificando se houve alguma alteração nos objetivos planejados e ter como referência para que se possa realizar a etapa seguinte da modelagem do sistema de roteamento.

### 4.4 – Analisar como um Sistema de Roteamento pode aprimorar a operação

As informações obtidas nos mapeamentos de atividades e de informações são analisadas juntamente com os objetivos de produção revisados. Essa etapa é essencial para que se possa verificar em quais atividades os trabalhos ocorrem sem problemas e em quais existe algum tipo de restrição que acarrete em gargalos ou algum tipo de perda. As restrições podem ocorrer na atividade em si e/ou na comunicação com outras atividades.

No caso de existir algum tipo de gargalo, analisar as causas que estão levando a existir os eventuais gargalos.

Igualmente importante são as seguintes tarefas:

- Análise dos sistemas de comunicação entre os diversos setores da mina para saber o quão rápido é a tomada de decisão e com que objetivo a decisão é tomada.
- Estudo do dimensionamento dos equipamentos utilizados a fim de verificar se estão atendendo as especificações de qualidade e produção.
- Reorganização de todas as informações analisadas, indicando as melhorias que podem ser feitas em todos os aspectos: modo de operação, dimensionamento de equipamentos e sistema de comunicação e troca de informações.

#### 4.5 – Identificar Riscos e Benefícios

Nesta etapa são listados e identificados todos os fatores que irão influenciar na decisão de uso do sistema de roteamento elaborado. Como cada mina tem as suas peculiaridades, segue a seguir uma relação de fatores e itens que devem ser analisados para a elaboração da lista:

- Viabilidade técnica para a implementação do sistema;
- Viabilidade econômica para a implantação do sistema;
- Resistência cultural a implementação de novas tecnologias;
- Possibilidade de treinamento dos funcionários;
- Resistência por parte dos funcionários e/ou chefia para manter o trabalho do jeito que está;
- Priorização da minimização de custo em detrimento da qualidade do produto por parte do pessoal da operação da mina.

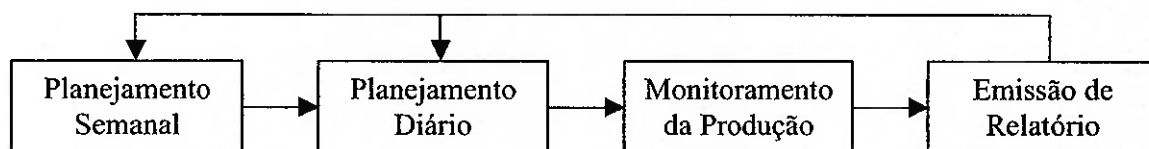
## 5 – Estudo de caso

A análise da viabilidade e dos benefícios da integração do roteamento com o planejamento foi testada experimentalmente junto a uma empresa de mineração com a cooperação do Eng. Bruno P. S. Pelli. Para o desenvolvimento deste estudo de caso foram compiladas as informações referentes aos problemas de roteamento identificados na mina (no modelo atual de processos, ou modelo “AS-IS”), e em seguida foram analisadas alternativas de encaminhamento de possíveis soluções (modelo futuro de processos, ou modelo “TO-BE”).

O caso estudado é de uma mina de níquel laterítico, localizado na Região Centro-Oeste, com os trabalhos realizados a céu aberto em meia encosta. As características relevantes dessa operação para estudo de caso do problema em estudo são a ampla extensão da área de lavra e a natureza tabular do depósito laterítico, com espessura relativamente limitada, tornando a atividade de roteamento uma etapa crítica do ciclo de planejamento.

### 5.1 – Análise de Processos no Planejamento de Lavra

O diagrama da figura 5.1.1 a seguir ilustra as principais atividades que foram mapeadas na mina em estudo:



*Figura 5.1.1 – Principais atividades mapeadas.*

As atividades da figura 5.1.1 estão detalhadas a seguir:

- **Planejamento Semanal**
  - 1 – Reunir toda equipe para escolha de blocos para lavra na semana;
  - 2 – Informar os blocos escolhidos para o supervisor da mina.
- **Planejamento Diário**
  - 1 – Verificar as anotações do final do último turno do dia anterior;
  - 2 – Escolher o bloco para lavra;
  - 3 – Alocar os equipamentos;
  - 4 – Alocar os operadores;
  - 5 – Alocar os caminhões;
  - 6 – Informar a alocação dos equipamentos aos amostradores.
- **Monitoramento da Produção**
  - 1 – Verificar as condições das frentes de lavra;
  - 2 – Verificar necessidade de realocação dos caminhões;
  - 3 – Informar os amostradores caso haja alteração de frente de lavra;
  - 4 – Apontar a origem e destino de cada ciclo de cada caminhão;

- 5 – Amostragem de minério de cada ciclo de cada caminhão;
- 6 – Entregar os apontamentos para o setor de planejamento de lavra.

- **Emissão de Relatório.**

- 1 – Receber os apontamentos de origem e destino de cada caminhão;
- 2 – Receber os resultados das análises químicas das amostragens;
- 3 – Emitir relatório de produção diária e parcial mensal da produção de minério;
- 4 – Entregar o relatório de produção diário ao chefe do departamento de mineração;
- 5 – Verificar o relatório de produção e analisar a aderência.

## 5.2 – Processo Atual “AS-IS”

Os diagramas das figuras 5.2.1 e 5.2.2 mostram os modelos do processo atualmente em vigor na mina e no monitoramento da produção respectivamente.

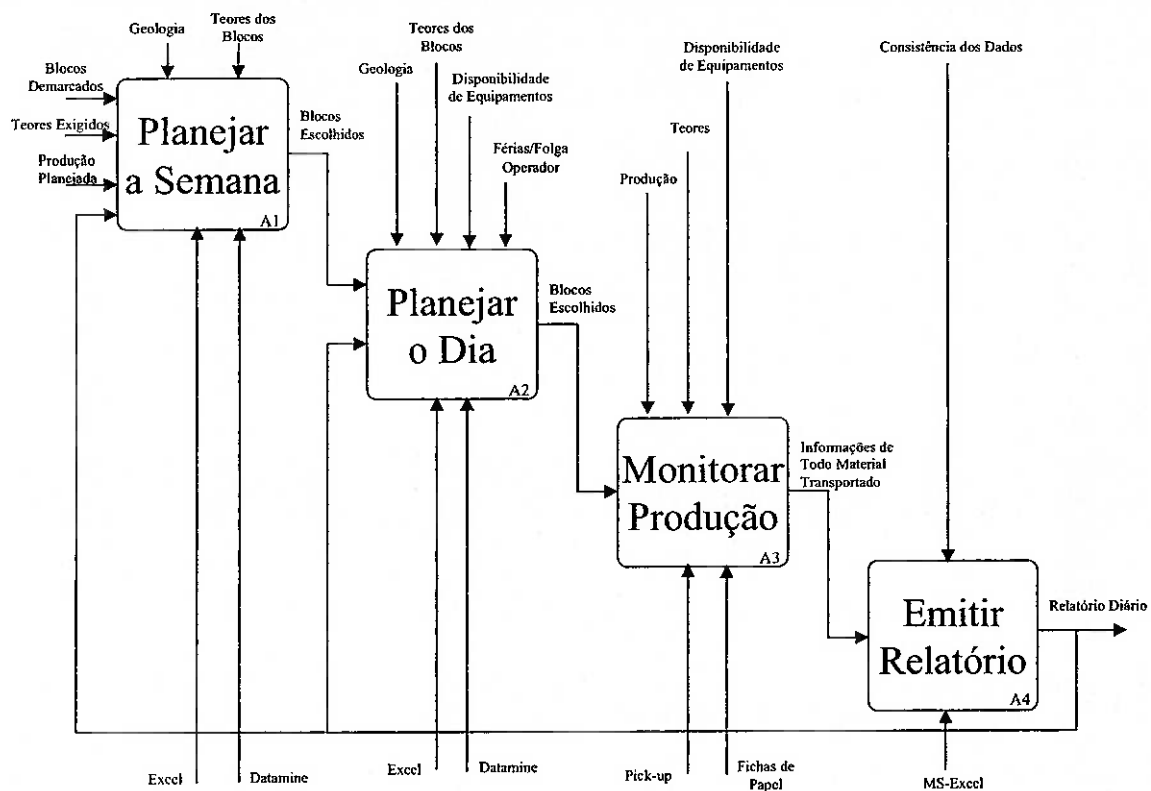


Figura 5.2.1 – Modelo de Processo AS-IS da mina.



agilizando a tomada de decisões e eliminando o problema de envio de material para local inadequado e/ou alocação dos equipamentos para atender a produção e a qualidade.

O outro gargalo referente ao envio das informações de apontamento pode ser eliminado através do uso de sistema wireless com o uso de palm tops por parte dos apontadores, estabelecendo uma comunicação direta do apontador com o planejamento, que receberá dessa forma as informações em tempo real, contribuindo para agilizar na elaboração do relatório de aderência e possibilitando também controlar a produção e a blendagem em tempo real.

Os diagramas TO-BE das figuras 5.3.1 e 5.3.2 são os diagramas AS-IS das figuras 5.2.1 e 5.2.2, respectivamente, com as modificações sugeridas para a melhoria do processo.

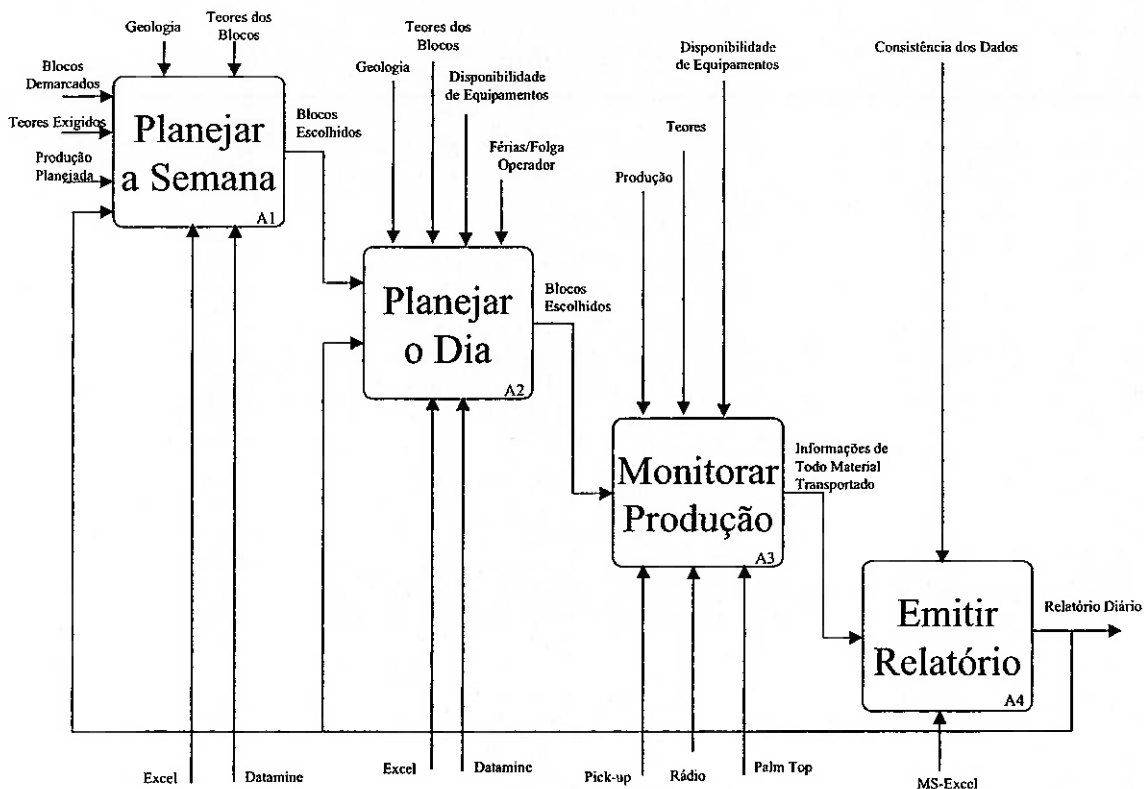


Figura 5.3.1 – Modelo de Processo TO-BE da mina.

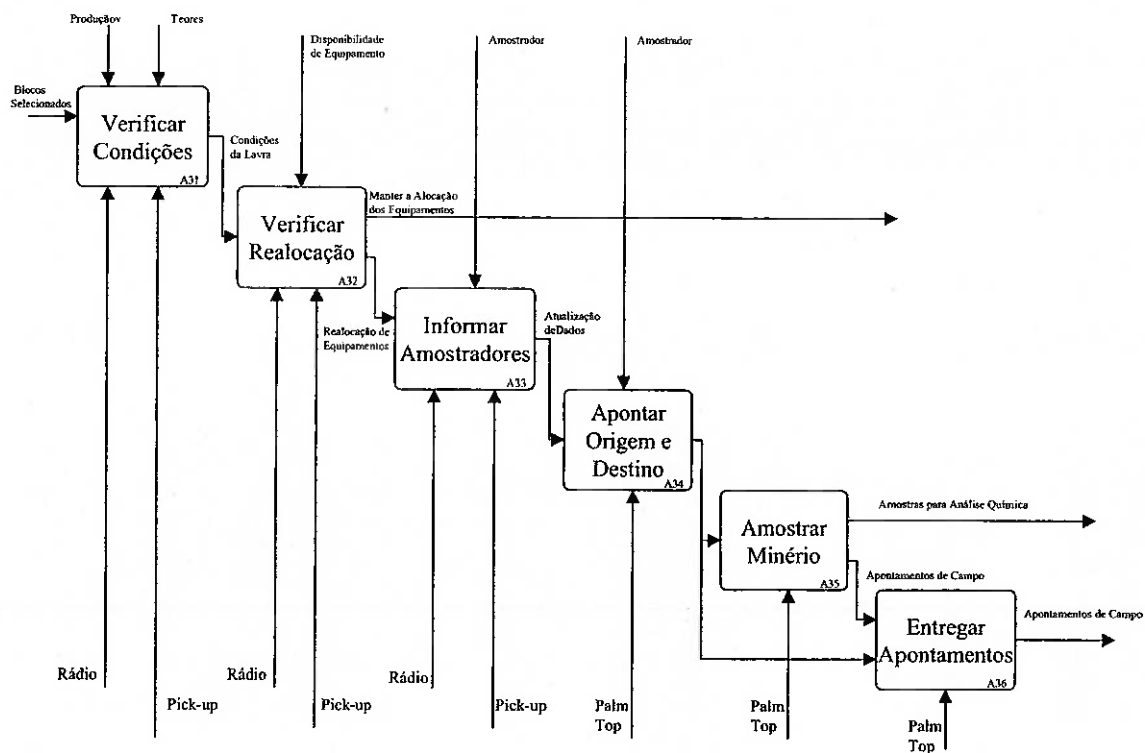


Figura 5.3.2 – Modelo de Processo TO-BE da atividade de monitoramento da produção

## 6 – Conclusões

Os sistemas de roteamento de caminhões são importantes para a tomada de decisões em planejamento e operação de minas, mas é essencial atualizar o entendimento da função dessa tecnologia, implementando-a, não para diminuir filas, mas sim para melhorar os resultados operacionais (qualidade do minério, custos etc.).

Nenhuma atividade do ciclo de planejamento deve ser avaliada e melhorada individualmente. É essencial entender o processo global (atividades, fluxo de dados, controles e mecanismos) antes de propor mudanças no processo.

A técnica de análise e modelagem de processos utilizada no estudo de caso provou ser útil para análise colaborativa de processos e para busca de melhorias operacionais, através do desenvolvimento de modelos AS-IS, TO-BE e das análises do estudo de caso.

## 7 – Referências

- CATERPILLAR. **Solução MineStar® de roteamento e alocação de caminhões.** São Paulo, 2000.
- DE TOMI, G.. **Haulage analysis in strategic open-pit mine planning - Relatório interno.** São Paulo: Laboratório de Planejamento e Otimização de Lavra, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP, 2005.
- DE TOMI, G.. **Relatório interno LAPOL – QAQC-Operations.** São Paulo: Laboratório de Planejamento e Otimização de Lavra, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP, 2004.
- DE TOMI, G.; SENHORINHO, N. C.; DAMASCENO, P. F. T. . Controle de parâmetros de qualidade otimiza planejamento da mina. **Minérios e Minerales**, São Paulo, n. 246, p 37-40, março 2000.
- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.Laboratório de Planejamento e Otimização de Lavra **Gerenciamento integrado da cadeia de valor mineral - Relatório científico final.** São Paulo, 2005. (Projeto ERP-CVM-I. Fapesp N.º 02/13716-0).
- MICHEL, B.A. **Método de representação de processos em forma de fluxo – IDEF0.** Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, 2002.
- PRADO, D. **Teoria das filas e da simulação.** 2ª ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004. 126 p. (Série Pesquisa Operacional, v. 2).
- SOUZA, R.; DE TOMI, G.. Wireless technology applied to mining planning. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE APPLICATION OF COMPUTERS AND OPERATIONS RESEARCH IN THE MINERAL INDUSTRY, 32., Tucson, Arizona, 2005. **APCOM 2005: abstracts.** Littleton : SME/University of Arizona, 2005.