



PI 03152375
PI 03152375

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0315237-5

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0315237-5

(22) Data do Depósito: 02/10/2003

(43) Data da Publicação do Pedido: 22/04/2004

(51) Classificação Internacional: E21C 41/26

(30) Prioridade Unionista: 09/10/2002 AU 2002951891; 09/10/2002 AU 2002951893; 09/10/2002 AU 2002951894; 09/10/2002 AU 2002951896; 05/03/2003 AU 2003901021

(54) Título: MÉTODO E APARELHO DE DETERMINAÇÃO DE EXTRAÇÃO DE MATERIAL A PARTIR DE UMA MINA TENDO PELO MENOS UMA CAVA

(73) Titular: BHP BILLITON INNOVATION PTY LTD., Sociedade Australiana. Endereço: 180 Lonsdale Street, Melbourne Vic 3000, Austrália (AU).

(72) Inventor: GARY ALLAN FROYLAND; MERAB MENABDE

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 20/10/2015, observadas as condições legais.

Expedida em: 20 de Outubro de 2015.

Assinado digitalmente por:

Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO E APARELHO DE DETERMINAÇÃO DE EXTRAÇÃO DE MATERIAL A PARTIR DE UMA MINA TENDO PELO MENOS UMA CAVA"**.

Campo da Invenção

5 A presente invenção refere-se ao campo de extração de recurso(s) de um local em particular. Em particular, a presente invenção refere-se ao planejamento, ao projeto e ao processamento relacionados a uma localização de mina de uma maneira baseada na melhoria da extração de material considerado de valor, em relação ao esforço e/ou ao tempo na extração
10 daquele material.

Antecedente da Técnica

 Na indústria de mineração, uma vez que o material de valor, tal como minério situado abaixo da superfície do terreno, tenha sido descoberto, existe uma necessidade de extração daquele material do terreno.

15 No passado, um método mais tradicional era usar uma técnica de mineração de corte a céu aberto relativamente grande, onde um grande volume de material de perda era removido do local da mina, de modo que os mineradores atingissem o material considerado de valor. Por exemplo, com referência à Figura 1, a mina 101 é mostrada com seu material valioso 102
20 situado a uma distância abaixo da superfície do terreno 103. No passado, a maioria do material (de perda) 104 tinha de ser removido de modo que o material valioso 102 pudesse ser exposto e extraído da mina 101. No passado, este material de perda era removido em uma série de camadas progressivas
25 105, as quais eram de área cada vez menor, até o material valioso 102 ser exposto para extração. Isso não é considerado como sendo um processo de mineração eficiente, já que uma grande quantidade de material de perda deve ser removida, armazenada e retornada em um tempo posterior para o local de mina 101, de modo a se extrair o material valioso 102. É desejável
30 reduzir o volume de material de perda que deve ser removido, antes da extração do material valioso.

 O método de corte a céu aberto exemplificado na Figura 1 é visto como particularmente ineficiente quando o recurso valioso estiver locali-

zado em um lado da cava 105 de um local de mina desejado 101. Por exemplo, a Figura 2 ilustra uma situação como essa. O material valioso 102 está localizado em um lado da 105. Em uma situação como essa, não é considerado eficiente remover o material de perda 104 da região 206 que é
5 onde o material de perda não está localizado relativamente próximo do material valioso 102, mas é considerado desejável remover o material de perda 104 da região 207, que é onde ele está localizado mais próximo do material valioso 102. Isso então traz à mente outras considerações. Por exemplo, seria desejável determinar a fronteira entre as regiões 206 e 207, de modo
10 que material de perda indesejável demais não fosse removido (região 206), embora o bastante fosse removido para se garantir que fatores de segurança sejam considerados, como entradas de cava, etc. Isso então leva a outras considerações quanto à necessidade de projeto de uma 'cava' 105 com um projeto relativamente ótimo, levando em consideração a localização
15 do material valioso, em relação ao material de perda e outras questões, tais como fatores de segurança.

Esta consideração adicional levou a uma análise de projeto de cava e a uma técnica de remoção de material de perda e material valioso denominada 'recuos'. Esta técnica é ilustrada na Figura 3. Basicamente, a
20 cava 105 é projetada até uma extensão em que o material de perda 104 a ser removido seja minimizado, mas ainda permitindo a extração do material valioso 102. A técnica usa 'blocos' 308, os quais representam volumes menores de material. A área próxima do material valioso é dividida em vários blocos 308. Então, é uma questão de determinar quais blocos precisam ser
25 removidos de modo a se permitir acesso ao material valioso 102. Esta determinação de 'blocos 308' então dá origem ao projeto ou à extensão da cava 105.

A Figura 3 representa a mina como uma área bidimensional; entretanto, deve ser apreciado que a mina é uma área tridimensional. Assim,
30 os blocos 308 a serem removidos são determinados em fases e cones, os quais representam de forma mais acurada um 'volume' tridimensional, cujo volume finalmente formará a cava 105.

Uma consideração adicional pode ser tida com a situação da técnica anterior ilustrada na Figura 3. Deve-se ter consideração à programação da remoção de blocos. Com efeito, qual é a melhor ordem de remoção, quando outros aspectos comerciais, tais como tempo / valor e fluxos de caixa descontados são considerados? Há uma necessidade de se encontrar uma ordem relativamente ótima de remoção de bloco, a qual dê um valor relativamente máximo para um esforço / tempo relativamente mínimo.

Foram feitas tentativas no passado de encontrar esta ordem de 'bloco' ótima ao se determinar qual(is) bloco(S) deve(m) ser removido(s) em relação a uma ordem 'sem violação'. Voltando-nos para a ilustração na Figura 4, uma cava 105 é mostrada com material valioso 102. Para fins de discussão, ser era desejável remover o bloco 414, então, é considerado como sendo uma 'violação, se determinar uma escala de remoção de bloco a qual começou pela remoção do bloco 414 ou dos blocos 414, 412 e 413, antes que os blocos 409, 410 e 411 fossem removidos. Em outras palavras, uma escala sem violação visaria remover outros blocos 409, 410, 411, 414 e 413 antes do bloco 414. (É importante notar que o número de bloco não necessariamente indica uma ordem preferencial de remoção de bloco).

Também pode ser visto que esta escala de bloco pode ser estendida para a cava inteira 105, de modo a se remover o material de perda 104 e o material valioso 102. Com esta escala de ordem sem violação em mente, foram feitas tentativas na técnica anterior. A Figura 5 ilustra uma dessas tentativas. Tomando-se os blocos da Figura 4, os blocos são numerados e classificados de acordo com uma 'ordem de bloco minerável' tendo respeito a técnicas de mineração práticas e outros fatores de mina, tais como segurança, etc. e é ilustrado pela tabela 515. Os blocos na tabela 515 são então classificados com respeito ao Valor Presente Líquido (NPV) e é baseado em um projeto de recuo através do seqüenciamento de NPV de Vida de mina, considerando a obtenção do bloco de mais valor a partir do terreno no tempo mais curto. Para ilustração da classificação de NPV, e voltando-nos novamente para a Figura 4, há uma questão quanto a qual dos blocos 409, 410 ou 411 deve ser removido primeiro. Todos os três blocos

podem ser removidos do ponto de vista da capacidade de minerá-los, mas, por exemplo, pode ser mais econômico remover o bloco 410 antes do bloco 409. A remoção dos blocos 409, 410 e 411 não leva a 'violações', desse modo podendo ser dada consideração à ordem de remoção de bloco que seja
5 mais econômica.

A classificação de NPV é conduzida de uma maneira a qual não leva a violações da 'ordem sem violação', e provê uma tabela 517 listando uma 'ordem de bloco executável'. Em outras palavras, esta técnica da área anterior leva a uma listagem de blocos, em uma ordem a qual determina sua
10 remoção tendo respeito quanto à capacidade de minerá-los, e o retorno econômico de se fazê-lo.

Mais ainda, várias técnicas da área anterior são consideradas como tomando uma visão relativamente simples dos problemas confrontados pelo projetista de minas em uma situação de mina de 'mundo real'. Por
15 exemplo, o tamanho, a complexidade, a natureza dos blocos, o grau, o talude e outras restrições de engenharia e o tempo levado para a realização de uma operação de mineração freqüentemente não são plenamente considerados nas técnicas da área anterior, levando a problemas computacionais ou a erros no projeto de minas. Tais erros podem ter implicações significativas
20 financeiras e de segurança para o operador da mina.

Com respeito ao tamanho, por exemplo, as técnicas da área anterior falham em considerarem adequadamente o tamanho de um 'bloco'. Dependendo do tamanho do projeto geral, um 'bloco' pode ser bastante grande, levando algumas semanas, meses ou menos anos para ser minera-
25 do. Se este for o caso, muitas hipóteses feitas nas técnicas da área anterior falham em dar uma acurácia suficiente para o ambiente comercial dos dias de hoje.

Dado que muitos dos projetos de mina são complexos em termos matemáticos e computacionais, de acordo com as técnicas da área anterior, se o tamanho dos blocos fosse reduzido para maior acurácia, o resultado seria que as técnicas de otimização usadas seriam possíveis no tempo
30 (isto é, elas levariam um tempo não comumente longo para serem comple-

tadas) ou outras hipóteses teriam de ser feitas concernentes a aspectos do projeto de minas, tais como taxas de mineração, taxas de processamento, etc., o que resultaria em uma diminuição da acurácia da solução de projeto de minas.

5 Alguns exemplos de software comercial usam agentes de programação de inteiro mistos, embora o método de agregação de blocos requiera um melhoramento adicional. Por exemplo, é considerado que o produto 'ECSI Maximiser' da ECS International Pty Ltd usa uma forma de otimização de inteiro no seu projeto de recuo, mas a otimização é local no tempo, e sua formulação de problema é considerada como sendo grande demais para se otimizar globalmente pela vida de uma mina. Também, o produto 'MineMax' da MineMAX Ptd Ltd pode ser usado para se encontrar um seqüenciamento de bloco ótimo rudimentar com um agente de programação de inteiro misto, embora seja considerado que seu método de agregação não
10 respeita taludes como é requerido em muitas situações. 'MineMax' também otimiza localmente no tempo e não globalmente. Assim, quando há um grande número de variáveis, o usuário deve recorrer a subdividir a cava em seções separadas, e realizar otimizações separadas em cada seção e, assim, a otimização não é global por toda a cava. É considerado desejável ter
15 uma otimização que seja global no espaço e no tempo.

Abordagem de Programação Dinâmica

O algoritmo gráfico-teórico de Lerchs-Grossman (H. Lerchs e I. Grossman, "Optimum Design of Open-Pit Mines", Transactions CIM, 1965) provou dar uma solução relativamente exata para o problema de cava final
25 para uma mina a céu aberto em três dimensões. Lerchs e Grossman também apresentam uma abordagem de programação dinâmica para o problema em duas dimensões, o qual deste então foi estendido para três dimensões. Entretanto, a solução do algoritmo teórico gráfico tridimensional é ineficiente em termos computacionais em casos práticos.

30 Abordagem de Programação Linear

Há um programa linear (LP) como apresentado por Underwood e Tolwinski (R. Underwood e B. Tolwinski, "A mathematical programming

viewpoint for solving de ultimate pit problem", EJOR 1998). A disponibilidade de CPLEX (por ilog, www.ilog.com) como um solucionador de LP poderoso motiva a investigação da abordagem de LP para o problema de cava final.

- 5 O problema de cava final pode ser modelado como um programa de inteiro (IP), onde um valor de 1 é atribuído a blocos incluídos na cava final, e um valor de 0 é atribuído caso contrário. A formulação de IP para o problema, então, é como se segue.

Seja

- 10 $x_i = 1$, se o bloco i estiver incluído na cava final,
0, caso contrário

Então,

$$\max \sum_i v_i x_i$$

s.t.

$$\begin{aligned} x_i &\leq x_j & \forall j \in P(i) \\ x_i &\in \{0,1\} & \forall i \end{aligned}$$

.....Equação 1

onde:

- 15 v_i é o valor atribuído ao bloco i ,
 x_i é a variável de decisão que designa se o bloco i está incluído na cava final ou não,

$P(i)$ é a regulagem de blocos predecessores de bloco i .

- Um objetivo é maximizar o valor líquido do material removido da cava. Considere que as únicas restrições são restrições de precedência, as
20 quais fazem cumprir a exigência de taludes de parede segura na mina. De fato, esta formulação de IP tem a propriedade de unimodularidade total. Isto é, a solução da relaxação de LP desta formulação será integral (isto é, uma regulagem de 0's e 1's). Isso é uma propriedade extremamente desejável para um programa de inteiro. Ela permite que o P seja resolvido como um LP
25 usando-se o método Simplex. Isso leva a uma eficiência de solução grandemente aumentada em termos de tempo de CPU e exigências de memória. A formulação matemática exata da abordagem de programação linear para o problema de cava final é, portanto:

$$\max \sum_i v_i x_i$$

s.t.

$$x_i \leq x_j \quad \forall j \in P(i)$$

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad \forall i$$

.....Equação 2

Esta é a abordagem ideal para a resolução do problema, e é considerada como dando a solução ótima em qualquer caso. Infelizmente, a implementação desta formulação exata em CPLEX falha em resolver projetos de mineração de tamanho realístico. Uma vez que a otimização é realizada no nível de bloco e há uma restrição para cada arco de precedência para cada bloco, um número muito grande de restrições sendo aplicado. Por exemplo, se uma mina tiver 198.917 blocos e após CPLEX realizar um pré-processamento na formulação, o LP reduzido resultante ainda tem 1.676.003 restrições. O CPLEX tenta resolver esta formulação usando o método simplex duplo, geralmente reconhecido como o método mais eficiente para a resolução de programas lineares deste tamanho. Entretanto, no caso da mina de exemplo, o CPLEX mostrou falhar durante o processo de solução, devido ao número muito grande de restrições. Uma inversão da matriz de restrição desta magnitude (como requerido para a conversão de soluções obtidas a partir do método simplex duplo de volta para o espaço primário) é considerada como impondo uma exigência de memória grande demais ao sistema.

Ainda existe uma necessidade, contudo, de melhoria das técnicas da área anterior. Dado que os projetos de mineração, como um todo, são operações em escala relativamente larga, mesmo pequenos melhoramentos nas técnicas da área anterior podem representar milhões de dólares em economias e/ou maior produtividade e/ou segurança.

Como exemplos do estado da técnica:

- US3975053 revela um método e equipamento para o planejamento de uma mina. O método compreende etapas de determinação de volume do material selecionado, ordem de extração do amontoado e análise do material extraído;

- CA2361361 descreve um método para elaborar o planejamento e realizar a operação de uma mina, envolvendo as etapas de determinação de um volume selecionado de material a ser extraído, agregação de blocos em agrupamentos e determinação de ordem de extração de amontoados.

5 - US3979731 (D3), publicado em 07/09/1972, revela um método para otimizar o planejamento do transporte de materiais extraídos de uma mina.

É desejável prover um projeto de mina melhorado.

Um objetivo da presente invenção é prover um método melhora-
10 do de projeto de poço, o qual considera restrições de talude.

Um outro objetivo da presente invenção é prover um método me-
lhorado de determinação de um agrupamento.

Um outro objetivo da presente invenção é determinar quais blo-
cos de uma cava de mina proverão um valor líquido relativo máximo de ma-
15 terial, também tendo respeito a limitações práticas, tais como restrições de talude.

Ainda um outro objetivo da presente invenção é aliviar pelo me-
nos uma desvantagem da técnica anterior.

Qualquer discussão de documentos, dispositivos, atos de co-
20 nhecimento neste relatório descritivo é incluída para explicação do contexto da invenção. Isso não deve ser tomado como uma admissão de que qual-
quer material faz parte da base da técnica anterior ou do conhecimento geral comum na técnica relevante na Austrália ou em outro lugar quando da ou
antes da data de prioridade da exposição e das reivindicações aqui.

25 **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

A presente invenção provê, em um primeiro aspecto inventivo, um método de e um aparelho para a determinação de restrições de talude relacionadas a uma configuração de projeto para a extração de material de uma localização em particular, o método incluindo as etapas de determina-
30 ção de um volume selecionado de material a ser extraído, divisão de pelo menos uma porção do volume selecionado em blocos, formação de uma pluralidade de cones, pelo menos um cone a partir de cada bloco, e determi-

nação a partir dos cones de um amontoado tendo uma restrição de talude correspondente.

Preferencialmente, o cone é propagado para cima usando-se arcos de precedência.

5 O presente aspecto também provê um método de determinação de restrições de talude relacionadas a uma configuração de projeto para extração de material a partir de uma localização em particular, na qual arcos de precedência emanando de um bloco(s) selecionado(s) são usados para o estabelecimento, pelo menos em parte, de restrições de talude.

10 O presente aspecto também provê uma mina projetada de acordo com o método como mostrado aqui.

O presente aspecto ainda provê um produto de programa de computador que inclui um meio usável em computador que tem um código de programa que pode ser lido em computador e um código de sistema que
15 pode ser lido em computador concretizado no referido meio para a determinação de restrições de talude relacionadas a uma configuração de projeto para extração de material de um local em particular em um sistema de processamento de dados, o produto de programa de computador incluindo um código que pode ser lido em computador no referido meio usável em compu-
20 tador para a realização do método como mostrado aqui.

Em essência, a presente invenção referida como uma Propagação de agrupamentos e formação de amontoados, forma cones invertidos relativamente mínimos com agrupamentos no seu ápice e intercepta estes cones para a formação de amontoados ou agregações de blocos que respei-
25 tam as restrições de talude. Vantajosamente, foi descoberto que a agregação dos blocos pequenos de uma forma inteligente serve para a redução do número de "átomos" variáveis a serem alimentados no agente de programa de inteiro misto. Os amontoados permitem uma flexibilidade relativamente máxima em escalas de mineração potenciais, enquanto mantêm números variáveis em um mínimo. A coleção de amontoados tem três propriedades
30 importantes. Em primeiro lugar, os amontoados permitem acesso a todos os alvos tão rapidamente quanto possível (minimalidade) e, em segundo lugar,

os amontoados permitem muitas ordens possíveis de acesso aos alvos de minério identificados (flexibilidade). Em terceiro lugar, devido ao fato de serem usados cones, e devido à natureza do(s) cone(s), uma ordenação de extração dos amontoados que é possível de acordo com os arcos de precedência automaticamente respeitará e acomodará as restrições de talude mínimo. Assim, as restrições de talude são automaticamente embutidas neste aspecto da invenção.

Em outras palavras, a presente invenção provê que amontoados sejam determinados a partir da superposição de cones. Os cones preferencialmente são 'mínimos'.

A presente invenção provê, em um segundo aspecto inventivo, um método de e um aparelho para a determinação de um amontoado de material, o método incluindo:

a alocação de pelo menos uma porção do material entre uma pluralidade de blocos,

a determinação de um primeiro atributo relacionado a coordenadas correspondentes a cada bloco,

a atribuição do primeiro atributo a cada bloco correspondente,

a determinação de um segundo e/ou de pelo menos um outro atributo relacionado à pluralidade de blocos, e

a agregação de pelo menos dois da pluralidade de blocos de acordo com o primeiro atributo e o segundo atributo.

Em essência, o segundo aspecto relacionado da invenção, referido como uma identificação inicial de agrupamentos, agrega vários blocos em coleções ou agrupamentos. Os agrupamentos preferencialmente identificam de forma mais aguda regiões de materiais de alto grau e baixo grau, enquanto mantêm uma compacidade espacial de um agrupamento. Os agrupamentos são formados por blocos tendo certas coordenadas espaciais x, y, z, combinadas com uma outra coordenada, representando um número de valores selecionados, tal como grau ou valor. A vantagem disto é produzir cones invertidos que são relativamente concentrados firmemente em torno de regiões de alto grau, de modo a não se necessitar uma retirada extra.

Em outras palavras, quando há um corpo de minério tendo um número de blocos, a presente invenção lida com a construção de cones e amontoados, etc., a partir da informação conhecida sobre o corpo de minério e seus blocos.

5 A presente invenção provê, em um terceiro aspecto inventivo, um método e um aparelho de determinação de características de uma porção selecionada de material, o método incluindo a determinação do conteúdo da porção selecionada de material, e a identificação de região (regiões) de material na porção selecionada de acordo com pelo menos uma de uma
10 pluralidade de características.

Em essência, um terceiro aspecto relacionado da invenção, referido como divisão de perda e minério em amontoados, é baseado na realização de que os amontoados contêm blocos de minério e blocos de perda. Muitos programas de inteiro assumem que o valor seja distribuído uniformemente em um amontoadado. Isto, contudo, não é verdadeiro. Tipicamente, os
15 amontoados terão um volume mais alto próximo de sua base. Isso é porque a maior parte do valor está enterrada mais embaixo, enquanto mais próximo da superfície tende a ter mais blocos de perda. Pela divisão do amontoadado em um material de perda e um desejável relativamente puros, a hipótese de
20 uniformidade de valor para cada porção do amontoadado é mais acurada.

Em outras palavras, a presente invenção reflete a consideração de determinar, quando necessário, um 'grau de bloco'. Se o minério estiver acima de um certo valor, então, o cone pode ser dividido em cones menores, e reiterados para uma determinação e uma extração mais precisas.

25 A presente invenção provê, em um quarto aspecto inventivo, um método de e um aparelho para a análise de um volume selecionado de material, o material sendo pelo menos parcialmente compreendido por uma pluralidade de blocos, o método incluindo as etapas de amontoamento de vários blocos em conjunto, e

30 Análise do volume selecionado de material com base nos blocos amontoados.

Em essência, um quarto aspecto relacionado da invenção, refe-

rido como Agregação de blocos em amontoados; idéias de alto nível, reduz o número de variáveis para uma quantidade relativamente gerenciável para uso na tecnologia atual de agentes de programação de inteiro. Vantajosamente, este aspecto permite o uso de um agente de programação de inteiro e a capacidade de incorporação de outras restrições, tais como restrições de mineração, processamento e capacidades de comercialização, e grau.

A presente invenção provê, em um quinto aspecto inventivo, um método de determinação de um grupo selecionado de blocos de uma cava de mina, os quais são capazes de serem escavados, o método incluindo as etapas de seleção de uma pluralidade de blocos, e determinação de um valor relativo e restrições aplicáveis aos blocos selecionados de acordo com qualquer uma das equações 3, 4 ou 9 como mostrado aqui.

A presente invenção também provê o método como descrito acima e incluindo a etapa adicional de testes quanto a violações.

A presente invenção também visa reiterar a seleção e a determinação de valor e restrições de blocos de modo a se obter um grupo de blocos os quais têm um valor de mineração relativo ótimo.

Em essência, o presente aspecto, em uma forma, utiliza algoritmo(s) de agregação para a determinação de um grupo selecionado de blocos, os quais devem ser minerados, onde a seleção de blocos a serem incluídos no grupo de blocos é feita em relação a valor e restrições aplicáveis aos blocos. A presente invenção, em um outro aspecto, ainda testa quanto a violações, e recalcula, de forma iterativa, até que substancialmente todas as violações sejam removidas. Dado um modelo de bloco de um corpo de minério contendo um valor em terreno e restrições de talude designadas, o problema de cava final concerne à determinação do formato da cava final da mina. É assumido que todo o material pode ser removido de uma vez. Isto é, o efeito de tempo sobre o valor do corpo de minério não é considerado. Em termos de programação de mina, a cava final pode ser usada como a coleção inicial de blocos na qual um algoritmo de programação é rodado. Nesse sentido, a cava final é a maior cava final possível que pode ser realizada seguindo-se à programação de remoção do corpo de minério. O caso conside-

rado por toda esta exposição é aquele de metais de base, mas também tem aplicação a produtos misturados ou elementos estocásticos de mineração a céu aberto.

5 Em outras palavras, a presente invenção é usada para se determinar como dividir um corpo de minério relativamente grande em amontoado(s). A presente invenção pode ser usada para se garantir que o amontoado ou o corpo de minério não seja grande demais, em termos computacionais, por exemplo, para consideração prática com o uso de algoritmos existentes.

10 Outros aspectos relacionados da invenção incluem:

Em essência, um aspecto relacionado da invenção, referido como Klumpking genérico, é um método de projeto de mina que, primeiramente, é considerado uma escolha inteligente de agregação para redução do número de variáveis através de um agrupamento espacial / de valor e propagação para a formação de amontoados. Em segundo lugar, a inclusão de restrições de mineração e processamento em um programa de inteiro baseado em torno das variáveis de amontoado para finalmente se produzir uma seqüência de bloco ótima. Em terceiro lugar, o laço rápido de agude blocos nesta seqüência ótima de acordo com o espaço / tempo de extração e propagação destes agrupamentos para a formação de recuos, interrogação deles quanto a valor e capacidade de mineração, e ajuste de parâmetros de agrupamento, como necessário.

15

20

Em essência, um outro aspecto relacionado da invenção, referido como Determinação de uma ordenação de bloco a partir de uma ordenação de amontoado, transforma uma ordenação de amontoado em uma ordenação de blocos. Isto é, com efeito, uma desagregação. Usando técnicas mostradas aqui, o agente de programa de inteiro foi usado no número relativamente pequeno de amontoados e, assim, o resultado agora pode ser trazido de volta no número grande de blocos pequenos.

25

30 Em essência, ainda um outro aspecto relacionado da invenção, referido como um 'agrupamento polivalente'; segunda identificação de agrupamentos para projeto de recuo, agrupa blocos de acordo com sua posição

espacial e seu tempo de extração. Isso é considerado necessário porque, se recuos fossem formados a partir da seqüência de bloco em sua forma bruta, os recuos geralmente seriam altamente fragmentados e considerados não mineráveis. O agrupamento dá controle sobre a conectividade e a capacidade de mineração dos recuos resultantes.

Em essência, ainda um outro aspecto relacionado da invenção, referido como agrupamento polivalente; alternativa 1, agrupa blocos de acordo com sua posição espacial e seu tempo de extração. Os agrupamentos podem ser controlados para um certo tamanho, ou ter uma certa tonelage de rocha ou tonelagem de minério. Os formatos dos agrupamentos podem ser controlados através de parâmetros que equilibram as coordenadas de espaço e de tempo. A vantagem de controle de formato é produzir recuos que são mineráveis e não fragmentados. A vantagem de controle de tamanho é a capacidade de controlar as relações de retirada em anos, onde o moinho pode estar operando abaixo da capacidade.

Em essência, um outro aspecto relacionado da invenção, referido como agrupamento polivalente; alternativa 2, propaga cones invertidos a partir de agrupamentos identificados no agrupamento secundário. Os agrupamentos no agrupamento secundário são ordenados no tempo, e a propagação ocorre nesta ordem de tempo, sem interseções de cones invertidos permitidas. Vantajosamente, isso provê a capacidade de extração de recuos da ordenação de bloco que são bem conectados e mineráveis, enquanto se retém o volume do NPV de forma ótima da seqüência de bloco.

Em essência, ainda um outro aspecto relacionado da invenção, referido como agrupamento polivalente; alternativa 3, provê a criação de um laço de feedback de agrupamento, propagação para encontrar recuos, criação de valor relativamente rápida, e, então, alimentação desta informação de volta para escolha de parâmetros de agrupamento. A vantagem disto é que o efeito de parâmetros de agrupamento diferentes pode ser checado muito rapidamente quanto a NPV e capacidade de mineração. Até agora, tem sido virtualmente impossível avaliar um projeto de recuo quanto a NPV e capacidade de mineração, antes de ele ter sido construído, e o laço de processo

rápido deste aspecto permite que muitos projetos de recuo de alta qualidade sejam construídos e avaliados (pelo olho humano no caso da capacidade de mineração).

5 Outros aspectos e aspectos preferidos são mostrados no relatório descritivo e/ou definidos nas reivindicações em apenso.

O(s) método(s), sistemas e técnicas mostrados neste pedido podem ser usados em conjunto com agentes de programação de inteiro da técnica anterior. Muitos aspectos da presente exposição servem para melhoria da performance do uso desses agentes e do uso de outras técnicas conhecidas de projeto de mina.

A presente invenção pode ser usada, por exemplo, por planejadores de minas para o projeto de recuos relativamente ótimos para minas a céu aberto. Vantajosamente, a presente invenção é considerada como sendo diferente do software de projeto de recuo da técnica anterior pelo fato de:

15 ∞ A presente invenção não faz uso dos algoritmos de projeto de cava mais comuns (Lerchs-Grossman ou Cone Flutuante), mas, ao invés disso, usa um conceito único de seqüenciamento de "amontado" ótimo para o desenvolvimento de uma seqüência de bloco ótima que, então, é usado como uma base para o projeto de recuo.

20 ∞ O projeto é relativamente ótimo com respeito a valores de bloco apropriadamente descontados. Nenhum outro software de projeto de recuo é considerado como corretamente permitindo o efeito do tempo (viz: descontando valor de bloco) na etapa de projeto de recuo. Os projetos de fase tradicionais ignoram lentes de minério de grau médio próximas da superfície com bom NPV, enquanto se concentram em lentes de valor mais alto que

25 ∞ A presente invenção pode se endereçar apropriadamente ao assim denominado "espaço de Whittle", onde cascas de Lerchs-Grossman consecutivas podem ser muito espaçadas, oferecendo pouca informação temporal. A presente invenção obtém uma informação temporal relativamente completa e acurada sobre a ordenação de bloco.

30 ∞ Restrições de processo e de mineração podem ser explicitamen-

te incorporadas na etapa de projeto de recuo.

∞ O planejador pode rapidamente projetar e dar valor a recuos que tenham topologias diferentes, a transigência sendo entre cavas com alto NPV, mas com dificuldade de mineração (por exemplo, anel) de formatos de recuo e aqueles com formatos de recuo mais mineráveis, mas de NPV inferior. A vantagem dos formatos de recuo mais mineráveis é que muito menos NPV será perdido no cumprimento da largura mínima de mineração e na acomodação de acesso à cava (estradas e bermas).

∞ A capacidade de rapidamente se gerarem e avaliarem vários conjuntos diferentes de projetos de recuo candidatos é um recurso não permitido em um software de projeto de recuo tradicional, onde as opções de projeto usualmente são razoavelmente limitadas (por exemplo, o amolamento de cascas de Whittle adjacentes em um recuo único).

∞ Vários aspectos da presente invenção também servem para melhoria do uso de agentes de programação de inteiro existentes, tal como "cplex" da ILOG.

Por todo o relatório descritivo:

1. Uma 'coleção' é um termo para um grupo de objetos,
2. Um 'agrupamento' é uma coleção de blocos de minério ou blocos de um material de outra forma desejável que são relativamente próximos uns dos outros em termos de espaço e/ou outros atributos,
3. Um 'amontoado' é formado a partir de um agrupamento primeiramente pela produção de um cone invertido substancialmente mínimo que se estende a partir do agrupamento até a superfície da cava pela propagação de todos os blocos no agrupamento para cima, usando-se os arcos que descrevem as restrições de talude mínimas. Cada agrupamento terá seu próprio cone invertido mínimo. Estes cones invertidos mínimos então são interceptados uns com os outros e as interseções formam amontoados, e
4. Uma 'agregação' é um termo, embora principalmente aplicado a coleções de blocos que são espacialmente conectados (sem "furos" neles). Por exemplo, um amontoado pode ser uma agregação ou pode ser "super-blocos" que são cubos maiores feitos pela junção em conjunto de cubos ou

blocos menores.

5. Uma referência a restrições de bloco igualmente implica uma referência a restrições de arco.

6. Um bloco também pode se referir a vários blocos.

5 DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Uma exposição adicional, objetivos, vantagens e aspectos do presente pedido podem ser mais bem compreendidos por aqueles versados na técnica relevante com referência à descrição que se segue de modalidades preferidas tomadas em conjunto com os desenhos em anexo, nos quais:

10 as Figuras 1 a 5 ilustram técnicas de mineração da área anterior;
a Figura 6 ilustra, esquematicamente, um fluxograma que destaca o processo geral de acordo com um aspecto da invenção,

a Figura 7 ilustra esquematicamente a identificação de agrupamentos,

15 a Figura 8 ilustra esquematicamente a propagação de cone no projeto de cava,

a Figura 9 ilustra esquematicamente a divisão de minério de material de perda,

20 a Figura 10 ilustra um exemplo de 'agrupamento polivalente' em um local de mina,

as Figuras 11a, 11b e 11c ilustram um agrupamento secundário, propagação e processo de formação de valor de NPV,

a Figura 12 ilustra uma comparação entre resultados das equações 2 e 4,

25 a Figura 13 ilustra uma seção transversal vertical de um projeto de cava usando a equação 2,

a Figura 14 ilustra uma seção transversal vertical de um projeto de cava usando a equação 4,

a Figura 15 ilustra uma porção de exemplo de uma cava,

30 as Figuras 16 e 18 ilustram uma vista plana através de uma cava usando-se a formulação de plano de corte (equação 9), e

as Figuras 17 e 19 ilustram a mesma vista que aquela das Figu-

ras 16 e 18, mas para uso da relaxação de LP da formulação agregada (equação 4).

DESCRIÇÃO DETALHADA

De modo a descrever mais plenamente a presente invenção, 5 vários aspectos relacionados também serão descritos. Desta forma, o leitor pode ter melhor compreensão do contexto e do escopo da presente invenção.

1. KlumpKing genérico

A Figura 6 ilustra, esquematicamente em uma representação 10 geral, um aspecto da invenção.

Embora aspectos específicos de vários elementos do fluxograma geral sejam discutidos abaixo em maiores detalhes, pode ser útil prover um contorno do fluxograma ilustrado na Figura 6.

O modelo de bloco 601, os parâmetros de mineração e proces- 15 samento 602 e as restrições de talude 603 são providos como parâmetros de entrada. Quando combinado, arcos de precedência 604 são providos. Para um dado bloco, os arcos apontarão para outros blocos que devem ser removidos, antes do dado bloco poder ser removido.

Como tipicamente o número de blocos pode ser muito grande, 20 em 605, os blocos são agregados em coleções maiores e agrupados. Os cones são propagados a partir dos respectivos agrupamentos e amontoados são então criados em 606 nas interseções de cones. O número de amontoados é muito menor, agora, do que o número de blocos, e os amontoados incluem restrições de talude. Em 607, os amontoados então podem ser pro- 25 gramados de uma maneira de acordo com critérios específicos, por exemplo, restrições de mineração e processamento e NPV. É de grande vantagem que a programação ocorra com amontoados (cujo número é muito menor do que os blocos). Em parte, é o número reduzido de amontoados que provê 30 reduções do agente de programação ou dos algoritmos usados para a determinação da escala. Seguindo-se a isso, uma escala de ordem de bloco individual pode ser determinada a partir da escala de amontoado, por desa-

gregação. A etapa de polimento em 608 é opcional, mas realmente melhora o valor da seqüência de bloco.

A partir da ordenação de bloco, recuos podem ser projetados em 609. Um agrupamento secundário pode ser realizado em 610, com uma
5 quarta coordenada adicional. A quarta coordenada pode ser tempo, por exemplo, mas também pode ser qualquer outro valor ou parâmetro desejável. A partir daqui, os cones são novamente propagados a partir dos agrupamentos, mas em uma seqüência comensurável com a quarta coordenada. Quaisquer blocos já atribuídos a cones previamente propagados não são
10 incluídos na próxima propagação de cone. Recuos são formados em 611 a partir destes cones propagados. Os recuos podem ser vistos quanto à capacidade de mineração em 612. Uma avaliação quanto a um equilíbrio entre capacidade de mineração e NPV pode ser feita em 613, seja de acordo com um parâmetro predeterminado ou não. O projeto de recuo pode ser repetido
15 se necessário, através do percurso 614.

Outra consideração também pode ser considerada, tal como largura de mineração mínima 615 e validação 616. Os equilíbrios podem ser considerados para restrições de mineração, restrições de processamento a jusante e/ou opções de empilhamento de estoque, tais como mistura e de-
20 terminação de cadeia de suprimento e/ou avaliação.

A descrição a seguir se concentra em vários aspectos da invenção, os quais residem no fluxograma geral mostrado acima. Para as finalidades da Figura 6, as seções 2 e 5 são associadas a 605, as seções 3, 4 e 5 são associadas a 606, as seções 4, 6 são associadas a 607, as seções 7 e
25 7.3 são associadas a 610, as seções 7.2 e 7.3 são associadas a 611, a seção 7.3 é associada a 612, 613 e 614, e as seções 7, 7.1, 7.2 e 7.3 são associadas a 609.

1.1 Entradas e preliminares

Os parâmetros de entrada incluem o modelo de bloco 601, pa-
30 râmetros de mineração e processamento 602 e restrições de talude 603. As regiões de talude (por exemplo, áreas físicas ou zonas) estão contidas em 601; os parâmetros de talude (por exemplo, taludes e suportes para cada

zona) estão contidos em 602.

O modelo de bloco 601 contém informação, por exemplo, tal como o valor de um bloco em dólares, o grau do bloco em gramas por tonelada, a tonelagem de rocha no bloco e a tonelagem de minério no bloco.

5 Os parâmetros de mineração e processamento 602 são expressos em termos de toneladas por ano que podem ser mineradas e processadas, sujeito à restrições de capacidade.

As restrições de talude 603 contêm informação sobre o talude máximo em torno de dadas direções em torno de um bloco em particular.

10 As restrições de talude 603 e o modelo de bloco 601 quando combinados dão origem a arcos de precedência 604. Para um dado bloco, os arcos apontarão a partir do dado bloco para todos os outros blocos que devem ser removidos, antes do dado bloco. O número de arcos é reduzido pelo armazenamento deles em um indutivo, onde, por exemplo, em duas
15 dimensões, um cone invertido de blocos pode ser descrito por cada bloco apontando para os três blocos centralizados imediatamente acima dele. Este princípio também pode ser aplicado a três dimensões. Se o cone invertido for grande, por exemplo, tendo uma profundidade de 10, o número de arcos requeridos seria 100; um para cada bloco. Entretanto, usando-se a regra
20 indutiva de "apontar para os três blocos centralizados diretamente acima de você", todo o cone invertido pode ser descrito por apenas três arcos ao invés dos 100. Desta forma, o número de arcos requeridos a serem armazenados é grandemente reduzido. Como modelos de bloco tipicamente contêm centenas de milhares de blocos, com cada bloco contendo centenas de arcos,
25 esta compressão de dados é considerada uma vantagem significativa.

1.2 Produção de uma ordenação de bloco ótima

O número de blocos no modelo de bloco 601 tipicamente é grande demais para se programar individualmente; portanto, é desejável agregar os blocos em coleções maiores e, então, programar estas coleções
30 maiores. Para prosseguir com esta agregação, os blocos de minério são agrupados em 605 (estes estão localizados tipicamente em direção ao fundo da cava. Em uma forma preferida, aqueles blocos com valor negativo, os

quais são tomados como sendo perdas, não são agrupados). Os blocos de minério são agrupados espacialmente (usando-se suas coordenadas x, y, z) e em termos de seu grau ou valor. Um equilíbrio é tirado entre ter agrupamentos espacialmente compactos e agrupamentos com grau ou valor similar
5 neles. Estes agrupamentos formarão os kernels dos átomos de agregação.

Para cada agrupamento, um cone invertido (imaginário) é formado, por propagação para cima usando-se os arcos de precedência. Este cone invertido representa a quantidade mínima de material que deve ser escavada, antes de todo o agrupamento poder ser extraído. De modo ideal,
10 para cada agrupamento há um cone invertido. Tipicamente, estes cones se interceptarão. Cada uma dessas interseções (incluindo as interseções triviais de um cone interceptando apenas a si mesmo) formará um átomo de agregação, o qual é chamado um amontoado. Os amontoados são criados, representado por 606.

15 O número de amontoados produzidos agora é bem menor do que o número original de blocos. Os arcos de precedência entre os amontoados são induzidos pelos arcos de precedência entre os blocos individuais, uma ordenação de extração dos amontoados que é possível de acordo com estes arcos de precedência automaticamente respeitará as restrições de
20 talude mínimo. É possível programar estes amontoados para se encontrar uma escala de amontoado de NPV substancialmente máximo 607 que satisfaça a todas as restrições de mineração e processamento.

Agora que há uma escala de amontoados 607, isto pode ser transformado em uma escala de blocos individuais. Um método é considerar
25 todos aqueles amontoados que são começados em um ano de calendário um e escavar estes bloco a bloco começando a partir do nível mais superior, prosseguindo nível por nível até o nível mais inferior. Outros métodos são mostrados na Seção 6 deste relatório descritivo. Tendo produzido esta ordenação de bloco, a próxima etapa pode ser opcionalmente o Polimento 608
30 da ordenação de bloco para se melhorar mais o NPV.

Em um caso mais complexo, a etapa de polimento 608 pode ser desviada. Se for desejável, contudo, um polimento pode ser realizado para

se melhorar o valor da seqüência de bloco.

1.3 Projeto de recuo minerável / NPV ótimo equilibrado a partir de ordenação de bloco

A partir desta ordenação de bloco, podemos produzir recuos, através do projeto de recuo 609. Vantajosamente, a presente invenção permite a criação de recuos que permitem escalas de mineração ótima de NPV. Um recuo é uma grande seção de uma cava na qual os caminhões e caçambas estarão concentrados para escavação, às vezes por um período de tempo, tal como por um ano ou mais. A ordenação de bloco nos dá uma guia quanto a onde se deve começar e terminar a mineração. Em essência, a ordenação de bloco é uma forma ótima de escavação da cava. Entretanto, freqüentemente esta ordenação de bloco não é possível porque a ordenação sugerida é muito fragmentada espacialmente. Em um aspecto da invenção, a ordenação de bloco é agregada de modo que grandes porções conectadas das cavas sejam obtidas (recuos). Então, um agrupamento secundário dos blocos de minério pode ocorrer 610. Desta vez, o agrupamento é espacial (x, y, z) e tem uma quarta coordenada adicional, a qual representa uma ordenação de tempo de extração de bloco. A ênfase da quarta coordenada de tempo pode ser aumentada e diminuída. A diminuição da ênfase produz agrupamentos que são espacialmente compactos, mas ignora a seqüência de extração ótima. Aumentar a ênfase da quarta coordenada produz agrupamentos que são mais espacialmente fragmentados, mas seguem a seqüência de extração ótima mais proximamente.

Uma vez que os agrupamentos tenham sido selecionados (e ordenados no tempo), cones invertidos são propagados para cima em ordem de tempo. Isto é, o agrupamento mais anterior (no tempo) é propagado para cima para a formação de um cone invertido. Em seguida, o segundo agrupamento mais antigo é propagado para cima. Quaisquer blocos que já estejam atribuídos ao primeiro cone não são incluídos no segundo cone e em quaisquer cones subseqüentes. Da mesma forma, quaisquer blocos atribuídos ao segundo cone não são incluídos em quaisquer cones subseqüentes. Estes cones propagados ou partes de cones formam os recuos 611. Este

agrupamento secundário, propagação e formação de valor de NPV são relativamente rápidos, e a intenção é que o usuário selecione uma ênfase para a 4ª coordenada de tempo para a realização da propagação e da formação de valor, e a vista dos recuos quanto à capacidade de intensidade 612. Um

5 equilíbrio entre a capacidade de mineração e o NPV pode ser acessado 613, e se necessário, as etapas de projeto de recuo podem ser repetidas, percurso 614. Por exemplo, se a capacidade de mineração for fragmentada demais, a ênfase da 4ª coordenada seria reduzida. Se o NPV para a formação de valor for baixo demais, a ênfase da 4ª coordenada seria aumentada.

10 Uma vez que o projeto de recuo tenha sido selecionado, uma rotina de largura de mineração mínima 615 é rodada no projeto de recuo para se garantir que uma largura de mineração mínima seja mantida entre os recuos e eles mesmos, e os recuos e a fronteira da cava. Um exemplo na literatura aberta é "The effect of minimum mining width on NPV" de Christopher Wharton e Jeff Whittle, "Optimizing with Whittle" Conference, Perth,

15 1997.

1.4 Formação de valor adicional

um método de formação de valor mais sofisticado 616 é possível neste estágio final, que equilibra as restrições de mineração e processamento e, adicionalmente, poderia considerar opções de formação de pilha de estoque, tais como mistura e determinação de cadeia de suprimento e/ou

20 avaliação.

2 Identificação inicial de agrupamentos

Foi descoberto que o número de blocos em um modelo de bloco tipicamente é grande demais para uma programação individual; portanto, de

25 acordo com um aspecto relacionado da invenção, os blocos são agregados em coleções maiores. Estas coleções maiores então são preferencialmente programadas. Uma programação significa atribuir um amontoado a ser escavado em um período em particular ou períodos.

30 Para se prosseguir com a agregação, vários blocos de minério são agrupados. Os blocos de minério são identificados como diferentes do material de perda. O material de perda é para ser removido para se atingi-

rem os blocos de minério. Os blocos de minério podem conter substancialmente apenas minério de uma qualidade ou quantidade desejável e/ou ser combinados com outro material ou mesmo com caminho de percurso. Os blocos de minério tipicamente estão localizados em direção ao fundo da cava, mas podem estar localizados em qualquer lugar na cava. De acordo com um aspecto preferido da presente invenção, os blocos de minério os quais são considerados como sendo perda recebem um valor negativo, e os blocos de minério não são agrupados com um valor negativo. É considerado que aqueles blocos com um valor positivo se apresentam como alvos possíveis para o trabalho em estágios da mina a céu aberto. Esta abordagem é construída em torno do alvo daqueles blocos de valor, especificamente, aqueles blocos com valor positivo. Blocos de perda com um valor negativo não são considerados alvos e, portanto, este aspecto da invenção não agrupa aqueles alvos. Os blocos de minério são agrupados espacialmente (usando-se suas coordenadas x , y , z) e em termos de seu grau ou valor. Preferencialmente, limites ou critérios predeterminados são usados na decisão dos agrupamentos. Por exemplo, qual é o limite espacial a ser aplicado a um dado agrupamento de blocos. Os blocos espaçados 10 metros ou 100 metros são considerados como um agrupamento? Estes critérios podem ser variados dependendo da mina em particular, do projeto e do ambiente. Por exemplo, a Figura 7 ilustra esquematicamente um corpo de minério 701. No corpo de minério estão vários blocos 702, 703, 704 e 705. (O corpo de minério tem muitos blocos, mas a descrição apenas fará referência a um número limitado, por simplicidade.) Cada bloco 702, 703, 704 e 705 tem suas próprias coordenadas x , y , z . Se uma agregação for para ser formada, as coordenadas dos blocos 702, 703, 704 e 705 podem ser analisadas de acordo com um critério predeterminado. Se o critério for apenas distância, por exemplo, então, os blocos 702, 703 e 704 estão situados mais próximos do que o bloco 705. A agregação assim pode ser formada pelos blocos 702, 703 e 704. Entretanto, se, de acordo com este aspecto da invenção, um outro critério também for usado, tal como grau ou valor, os blocos 702, 703 e 705 podem ser considerados uma agregação, como definido pela linha 706,

embora o bloco 704 esteja situado mais próximo dos blocos 702 e 703. Um equilíbrio é tirado entre ter agrupamentos compactos espacialmente e agrupamentos com grau ou valor similar neles. Estes agrupamentos formarão os kernels dos átomos de agregação. É importante que haja um controle em
5 relação a compacidade espacial versus a similaridade de grau / valor. Se os agrupamentos forem espacialmente separados demais, o cone invertido que nós finalmente propagaremos para cima a partir do agrupamento (como será descrito abaixo) será muito largo e conterà uma retirada supérflua. Se os agrupamentos internamente contiverem variação demais de grau ou valor,
10 haverá a diluição de valor. É preferível que os agrupamentos identifiquem de forma substancialmente nítida regiões de alto grau e baixo grau separadamente, enquanto mantêm uma compacidade espacial dos agrupamentos. Tais agrupamentos mostraram produzir agregações de alta qualidade.

Mais ainda, quando um corpo de minério relativamente grande é
15 encontrado, o corpo de minério pode ser dividido em um número relativamente grande de blocos. Cada bloco pode ter substancialmente o mesmo grau ou valor de minério ou um diferente. Um número relativamente grande de blocos terá diferença espacial, a qual pode ser usada para a definição de agregados e amontoados, de acordo com a exposição acima. O corpo de
20 minério, desta maneira, pode ser dividido em regiões separadas, a partir das quais cones individuais podem ser modificados e propagados.

3 Propagação de agrupamentos e formação de amontoados

A partir de cada agrupamento, um cone invertido (imaginário) é formado. Um cone é referido com uma maneira de explicação visualmente
25 para o leitor do que ocorre. Entretanto, a coleta de blocos formando o cone não parece com um cone discretizado para os olhos humanos. Em uma modalidade prática, esta etapa seria simulada matematicamente por computador. Cada cone preferencialmente é um cone mínimo, isto é, não superdimensionado. Este cone é representado esquematicamente ou matematicamente,
30 mas para fins de explanação, é útil pensar em um cone invertido se propagando para cima da agregação. O cone invertido pode ser propagado para cima do átomo de agregação usando-se os arcos de precedência. A

maior parte dos pacotes de software de otimização de mina usam a idéia de arcos de precedência. O cone preferencialmente é tridimensional. O cone invertido representa a quantidade mínima de material que deve ser escavada antes do agrupamento inteiro poder ser extraído. De acordo com uma
5 forma preferida deste aspecto da invenção, cada agrupamento tem um cone invertido correspondente.

Tipicamente, estes cones interceptarão um outro cone se propagando para cima a partir de uma agregação adjacente. Cada interseção (incluindo as interseções triviais de um cone interceptando a si mesmo) forma-
10 rá um átomo de agregação, o qual é denominado um 'amontoado', de acordo com este aspecto. Os arcos de precedência entre amontoados são produzidos pelos arcos de precedência entre os blocos individuais. Estes arcos de precedência são importantes para a identificação de qual ordenação de extração dos amontoados é fisicamente possível e qual não é. As ordenações
15 de extração devem ser consistentes com os arcos de precedência. Isso significa que se um bloco / amontoado A apontar para um bloco / amontoado B, então, o bloco / amontoado B deve ser escavado antes do bloco / amontoado A.

Com referência à Figura 8, que ilustra uma cava 801, na qual há
20 corpos de minério 802, 803 e 804. Tendo identificado os "alvos de minério" importantes no estágio de identificação inicial de agrupamentos, como descrito acima, o procedimento de propagação e formação de amontoados vai para a produção de minicavas (amontoados) que são as formas mais eficientes de acesso a estes "alvos de minério". Os amontoados são as regiões
25 formadas por uma interseção dos cones, bem como o restante dos cones uma vez que as áreas interceptadas sejam removidas. De acordo com o aspecto de modalidade, as áreas interceptadas devem ser removidas antes de quaisquer outras, por exemplo, 814 deve ser escavada antes de 805 ou 806 na Figura 8. De acordo com a descrição acima, os cones 805, 806 e 807 são
30 propagados (para fins de ilustração) a partir dos corpos de minério a serem extraídos. Os cones são formados por arcos de precedência 808, 809, 810, 81, 812 e 813. Na Figura 8, por exemplo, amontoados são designados regi-

ões 814 e 815. Outros amontoados também são designados por meio do que é deixado dos cones invertidos 805, 806 e 807, quando 814 e 815 tiverem sido removidos. A área de amontoado é a área no cone. As superposições, as quais são as interseções dos cones, são usadas para se permitir a

5 escavação dos cones invertidos em qualquer ordem em particular. A coleção de amontoados tem três propriedades importantes. Em primeiro lugar, os amontoados permitem acesso a todos os alvos tão rapidamente quanto possível (minimalidade) e, em segundo lugar, os amontoados permitem muitas ordens possíveis de acesso aos alvos de minério identificados (flexibilidade).

10 Em terceiro lugar, devido ao fato de serem usados cones, uma ordenação de extração dos amontoados que é possível de acordo com os arcos de precedência automaticamente respeitará e acomodará restrições de talude mínimo. Assim, as restrições de talude são automaticamente embutidas neste aspecto da invenção.

15 **4 Divisão de perda e minério em amontoados**

Uma vez que os amontoados iniciais tenham sido formados, uma busca é realizada a partir do nível mais baixo do amontoado para cima. O nível mais alto no qual minério está contido no amontoado é identificado; tudo acima deste nível é considerado como sendo perda. A opção é dada

20 para se dividir o amontoado em dois pedaços; o pedaço superior contém perda e o pedaço inferior contém uma mistura de perda e minério. A Figura 9 ilustra uma cava 901 na qual há um corpo de minério 902. A partir do corpo de minério, arcos de precedência 903 e 904 definem um cone que se propaga para cima. De acordo com este aspecto da invenção, a linha 905 é identi-

25 ficada como o nível mais alto do amontoado 902. Então, 906 pode designar minério e 907 pode designar perda. Esta divisão de designações de perda em relação a minério é considerada como permitindo uma formação de valor mais acurada do amontoado. Muitas técnicas podem assumir que o valor em

30 uma método é uniformemente distribuído, embora, na prática, este frequentemente não seja o caso. Pela divisão do amontoado em dois pedaços, um com perda pura e o outro com principalmente minério, a hipótese de homogeneidade é mais provável de ser acurada. Uma divisão mais sofisticada

baseada em divisões mais finas de valor ou grau também é possível, de acordo com critérios predeterminados, os quais podem ser regulados de tempos em tempos ou de acordo com um projeto ou um local de cava em particular.

5 Agregação de blocos em amontoados: idéias de nível alto

5 O recurso de 'amontoamento de blocos em conjunto' pode ser visto para fins de simplicidade aritmética, onde o número de blocos é grande demais. O número de amontoados produzidos é bem menor do que o número original de blocos. Isso permite que um agente de otimização de inteiro misto seja usado; caso contrário, o uso de agentes de inteiro misto seria considerado como não sendo possível. Por exemplo, cplex de ILOG pode ser usado. Este aspecto tem aplicação benéfica para a invenção mostrada no pedido de patente provisório pendente N° 2002951892 intitulado "Mining Process and Design", depositada em 10 de outubro de 2002 pelo presente requerente, e o qual é incorporado aqui como referência. Este aspecto pode ser usado para a redução do problema e cálculo de tamanho para outros métodos (tal como mostrado no pedido co-pendente acima).

O número de amontoados produzidos é bem menor do que o número original de blocos. Isso permite que um agente de otimização de inteiro misto seja usado. A vantagem de um agente como esse é que uma escala verdadeiramente ótima (em termos de maximização de NPV) pode ser encontrada em um tempo possível (considerado). Mais ainda, esta escala ótima satisfaz às restrições de mineração e processamento. Permitir as restrições de mineração e processamento, a capacidade de encontrar soluções verdadeiramente ótimas representa um avanço em relação a um software comercial disponível atualmente. A qualidade da solução dependerá da qualidade dos amontoados que são introduzidos no agente de otimização. Os procedimentos de seleção para a identificação de amontoados de alta qualidade foram destacados nas seções acima.

30 Alguns softwares comerciais, como citado acima na seção de antecedentes deste relatório descritivo, realmente usam agentes de programação de inteiro misto; entretanto, o método de agregação de blocos é diferente no método ou na aplicação e nós acreditamos que seja de qualidade

inferior. Por exemplo, é considerado que o 'ECSI Maximiser' usa uma forma de otimização de inteiro no seu projeto de recuo e restringe a janela de tempo para cada bloco, mas a otimização é local no tempo e sua formulação de problema é considerada grande demais para otimização global pela vida de uma mina. Em contraste, de acordo com a presente invenção, uma otimização global pela vida inteira da mina é realizada ao se permitir que os amontoados sejam tomados em qualquer tempo desde o começo da vida da meio de identificação de detector anormal até o final da vida da mina. 'MineMax' pode ser usado para se encontrar um seqüenciamento de bloco ótimo rudimentar com um agente de programação de inteiro misto, embora seja considerado que seu método de agregação não respeita taludes como é requerido em muitas situações. 'MineMax' também otimiza localmente no tempo e não globalmente. Em uso, há um numero enorme de variáveis, e o usuário, portanto, deve recorrer a subdividir a cava para a realização de otimizações separadas e, assim, a otimização não é global por toda a cava. A presente invenção é global no espaço e no tempo.

6 Determinação de uma ordenação de bloco a partir de uma ordenação de amontoado.

Agora que há uma escala de amontoados, é desejável transformar isso em uma escala de blocos individuais. Um método é considerar todos aqueles amontoados que tenham começado em um ano e escavar estes bloco a bloco começando a partir do nível mais superior, prosseguindo nível por nível até o nível mais baixo. Então, move-se para o ano dois, e consideram-se todos aqueles amontoados que começaram no ano dois, escavando-se todos os blocos contidos naqueles amontoados nível por nível a partir do nível de topo através até o nível de fundo. E assim por diante, até o final da vida da mina.

Tipicamente, alguns amontoados podem ser extraídos por um período de vários anos. Este método recém descrito não é tão acurado quanto pode ser requerido para algumas situações, porque o ordenação de bloco assume que o amontoado inteiro seja removido sem parada, uma vez que ele seja começado. Um outro método é considerar a fração do amontoado que é tomada em cada ano. Este método começa com o ano um, e ex-

traí os blocos de maneira tal que as frações corretas de cada amontoado para o ano um sejam tomadas aproximadamente no ano um. O agente de programação de inteiro atribui uma fração de cada amontoado a ser escavado em cada período / ano. Esta fração também pode ser zero. Esta atribuição de amontoados a anos ou períodos deve ser transformada em uma seqüência de blocos. Isso pode ser feito como se segue. Se metade do amontoado A for tirado no ano um e um terço do amontoado B for tirado no ano um, e todas as outras frações de amontoados no ano um forem zero, os blocos representando a metade superior de amontoado A e os blocos representando o terço superior de amontoado B são unidos em conjunto. Esta união de blocos então é ordenada a partir da bancada mais superior até a bancada mais inferior e forma o começo da seqüência de blocos (porque nós estamos lidando com o ano um). Então, move-se para o ano dois e se repete o procedimento, concatenando os blocos com aqueles já na seqüência.

Tendo produzido esta ordenação de bloco, uma ordenação de bloco pode estar em uma posição de ser opcionalmente polida para se melhorar mais o NPV. A etapa de polimento é similar ao método mostrado no pedido co-pendente 2002951892 (descrito acima, e incorporado aqui como referência), mas a condição de começo é diferente. Ao invés do melhor valor para o valor mais baixo, como é mostrado no pedido co-pendente, no presente aspecto, o começo é com a seqüência de bloco obtida a partir da escala de amontoado.

7 Segunda identificação de agrupamentos para projeto de recuo

7.1 Agrupamento polivalente: alternativa 1 (agrupamento de espaço / tempo de seqüência de bloco)

A partir desta ordenação de bloco, devemos produzir recuos. Esta é a meta final de KlumpKing - produzir recuos que permitam escalas de mineração ótimas de NPV. Um recuo é uma seção grande em uma cava na qual caminhões e caçambas se concentrarão por um mais anos para escavação. A ordenação de bloco nos dá uma guia quanto a onde se deve começar e terminar a mineração. A princípio, a ordenação de bloco é a forma ótima de escavação da cava. Entretanto, não é possível, porque a ordenação é muito fragmentada espacialmente. É desejável agregar a ordenação

de bloco de modo que porções grandes conectadas das cavas sejam obtidas (recuos). Um agrupamento secundário de blocos de minério é realizado. Desta vez, o agrupamento é espacialmente (x, y, z) e como a 4ª coordenada, a qual é usada para tempo ou ordenação de extração de bloco. A ênfase da 4ª coordenada de tempo pode ser aumentada ou diminuída. Diminuir a ênfase produz agrupamentos que são espacialmente compactos, mas tendem a ignorar a seqüência de extração ótima. Aumentar a ênfase produz agrupamentos que são mais espacialmente fragmentados, mas seguem a seqüência de extração ótima mais proximamente.

Uma vez que os agrupamentos tenham sido selecionados, eles podem ser ordenados no tempo. Os agrupamentos são selecionados com base em um algoritmo conhecido de agrupamento polivalente, tal como JC Bezdek, RH Hathaway, MJ Sabin, WT Tucker "Convergence Theory for Fuzzy c-means: Counterexamples and Repairs", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics 17 (1987) pp 873-877. Um agrupamento polivalente é uma rotina de agrupamento que tenta minimizar distâncias de pontos de dados de um centro de agrupamento. Neste aspecto inventivo, o agrupamento usa um espaço quadridimensional (x, y, z, v), onde x, y e z dão coordenadas espaciais ou referências e 'v' é uma variável para qualquer ou uma combinação de tempo, valor, grau, tipo de minério, tempo ou um período de tempo, ou qualquer outro fator ou atributo desejável. Outros fatores para controle são tamanho de agrupamento (em termos de massa de minério, massa de rocha, volume de rocha, valor em \$, grau médio, homogeneidade de grau / valor) e formato de agrupamento (em termos de irregularidade de fronteira, esfericidade e conectividade). Em uma modalidade específica, 'v' representa um tipo de minério. Em uma outra modalidade, os agrupamentos podem ser ordenados por tempo considerando-se 'v' como representando agrupamentos de acordo com seus centros de tempo.

Também há a modalidade alternativa de controle dos tamanhos dos agrupamentos e, portanto, dos tamanhos dos recuos. "Tamanho" pode significar tonelagem de rocha média, tonelagem de minério, valor total, dentre outras coisas. Neste aspecto, é provido um algoritmo de agrupamento

polivalente ou método, o qual em operação serve para, quando for para um recuo começar, seu agrupamento correspondente poder ser reduzido de tamanho pela reatribuição de blocos de acordo com sua probabilidade de pertencerem a outros agrupamentos.

5 Também há uma outra modalidade, onde há uma longitudinal ou método que é uma forma de 'friso', em oposição a um agrupamento polivalente especialmente talhado para o tipo em particular de controle de tamanho e ordenação de tempo que são encontrados em aplicações de mineração. Este agrupamento de 'friso' é baseado em um método de crescimento
10 lento de agrupamentos enquanto se lançam continuamente os blocos entre os agrupamentos para melhoria de qualidade de agrupamento.

7.2 Agrupamento polivalente: alternativa 2 (propagação de agrupamentos)

Tendo mostrado um agrupamento, acima, um outro aspecto relacionado da invenção é então propagar estes agrupamentos em um tempo
15 de forma ordenada sem o uso de terminais, para a produção dos recuos.

Com referência à Figura 10, um local de mina 1001 é esquematicamente representado, no qual há um corpo de minério de 3 seções, 1002, 1003 e 1004.

20 Os cones invertidos então são propagados para cima em uma ordem de tempo, como representado na Figura 10 pelas linhas 1005 e 1006 para o cone 1. Isto é, agrupamento mais antigo (no tempo) é propagado para cima para a formação de um cone invertido. Em seguida, o segundo agrupamento mais antigo é propagado para cima, como representado na Figura
25 10 pelas linhas 1007 e 1008 (pontilhadas) para o cone 2, e linhas 1009 e 1010 (pontilhadas) para o cone 3. Quaisquer blocos que já sejam atribuídos ao primeiro cone não são incluídas no segundo cone. Isso é representado na Figura 10 pela área entre as linhas 1008 e 1006. Esta área permanece uma parte do cone 1 de acordo com este aspecto inventivo. Novamente, na Figura
30 10, a área entre as linhas 1010 e 1007 permanece uma parte do cone 2, e não qualquer cone subsequente. Este método é aplicado a quaisquer cones subsequentes. Da mesma forma, quaisquer blocos atribuídos ao segundo

cone não são incluídos em quaisquer cones subseqüentes. Estes cones propagados ou partes dos cones formam os recuos.

7.3 Agrupamento polivalente: alternativa 3 (laço de feedback de projeto de recuo)

5 Neste aspecto relacionado, há um laço de processo de agrupamento polivalente, propagação para encontro de recuos, formação de valor de forma relativamente rápida e, então, alimentando-se esta informação de volt apara a escolha de parâmetros de agrupamento.

Este agrupamento secundário, propagação e formação de valor
10 de NPV são relativamente rápidos e a intenção é que houvesse uma avaliação iterativa do resultado, por um computador ou um usuário, e assim sendo a ênfase para a 4ª coordenada pode ser selecionada, a propagação e a formação de valor podem ser consideradas e realizadas, e os recuos para capacidade de mineração também podem ser considerados e revistos. Se o
15 resultado for considerado fragmentado demais, a ênfase da 4ª coordenada pode ser reduzida. Se o NPV da formação de valor for muito baixa, a ênfase da 4ª coordenada pode ser aumentada.

Com referência à Figura 11a, é ilustrada em vista plana uma fatia bidimensional de um local de mina. No exemplo há 15 blocos, mas o número de blocos pode ser qualquer número. Neste exemplo, os blocos foram
20 numerados para corresponderem ao tempo de extração, onde 1 é a extração mais antiga e 15 é o último tempo de extração. No exemplo ilustrado, os números indicam uma ordenação de extração relativamente ótima.

De acordo com o aspecto mostrado acima, a Figura 11b ilustra
25 um exemplo do resultado de agrupamento em que já um fator de camuflagem relativamente alto e uma ênfase relativamente alta no tempo. O agrupamento de número 1 é visto como sendo fragmentado, tendo um NPV relativamente alto, mas não é considerado como sendo minerável.

De acordo com o aspecto mostrado acima, a Figura 11c ilustra
30 um exemplo do resultado de agrupamento em que há uma ênfase mais baixa no tempo, se comparado com a Figura 11b. O resultado ilustrado é que ambos os agrupamentos número um e dois são conectados e 'arredondados'

e, embora eles tenham um NPV ligeiramente menor, os agrupamentos são considerados como sendo mineráveis.

8 Agregação de Restrições de Precedência

Uma abordagem de acordo com um primeiro aspecto da invenção é agregar as restrições de precedência como se segue:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_i v_i x_i \\ \text{s.t.} \quad & \\ & n_i x_i \leq \sum_{j \in P(i)} x_j \\ & x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \end{aligned}$$

onde $n_i = |P(i)|$ Equação 3

Nesta primeira abordagem de aspecto, o número de restrições é reduzido para um para cada bloco abaixo da superfície (quando não há restrições de precedência para os blocos na bancada de topo da cava). Neste caso, cada restrição faz cumprir a regra de que um bloco pode ser extraído apenas se todos os seus blocos predecessores forem extraídos. Entretanto, a propriedade de unimodularidade total da formulação exata (desagregada) não é preservada nesta primeira formulação de abordagem. Assim, as restrições de integralidade nas variáveis de decisão devem ser cumpridas. A equação 3 se manifesta, portanto, como um programa de inteiro, e deve ser resolvida usando-se o método de ramificação e limite, ao invés do método Simplex. Este método de solução leva um tempo relativamente longo em termos de tempo de computação e também pode requerer uma quantidade relativamente grande de memória para o armazenamento da árvore de decisão. Em particular, a obtenção da solução verdadeiramente ótima (em oposição a uma solução em uma percentagem especificada da solução ótima) pode levar um tempo relativamente longo.

Quando a formulação agregada (equação 3) é relaxada por LP e resolvida em CPLEX, as variáveis de decisão podem assumir valores fracionados, e o resultado é expresso na equação 4 a seguir:

$$\begin{aligned}
 & \max. \sum_i v_i x_i \\
 & \text{s.t.} \\
 & \quad n_i x_i \leq \sum_{j \in P(i)} x_j \\
 & \quad 0 \leq x_i \leq 1 \forall i \\
 & \text{onde } n_i = |P(i)|
 \end{aligned}$$

.....Equação 4

5 Considere o caso de um primeiro exemplo relativamente pequeno de uma mina (16.049 blocos) que é provido como um exemplo com o pacote de software de Whittle (por Whittle Pty Ltd, www.whittle.com.au). A Figura 12 mostra a vista a partir de cima de uma comparação das soluções ótimas encontradas pela formulação exata (equação 2) e pela relaxação de LP da formulação agregada (equação 4). Os blocos 10 são aqueles que são regulados para 1 por ambas as formulação exata (equação 2) e a formulação agregada (equação 3). Os blocos 11 em torno do exterior desta cava são aqueles blocos os quais estão incluídos (regulados para 1) na cava final encontrada pela formulação exata (equação 2), mas não estão incluídos (regulados para 0) na solução encontrada pela relaxação de LP da formulação agregada (equação 4). É evidente que há vários blocos que são incluídos na cava final verdadeira que não são incluídos pela relaxação de LP da formulação agregada (equação 4). Os blocos 12 são perda.

15 Uma comparação de uma seção transversal vertical do projeto de cava usando-se a formulação exata (equação 2) e a relaxação de LP da formulação agregada (equação 4) para este primeiro exemplo de mina é ilustrada na Figura 13, quando comparada com a Figura 14.

20 A Figura 13 mostra um plano através da cava de exemplo a partir da vista da solução usando-se a formulação exata (equação 2). A área 20 é a cava final e a área 21 é perda. Com referência à Tabela 1, abaixo, o valor total desta cava é encontrado como sendo \$ 1,43885E+09 e CPLEX requer 29,042 segundos para a obtenção desta solução.

25 A Figura 14 mostra a vista equivalente quando a relaxação de LP da formulação agregada (equação 4) para a cava final é usada. A área 20 tem os blocos regulados para 1, a área 21 é perda (blocos regulados para 0) e a área 22 é um material o qual ainda pode ser interrogado de modo a se

- decidir se ele está incluído (ou não) na cava final (regulada para um valor entre 0 e 1). O valor total desta cavidade é encontrado como sendo \$ 1,54268E+09 e encontrado em um tempo de CPU de 0,992 segundo. Note que a solução da formulação agregada (equação 3) (onde restrições de integridade são impostas nas variáveis de decisão) dá um valor total da cava final como sendo de \$ 1,43591E+09 (usando-se um critério de parada de ramificação e limite de 1% do ótimo), o qual é similar ao valor como aquele dado pela equação 2, e um tempo de CPU de 1675,18 segundos foi requerido para a obtenção desta solução.

| Primeiro exemplo de mina | Total de Blocos | 16049 |
|---|------------------------|--------------|
| | | |
| Formulação | | |
| | | |
| LG Exata (equação 2) | | |
| Número total de restrições de precedência | 264859 | |
| Valor total | 1,43885E+09 | |
| Tempo de CPU (segundos) | 29,402 | |
| Nº de blocos em cava final | 9402 | |
| % de total de blocos | 68,58 | |
| | | |
| LG Agregado (equação 3) | | |
| (IP) | | |
| Número total de restrições de precedência | 14077 | |
| Valor total | 1,43591E+09 | |
| Tempo de CPU (segundos) | 1675,18 | |
| Nº de blocos em cava final | 9670 | |
| % de total de blocos | 60,25 | |
| Espaço final (de ótimo) | 0,46% | |
| | | |
| LG Agregado (equação 4) | | |
| (Relaxação de LP) | | |
| Número total de restrições de precedência | 14077 | |
| Valor total | 1,54268E+09 | |

| | | |
|---|-------------|--|
| Tempo de CPU (segundos) | 0,992 | |
| Nº de blocos em cava final | 7949 | |
| % de total de blocos | 49,53 | |
| | | |
| LG Agregado (Plano de Corte) | | |
| (equação 9, abaixo) | | |
| (Relaxação de LP + adição de restrições de bloco único) | | |
| Número total de restrições de precedência | 34819 | |
| Valor total | 1,43885E+09 | |
| Tempo de CPU (segundos) | 976,565 | |
| Nº de blocos em cava final | 9402 | |
| % de total de blocos | 58,58 | |
| Número de iterações | 9 | |

Tabela 1: Sumário de resultados para primeiro exemplo de mina.

É evidente que CPLEX, quando se usa esta for agregada relaxada para o problema, provê que uma cava final de valor relativamente mais alto seja encontrada, mas o faz em um tempo relativamente mais curto. Este valor relativamente mais alto resulta, em parte, de uma relaxação das restrições de predecessor, desse modo permitindo que uma fração de um bloco seja tirada mesmo quando todos os seus blocos predecessores não tiverem sido tirados.

A título de ilustração da razão para a descoberta de um valor de cava relativamente mais alto usando-se a equação 4, considere a situação mostrada na Figura 15. O não-mostrada na Figura 15. O número em cada bloco representa o valor atribuído à variável de decisão (x_i) para aquele bloco pela relaxação de LP da formulação agregada (equação 4).

No caso ilustrado na Figura 15, os blocos 2 e 3 são predecessores do bloco 1. O bloco 1 é representado por x_1 , o bloco 2 por x_2 e o bloco 3 por x_3 nas equações abaixo. Na formulação exata (equação 2), as restrições para esta situação ilustrada são:

$$\begin{aligned} x_1 &\leq x_2 \\ x_1 &\leq x_3 \end{aligned}$$

.....Equação 5

A solução dada ($x_1 = 0,5$, $x_2 = 0$, $x_3 = 1$) é impossível para a formulação exata (equação 2), uma vez que:

$$x_1 = 0,5 > x_2 = 0 \quad \dots\dots\dots \text{Equação 6}$$

Entretanto, na relaxação de LP da formulação agregada (equação 4), a restrição relevante é:

$$2x_1 \leq x_2 + x_3 \quad \dots\dots\dots \text{Equação 7}$$

5 Neste caso, a solução da Figura 15 é considerada possível (uma vez que $2 \times 0,5 = 1 \leq 0 + 1 = 1$).

$$2 \times \frac{1}{2} \leq 0 + 1 \quad \dots\dots\dots \text{Equação 8}$$

Assim, se os blocos 1 e 3 fossem blocos de minério e tivessem um valor positivo, enquanto o Bloco 2 seria um bloco de perda com valor negativo, a relaxação de LP da formulação agregada (equação 4) poderia tirar tudo do bloco 3 e 0,5 do bloco 1, sem incorrer na penalidade de tirar o bloco 2 de valor negativo. Assim, a formulação agregada (equação 4) pode tirar frações de blocos positivos que, de outra forma, não teriam sido tiradas na formulação exata (equação 2). Isso leva a uma solução de maior valor do que no caso desagregado.

15 9 Método de Plano de Corte

A relaxação de LP da formulação agregada (equação 4) pode ser modificada para se eliminar esta solução de valor artificialmente maior. O resultado é a equação 9 abaixo, especificamente:

$$\begin{aligned} & \max \sum_i v_i x_i \\ & \text{s.t.} \\ & n_i x_i \leq \sum_{j \in P(i)} x_j \\ & 0 \leq x_i \leq 1 \quad \forall i \\ & \text{onde } n_i = |P(i)| \end{aligned}$$

laço sobre todos os arcos

20 {se $i \rightarrow j$, e $x_i > x_j$ em solução, então, adição da restrição $x_i \leq x_j$ }

Esta abordagem como expressa pela equação 9 é considerada um segundo aspecto da invenção denominado um 'método de plano de corte'. Neste segundo aspecto, um problema inicial (reduzido) é resolvido para dar um limite superior no valor ótimo, e então quaisquer restrições do pro-

blema geral (mestre) que são violadas por esta solução são adicionadas, e o problema é resolvido de novo. Isso é repetido até substancialmente nenhuma restrição do problema mestre ser encontrada sendo violada. Neste segundo aspecto, o programa linear para a formulação agregada (equação 4) é rodado e uma solução, chamemos-na de \hat{x} , é obtida. Cada elemento do vetor \hat{x} representa um valor (possivelmente fracionado) atribuído a cada bloco. Em \hat{x} haverá casos de pares de blocos individuais em que a restrição que o bloco sucessor não pode ser tirado até o bloco predecessor inteiro ter sido tirado (da formulação exata) é violada. Por exemplo, na Figura 15, a restrição na formulação exata de ao bloco 1 ser atribuído um valor i de 0,5 e a j ser atribuído um valor de 0

$$x_1 \leq x_2 \quad \dots\dots\dots \text{Equação 10}$$

é violada uma vez que primeira zona = 0,5 e $x_2 = 0$.

Assim, no caso da Figura 15, i tem um valor maior do que j e a restrição é adicionada e a solução rodada de novo. O resultado será a violação imposta pela Figura 15, já que os blocos 1 e 2 serão removidos. Algumas restrições de bloco individual podem ser adicionadas à relaxação de LP da formulação agregada (equação 4) para torná-la possível para o problema de cava final. É possível realizar a iteração a seguir.

Para cada elemento de \hat{x} , comparar seu valor com aquele de cada um de seus blocos predecessores por sua vez. Sempre que houver uma situação em que o bloco sucessor tem um valor maior do que o bloco predecessor, adicionar a restrição de bloco único relativo à formulação. Por exemplo, na situação da Figura 15, a restrição

$$x_1 \leq x_2$$

será adicionada à relaxação de LP da formulação agregada (equação 4). Após a verificação da relação para todos os pares de predecessores, resolver novamente o problema, submeter à restrições agregadas bem como às restrições de precedência de bloco único adicionadas. Novamente, a solução pode ser impossível, de modo que o processo pode ter de ser repetido. Este processo deve ser repetido até a etapa de verificação de dependências de bloco único revelar que substancialmente nenhuma relação de precedên-

cia de bloco único é violada. A solução neste ponto foi encontrada como sendo a mesma que a solução ótima encontrada pela resolução da formulação exata (equação 2).

É considerado que o número de restrições necessárias para a obtenção da solução usando-se esta segunda abordagem de aspecto é significativamente menor do que o número usado na formulação desagregada. Uma vez que a solução agregada inicial dá uma aproximação razoável à cava final, foi descoberto que apenas uma pequena percentagem do número total de restrições de precedência de bloco único para o problema deve precisar ser adicionada à formulação. Desta forma, a exigência computacional em termos de memória (armazenamento e manipulação da matriz de restrição) para se encontrar a solução ótima deve ser significativamente reduzida. Entretanto, o custo desta abordagem é que o processo de verificação e identificação de restrições violadas requererá mais tempo do que o método da técnica anterior da equação 2. Quando a equação 9 é aplicada ao primeiro exemplo de mina referido acima, esta segunda abordagem encontrou o valor total da cava como sendo de \$1,43885E+09, o mesmo que a solução do problema usando-se a formulação desagregada (equação 2). O tempo de computação requerido para a obtenção desta segunda abordagem foi de 976,565 segundos.

Uma breve comparação destes dois métodos para o problema de cava final no primeiro exemplo de mina é dada na Tabela 1 acima

10 Agregação - Plano de Corte e Blocos Adicionados e Restrições de Arco

É evidente que a transigência entre a abordagem da técnica anterior e as abordagens dos primeiro e segundo aspectos é tempo versus memória, como ilustrado na tabela 1, acima. A formulação exata (equação 2) encontra a solução ótima em 29,402 segundos, enquanto a formulação de plano de corte (equação 9) leva 976,565 segundos para encontrar a solução ótima. Isso é devido, em parte, ao fato de a formulação de plano de corte resolver de novo um grande LP várias vezes no processo de resolução do problema. Além disso, o processo de busca através de e verificação de todo

o arquivo de arcos (o qual é completado como uma parte de cada iteração) leva uma quantidade significativa de tempo. Entretanto, a formulação exata (equação 2) resolve um modelo com 264.859 restrições de precedência (requerendo uma quantidade significativa de memória), se comparado com

5 34.819 restrições de precedência na formulação de plano de corte (equação 5). Isto é uma diminuição de 87%. É esperado que o número de restrições no modelo seja proporcional à memória requerida para o armazenamento e a resolução do problema, em particular para a realização da inversão da matriz de restrição final, uma vez que a solução ótima tenha sido encontrada.

10 Assim, vantajosamente, uma solução da formulação de plano de corte (equação 9) pode ser possível em casos em que o CPLEX ficar sem memória, quando tentar resolver a formulação exata (equação 2).

Em um segundo exemplo de mina, o qual tem 38.612 blocos, a mesma abordagem foi tomada como acima, com resultados similares, como

15 mostrado na Tabela 2.

| Segundo exemplo de mina | Total de Blocos | 38612 |
|---|------------------------|--------------|
| | | |
| Formulação | | |
| LG Exata (equação 2) | | |
| | | |
| Número total de restrições de precedência | 1045428 | |
| Valor total | 1,87064E+09 | |
| Tempo de CPU (segundos) | 223,762 | |
| Nº de blocos em cava final | 33339 | |
| % de total de blocos | 86,34 | |
| | | |
| LG Agregado (Plano de Corte) (equação 9) | | |
| (Relaxação de LP + adição de arco ou restrições de bloco único) | | |
| Número total de restrições de precedência | 159832 | |
| Valor total | 1,67064E+09 | |

| | | |
|----------------------------|---------|--|
| Tempo de CPU (segundos) | 12354,3 | |
| Nº de blocos em cava final | 33339 | |
| % de total de blocos | 86,34 | |
| Número de iterações | 6 | |

Tabela 2: Sumário de resultados para segundo exemplo de mina.

Em particular, com referência à Tabela 2 acima, a formulação exata (equação 2) contém 1.045.428 restrições, enquanto o modelo final seguindo a implementação do algoritmo de plano de corte (equação 9) requer apenas 159.832 restrições. Entretanto, o método de plano de corte (equação 9) leva 12.354,3 segundos para encontrar a solução, enquanto a formulação exata (equação 2) requer 223,762 segundos de tempo de CPU.

Um teste adicional das abordagens alternativas de programa de inteiro misto para o projeto de cava foi realizado em um terceiro exemplo de mina, como detalhado na Tabela 3 abaixo. O modelo de bloco para o terceiro exemplo de mina contém 198.917 blocos.

Inicialmente, a formulação exata (equação 2) foi trilhada. Isto resultou no CPLEX tentar resolver um programa linear com 2.526.057 restrições de bloco único. O tamanho desta matriz de restrição fez com que o CPLEX ficasse sem memória quando tentava aplicar o algoritmo simplex duplo para resolver o problema. Assim, a solução exata para o projeto de cava no caso deste terceiro exemplo de mina é incapaz de ser determinada por esta abordagem.

A formulação agregada (equação 3) em seguida foi trilhada. Isso resultou em 188.082 restrições, um valor de \$ 3,34125E+09 e um tempo de CPU de 33298,5 segundos.

A tentativa seguinte foi rodar a relaxação de LP da formulação agregada (equação 4). É esperado que a solução deste problema dê um limite superior do valor ótimo da cava final, como foi descrito acima. Isso é devido ao fato de o CPLEX incluir frações de blocos sem necessariamente tirar toda a regulamentação de precedência. Nesta tentativa, o modelo tinha 188.082 restrições. A solução ótima foi encontrada como tendo um valor de \$ 3,340296E+09 e 12,989 segundos de tempo de CPU.

| | | |
|--|------------------------|---------------|
| Terceiro exemplo de mina | Total de Blocos | 198917 |
| | | |
| LG Exata (equação 2) | | |
| | | |
| Número total de restrições de precedência | 3526057 | |
| Valor total | | |
| Tempo de CPU (segundos) | Sem memória | |
| Nº de blocos em cava final | | |
| % de total de blocos | | |
| | | |
| LG Agregado (equação 3) | | |
| (IP) | | |
| Número total de restrições de precedência | 188082 | |
| Valor total | 3,34125E+09 | |
| Tempo de CPU (segundos) | 33298,5 | |
| Nº de blocos em cava final | 97221 | |
| % de total de blocos | 48,88 | |
| Espaço final (de ótimo) | 0,99% | |
| | | |
| LG Agregado (equação 4) | | |
| (Relaxação de LP) | | |
| Número total de restrições de precedência | 188082 | |
| Valor total | 3,40296E+09 | |
| Tempo de CPU (segundos) | 12,989 | |
| Nº de blocos em cava final | 91522 | |
| % de total de blocos | 46,01 | |
| | | |
| LG Agregado (Plano de Corte) | | |
| (equação 9) | | |
| (Relaxação de LP + adição de restrições de bloco único ou de arco) | | |
| Número total de restrições de precedência | 285598 | |
| Valor total | 3,37223E+09 | |
| Tempo de CPU (segundos) | 19703,8 | |

| | | |
|----------------------------|-------|--|
| Nº de blocos em cava final | 98845 | |
| % de total de blocos | 49,69 | |
| Número de iterações | 4 | |

Tabela 3: Sumário de resultados para terceiro exemplo de mina.

A formulação de plano de corte (equação 9) também foi trilhada neste terceiro exemplo de mina. Este é o método em que a solução para a relaxação de LP da formulação agregada é usada como uma solução de partida e, então, as restrições de bloco único violadas são adicionadas ao modelo e, então, novamente resolvidas. Este processo é repetido até não haver mais restrições de bloco único violadas e, assim, a solução é similar àquela para a formulação exata. A solução para esta equação 9 é considerada como sendo a solução correta para o problema. Quando a equação 9 foi rodada, foi encontrado que o CPLEX era capaz de lidar com o tamanho do problema, e a cava final exata foi encontrada. A solução continua 285.598 restrições, uma redução de 92% da formulação exata. O valor ótimo do projeto de cava foi encontrado como sendo \$ 3,37223E+09 e o tempo de CPU requerido para se encontrar esta solução foi de 19703,8 segundos.

Assim, o algoritmo de plano de corte (equação 9) mostrou prover uma solução melhorada nos limites de memória de uma implementação prática da presente invenção, usando-se computadores e/ou modelagem em computador, onde a formulação exata (equação 2) não poderia. Novamente, a economia de memória é deslocada por um tempo de computação mais longo.

Como no caso do primeiro exemplo de mina, uma comparação de uma seção transversal vertical da solução do problema de cava final usando-se a formulação de plano de corte e a relaxação de LP da formulação agregada para o terceiro exemplo de mina é ilustrada nas Figuras. As Figuras 16 e 18 mostram uma vista plana através da cava usando-se a formulação de plano de corte (equação 9). A área 20 é a cava final e a área 21 é perda. As Figuras 17 e 19, por outro lado, mostram a mesma vista, mas para a relaxação de LP do agregado (equação 4). Novamente, as áreas 20 são a cava e as áreas 21 são perda. Novamente, é evidente que a relaxação

de LP do agregado (equação 4) tira frações de blocos que são impossíveis para a formulação exata.

Este resultado é considerado como confirmando que a solução da formulação de plano de corte (equação 9) pode ser possível em casos em que o CPLEX fica sem memória quando tenta resolver a formulação exata (equação 2).

Um sumário dos resultados para o terceiro exemplo de mina é encontrado na Tabela 3.

11 Variações no Método de Plano de Corte

10 11.1 Primeira variação

Uma vez que foi descoberto que a adição de todas as restrições violadas de uma vez causa um carregamento adicional na abordagem de plano de corte (equação 9), devido ao número muito grande de restrições adicionadas pela primeira iteração, uma variação do método de plano de corte é adicionar as restrições em incrementos. Inicialmente, o efeito de adição das restrições mais violadas primeiramente, e, então, de resolução de novo da formulação foi investigado. Este método foi completamente testado no primeiro exemplo de mina. A abordagem tomada foi como se segue. Em cada iteração do método, um limite inferior no tamanho da violação da restrição de bloco único foi especificado (por exemplo, 0,5, 0,6,...). Por exemplo, a Figura 15 ilustra violações para cada bloco. Neste exemplo da Figura 15, a violação = $x_i - x_j$ e, então, o 'tamanho' da violação é $0,5 - 0 = 0,5$. Restrições que foram violadas por uma quantidade maior do que esta tolerância foram adicionadas à formulação, e o problema foi resolvido de novo. Entretanto, usando-se esta abordagem, o processo de otimização se completou antes da solução ótima ser encontrada. Isso ocorre porque este método de adição de restrições não identifica e adiciona todas as restrições de bloco único que são violadas, apenas aquelas que são violadas por maior de uma certa quantidade. Desta forma, nem todas as restrições de bloco único necessárias são adicionadas à formulação, e a solução verdadeiramente ótima não é atingida. Para aliviar este problema, uma violação (violações) maior do que um limite inferior selecionado é (são) adicionada(s) a pelo menos a primeira ite-

ração. Esta abordagem permite que uma solução ótima ainda seja obtida.

11.2 Segunda variação

Uma outra abordagem é adicionar as restrições mais violadas, mas diminuir a quantidade de violação requerida em cada iteração até um certo número de restrições ter sido atingido. Por exemplo, pode ser designado que um mínimo de 5000 restrições deve ser adicionado a cada iteração. Digamos que o parâmetro de violação inicial seja regulado para 0,6 (isto é, apenas restrições de bloco único que são violadas por 0,6 ou mais são adicionadas à formulação). Pode ser o caso de 1200 restrições serem adicionadas. Então, antes de se resolver de novo a formulação, o parâmetro de violação poderia ser diminuído para 0,5. Isso pode resultar em outras 3000 restrições serem adicionadas ao modelo. Uma vez que ainda há menos de 5000 restrições adicionadas, o parâmetro de violação é mais diminuído para 0,4, e mais restrições de bloco único são adicionadas. Isso pode resultar em 2000 restrições sendo adicionadas à formulação, e o problema agora é resolvido de novo uma vez que o mínimo de 5000 restrições foi atingido. O processo então é repetido até a solução ótima ser obtida.

11.3 Terceira variação

Alternativamente, a tolerância poderia ser reduzida para um nível de incremento menor (digamos 0,01 em um tempo ao invés de 0,1) em uma tentativa de se reduzir o tamanho do disparo quanto ao número de restrições adicionados, se comparado com o número mínimo prescrito de restrições.

11.4 Quarta variação

Uma outra alternativa é simplesmente adicionar um número específico de restrições ao modelo, antes da formulação ser resolvida de novo. Em qualquer abordagem em que um número mínimo de restrições seja adicionado, a determinação do número apropriado de restrições a adicionar em cada iteração é uma questão não trivial. Este elemento do problema em si pode requerer uma otimização. É esperado que o tamanho máximo do problema que é capaz de ser armazenado em memória e manipulado por CPLEX afete este valor. Uma consideração deste fato pode permitir que um

teste seja embutido no programa para a resolução do problema de cava final. A forma do procedimento de teste poderia prosseguir como se segue. Se o tamanho da matriz de restrição seguindo-se a esta primeira iteração for menor do que o tamanho máximo capaz de ser resolvido por CPLEX (com
5 uma margem para se permitir que mais restrições sejam adicionadas em iterações subseqüentes, com base na proporção geral de restrições adicionadas após o laço inicial - parece que aproximadamente 90% das restrições que são requeridas são adicionadas no primeiro laço), tomar o percurso de
10 adição de todas as restrições violadas. Se o tamanho da matriz de restrição seguindo-se à primeira iteração for maior do que o máximo capaz de ser resolvido, reiniciar o processo de iteração usando um dos processos de adição de restrição alternativos descritos acima.

As abordagens descritas acima foram testadas no primeiro exemplo de mina acima. Neste caso, a abordagem que funcionou melhor foi
15 adicionar restrições de bloco único que foram violadas mais de 0,6 nos 5 primeiros laços e em laços subseqüentes, adicionar todas as restrições violadas. Esta abordagem encontrou a solução ótima em 2152,24 segundos. Isso foi significativamente mais longo do que o procedimento de plano de corte padrão, o qual requereu 976,565 segundos (compare com a declaração abaixo).

20 **11.5 Quinta variação**

Uma outra abordagem para a adição de restrições em incrementos tira vantagem da geometria específica da mina. Neste caso, um vetor contendo a coordenada z (ou a "altura") para cada bloco é armazenado. Usando esta informação, as restrições de bloco único violadas são adiciona-
25 das a partir da maior coordenada z (correspondente ao topo da cava) para baixo, diminuindo de altura de bloco em cada laço. O processo de adição de restrição pára quando um número especificado de restrições tiver sido adicionado o depois de um número especificado de coordenadas z ter sido des-
30 cido. Pela adição de restrições de bloco único violadas a partir da coordenada z maior para baixo, espera-se que as etapas de otimização subseqüentes forcem que mais restrições de bloco único a partir da parte inferior da cava sejam satisfeitas, antes de elas precisarem ser explicitamente adicionadas à

formulação em uma iteração de plano de corte. Isto é, uma vez que decisões referentes às bancadas mais superiores da cava tenham sido tomadas, as rodadas de produção na formulação poderiam forçar estas decisões a se propagarem para baixo pela cava. Subseqüentemente, menos restrições de bloco único podem precisar ser adicionadas através das iterações de plano de corte, antes do problema ser resolvido de forma ótima.

Esta abordagem é particularmente efetiva no caso do terceiro exemplo de mina. A solução ótima para o problema foi encontrada em 2664,11 segundos, quando restrições foram adicionadas a partir da coordenada z de topo para baixo em cada iteração, com dez coordenadas z descendentes em cada iteração. Isso se compara de forma muito favorável com a formulação de plano de corte padrão, a qual requer 19.703,8 segundos para encontrar a solução ótima.

Embora esta invenção tenha sido descrita em relação a modalidades específicas da mesma, será compreendido que ela é capaz de modificação (modificações) adicional(is). Este pedido pretende cobrir quaisquer variações, usos ou adaptações da invenção seguindo em geral os princípios da invenção e incluindo tais desvios da presente exposição, como vierem na prática conhecida ou comum na técnica à qual a invenção pertence e como puder ser aplicado aos recursos essenciais estabelecidos aqui anteriormente.

A presente invenção pode ser concretizada de várias formas, sem se desviar do espírito das características essenciais da invenção, devendo ser compreendido que as modalidades descritas acima não são para limitação da presente invenção, a menos que especificado de outra forma, mas, ao invés disso, devem ser construídas amplamente no espírito e no escopo da invenção, como definido pelas reivindicações em apenso. Várias modificações e arranjos equivalentes são pretendidos para estarem incluídos no espírito e no escopo da invenção e das reivindicações em apenso. Portanto, as modalidades específicas devem ser compreendidas como sendo ilustrativas das muitas formas pelas quais os princípios da presente invenção podem ser praticados. Nas reivindicações a seguir, orações de meios mais funções são pretendidas para cobrirem estruturas como realizando a função

definida e não apenas equivalentes estruturais, mas, também, estruturas equivalentes. Por exemplo, embora um prego e um parafuso possa não ser equivalentes estruturais pelo fato de um prego empregar uma superfície cilíndrica para a fixação de partes de madeira em conjunto, ao passo que um

5 parafuso emprega uma superfície helicoidal para a fixação de partes de madeira em conjunto, no ambiente de fixação de partes de madeira, um prego e um parafuso são estruturas equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de determinação de extração de material a partir de uma mina tendo pelo menos uma cava, que inclui a etapa de utilizar um sistema de processamento de dados para formar um modelo de blocos da cava, no qual o material é dividida numa pluralidade de blocos (702, 703, 704, 705), **caracterizado** pelas etapas de: processar, por meio do sistema de processamento de dados, os blocos do modelo do blocos (601) baseado em pelo menos um critério (605) para definir uma pluralidade de agrupamentos ("clusters") compreendendo cada um uma pluralidade de blocos (702, 703, 704, 705); formar , por meio do sistema de processamento de dados, um cone (805, 806, 807), para cada agrupamento, o cone propagando-se para cima por arcos de precedência que se estendem a partir de cada agrupamento; e definir, por meio do sistema de processamento de dados, amontoados ("clumps") de material (814, 815) a partir da interseção dos cones (805, 806, 807), os amontoados compreendendo volumes de material não cruzados por arcos de precedência (808, 809, 810, 811, 812 e 813; 903, 904), de modo que o material é extraído da mina em qualquer ordenação de extração dos amontoados que seja viável de acordo com os arcos de precedência (808, 809, 810, 811, 812 e 813; 903, 904) para fornecer flexibilidade na extração do material da mina.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a pelo menos um critério (610) inclui a posição espacial dos blocos, uns em relação aos outros .

3. Método de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de compreender a determinação de um tempo de extração (611) para os blocos.

4. Método de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos um outro critério (613, 614) compreende uma variável selecionado a partir do grupo que compreende o valor do material, a qualidade do material e o tipo de material.

5. Método de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de compreender ainda aumentar uma ênfase dos outros critérios de

modo que os agrupamentos são formadas a partir de blocos que são espacialmente mais fragmentados, mas seguem mais perto um esquema otimizado de extração.

5 6. Método de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de compreender ainda diminuir uma ênfase dos outros critérios de modo que os agrupamentos são formados a partir de blocos que são espacialmente compactos mas ignoram uma sequência otimizada de extração.

10 7. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que, quando a pluralidade de agrupamentos tem sido definida, os agrupamentos são ordenados no tempo e a pluralidade de cones são propagadas para cima a partir de cada agrupamento em ordem de tempo, e pelo fato de que quaisquer os blocos já atribuídos a um primeiro cone (1) não são incluídos num segundo cone (2) ou em qualquer cone subsequente, e quaisquer blocos designados para o segundo cone não está incluído em qualquer
15 cone subsequente e assim por diante.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o tamanho de cada agrupamento é controlado para um tamanho pré-determinado pela diminuição de agrupamentos superdimensionados mediante a reatribuição de blocos do respectivo agrupamento a outros agrupamentos de acordo com a probabilidade de pertencer a outros agrupamentos.
20

9. Aparelho para a determinação da extração de material a partir de uma mina tendo pelo menos uma cava, compreendendo um processador para receber um modelo de blocos (601) do poço no qual o material é dividida numa pluralidade de blocos, **caracterizado** pelo fato de compreender:
25 uma memória para armazenar um código de programa de computador, que, após a execução pelo processador, realiza operações compreendendo: o processamento os blocos do modelo de blocos com base em pelo menos um critério (605) para definir uma pluralidade de agrupamentos, cada qual compreendendo uma pluralidade de blocos (702, 703, 704, 705); a formação de um cone (805, 806, 807) para cada agrupamento, cada cone se propagando para cima por meio de arcos de precedência (808, 809, 810, 811, 812 e 813;
30

903, 904) que se estendem a partir de cada agrupamento; e a definição de amontoados ("clumps") de material (814, 815) a partir de uma interseção dos cones (805, 806, 807), os amontoados compreendendo volumes de material não cruzados por arcos de precedência, de modo que o material é extraí-
5 do da mina em qualquer ordenação de extração dos amontoados que é viável de acordo com os arcos de precedência para fornecer flexibilidade na extração do material da mina.

10 10. Aparelho de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que o pelo menos um critério (610) utilizado para definir cada agrupamento compreende a posição espacial dos blocos, uns em relação aos outros.

11. Aparelho de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que o processador é também para a determinação de um tempo de extração (611).

15 12. Aparelho de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos outro critério (613, 614) compreende uma variável selecionada a partir do grupo que compreende o valor do material, a qualidade do material e do tipo de material.

20 13. Aparelho de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que uma ênfase no outro critério é aumentada de modo que agrupamentos são formados a partir de blocos que são espacialmente mais fragmentados, mas mais seguem mais perto um esquema otimizado de extração.

25 14. Aparelho de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que uma ênfase no outro critério é diminuída de modo que os agrupamentos são formados a partir de blocos, que são espacialmente compactos, mas ignora uma sequência otimizada de extração.

30 15. Aparelho de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que, quando a pluralidade de agrupamentos já foi definida, o processador é também para a ordenação dos agrupamentos no tempo e a pluralidade de cones são propagados para cima a partir de cada agrupamento em ordem de tempo, sendo que quaisquer blocos já designados a um primeiro

cone (1) não são incluídos em um segundo cone (2) ou qualquer cone subsequente, e quaisquer blocos designados ao segundo cone não são incluído em qualquer cone subsequente e assim por diante.

- 5 16. Aparelho de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que o processador é também para controlar o tamanho de cada agrupamento a um tamanho pré-determinado pela redução de aglomerados de tamanho superdimensionado mediante a redesignação de blocos daquele agrupamento de acordo com a probabilidade de pertencer a outros agrupamentos.

FIG 1
(Técnica Anterior)

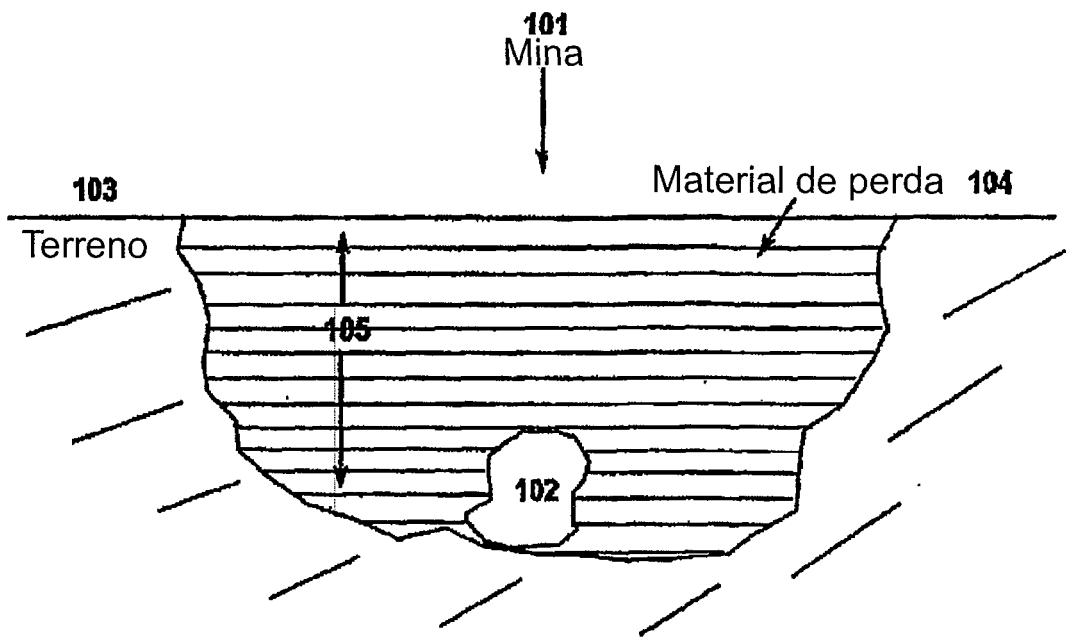


FIG 2
(Técnica Anterior)

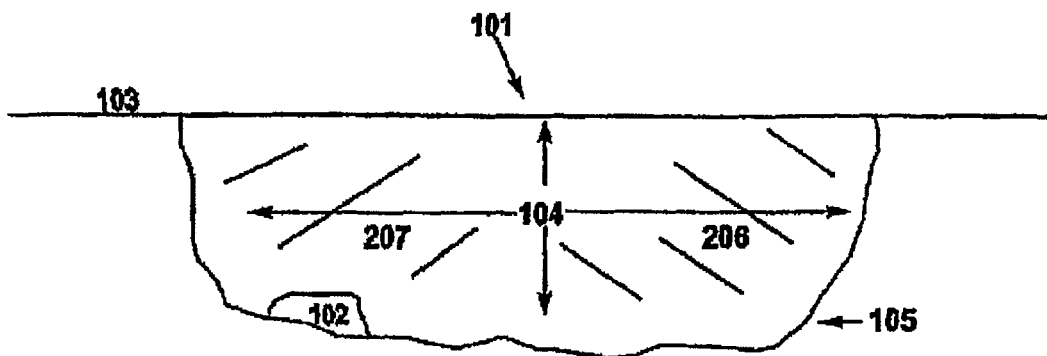


FIG 5
(Técnica Anterior)

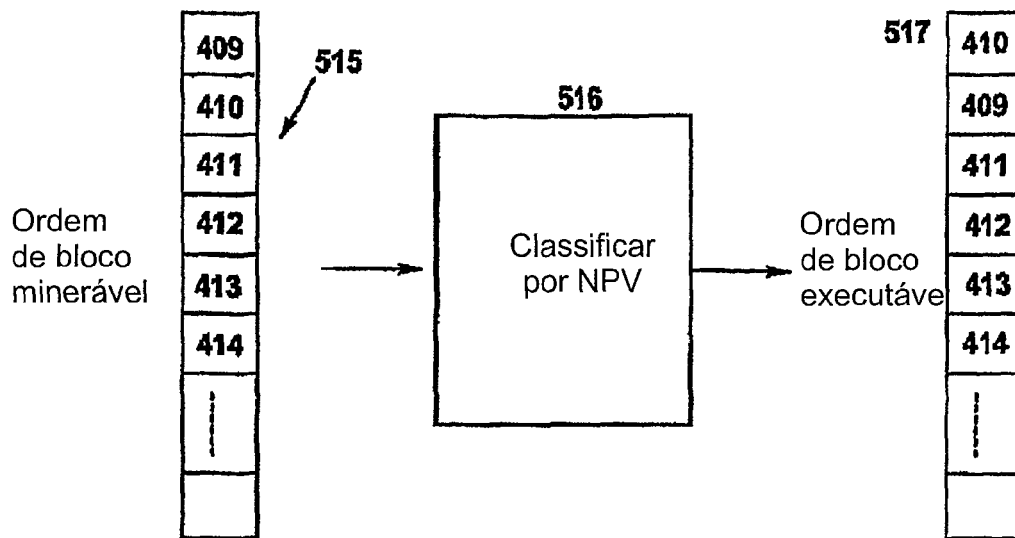
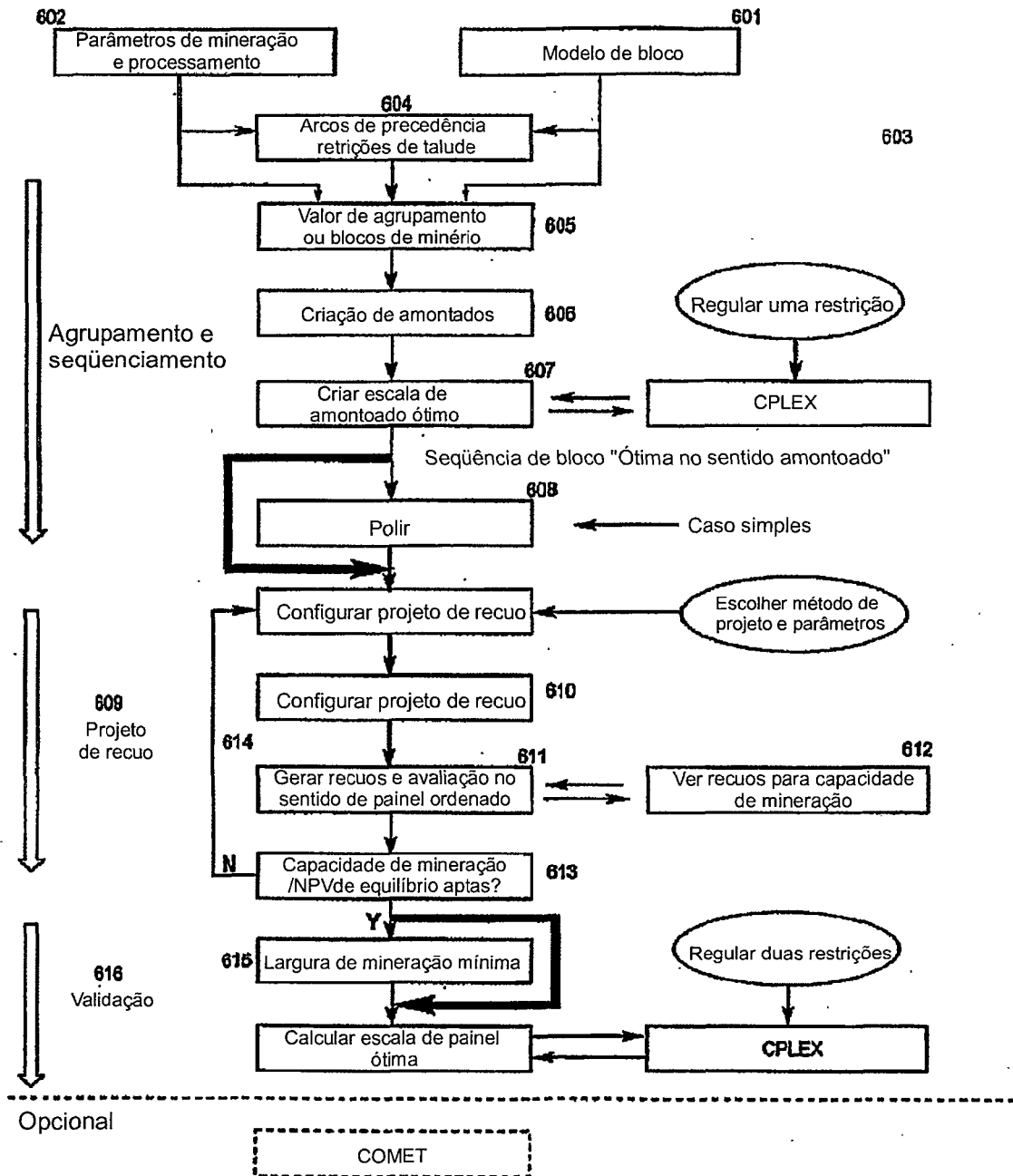


FIG 6



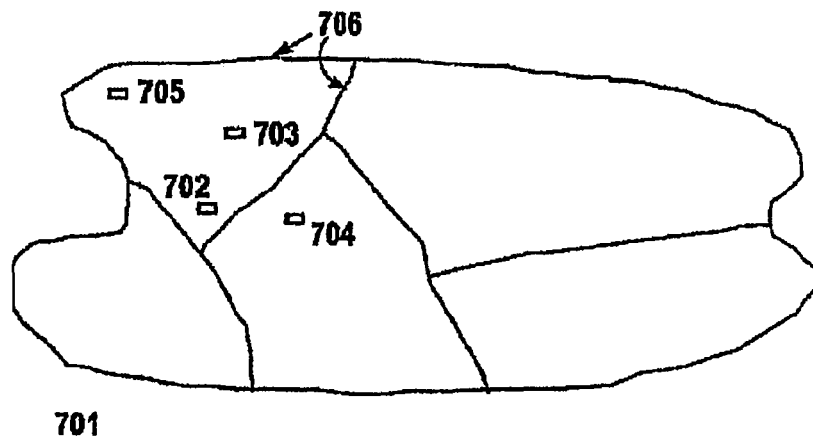


FIG 7

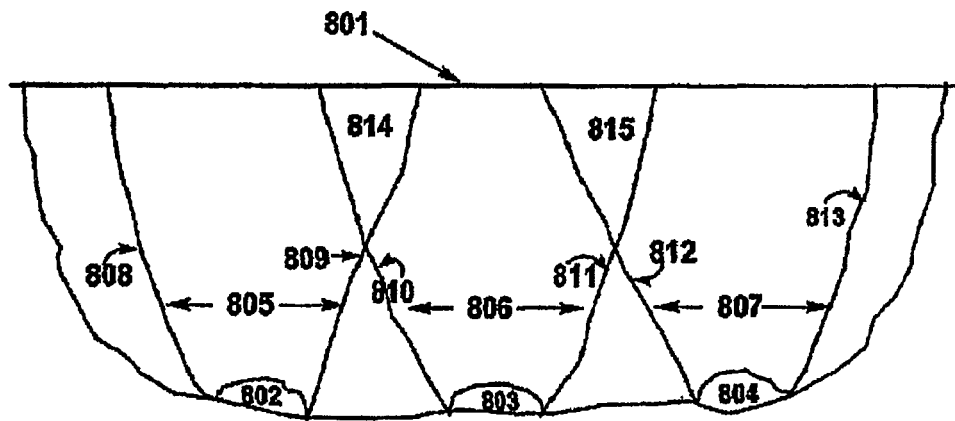


FIG 8

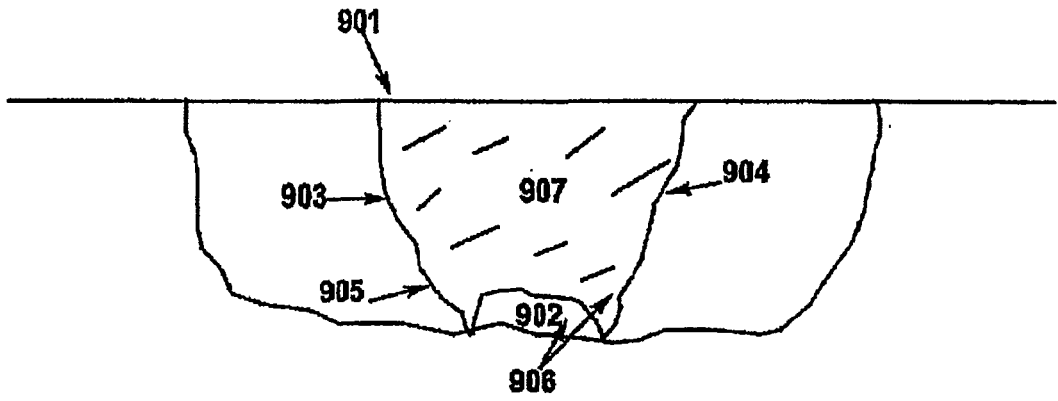


FIG 9

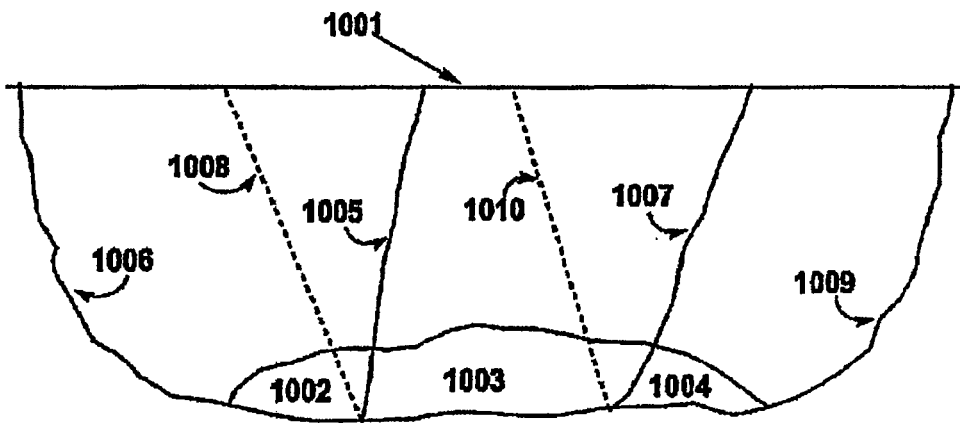


FIG 10

Vista plana: Fatia de bloco 2D

| | | | | |
|----|----|----|---|---|
| 1 | 8 | 13 | 2 | 3 |
| 11 | 9 | 14 | 4 | 6 |
| 10 | 12 | 15 | 7 | 5 |

FIG 11a

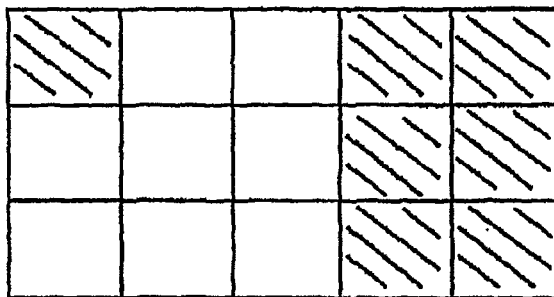


FIG 11b



= Agrupamento N° 1



= Agrupamento N° 2

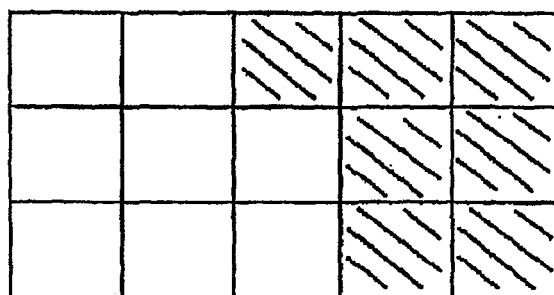


FIG 11c



= Agrupamento N° 1



= Agrupamento N° 2

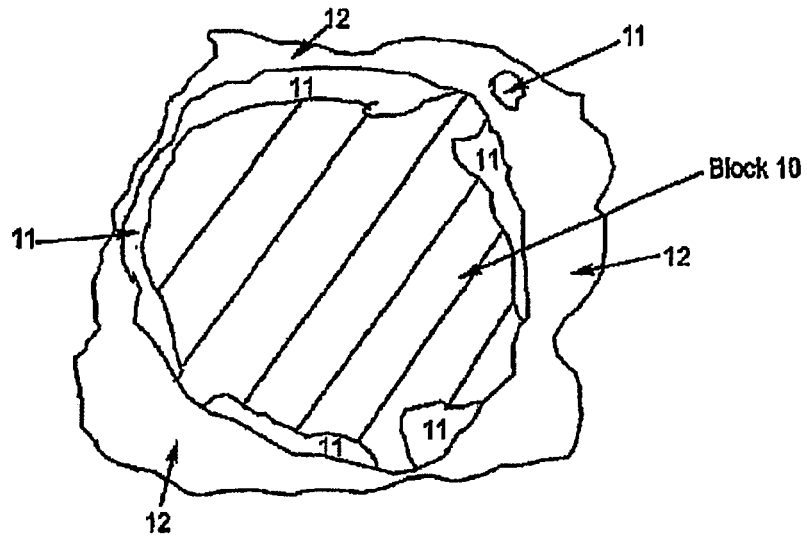


FIG 12

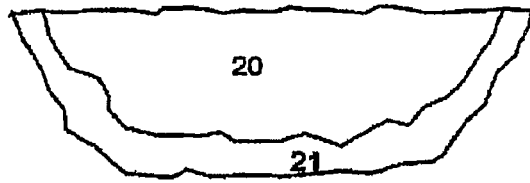


FIG 13

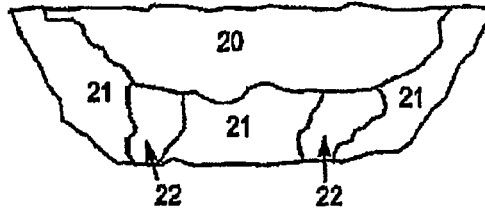


FIG 14

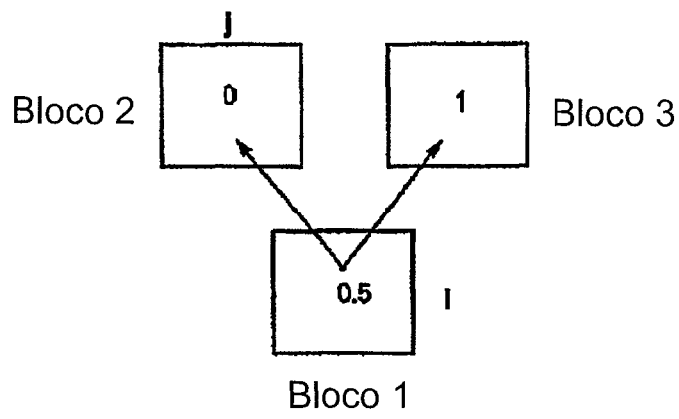


FIG 15

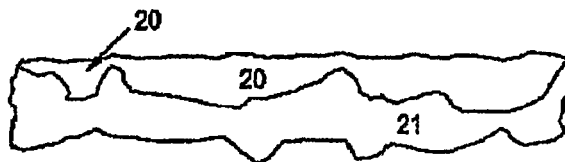


FIG 16

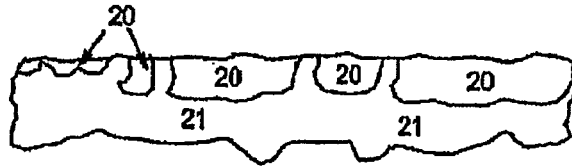


FIG 17

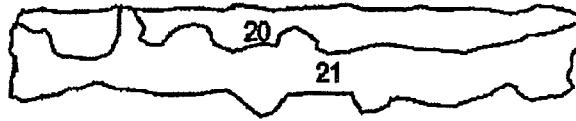


FIG 18

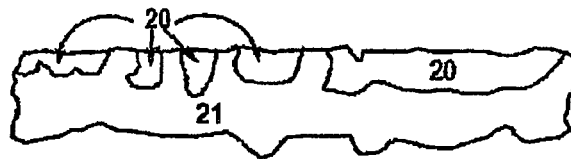


FIG 19

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO E APARELHO DE DETERMINAÇÃO DE EXTRAÇÃO DE MATERIAL A PARTIR DE UMA MINA TENDO PELO MENOS UMA CAVA"**.

5 A presente invenção refere-se ao campo de extração de recurso(s) de um local em particular. Em particular, a presente invenção refere-se ao planejamento, ao projeto e ao processador relacionados a um local de mina de uma maneira baseada na melhoria da extração de material considerado de valor, em relação ao esforço e/ou ao tempo na extração daquele

10 material. O presente pedido mostra dentre outras coisas um método de e um aparelho para a determinação de restrições de talude, a determinação de um agrupamento de material, a determinação de características de uma porção selecionada de material, a análise de um volume selecionado de material, a propagação de amontoados, a formação de agrupamentos, o projeto de mi-

15 na, a agregação de blocos em coleções ou agrupamento, a divisão de perda e minério em amontoados, a determinação de um grupo selecionado de blocos a serem minerados, agrupamentos de ordenação e identificação de amontoado para projeto de recuo.