

PAULO KENJI GONDO

**CICLO DE PLANEJAMENTO DE LAVRA PARA MINA DE CALCÁRIO
PARA AGREGADOS**

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

Orientador:
Prof. Dr. Giorgio Francesco Cesare de Tomi

SÃO PAULO

2004

TF-2004
G587c
1421286

M20040

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005454

FICHA CATALOGRÁFICA

Gondo, Paulo Kenji

Ciclo de planejamento de lavra para Mina de Calário para
agregados / P.K. Gondo. — São Paulo, 2004.
p. 46

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

1.Mineração a céu aberto (Planejamento) 2.Softwares (Uso)-
3.Pedreiras I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente aos meus pais pelo apoio em todas as horas

Ao professor orientador Prof. Dr. Giogio Francesco de Tomi

Ao Prof. Ricardo Cabral Azevedo

Aos colegas de trabalho Felipe, Silvio, Luis, Leandro, Sérgio, Bruno, Jorge, Miguel, Dimas e Eduardo.

À empresa do estudo de caso, que permitiu transformar um trabalho particular num trabalho de formatura.

E a todos professores e colegas da faculdade.

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma metodologia de aplicação da tecnologia de gestão de planejamento de lavra em uma mina de calcário para agregado. O trabalho está associado a utilização do *software Datamine* como ferramenta principal para o dimensionamento da seqüência de lavra. Já existem várias pesquisas para otimização de minas de calcário para cimento. As minas de calcário possuem características semelhantes, como as geotécnicas, mas algumas próprias para seu planejamento. O trabalho também compreende uma revisão bibliográfica sobre planejamento de lavra e uma pesquisa sobre agregado de construção civil. Possui como produtos figuras, tabelas com resultados obtidos e plantas anexadas. Por fim, um estudo de caso real que concretiza a metodologia estudada.

Planejamento; Lavra; Software; Agregado; Calcário.

PAULO KENJI GONDO

**CICLO DE PLANEJAMENTO DE LAVRA PARA MINA DE CALCÁRIO
PARA AGREGADOS**

SÃO PAULO

2004

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	APRESENTAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	1
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	PLANEJAMENTO DE LAVRA.....	3
2.1.1	Definição.....	3
2.1.2	Otimização e Sequenciamento de Lavra.....	4
2.1.3	Horizontes de planejamento.....	5
2.2	AGREGADO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	7
2.2.1	Definição.....	7
2.2.2	Produção	8
2.2.3	Consumo	9
3	METODOLOGIA.....	10
3.1	INTRODUÇÃO	10
3.2	COLETA DE DADOS.....	10
3.2.1	Topografia.....	11
3.2.2	Modelo de Blocos	11
3.2.3	Geotecnia	11
3.2.4	Objetivos de Produção	11
3.3	SEQUENCIAMENTO DE LAVRA.....	12
3.4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	12
3.5	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	12
4	ESTUDO DE CASO	13
4.1	INTODUÇÃO.....	13
4.2	LEVANTAMENTO DE DADOS	13
4.2.1	Topografia.....	13
4.2.2	Modelo de Blocos	14
4.2.3	Geotecnia	15
4.2.4	Objetivos de Produção	15
4.3	SEQUECIAMENTO DE LAVRA	16
4.4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	17
4.4.1	Plantas Topográficas.....	17
4.4.2	Figuras.....	17
4.4.3	Planilhas de Resultados.....	19
4.5	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	25
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	27
5.1	CONCLUSÕES E DISCUSSÕES.....	27
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	28
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Os trabalhos de lavra em uma mina de calcário para agregado seguem os conceitos da lavra a céu aberto. Mas antes do início do empreendimento é necessário um estudo de viabilidade econômica resultando num fluxo de caixa. Para esse estudo será necessário saber o potencial total da mina conhecendo suas reservas cubadas totais e obtendo seus anos de vida útil.

Embora o agregado para construção civil seja de extrema importância para o desenvolvimento urbano, seu preço unitário é relativamente baixo. Mas mesmo assim, uma mina em andamento necessita de cálculos de investimentos e direcionamento de estratégias. Para isso também, o planejamento de lavra será essencial.

Com essa visão a empresa responsável pela mina pode diminuir seus custos tornando o valor de seu produto mais competitivo no mercado e visando também o aumento das margens de lucro.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia de aplicação da tecnologia de gestão de planejamento de lavra em mina de calcário para agregado. Utilizando o *software Datamine* como ferramenta principal, este estudo demonstrará a necessidade do planejamento de lavra nas tomadas de decisões de investimentos e direcionamento do avanço da mina.

Este trabalho ainda apresenta, uma revisão bibliográfica sobre planejamento de lavra e uma pesquisa sobre agregados na construção civil. No final, um estudo de caso real utiliza-se da metodologia em estudo.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação tem a estrutura sumarizada a seguir:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Apresenta o trabalho, seu objetivo e sua estrutura;
- **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** Conceitos sobre planejamento de lavra e pesquisa sobre agregados na construção civil;
- **Capítulo 3 – Metodologia:** Detalha-se a metodologia em estudo;

- **Capítulo 4 – Estudo de Caso:** Estudo de caso em que se aplica a metodologia estudada;
- **Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações:** Discute e analisa resultados e propõe idéias a trabalhos futuros;
- **Referências Bibliográficas:** Títulos da bibliografia utilizada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PLANEJAMENTO DE LAVRA

2.1.1 Definição

Segundo Nico (2004), planejamento de lavra é o processo de determinação do melhor plano de lavra de uma jazida, considerando as restrições físicas, geológicas, operacionais, ambientais, legais e econômicas, de modo a atender o objetivo comum de todo planejamento empresarial que é a obtenção de lucro.

Senhorinho (2001) classifica o processo de planejamento de lavra em minerações a céu aberto em duas fases:

- A primeira fase que abrange a exploração, a conceituação e o projeto;
- E a segunda que inclui a avaliação e a seleção do melhor esquema.

A Exploração é a etapa inicial e consiste na obtenção de dados morfológicos, litológicos e analíticos para a construção do modelo de blocos, incluindo informações topográficas, geológicas e geotécnicas.

Esta etapa é seguida de uma etapa conceitual, na qual são avaliados os requisitos de qualidade, sistema de transporte e informações dos custos unitários, compondo desse modo o modelo econômico, que também deve ser incluído no modelo de blocos.

O Projeto engloba inicialmente uma otimização dos limites econômicos da cava, baseada na maximização dos benefícios que deve ser aplicada usando o modelo de blocos, obtido durante a etapa de exploração. Após uma série de alternativas de transporte e taxas de produção são dimensionados os equipamentos para cada uma das opções, de modo a realizar-se análises de fluxos de caixa para o processo global.

A cava final representa a envolvente maior que maximiza o benefício operacional instantâneo de uma jazida. Como ela depende das variáveis técnicas e econômicas, sua forma final é variável e dinâmica através do tempo, o que significa que tanto o benefício operacional da mina, como suas reservas, variam constantemente.

A grande utilidade de se obter os limites máximos que podem alcançar uma cava, além de definir o potencial da jazida, é definir também a possível vida útil da jazida e a localização da usina de beneficiamento, barragens de rejeito, pilhas de disposição de estéril, pilhas de estocagem e dessa forma, também garantir um melhor controle ambiental da mina.

Na segunda fase, a avaliação e a seleção do melhor esquema são restringidas normalmente pro aspectos legais e ambientais, objetivando a maior obtenção de lucro possível.

2.1.2 Otimização e Sequenciamento de Lavra

De Tomi (2001) relata os procedimentos e requerimentos que geralmente são necessários à execução das etapas de otimização de cava e sequenciamento de lavra em minas de calcário para cimento, mas que também podem ser aplicados a minas de calcário para agregados. Eles são:

- **Modelo Geológico:** É necessário utilizar o modelo geológico da jazida, em formato de modelo de blocos, compreendendo as litologias, incluindo parâmetros operacionais da fábrica e os conhecimentos do processo, em relação à jazida.
- **Modelo Econômico:** O modelo econômico é baseado nas receitas equivalentes a cada bloco da jazida, junto com os custos operacionais de lavra, do processamento e das taxas tributárias vigentes e incidentes.
- **Modelo Geotécnico:** O modelo geotécnico representa as características geotécnicas da jazida, detando a setorização da mina e determinando os ângulos de taludes associados.
- **Objetivos de produção:** A otimização da cava é normalmente centrada nos objetivos de produção do empreendimento, que são definidos pela interação Mina/Jazida – Fábrica.

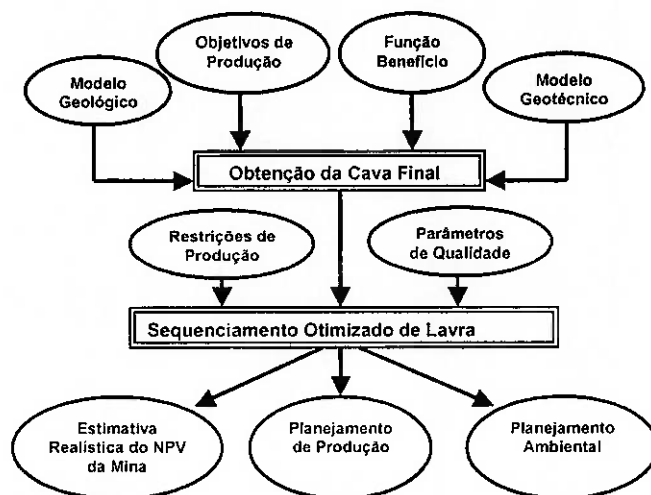


Figura 1: Etapas de Otimização e Sequenciamento de Lavra. (Lapol, 2000)

A Figura 1 acima ilustra as diversas etapas do trabalho que estão interligadas às duas principais atividades, que são a otimização da cava e o sequenciamento de lavra a longo prazo. Os resultados convergem em três áreas de interesse específico na tomada de decisão da implantação de empreendimentos de mineração: (1) estimativa do valor presente líquido do empreendimento (NPV); (2) planejamento de lavra do depósito; e (3) planejamento ambiental.

2.1.3 Horizontes de planejamento

Planejamentos de lavra apresentam dados e informações de acordo com o interesse de momento da empresa. São direcionados através do tempo desejado de retorno de resultados, ou seja, o planejamento é dividido em dois horizontes distintos: plano de longo prazo e plano de médio/curto prazo.

De Tomi et. al. (2001) divide os horizontes de planejamento de lavra da seguinte forma:

Planejamento de longo prazo

- Vida útil da mina: estudo conceitual de aproveitamento das reservas conhecidas até o final da vida útil da mina.
- Planos quinquenais: estudo específico de custos e receitas relacionados ao aproveitamento da jazida no próximo quinquênio.

Planejamento de curto/médio prazo

- Planos anuais: estudo anual, com detalhamento de custos operacionais e orçamento detalhado de custos e despesas.
- Planos Trimestrais: atualizações e ajustes trimestrais do plano anual, para acomodações de eventuais desvios do plano anual.
- Planos Mensais: detalhamento do plano trimestral para determinação de fatores operacionais que garantam a aderência aos planos trimestral e anual.
- Plano Operacional: acompanhamento diário e semanal do plano mensal.

Na Tabela I a seguir, Owen apud De Tomi (2001) sumariza os princípios de cada horizonte de planejamento, incluindo a faixa de precisão que pode ser adotada em cada plano:

Tabela I – Características dos horizontes de planejamento

	Longo Prazo (Vida Útil)	Plano Quinquenal	Plano anual
Foco	Conceitual	Capital	Custos operacionais
Precisão	Classe I (80%)	Classe II (85 - 90%)	Classe III (95%)
Escopo das mudanças	Incluir/Eliminar/A diar Projetos	Ajuste de fases, Reposição de frotas	Mudanças em índices operacionais
Receitas	Preços de projeções de longo prazo	Previsões quinquenais	Expectativas anuais
Suporte Gerencial	Cenários Estratégicos	Planos de produtividade Melhorias de processo	Performace x Objetivos Compromisso absoluto

Fonte: Owen apud De Tomi (2001) modificado

2.2 AGREGADO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.2.1 Definição

Segundo a norma NBR 7225 (ABNT 1982), agregado é o material natural, de propriedades adequadas ou obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm. Na Tabela II são apresentadas as terminologias dos agregados de acordo com esta norma.

Tabela II – Terminologia dos agregados para construção civil segundo ABNT

NOMENCLATURA	DEFINIÇÃO
Agregado graúdo	Pedra britada, brita ou pedregulho muito grosso, grosso e médio de dimensões nomais compreendidas entre 100 e 4,8 mm.
Agregado miúdo	Pedregulho fino, pedrisco grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais compreendidas entre 4,8 e 0,075 mm.
Pedra britada	Material proveniente de britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 4,8 mm.
Pedrisco	Material proveniente de britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 4,8 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm.
Areia	Material natural, de propriedades adequadas, de dimensão nominal máxima inferior a 2,0 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm.
Pó de Pedra	Material proveniente de britagem de pedra, de dimensões nominal máxima inferior a 0,075 mm.

Fonte: NBR 7225

Valverde (2004) cita que no Brasil a participação dos tipos de rochas utilizadas na produção de pedra britada é:

- Granito e gnaiss – 85%;
- Calcário e dolomito – 10%;
- Basalto e diabásio – 5%.

2.2.2 Produção

Segundo Valverde (2004), o número de empresas que produzem pedra britada é da ordem de 450, na maioria de controle familiar, e são responsáveis por cerca de 15.000 empregos diretos. Do total das pedreiras, 60% produzem menos que 200.000 t/ano; 30% produzem entre 200.000 t/ano e 500.000 t/ano e 10% produzem mais que 500.000 t/ano.

Seu estudo revela que a demanda por agregados é caracterizada pela existência de dezenas de micro-mercados, em geral independentes e limitados por um raio de até 150 km, tais como, as regiões metropolitanas, mercados regionais como a Baixada Santista, Região de Campos de Goytacazes, Blumenau, Maringá-Londrina, Foz do Iguaçu, Ribeirão Preto-Franca, Campinas, Sorocaba, Triângulo Mineiro, etc.

Em 2003 foram produzidas 320,4 milhões de toneladas de agregados, representando um decréscimo de 17% em relação a 2002. Deste total, 129,8 milhões de toneladas são representados por pedras britadas e 190,6 milhões de toneladas por areia.

Segundo o Sumário Mineral (DNPM, 2004) a produção nacional se divide nos seguintes estados:

- São Paulo (34,8%)
- Minas Gerais (12,3%)
- Rio de Janeiro (10,8%)
- Paraná (7,6%)
- Rio Grande do Sul (6,8%)
- Santa Catarina (3,5%)
- Outros estados (24,2%)

“Agregados caracterizam-se pelo baixo valor e grandes volumes produzidos. O transporte responde por cerca de 2/3 e 1/3 do preço final dos produtos, respectivamente, o que impõe a necessidade de produzi-las o mais próximo possível do mercado, que são os aglomerados urbanos. O maior problema para o aproveitamento das reservas existentes é a urbanização crescente que esteriliza importantes depósitos ou restringe a extração. A ocupação do entorno de pedreiras por habitações criam sérios problemas para as lavras em operação. Em consequência, novas áreas de extração estão cada vez mais distantes dos pontos de consumo, encarecendo o preço final dos produtos.” (Valverde, 2004)

2.2.3 Consumo

Segundo Sumário Mineral (DNPM, 2004) a segmentação do mercado consumidor brasileiro para brita em 2003 foi a seguinte:

- Concretos (35%)
- Pavimentação e rodovias (30%)
- Pré-fabricados (15%)
- Varejo (10%)
- Outros - enrocamento, gabiões, lastro, taludes, etc (10%)

De acordo com o Sindipedras (2004), a Região Metropolitana de São Paulo é a maior consumidora de brita em todo país, com uma demanda estimada média de 2.200.000 t por mês. Outros grandes mercados são as Regiões Metropolitanas de Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Curitiba e Porto Alegre e as Regiões de Campinas, Sorocaba e Baixada Santista no Estado de São Paulo e Maringá-Londrina no Estado do Paraná.

Segundo estudo de Valverde (2004) o setor de agregados teve fortes impactos com elevação de custos no período de 1999 a 2003, tendo atingido uma inflação setorial de 100% neste período.

Os itens que sofreram maior aumento na indústria de brita foram explosivos, produtos siderúrgicos (matérias de desgaste como mandíbulas e mantas de britadores, telas e peneiras, materiais e peças fundidas e chaparias em geral), combustíveis e lubrificantes e energia.

Seu estudo conclui que em 2003, poucos investimentos foram realizados para substituição de equipamentos e processos com o objetivo de atualização tecnológica, melhoria de qualidade de produtos e preservação ambiental. A partir de 2004 estima-se um período de investimentos na indústria da construção civil em obras de infra-estrutura e habitação, oriundos em parte do setor público (em torno de 60%) o que permitirá a retomada de crescimento do setor de agregados na razão de 3% a 5% ao ano.

Os preços permaneceram estagnados em 2003 repetindo uma tendência iniciada em 1999, principalmente nos grandes centros consumidores. Em algumas regiões de reconhecida escassez de matéria prima para brita chegaram a atingir R\$ 35,00/t FOB mina e, em outras regiões como as Regiões Metropolitanas de São Paulo, Curitiba e Belo Horizonte os preços permaneceram estáveis na faixa de R\$ 9,00/t. (DNPM, 2004).

3 METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

Como já apresentado nos capítulos anteriores, o principal objetivo deste trabalho é a aplicação da tecnologia de gestão do ciclo de planejamento de lavra numa mina de calcário para agregado.

A metodologia proposta concentra-se em criar um procedimento que atenda os objetivos de produção, através de um sequenciamento de lavra. Para isso será utilizado como ferramenta principal o Software Datamine Studio 1.4.

Inicialmente defini-se o horizonte de planejamento. Neste caso o horizonte a ser adotado é primeiramente o de longo/médio prazo e depois o de curto prazo.

Após definir o horizonte de trabalho, a metodologia pode ser dividida em quatro etapas:

- Coleta de dados;
- Sequenciamento de lavra;
- Apresentação dos resultados;
- Interpretação dos resultados.

3.2 COLETA DE DADOS

Os dados a serem coletados servirão de base para o planejamento de lavra. O horizonte do planejamento a ser executado e o tipo da mina no qual será elaborado o planejamento determinam o foco do levantamento.

Para este trabalho os dados mais importantes são:

- Topografia;
- Modelos de blocos;
- Geotecnia;
- Objetivos de produção.

Cada um deles será comentado de uma forma sucinta para melhor esclarecimento.

3.2.1 Topografia

O levantamento topográfico servirá para atualização do modelo de blocos. Em detalhe, um levantamento deve ser constituído de curvas de níveis e vias de acesso local.

Tomando suas medidas e cotas em três dimensões, são importados ao Datamine para que a superfície do modelo de blocos seja remodelada e apresente a situação atual da mina.

3.2.2 Modelo de Blocos

Através de dados topográficos e geológicos, como furos de sondagem, determina-se o modelo geológico da mina e conseqüentemente cria-se o modelo de blocos.

Este modelo tenta representar ao máximo a geologia da mina através de blocos com valores atribuídos como: teores, densidade, volume entre outros.

Cada bloco tem seu tamanho adequado à estrutura do projeto. Frequentemente, a altura do bloco é igual à altura da bancada da mina. Em relação a quantidade que envolve um modelo, pode se estender em até milhões de blocos.

O modelo deverá conter completamente o corpo mineral e sua atualização dependerá apenas da topografia levantada e atualizada no período de execução do trabalho.

3.2.3 Geotecnia

A geotecnia da jazida denota a setorização da mina e determina os ângulos de taludes associados. Além desses parâmetros também são dimensionados a alturas das bancadas e larguras das bermas tanto em solo como em rocha sã, dependendo da litologia relacionada.

Tais parâmetros devem ser muito bem dimensionados seguindo um critério muito rigoroso pois está em risco a estabilidade dos taludes. Muitas vezes num planejamento de uma mina em andamento pode-se respeitar os parâmetros, os objetivos de produção e a experiência da empresa proprietária da mina.

3.2.4 Objetivos de Produção

O planejamento de lavra é, frequentemente, centrado nos objetivos de produção do empreendimento, que são definidos pela integração Mina/Jazida – Usina de beneficiamento – Mercado. Normalmente os objetivos de produção são fixados em quantidade de volume ou tonelagem de minério e estéril. (De Tomi, 2001)

3.3 SEQUENCIAMENTO DE LAVRA

Após a coleta dos dados, pode-se desenvolver os passos de lavra do planejamento.

Para um planejamento a longo prazo define-se a cava final respeitando as restrições legais ao empreendimento e as restrições inferidas pelo uso e ocupação do solo.

No caso de um planejamento a médio/curto prazo os fatores limitantes para os passos intermediários serão o período de tempo determinado (anos, por exemplo) e a cava final., pois nenhum deles poderão ultrapassar o projeto da cava final.

Após terminado o desenho de um passo de lavra será extraída do modelo de blocos a quantidade correspondente ao volume, ou tonelagem, de produção durante seu período. O resultado é comparado com o do objetivo de produção e se estiverem próximos, parte-se para o passo seguinte. Senão, será feito um redimensionamento do mesmo.

Assim, sucessivamente, cria-se outra cava, desenvolvendo uma série de cavas intermediárias que darão origem ao sequenciamento de lavra.

3.4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados serão apresentados através de:

- Plantas Topográficas;
- Figuras;
- Planilhas de Resultados.

3.5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta etapa, são analisados todos os tipos de comparações possíveis:

- Planejado X Realizado;
- Planejado X Não Realizado;
- Não Planejado X Realizado.

Para cada item acima, os resultados serão interpretados, retomados e reconciliados. Deste modo, garante-se seqüência ao ciclo do planejamento, sempre com dados atualizados, dando suporte às novas decisões.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 INTODUÇÃO

O Estudo de caso foi um trabalho de planejamento realizado para uma mina que prevê a necessidade de 1.500.000 t anuais de agregado para construção civil para os próximos 10 anos.

Para atender a esta demanda foi elaborado um planejamento de lavra de médio a longo prazo com a determinação da configuração de lavra para 10 anos de operação.

Após a definição da cava para 10 anos foi elaborado o planejamento de curto prazo para atender a demanda dos próximos 3 anos de lavra, com a configuração dos passos de lavra para 2005, 2006 e 2007. Estes passos contemplam uma reserva liberada excedente mínima suficiente para 1 ano de operação.

4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento dos dados para elaboração deste estudo de caso foi realizado através de pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo e informações fornecidas pela empresa.

4.2.1 Topografia

Toda a área da mina e seu entorno foram levantadas topograficamente e geo-referenciadas em coordenadas UTM. A topografia da região em lavra da mina tem sua atualização executada trimestralmente.

Os dados foram fornecidos pela empresa em arquivo digital com extensão *.dwg*, contendo a topografia geo-referenciada em curvas de níveis.

A topografia na extensão *.dwg* foi digitalizada, e importada ao *Datamine*, obtendo-se um modelo digital do terreno (DTM).

A atualização topográfica da mina utilizada no trabalho, foi feita em junho de 2004. Além do Anexo I, a Figura 1 também apresenta essa atualização.



Figura 1 – Atualização topográfica da mina (junho de 2004)

4.2.2 Modelo de Blocos

Com topografia digitalizada pode-se dar início a elaboração do modelo de blocos.

Sob a DTM foram projetados blocos individuais de lavra, também chamados de bloco tecnológico de lavra, com as seguintes dimensões: 25 m X 25 m X 10 m. Nas zonas de contacto estes blocos são divididos automaticamente em sub-blocos, de maneira a dar a necessária precisão. Desta forma foi obtido o modelo geométrico (ou matemático) de blocos da jazida.

Sobre o modelo de blocos importaram-se os dados geológicos digitalizados. Entre eles estão as densidades que foram definidas com os seguintes valores:

- Densidade do estéril (solo): 1,8
- Densidade do minério (rocha): 2,7

Este procedimento é iterativo, passando-se do papel para o computador e vice-versa, diversas vezes, até que o modelo tenha a configuração próxima da realidade geoestrutural e litológica da mineralização e possa ser testado de várias formas.

Uma vez finalizado, obteve-se o modelo geológico na forma de modelo de blocos na plataforma *Datamine*.

4.2.3 Geotecnia

Respeitando os objetivos de produção, a segurança e a experiência da empresa, definiu-se os parâmetros geotécnicos..

Foram projetados os taludes em solo com 15 metros de altura, porém a viabilidade e a estabilidade destes taludes devem ser observadas em campo com eventual estudo geotécnico para a determinação da altura e do ângulo de talude para um fator de segurança acima de 1,4, suficiente para a manutenção estável dos taludes em solo. Caso ocorra algum deslizamento, será necessário reduzir a altura destes taludes para 10 metros.

São apresentados os parâmetros definidos na Tabela III a seguir.

Tabela III – Parâmetros geotécnicos

Altura máxima das bancadas em rocha	15 m
Altura máxima das bancadas em solo	15 m
Largura das bermas operacionais	15 m
Largura das bermas de transporte	13 m
Largura das bermas finais	08 m
Largura das rampas	15 m
Declividade máxima das rampas	10 %
Ângulo de face do talude em rocha	75°
Ângulo de face do talude em solo	45°

4.2.4 Objetivos de Produção

Para 2004 está programada a produção para o segundo semestre de 650.000 t. A produção da mina deve alcançar sua capacidade máxima, mantendo a instalação de britagem atual, em 2006, com cerca de 1.500.000 t anuais.

O Planejamento decenal de lavra considerado deve atender a produção programada para o final de 2013, com pelo menos um ano de reserva liberada.

A expectativa de produção anual para a pedreira é a seguinte:

Tabela IV – Produção anual

ANO	MINÉRIO	
	Produção por ano (t)	Produção acumulada (t)
2004	650.000	650.000
2005	1.400.000	2.050.000
2006	1.500.000	3.550.000
2007	1.500.000	5.050.000
2008	1.500.000	6.550.000
2009	1.500.000	8.050.000
2010	1.500.000	9.550.000
2011	1.500.000	11.050.000
2012	1.500.000	12.550.000
2013	1.500.000	14.050.000
2014	1.500.000	15.550.000
2015	1.500.000	17.050.000

4.3 SEQUECIAMENTO DE LAVRA

O objetivo do planejamento a longo prazo foi projetar uma cava para 10 anos de operação lavrando 14.050.000 t de minério mais um ano de reserva liberada, ou seja, um total de 15.550.000 t. Esta cava daria início ao sequenciamento de lavra durante os outros anos.

O planejamento de curto prazo contempla os projetos da configuração de lavra dos 3 primeiros anos (2005, 2006 e 2007).

Para o primeiro ano do planejamento de curto prazo foi considerado a soma da necessidade do final de 2004 (650.000 t) mais a do ano de 2005 correspondente (1.400.000) mais um ano de reserva liberada (1.500.000), ou seja, 3.550.000 t de minério.

A quantidade de estéril para cada passo anual foi estimado como 10% do valor total movimentado no passo de 10 anos.

Para os dois passos seguintes os valores incrementais de minério eram de 1.500.000 t pois a reserva liberada já foi somada no passo inicial de lavra, ou seja, referente a 2005.

4.4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.4.1 Plantas Topográficas

Foram elaboradas cinco plantas topográficas em formato A3 como arquivos de extensão .dwg. Estas plantas contêm curvas de níveis, acessos, crista e pé referentes às bancadas da topografia inicial e das cavas do sequenciamento. Todas elas podem ser observadas no Anexo I – Plantas Topográficas.

4.4.2 Figuras

As figuras foram renderizadas em 3D obtida através do Datamine. No mesmo quadro estão ilustrados o passo anterior e o atual a cada configuração, ou seja, as linhas representam a topografia atual e o fundo azul indica a superfície da cava indicando assim o avanço efetuado.

A seguir seguem as figuras 2, 3 ,4 e 5 correspondente aos 4 passos de lavra na ordem de desenvolvimento do projeto:

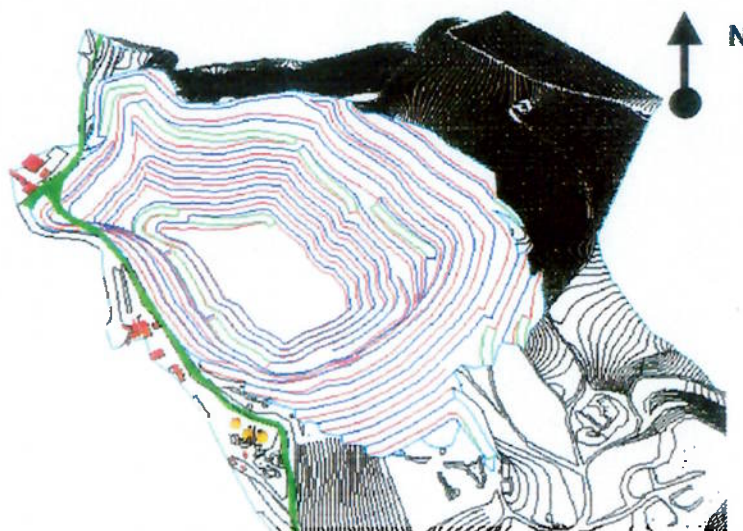


Figura 2 - Configuração de lavra para 10 anos

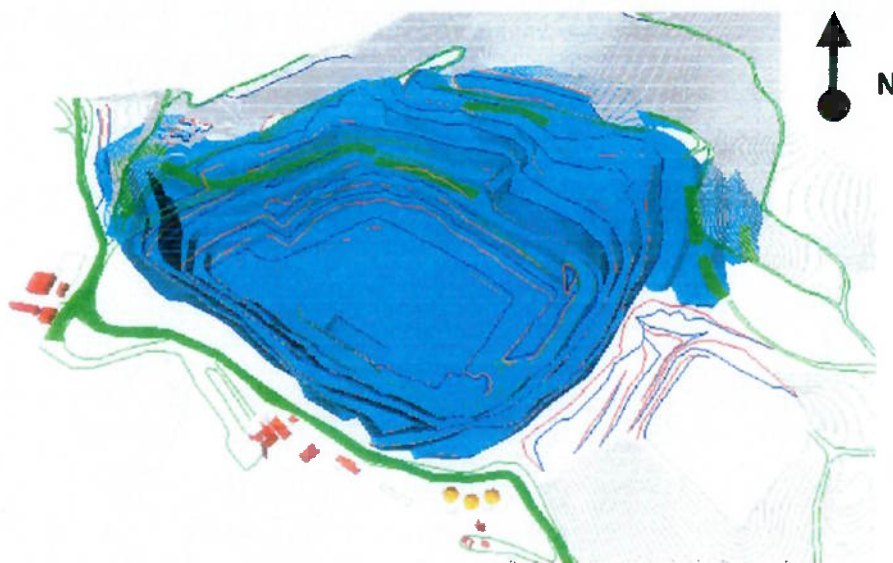


Figura 3 - Configuração de lavra para 2005

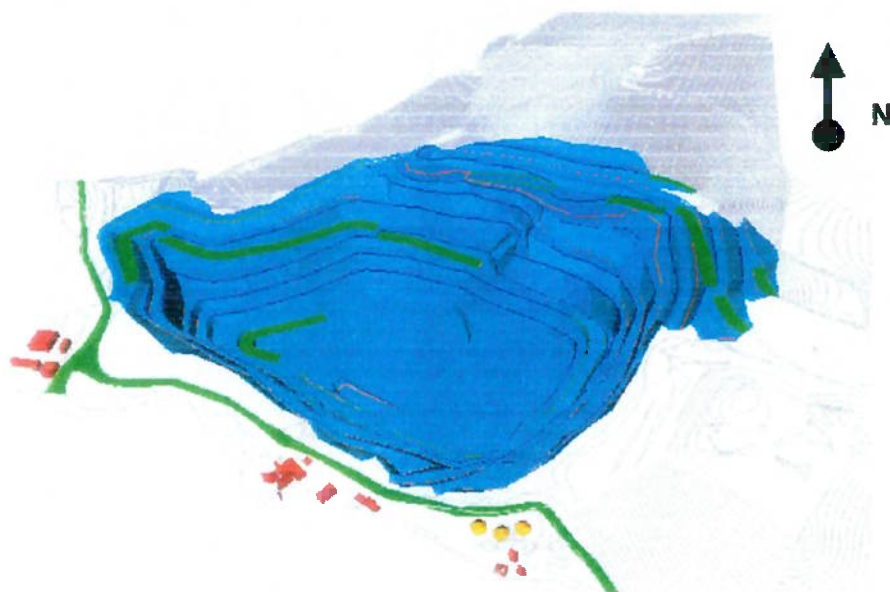


Figura 4 - Configuração de lavra para 2006

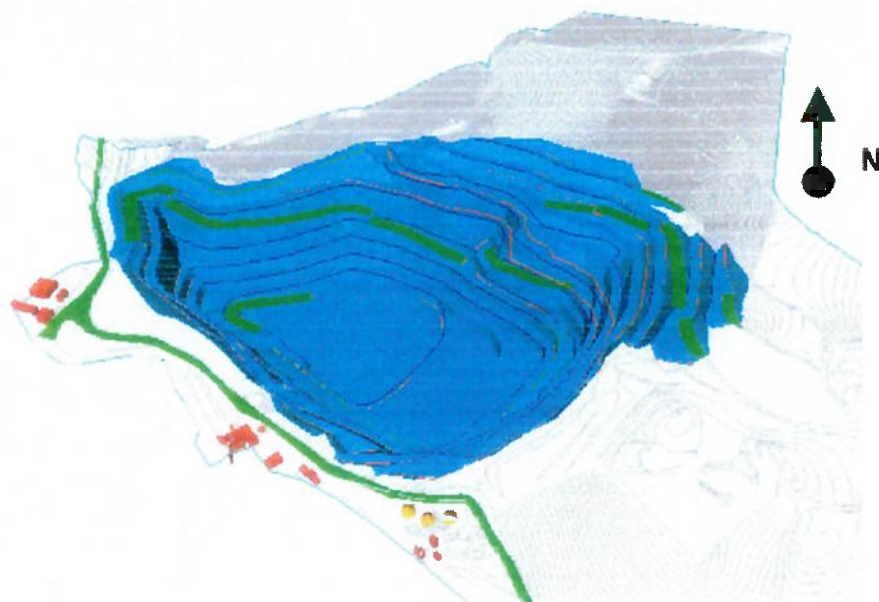


Figura 5 - Configuração de lavra para 2007

4.4.3 Planilhas de Resultados

Os resultados estão apresentados em diferentes formas de tabelas. Os tipos são:

- Incrementais: correspondem aos valores lavrados no passo de lavra;
- Acumulados: correspondem aos valores lavrados no passo de lavra somados ao do passo anterior;
- Por níveis: correspondem aos valores, incrementais ou acumulados, lavrados em cada nível de bancada de cada passo.

Seguem abaixo as tabelas de cada configuração:

Planejamento a longo prazo (10 anos)

Tabela V – Valores acumulados da configuração de lavra para 10 anos

PLANEJAMENTO - VALORES ACUMULADOS			
PASSO DE LAVRA 2013			
LITOLOGIA	TOTAL	ESTÉRIL	MINÉRIO
	t	t	t
SOLO	2.665.800	2.665.800	
ROCHA	16.877.700		16.877.700
TOTAL	19.543.500	2.665.800	16.877.700
R.E.M.	0,16		

Tabela VI – Valores acumulados por níveis da configuração de lavra para 10 anos

PLANEJAMENTO DE LAVRA VALORES ACUMULADOS				
PASSO	NÍVEIS	ESTÉRIL	MINÉRIO	TOTAL
		SOLO (t)	TOTAL (t)	
2013	640	0	1.149.127	1.149.127
	655	0	3.124.573	3.124.573
	670	0	2.914.948	2.914.948
	685	0	2.542.807	2.542.807
	698	0	885.629	885.629
	712	0	1.577.397	1.577.397
	727	0	985.182	985.182
	742	1.519	2.113.762	2.115.281
	757	158.481	1.141.394	1.299.875
	772	739.635	419.087	1.158.722
	787	427.562	23.661	451.222
	802	725.245	222	725.467
	817	294.339	0	294.339
	832	228.598	0	228.598
	848	90.843	0	90.843
	TOTAL	2.666.222	16.877.788	19.544.010

Planejamento a curto prazo (2005)

Tabela VII – Valores acumulados da configuração de lavra para 2005

PLANEJAMENTO - VALORES ACUMULADOS			
PASSO DE LAVRA 2005			
LITOLOGIA	TOTAL	ESTÉRIL	MINÉRIO
	t	t	t
SOLO	545.000	545.000	
ROCHA	3.468.700		3.468.700
TOTAL	4.013.700	545.000	3.468.700
R.E.M.	0,16		

Tabela VIII – Valores incrementais por níveis da configuração de lavra para 2005

PLANEJAMENTO DE LAVRA VALORES INCREMENTAIS				
PASSO	NÍVEIS	ESTÉRIL	MINÉRIO	TOTAL
		SOLO (t)	TOTAL (t)	
2005	640	0	0	0
	655	0	0	0
	670	0	12.183	12.183
	685	0	1.244.772	1.244.772
	698	0	476.666	476.666
	712	0	595.303	595.303
	727	0	327.391	327.391
	742	283	589.306	589.589
	757	97.206	221.749	318.955
	772	72.226	921	73.147
	787	5.246	310	5.556
	802	190.940	0	190.940
	817	133.138	0	133.138
	832	46.000	0	46.000
	848	122	0	122
	TOTAL	545.161	3.468.601	4.013.761

Planejamento a curto prazo (2006)

Tabela IX – Valores acumulados da configuração de lavra para 2006

PLANEJAMENTO - VALORES ACUMULADOS			
PASSO DE LAVRA 2006			
LITOLOGIA	TOTAL	ESTÉRIL	MINÉRIO
	t	t	t
SOLO	926.400	926.400	
ROCHA	4.988.900		4.988.900
TOTAL	5.915.300	926.400	4.988.900
R.E.M.	0,19		

Tabela X – Valores incrementais da configuração de lavra para 2006

PLANEJAMENTO - VALORES INCREMENTAIS			
PASSO DE LAVRA 2006			
LITOLOGIA	TOTAL	ESTÉRIL	MINÉRIO
	t	t	t
SOLO	381.400	381.400	
ROCHA	1.520.200		1.520.200
TOTAL	1.901.600	381.400	1.520.200
R.E.M.	0,25		

Tabela XI – Valores incrementais por níveis da configuração de lavra para 2006

PLANEJAMENTO DE LAVRA VALORES INCREMENTAIS				
PASSO	NÍVEIS	ESTÉRIL	MINÉRIO	TOTAL
		SOLO (t)	TOTAL (t)	
2006	640	0	0	0
	655	0	0	0
	670	0	1.408.300	1.408.300
	685	0	111.900	111.900
	698	0	0	0
	712	0	0	0
	727	0	0	0
	742	0	0	0
	757	0	0	0
	772	0	0	0
	787	157.200	0	157.200
	802	223.900	0	223.900
	817	0	0	0
	832	0	0	0
	848	300	0	300
	TOTAL	381.400	1.520.200	1.901.600

Planejamento a curto prazo (2007)

Tabela XII – Valores acumulados da configuração de lavra para 2007

PLANEJAMENTO - VALORES ACUMULADOS			
PASSO DE LAVRA 2007			
LITOLOGIA	TOTAL	ESTÉRIL	MINÉRIO
	t	t	t
SOLO	1.305.900	1.305.900	
ROCHA	6.434.100		6.434.100
TOTAL	7.740.000	1.305.900	6.434.100
R.E.M.	0,20		

Tabela XIII – Valores acumulados da configuração de lavra para 2007

PLANEJAMENTO - VALORES INCREMENTAIS			
PASSO DE LAVRA 2007			
LITOLOGIA	TOTAL	ESTÉRIL	MINÉRIO
	t	t	t
SOLO	379.500	379.500	
ROCHA	1.445.200		1.445.200
TOTAL	1.824.700	379.500	1.445.200
R.E.M.	0,26		

Tabela XIV – Valores incrementais por níveis da configuração de lavra para 2007

PLANEJAMENTO DE LAVRA VALORES INCREMENTAIS				
PASSO	NÍVEIS	ESTÉRIL	MINÉRIO	TOTAL
		SOLO (t)	TOTAL (t)	
2007	640	0	0	0
	655	0	0	0
	670	0	575.500	575.500
	685	0	63.600	63.600
	698	0	0	0
	712	0	29.500	29.500
	727	0	93.000	93.000
	742	0	331.700	331.700
	757	12.400	235.300	247.700
	772	259.200	115.000	374.200
	787	107.700	1.600	109.300
	802	200	0	200
	817	0	0	0
	832	0	0	0
	848	0	0	0
	TOTAL	379.500	1.445.200	1.824.700

4.5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos projetos executados chegaram muito próximos aos valores planejados. Para todas as configurações os resultados foram muito satisfatórios, alcançando o objetivo do trabalho.

Na configuração de 10 anos o avanço de produção chegou ao nível 640 m. Nos níveis superiores, onde será feito decapeamento, foram adaptados acessos para estradas que levam ao “Bota-fora” da mina.

O total lavrado chegou ao valor de aproximadamente 16.900.000 t de minério, o que corresponde a quantidade planejada mais um ano e meio de reserva liberada no fundo da mina.

O passo de lavra referente a 2005 é caracterizado pela reabertura das frentes de desenvolvimento a N/NE da mina. Este avanço permite a retomada do acesso aos níveis superiores e consequentemente facilita o transporte para o depósito de estéril e para a britagem primária sem a necessidade de utilizar a estrada municipal.

A frente N/NW é a principal frente de produção para este passo de lavra. Também foi considerado uma reserva liberada mínima de 1 ano ou seja 1.500.000 t.

No passo de 2006 as frentes de produção e extração se concentraram no desenvolvimento do fundo da mina na cota 670 m.

Como o abastecimento da mina ocorrerá principalmente no desenvolvimento do fundo da mina, o sistema de bombeamento e drenagem de água deverá manter o fundo da mina seco, mesmo no período de chuvas da região.

Na frente N/NE ocorre a continuação do avanço das frentes de limpeza e desenvolvimento da mina e consequente preparação para o início das frentes de produção programadas para o ano de 2007.

Em 2007 ocorre a diversificação das frentes de produção e abastecimento, com a retomada dos níveis superiores temporariamente interrompidas (ausência de frentes liberadas para a lavra de brita), durante o passo 2 de lavra.

As frentes de desenvolvimento e limpeza ficarão concentradas no avanço a N/NE da mina.

Para o período de 2008 a 2013 estima-se que as frentes de abastecimento e produção na parede da mina estarão concentradas no avanço da frente S/SW.

No fundo de cava ocorrerá o desenvolvimento dos próximos níveis de lavra nas cotas 655 e 640 m. Estima-se que aproximadamente 50% da lavra para abastecimento ocorrerá no desenvolvimento do fundo de cava.

As frentes de limpeza serão direcionadas para a frente S/SE da mina, com o intuito de preparar o desenvolvimento desta frente para os próximos anos de lavra.

Com base na perspectiva de abastecimento levantada e nos resultados obtidos com o desenvolvimento dos passos de lavra e das necessidades de remoção de estéril e limpeza da mina, estima-se a seguinte programação decenal de lavra:

Tabela XV – Programação decenal de lavra

PROGRAMAÇÃO DECENAL DE LAVRA					
ANO	MINÉRIO / BRITA		ESTÉRIL / SOLO		R.E.M
	ANO	ACUMULADO	ANO	ACUMULADO	
2004	650.000	650.000	164.000	164.000	0,25
2005	1.400.000	2.050.000	380.000	544.000	0,27
2006	1.500.000	3.550.000	380.000	924.000	0,25
2007	1.500.000	5.050.000	380.000	1.304.000	0,25
2008	1.500.000	6.550.000	227.000	1.531.000	0,15
2009	1.500.000	8.050.000	227.000	1.758.000	0,15
2010	1.500.000	9.550.000	227.000	1.985.000	0,15
2011	1.500.000	11.050.000	227.000	2.212.000	0,15
2012	1.500.000	12.550.000	227.000	2.439.000	0,15
2013	1.500.000	14.050.000	227.000	2.666.000	0,15
2014	1.500.000	15.550.000			0,00
2015	1.300.000	16.850.000			0,00

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma metodologia de aplicação da gestão de planejamento de lavra em uma mina de calcário para agregado. Este objetivo foi alcançado através de um estudo de caso real onde os resultados chegaram às necessidades de produção da mina utilizando a metodologia.

A empresa solicitou uma avaliação de reservas a um período de longo prazo já determinado, 10 anos, para poder prever futuros investimentos e direcionamento de estratégias. Ao mesmo tempo também solicitou planejamento de curto prazo para os próximos 3 anos.

A mina não vinha retirando estéril (solo) por um bom tempo (anos), apenas lavrava alguns níveis e direcionava o avanço da cava verticalmente para baixo. Então, surgiu a necessidade de expandir mais os limites da mina e conseqüentemente um possível aumento de produção.

Inicialmente, foram estimados valores maiores de produção em relação à capacidade atual. Seriam números hipotéticos que caso se tornassem reais, levariam a empresa a um grande faturamento.

Lançado o desafio, foi-se atrás de informações na literatura que pudessem auxiliar no desenvolvimento de uma metodologia que atendesse as necessidades.

O planejamento de longo prazo logo foi superado obtendo-se a quantidade necessária de agregados mais 1,5 ano de reserva liberada. Conseguiu-se uma R.E.M. de 0,16 resultando aproximadamente 2.650.000 de toneladas de estéril.

Para os passos anuais, foi dividido a quantidade obtida de estéril em 10 anos, tendo-se o valor de estéril a retirar em cada ano.

Além da produção, os projetos visavam adaptar acessos da mina para estradas que levassem ao novo Bota-fora. Sendo que apenas um acesso teve que ser construído em aterro o resto não apresentou problemas e os valores finais foram alcançados.

Os dados foram apresentados também através da tonelagem por nível, o que tornou ainda mais simples e amplo as condições de análise para estratégias.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nico (2004), citou pesquisas realizadas para otimização de minas de minerais industriais com aplicação para cimento. Conclui que no caso de pedreiras de agregados, não há sentido em definir teores no modelo de blocos, pois há apenas blocos de minério e capeamento. Sugeriu então, a possibilidade de se pesquisar sobre um modelo econômico que avaliasse o custo de lavra do bloco através da distância percorrida do caminhão que transporta o ROM até o britador com o objetivo de otimizar o planejamento de lavra.

Neste trabalho é sugerido a otimização do planejamento de lavra através de macros, ou seja, rotinas de programação no *Datamine* que calculem o centro de massa de cada nível lavrado, ou o momento de massa de cada nível, para se obter direta ou indiretamente a distância de transporte do caminhão até o britador, já que foi mostrado aqui que pode se obter a tonelagem por nível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Materiais de pedra e agregados naturais – NBR 7225. São Paulo, 1982.

AZEVEDO, R. C. Aplicação de realidade virtual no planejamento de lavra (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, EPUSP, São Paulo, 2002.

DE TOMI, G. F. C. Controle de Qualidade em Minas de Calcário para Cimento. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Grau de Livre Docente em Engenharia, São Paulo, 2001.

DE TOMI 2000, G. F. C.; AZEVEDO, R. C.; CHAUSSON, D. Planejamento e sequenciamento de lavra. In: Congresso de Mina a Céu Aberto do IBRAM, Belo Horizonte, 2000.

DNPM (DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL). Brasília. Sumário Mineral Brasileiro - 2004. Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br> >. Acesso em: 23 nov. 2004.

FARIAS, S. L. T. Controle de qualidade na lavra em minas de calcário para cimento. (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, EPUSP, São Paulo, 2001.

NICO, O. M. S. Aplicação de software de mineração no planejamento de lavra de pedreiras para construção civil. (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, EPUSP, São Paulo, 2004.

SENHORINHO, N. C. S. Otimização de cavas de mina de calcário para cimento. (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, EPUSP, São Paulo, 2001.

SINDIPEDRAS (Sindicato da Indústria de Mineração de Pedra Britada do Estado de São Paulo). São Paulo. Disponível em: < <http://www.sindipedras.org.br> >. Acesso em: 28 jan. 2004.

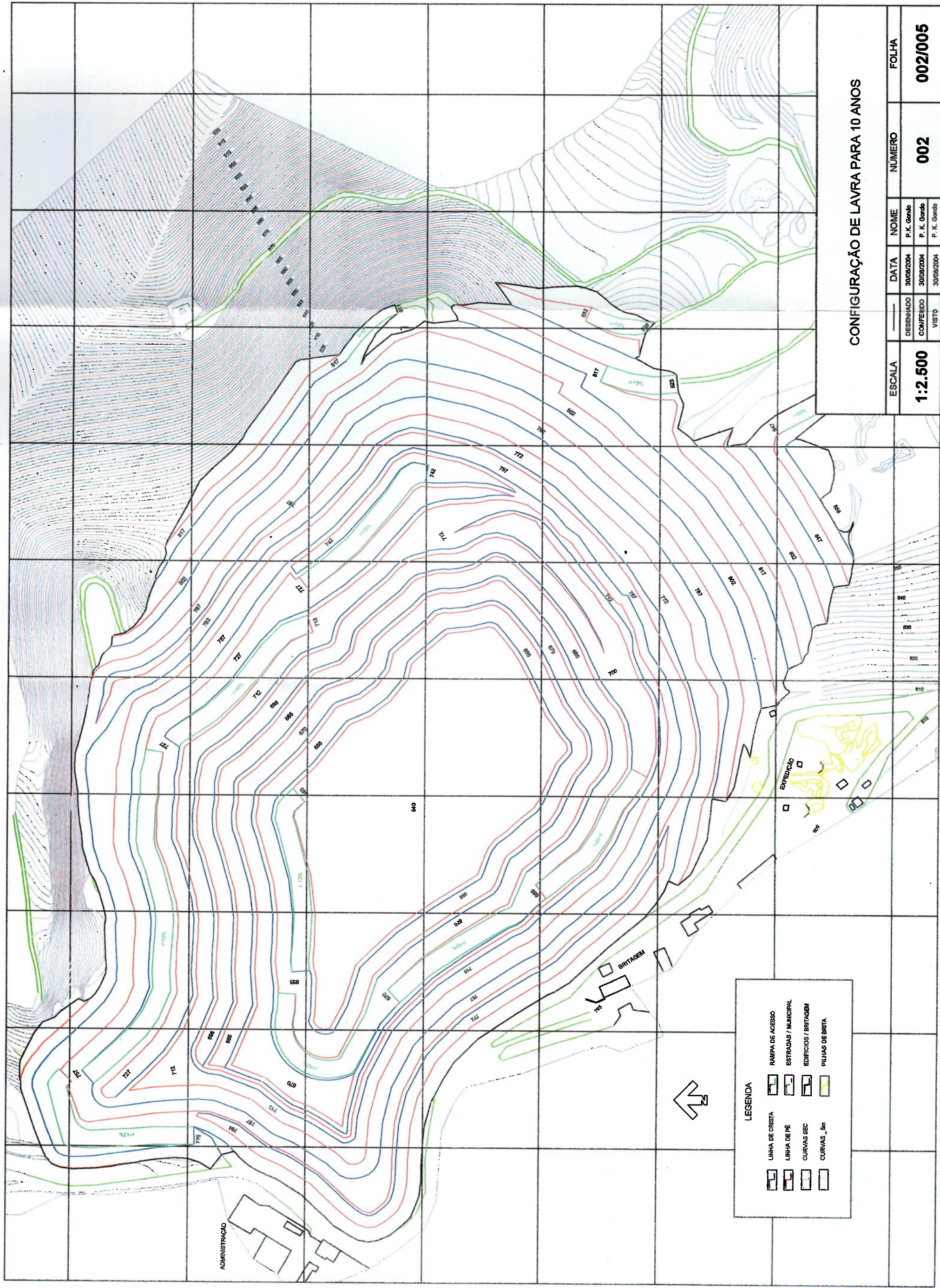
VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. Balanço Mineral Brasileiro (DNPM). Disponível em: < http://www.dnpm.gov.br/dnpm_legis/sm2004.html >. Acesso em: 23 nov. 2004.

WIESEL, H.; DE TOMI, G. F. C.; Optiseq2 – Otimização e Sequenciamento de Lavra. In: Anais do 9º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP – SICUSP, São Paulo, 2001.

ANEXO I – PLANTAS TOPOGRÁFICAS

TOPOGRAFIA ATUALIZADA EM JUNHO DE 2004

CONFIGURAÇÃO DE LAVRA PARA 10 ANOS

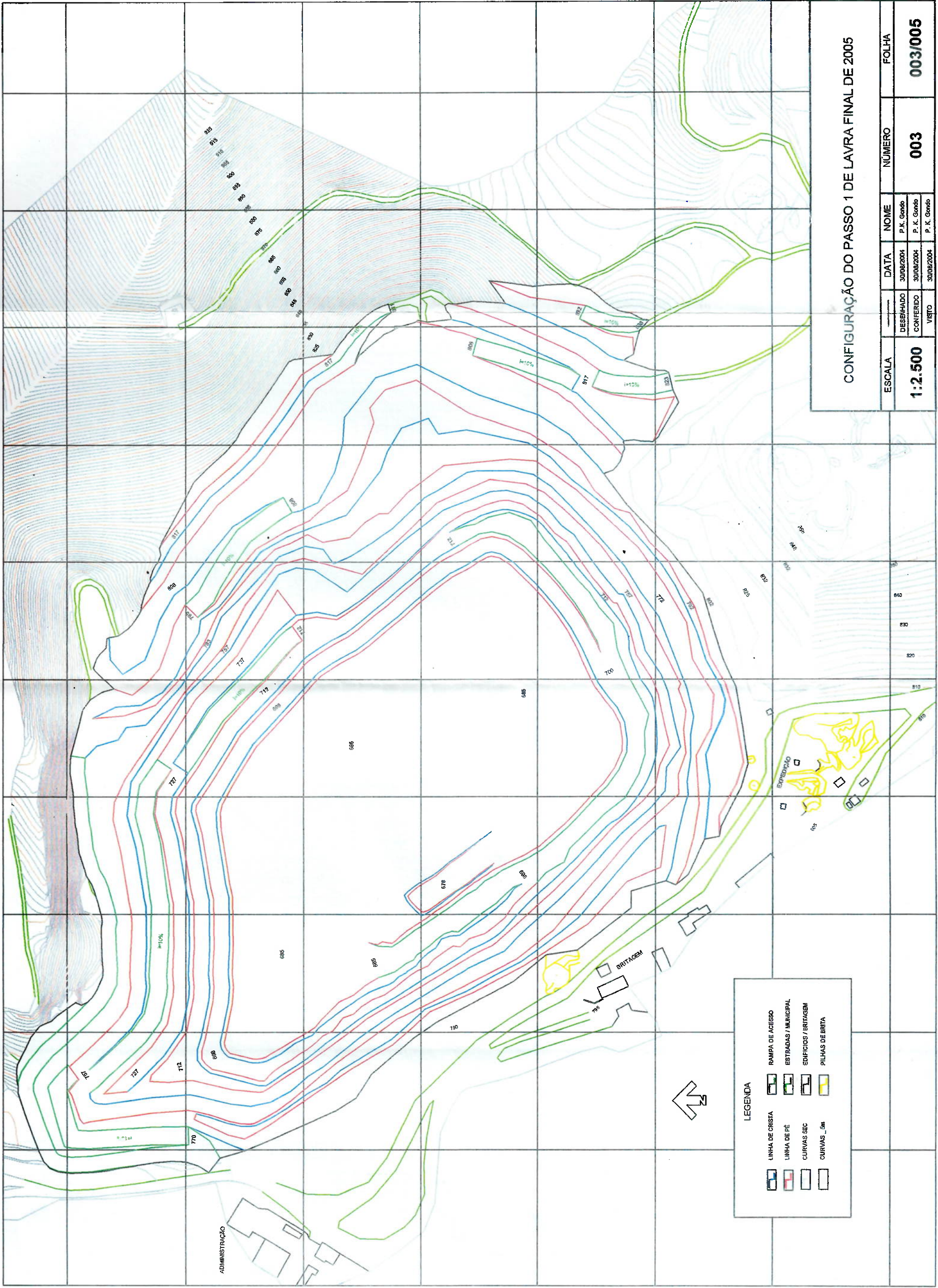


LEGENDA				
	LINHA DE CRISTA		RAMPA DE ACESSO	
	LINHA DE PÉ		ESTRADAS / MUNICIPAL	
	CURVAS SEC		EDIFÍCIOS / BRITAGEM	
	CURVAS 5m		PILAS DE BRITA	

CONFIGURAÇÃO DE LAVRA PARA 10 ANOS

ESCALA	DATA	NOME	NÚMERO	FOLHA
1:2.500	30/08/2004	P. K. Góes	002	002/005
	DESENHADO	P. K. Góes		
	CONFIRADO	P. K. Góes		
	VISTO	P. K. Góes		

CONFIGURAÇÃO DO PASSO 1 DE LAVRA FINAL DE 2005



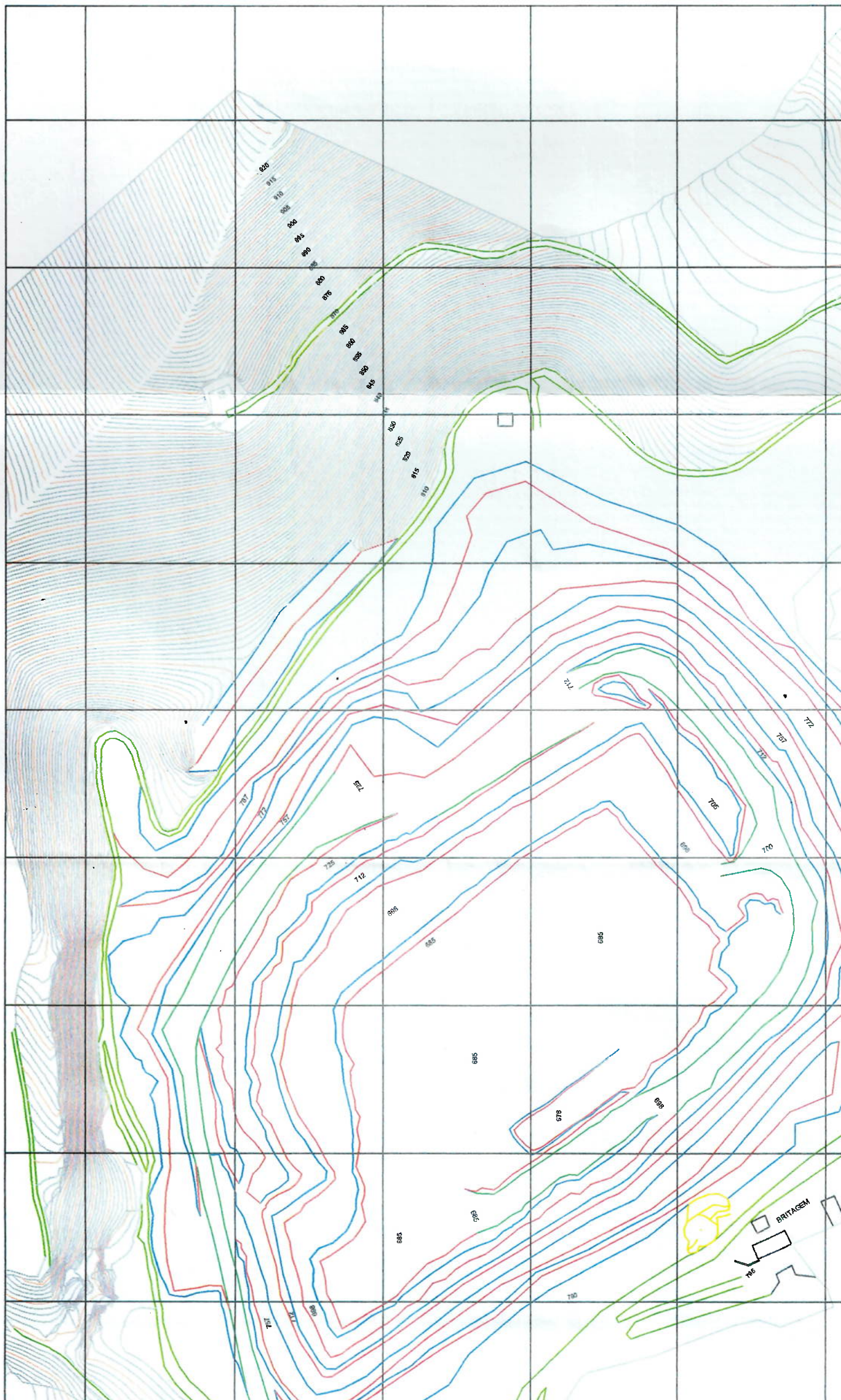
CONFIGURAÇÃO DO PASSO 1 DE LAVRA FINAL DE 2005

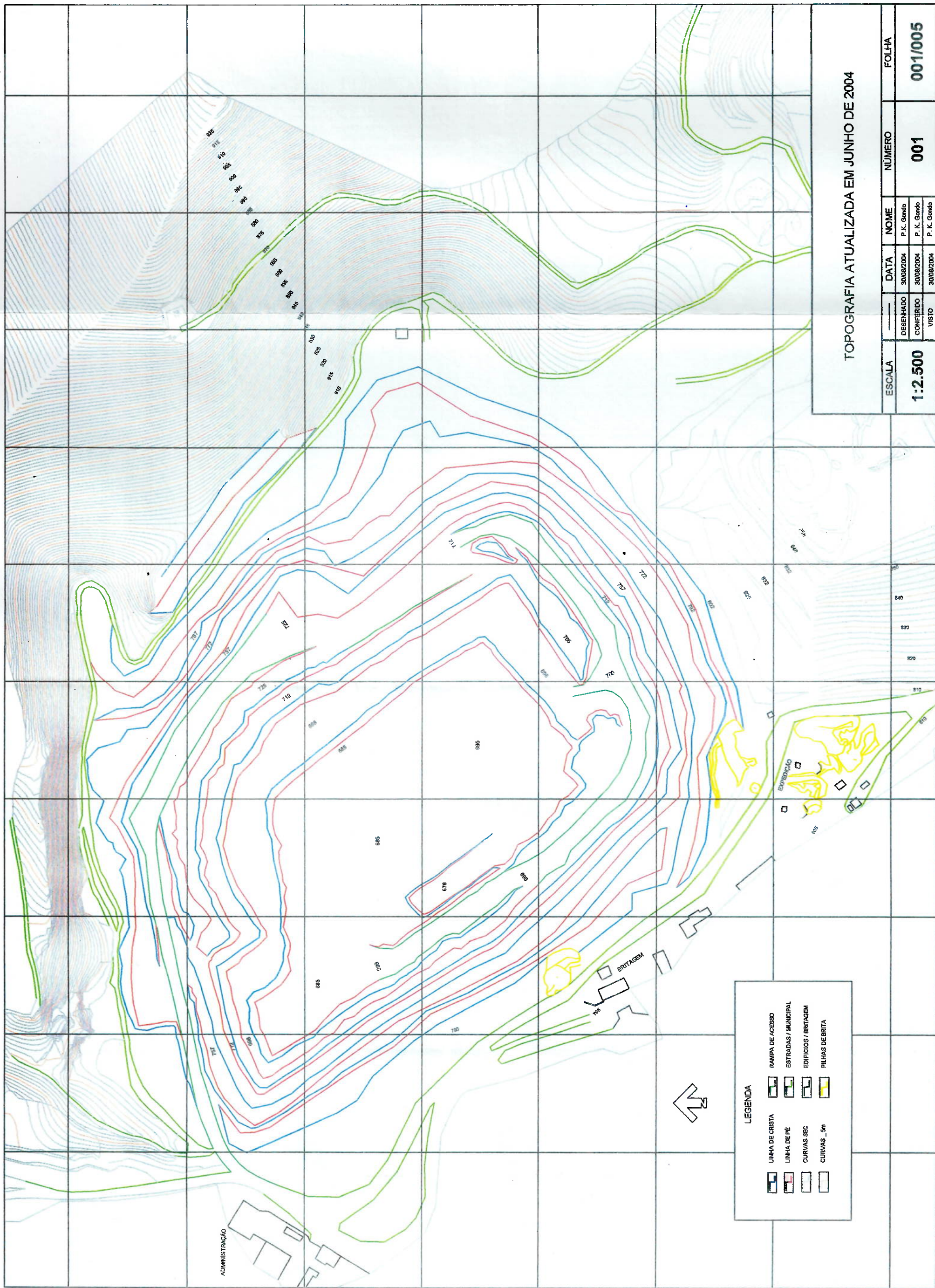
ESCALA	DATA	NOME	NÚMERO	FOLHA
1:2.500	30/08/2004	P. K. Gondo	003	003/005
	DESENHADO	P. K. Gondo		
	CONFERIDO	P. K. Gondo		
	VISTO	P. K. Gondo		

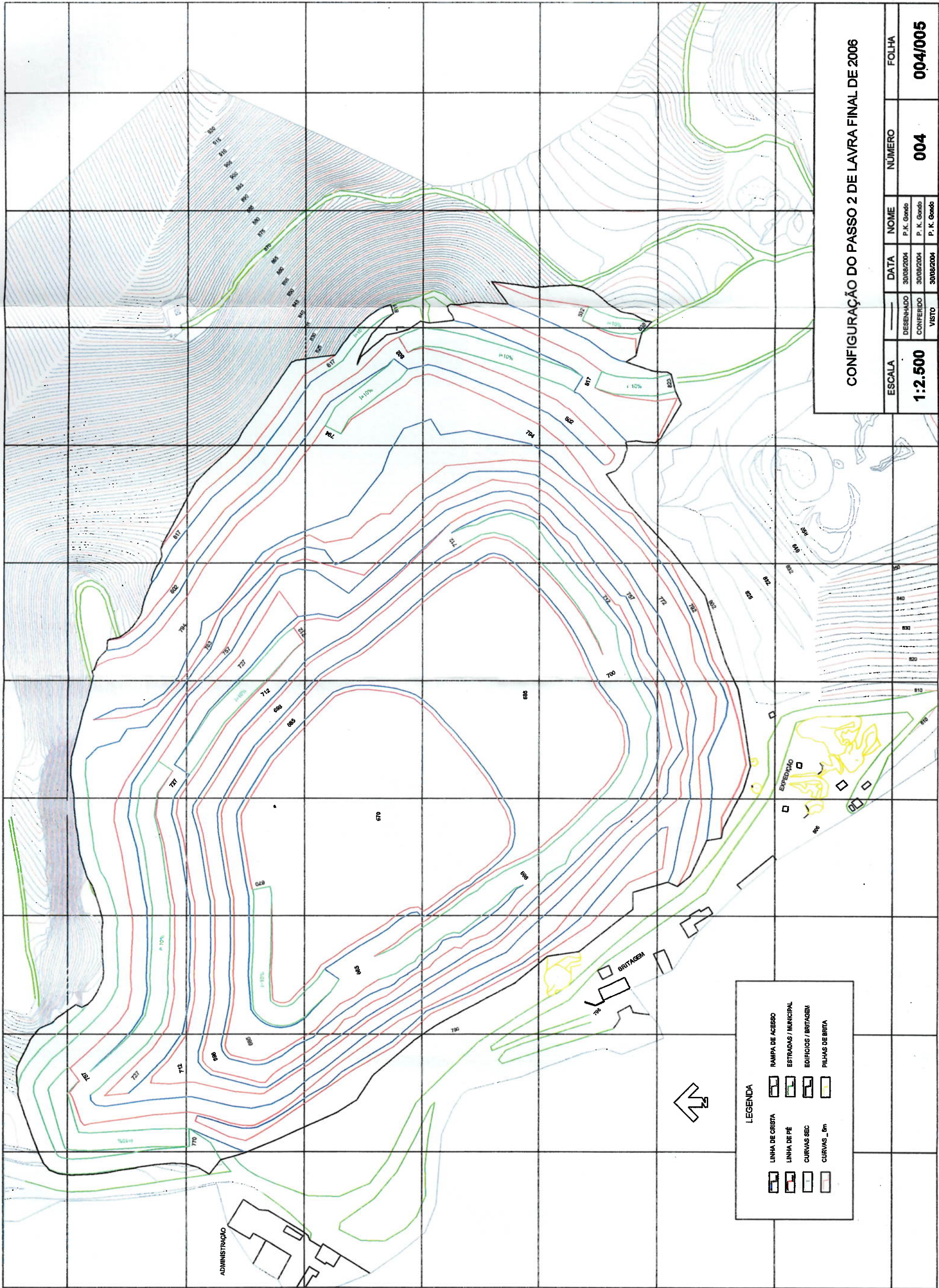
LEGENDA

	LINHA DE CRISTA		RAMPA DE ACESSO
	LINHA DE PÉ		ESTRADAS / MUNICIPAL
	CURVAS SEC		EDIFÍCIOS / BRITAGEM
	CURVAS 5m		PILHAS DE BRITA

CONFIGURAÇÃO DO PASSO 2 DE LAVRA FINAL DE 2006





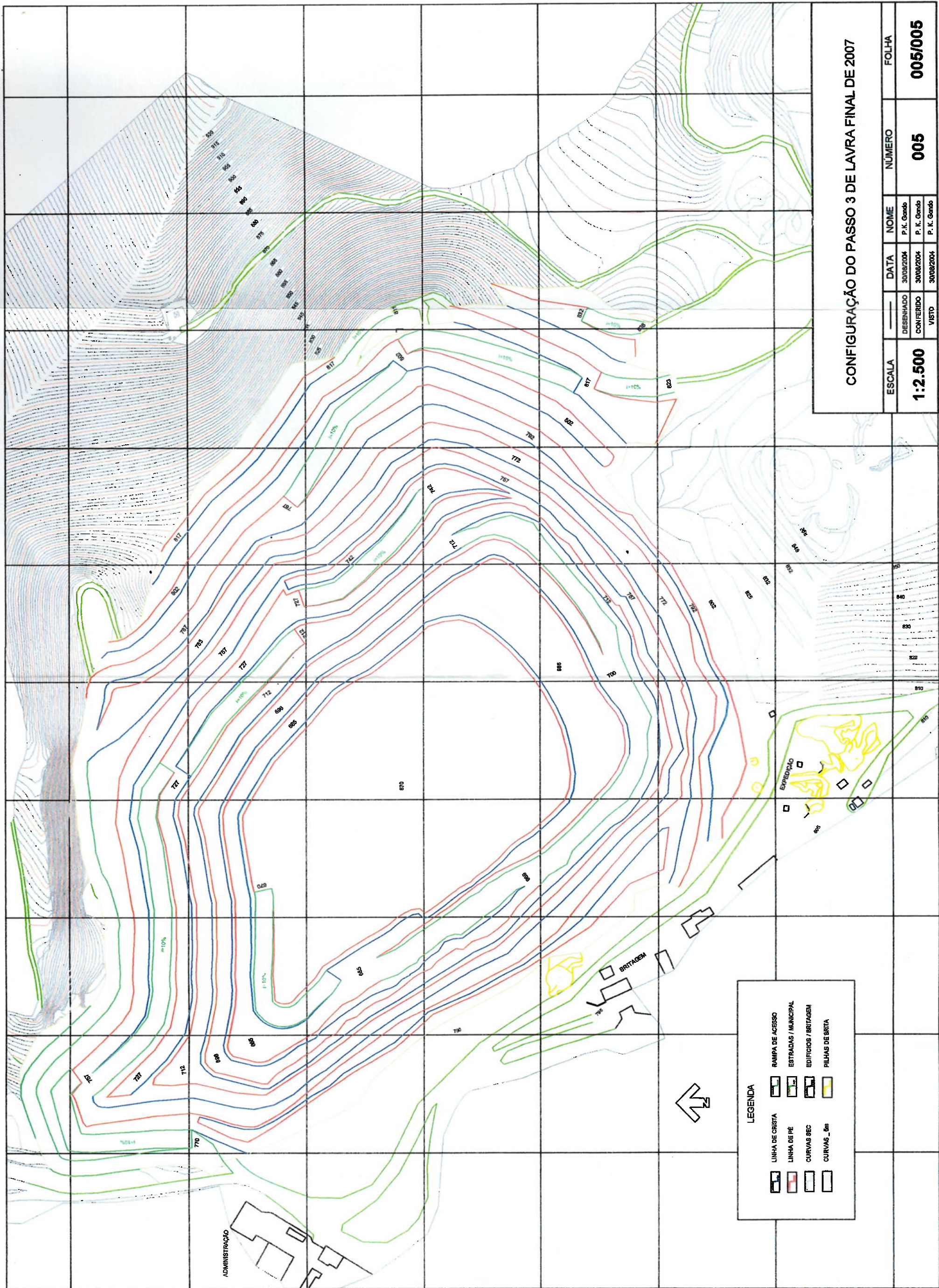


CONFIGURAÇÃO DO PASSO 2 DE LAVRA FINAL DE 2006

ESCALA	DATA	NOME	NÚMERO	FOLHA
1:2.500	DESENHADO	30/08/2004	004	004/005
	CONFERIDO	P. K. Gondo		
	VISTO	P. K. Gondo		

LEGENDA	
	LINHA DE CRISTA
	LINHA DE PÉ
	CURVAS SEC
	CURVAS 5m
	RAMPA DE ACESSO
	ESTRADAS / MUNICIPAL
	EDIFÍCIOS / BRITAGEM
	PILHAS DE BRITA

CONFIGURAÇÃO DO PASSO 3 DE LAVRA FINAL DE 2007



CONFIGURAÇÃO DO PASSO 3 DE LAVRA FINAL DE 2007

ESCALA	DATA	NOME	NÚMERO	FOLHA
1:2.500	30/09/2004	P. K. Gordo	005	005/0005
	30/09/2004	P. K. Gordo		
	30/09/2004	P. K. Gordo		

LEGENDA	
	LINHA DE CRISTA
	LINHA DE PÉ
	CURVAS SEC
	CURVAS 5m
	RAMPA DE ACESSO
	ESTRADAS / MUNICIPAL
	EDIFÍCIOS / BRITAGEM
	PILHAS DE BRITA