



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0901427-6 B1



(22) Data do Depósito: 04/03/2009

(45) Data de Concessão: 28/01/2020

(54) Título: SISTEMAS PARA USO NO CONTROLE DE OPERAÇÕES DE EXTRAÇÃO DE RECURSOS E DE MINERAÇÃO, RESPECTIVOS MÉTODOS DE CONTROLE E MEIOS NÃO TRANSITÓRIOS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR E SISTEMA PARA EXPLORAR UMA MINA

(51) Int.Cl.: G06F 19/00; G06G 7/48; E21F 17/00.

(30) Prioridade Unionista: 04/03/2008 AU 2008901043.

(73) Titular(es): TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY. LIMITED.

(72) Inventor(es): HUGH DURRANT-WHYTE; FABIO TOZETO RAMOS; PETER JAMES HATHERLY.

(57) Resumo: MÉTODO E SISTEMA PARA EXPLORAR INFORMAÇÕES A PARTIR DE FONTES HETEROGÊNEAS. São descritos um sistema e um método para gerar um modelo de um ambiente em que várias unidades de equipamento (104) são empregadas para a extração de ao menos um recurso a partir do ambiente. O sistema compreende uma unidade de modelagem de pré-extração, ou no solo (204), configurada para receber os dados a partir de uma primeira pluralidade de sensores heterogêneos no ambiente e para fundir os dados no modelo de pré-extração descritivos do ambiente e o ao menos um recurso. Uma unidade de modelagem de equipamento (208) é configurada para receber os dados de equipamento relacionados às várias unidades de equipamento operando no ambiente e para combinar os dados de equipamento em um modelo de equipamento. Uma unidade de modelagem pós-extração ou fora do solo (206) é configurada para receber os dados a partir de uma segunda pluralidade de sensores e para fundir os dados em um modelo de pós-extração descritivo de material extraído a partir do ambiente, em que ao menos uma das unidades de equipamento opera para extrair o ao menos um recurso a partir do ambiente. Informação a partir do ao menos um de (...).

**SISTEMAS PARA USO NO CONTROLE DE OPERAÇÕES DE EXTRAÇÃO DE
RECURSOS E DE MINERAÇÃO, RESPECTIVOS MÉTODOS DE CONTROLE E
MEIOS NÃO TRANSITÓRIOS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR E SISTEMA
PARA EXPLORAR UMA MINA**

5

Campo da Invenção

A presente invenção se refere a um método e sistema para explorar informação a partir de fontes heterogêneas.

Antecedentes da Invenção

A exploração de uma mina é uma tarefa complexa e
10 dispendiosa. À medida que avança a tecnologia, várias
ferramentas estão sendo usadas para otimizar os diferentes
procedimentos no local para economizar custos, otimizar
eficiência, ou aperfeiçoar a qualidade do produto final.
Alguns exemplos dessas novas tecnologias são as
15 perfuratrizes autônomas, as quais são usadas para fazer
furos em materiais duros, e que não requerem um operador
para manejar a perfuratriz durante a tarefa de perfuração.
Outro exemplo é o uso de vagões autônomos que não exigem
motoristas e, portanto, reduzem significativamente os
20 recursos humanos exigidos para a exploração da mina.

Embora esses novos recursos ajudem a lidar com os
problemas muito específicos associados à exploração da
mina, a presença dos mesmos causa novos problemas
relacionados ao processo como um todo e a integração dessas
25 novas ferramentas no sistema.

Portanto, há a necessidade de uma melhor integração de
novos e antigos recursos dentro dos procedimentos
existentes de exploração de minas, assim como a otimização
do uso dos novos recursos e ferramentas que estão emergindo
30 devido aos avanços em tecnologia.

Existem necessidades similares em outras áreas de tecnologia envolvendo a extração de um recurso a partir de um ambiente circundante, por exemplo, em aplicações de silvicultura e agricultura e em outras áreas tais como
5 análise de oceanos em aplicações marítimas.

Sumário da Invenção

De acordo com um primeiro aspecto da invenção é provido um sistema para gerar um modelo de um ambiente em que várias unidades de equipamento são empregadas para a
10 extração de ao menos um recurso a partir do ambiente, o sistema compreendendo:

a) uma unidade de modelagem de pré-extração configurada para receber os dados a partir de uma primeira pluralidade de sensores heterogêneos no ambiente e para
15 fundir os dados em um modelo de pré-extração descritivo do ambiente e do ao menos um recurso;

b) uma unidade de modelagem de equipamento configurada para receber dados de equipamento relacionados às várias unidades de equipamento operando no ambiente e para
20 combinar os dados de equipamento em um modelo de equipamento;

c) uma unidade de modelagem de pós-extração configurada para receber dados a partir de uma segunda pluralidade de sensores e fundir os dados em um modelo de
25 pós-extração descritivo do material extraído a partir do ambiente, em que ao menos uma das unidades de equipamento opera para extrair o ao menos um recurso a partir do ambiente; e

em que a informação solicitada a partir de ao menos um
30 do modelo de pré-extração, do modelo de equipamento e do

modelo de pós-extração é comunicável às unidades de equipamento para uso no controle da operação das unidades de equipamento no ambiente.

De acordo com um segundo aspecto da invenção é provido
5 um sistema para gerar um modelo de uma mina em que várias unidades de equipamento são empregadas para a extração de ao menos um recurso a partir da mina, o sistema compreendendo:

a) uma unidade de modelagem no solo configurada para
10 receber dados a partir de uma primeira pluralidade de sensores heterogêneos na mina e para fundir os dados em um modelo no solo descritivo da mina e do ao menos um recurso;

b) uma unidade de modelagem de equipamento configurada para receber dados de equipamento relacionados às várias
15 unidades de equipamento empregadas na mina e para combinar os dados de equipamento em um modelo de equipamento;

c) uma unidade de modelagem fora do solo configurada para receber os dados a partir de uma segunda pluralidade de sensores e para fundir os dados em um modelo fora do
20 solo descritivo do material extraído a partir da mina, em que ao menos uma das unidades de equipamento opera para extrair o ao menos um recurso a partir dos recursos; e

em que a informação solicitada a partir de ao menos um do modelo no solo, do modelo de equipamento e do modelo
25 fora do solo é comunicável às unidades de equipamento para uso no controle da operação das unidades de equipamento na mina.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é provido um sistema para explorar uma mina, compreendendo:
30 um banco de dados armazenando um modelo no solo e um

modelo de equipamento;

um módulo de comunicação para permutar dados com uma pluralidade de unidades de operação;

um módulo de fusão adaptado para fundir informação no
5 solo em relação às propriedades geométricas, geológicas e
geofísicas de um material no solo em modelo no solo para
atualizar o modelo no solo, para fundir informação de
equipamento em relação às peças de equipamento no modelo de
equipamento para atualizar o modelo de equipamento, e para
10 fundir informação fora do solo em relação às propriedades
geofísicas, químicas e de classe de um material fora do
solo com informação sobre modelo no solo e modelo de
equipamento para criar um modelo fora do solo.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é
15 provido um método de gerar um modelo de um ambiente em que
várias unidades de equipamento são empregadas para a
extração de ao menos um recurso a partir do ambiente, o
método compreendendo:

a) receber os dados a partir de uma primeira
20 pluralidade de sensores heterogêneos no ambiente;

b) fundir os dados em um modelo de pré-extração
descritivo do ambiente e do ao menos um recurso;

c) receber os dados de equipamento relacionados à
pluralidade de unidades de equipamento operando no
25 ambiente;

d) combinar os dados de equipamento em um modelo de
equipamento;

e) receber os dados a partir de uma segunda
pluralidade de sensores;

30 f) fundir os dados a partir da segunda pluralidade de

sensores em um modelo pós-extração, descritivo de material extraído a partir do ambiente, em que ao menos uma das unidades de equipamento opera para extrair o ao menos um recurso a partir do ambiente; e

5 g) comunicar informação a partir de ao menos um do modelo de pré-extração, do modelo de equipamento e do modelo de pós-extração para as unidades de equipamento para uso no controle da operação das unidades de equipamento no ambiente.

10 De acordo com um aspecto adicional da invenção é provido um método de gerar um modelo de uma mina em que várias unidades de equipamento são empregadas para a extração de ao menos um recurso a partir da mina, o método compreendendo:

15 a) receber os dados a partir de uma primeira pluralidade de sensores heterogêneos na mina;

 b) fundir os dados em um modelo no solo descritivo da mina e do ao menos um recurso;

20 c) receber os dados de equipamento relacionados às várias unidades de equipamento empregadas na mina;

 d) combinar os dados de equipamento em um modelo de equipamento;

 e) receber os dados a partir de uma segunda pluralidade de sensores;

25 f) fundir os dados em um modelo fora do solo descritivo do material extraído a partir da mina, em que ao menos uma das unidades de equipamento opera para extrair o ao menos um recurso a partir do recurso; e

30 g) comunicar informação a partir do ao menos um do modelo no solo, do modelo de equipamento e do modelo fora

do solo para as unidades de equipamento para uso no controle da operação das unidades de equipamento na mina.

De acordo com um aspecto adicional da invenção é provido um método para gerenciar um material fora do solo dentro de uma mina, o método compreendendo:

armazenar os dados relacionados a uma geometria e a uma geologia de um material no solo dentro da mina;

atualizar os dados utilizando entrada a partir de ao menos uma unidade de operação quando o material no solo tiver sido escavado e corresponder ao material fora do solo; e

monitorar um movimento do material fora do solo dentro da mina a partir da escavação até o armazenamento em montões.

15 **Descrição Resumida dos Desenhos**

Modalidades da invenção serão descritas agora, apenas como exemplo, com referência aos desenhos anexos, nos quais:

A Figura 1 é um diagrama de blocos de um sistema de Compilação de Imagem de Mineração, de acordo com uma modalidade;

A Figura 2 é um diagrama de blocos, ilustrando uma estação-base conectada a sete unidades de operação, de acordo com uma modalidade;

25 A Figura 3 ilustra a operação de uma unidade de modelo no solo, de acordo com uma modalidade;

A Figura 4 ilustração a operação de uma unidade de modelo fora do solo, de acordo com uma modalidade;

30 A Figura 5 ilustra a operação da unidade de modelo de equipamento, de acordo com uma modalidade;

A Figura 6 ilustra a operação de uma unidade de autoperfuração, de acordo com uma modalidade;

A Figura 7 ilustra a operação de uma unidade de autoalinhamento, de acordo com uma modalidade;

5 A Figura 8 ilustra a operação de uma unidade de automação de vagão, de acordo com uma modalidade;

A Figura 9 ilustra a operação de uma unidade de inspeção de cabeceira, de acordo com uma modalidade;

10 A Figura 10 ilustra a operação de uma unidade de automação de escavadeira, de acordo com uma modalidade;

A Figura 11 ilustra a operação de uma unidade de ensaio em tempo real, de acordo com uma modalidade;

A Figura 12 ilustra a operação de uma unidade de carregamento automatizado, de acordo com uma modalidade;

15 A Figura 13 ilustra a operação de uma unidade de pesquisa em tempo real autônoma, de acordo com uma modalidade;

A Figura 14 ilustra uma geologia real de um terreno, de acordo com uma modalidade.

20 A Figura 15 ilustra uma predição de uma geologia real de um terreno com base em observações realizadas em uma bancada de minério, de acordo com uma modalidade;

A Figura 16 ilustra uma predição de uma geologia real de um terreno com base em observações realizadas em duas
25 bancadas, de acordo com uma modalidade; e

A Figura 17 ilustra uma predição de uma geologia real de um terreno com base em observações realizadas em três bancadas de acordo com uma modalidade.

Descrição Detalhada das Modalidades

30 A presente invenção se refere à exploração de

informação a partir de fontes heterogêneas relacionadas a um ambiente definido e à geração de um modelo para uso na extração de recursos a partir do ambiente definido. A modalidade ilustrada nas figuras e descrita em detalhe é uma aplicação para mineração. Será considerado que existem muitos outros campos de aplicação pertinentes a essa invenção, incluindo silvicultura e agricultura.

O termo "fundir" se refere, nessa descrição, à combinação de informação a partir de múltiplas fontes para criar um modelo de dados ou combinar nova informação com informação já existente de um modelo de dados para atualizar esse modelo de dados. As múltiplas fontes podem ser homogêneas ou heterogêneas. A informação a partir das múltiplas fontes tipicamente tem diferentes características, por exemplo, a exatidão dos dados, mas provê informação sobre os mesmos parâmetros medidos, por exemplo, coordenadas descrevendo a posição de um objeto. Uma razão para fundir informação a partir das fontes heterogêneas, por exemplo, múltiplos sensores, é a de melhorar a exatidão do valor(es) estimado a partir dos valores medidos. A fusão de informação também pode se referir à atualização de informação antiga com nova informação, por exemplo, substituir uma localização de um veículo pela sua nova posição. A fusão de informação pode fazer uso de algoritmos de fusão.

Na aplicação de mineração, o termo "informação no solo" se refere à informação geométrica, geofísica e geológica sobre o material no solo, em conjunto com a informação sobre as atividades de mineração que ocorreram ou que ocorrerão antes da extração do material. O material

no solo ou não-escavado é o material que ainda não foi escavado. Informação geométrica representa informação sobre a localização e a geometria da mina, bancadas, etc. Ela também inclui informação sobre a localização de furos existentes ou a serem perfurados e suas dimensões. Isso constitui um padrão de perfuração. Adicionalmente, a informação geométrica pode incluir também informação associada relacionada à quantidade e composição de explosivos a serem providos nos furos. Utilizando a informação no solo, é possível estimar a quantidade e os estoques de material no solo. Informação no solo compreende também propriedades químicas e mecânicas das diferentes zonas da mina. Toda informação no solo é fundida para formar um modelo no solo.

Em uma aplicação agrícola o termo "informação no solo" pode se referir a terra e plantas ou culturas economicamente úteis em uma região de interesse. O modelo no solo obtém, através de detecção, uma imagem integrada da geometria, composição química, e saúde da cultura através da área exigida. Mais genericamente, o termo "informação no solo" está compreendido na classe de informação de "pré-extração", "pré-intervenção" ou "pré-processamento" e se refere à informação descrevendo uma região em algum ponto de referência inicial, ou um ponto de referência inicial relativo dentro de um processo dinâmico sujeito à reavaliação contínua. O recurso da região pode ser, por exemplo, uma mina, um recurso agrícola ou um recurso de silvicultura que está sujeito à intervenção ou processamento pelo equipamento referido abaixo. Nesse sentido mais amplo a "informação no solo" não é limitada

literalmente à informação relacionada ao solo, mas pode, por exemplo, se referir a um recurso marinho.

Nessa descrição um segundo tipo de informação é denominada "informação fora do solo". Na aplicação de mineração a "informação fora do solo" se refere à informação sobre o material extraído ou fora do solo incluindo montões de armazenamento e material em processo. Essa informação inclui, mas não é limitada ao material geofísico, químico e o tipo do material fora do solo além de sua localização dentro da mina. Utilizando a informação fora do solo, é possível estimar os estoques e a quantidade do material fora do solo. A informação fora do solo é fundida para formar um modelo fora do solo.

Em uma aplicação agrícola a informação fora do solo pode, por exemplo, descrever uma cultura colhida. Mais genericamente, a informação fora do solo está compreendida na classe de informação "pós-extração", "pós-processamento" ou "pós-intervenção" que descreve o material extraído ou colhido a partir do ambiente descrito pela informação no solo (pré-extração). Em algumas aplicações o rótulo fora do solo não está literalmente relacionado ao solo, mas pode, por exemplo, ter referência a um recurso marinho.

A expressão "informação de equipamento" se refere à informação relacionada às peças de equipamento usadas em uma aplicação de processamento de recurso. O equipamento é instrumental na transferência de material a partir do ambiente no solo ou de pré-processamento para o ambiente fora do solo ou de pós-processamento. No contexto de uma operação de mineração, por exemplo, "informação de equipamento" se refere à informação relacionada às peças de

equipamento usadas em uma mina e para seus operadores. A informação de equipamento inclui, mas não é limitada ao número, à localização, ao status, à disposição, e ao tipo da peça de equipamento. Ela também inclui informação de
5 programação e logística. Toda informação de equipamento é fundida para formar um modelo de equipamento.

O termo "automático" se refere a um sistema ou processo que executa uma tarefa específica bem definida que frequentemente é estreitamente definida. "Automático"
10 implica seguir um conjunto de regras bem definidas e reagir de uma forma definida a um estímulo definido. "Sistemas automatizados" são aqueles que têm algumas propriedades ou componentes automáticos.

O termo "autônomo" se refere aos sistemas que são mais
15 complexos quando os sistemas são capazes de responder aos estímulos desconhecidos e podem funcionar sem um conhecimento completo de seus ambientes. Tipicamente, um sistema autônomo não requer intervenção humana para responder a ao menos algumas mudanças não previstas em seu
20 ambiente.

Os três modelos relacionados à informação no solo, fora do solo e de equipamento, podem ser usados para formar uma imagem integrada global para uso na monitoração e exploração de um ambiente tal como uma mina. Os modelos
25 também podem ser empregados para a fusão de informação para estimação em aplicações de silvicultura e agricultura, por exemplo, a fusão de informação no solo tal como propriedades da terra com informação fora do solo tal como dados de cultura ou colheita. O equipamento ou as unidades
30 de operação nesse exemplo poderiam incluir tratores, arados

e outros equipamentos agrícolas.

De uma maneira similar, fusão da informação no solo também pode ser usada para aplicações de drenagem ou irrigação. Aplicações adicionais também podem incluir a fusão de informação para estimar propriedades do oceano ou outras extensões de líquido. Exemplos marinhos incluem o uso do modelo no solo para estimar propriedades tais como a temperatura e a salinidade do oceano. Estimativas do tipo "fora do solo" podem se referir a qualquer recurso marinho incluindo peixes ou minerais extraídos do oceano; e equipamento e unidades de operação podem incluir itens tais como barcos de pesca. Em aplicações marinhas o equipamento pode incluir, por exemplo, embarcações de pesca e submarinos; e o modelo "no solo" pode incluir, por exemplo, modelagem sonar.

Uma realização dos modelos de pós-processamento, ou de fora do solo, e de equipamento pode usar um filtro Kalman, filtro de informação ou filtro de partículas para fusão de informação. Contudo, qualquer outro algoritmo de fusão também pode ser aplicável.

1 VISÃO GERAL DO SISTEMA

A Figura 1 ilustra uma modalidade de um sistema para explorar informação a partir de fontes heterogêneas na operação de uma mina. Esse sistema é referido como sistema MPC (Compilação de Imagem de Mineração) 100. Uma estação base 102 é conectada a múltiplas unidades de operação 104. Exemplos de unidades de operação 104 são peças de equipamento usadas para explorar a mina tais como escavadeiras, perfuratrizes, e vagões e também unidades ou módulos usados para controlar e/ou automatizar essas peças

de equipamento. A estação base 102 contém informação sobre a mina e atua como um centro de recursos e informação acessível pelas unidades de operação 104. A estação base 102 também pode enviar comandos e instruções para as unidades de operação 104. A estação base 102 e múltiplas unidades de operação 104 permutam informação útil para a exploração da mina e a estação base 102 atualiza sua própria informação mediante compilação da informação recentemente recebida com a informação antiga durante a exploração da mina. Para o propósito dessa descrição, a informação permutada é dividida em três tipos de informação, isto é, informação no solo, fora do solo e de equipamento.

Em um arranjo, a estação base compreende um processador, memória e meio de comunicação para receber e transmitir dados. Uma aplicação é executada pelo processador e é configurada para manter três modelos, isto é, os modelos no solo, fora do solo e de equipamento. O modelo no solo funde toda a informação no solo e descreve a geometria e geologia no solo para o ponto de escavação mediante manutenção de uma representação probabilística de múltiplas escalas da geologia, geofísica e geometria da mina. O modelo fora do solo funde toda a informação fora do solo e descreve recursos em trânsito, na planta do processo e no montão de armazenamento. O modelo de equipamento funde toda a informação de equipamento e descreve a disposição e o status de todos os recursos de equipamento incluindo operadores, por exemplo. A disposição do recurso de equipamento indica onde um determinado recurso está localizado enquanto que o status indica se o equipamento

está ou não em uso. O modelo de equipamento adicionalmente habilita a coordenação dos recursos de equipamento, e a programação e logística. Esses são descritos em detalhe abaixo. Esses três modelos são realizados em três unidades
5 de modelo que são conectadas juntas para troca de informação.

Em um arranjo cada unidade de modelo pode ter um processador, memória, meio de comunicação e uma aplicação relacionada ao processador. Cada aplicação é configurada
10 para realizar as tarefas exigidas para cada unidade de modelo, respectivamente. As três unidades de modelo podem compartilhar um mesmo e único meio de comunicação. Em outro arranjo as unidades de modelo podem ser aplicações executando em um único processador.

15 A Figura 2 ilustra uma modalidade de um sistema de Compilação de Imagem de Mineração, MPC, 200 usado para exploração de uma mina na qual uma estação base 202 inclui uma unidade de modelo no solo 204, uma unidade de modelo fora do solo 206 e uma unidade de modelo de equipamento
20 208. A estação base é conectada a sete unidades de operação, isto é, uma unidade de automação de perfuratriz 210, uma unidade de automação de vagão 212, uma unidade de inspeção de cabeceira 214, uma unidade de automação de escavadeira 218, uma unidade de ensaio em tempo real 220,
25 uma unidade de carregamento automatizado 222, e uma unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224.

No sistema MPC 200 a unidade de automação de vagão de reboque 212 está em comunicação não-hierárquica com a unidade de modelo de equipamento 208.

30 As unidades de operação podem operar de forma autônoma

e/ou podem ter um ou mais operadores correspondentes. A unidade de automação de perfuratriz 210 tem um operador de perfuratriz 211; a unidade de automação de vagão 212 tem ao menos um motorista de vagão de reboque 213; a unidade de
5 inspeção de cabeceira 214 tem um controlador de classe local 212 e um geólogo distante 216 associado a ela; a unidade de automação de escavadeira 218 tem um operador de escavadeira 219; a unidade de carregamento automatizada 222 tem um operador de carga 223; e a unidade de pesquisa em
10 tempo real autônoma 224 tem um pesquisador 225.

Embora a Figura 2 ilustre uma unidade de operação de cada tipo conectada com a estação base, deve ser entendido que a estação base pode ser conectada a mais do que uma unidade de operação de cada tipo.

15 Em uma modalidade, a unidade de modelo no solo 204 permuta informação com a unidade de automação de perfuratriz 210, com a unidade de inspeção de cabeceira 214, e com a unidade de automação de escavadeira 216, ela também envia informação no solo para a unidade de
20 carregamento automatizada 220 e para a unidade de pesquisa em tempo real autônoma 222. A unidade de modelo fora do solo 206 permuta informação com a unidade de automação de escavadeira 216 e recebe informação fora do solo a partir da unidade de automação de vagão 212 e da unidade de
25 pesquisa em tempo real autônoma 222. A unidade de modelo de equipamento 208 permuta informação com todas as unidades de operação.

As três unidades de modelo recebem informação a partir das sete unidades de operação e retornam a partir da
30 solicitação informação fundida e atualizada para as sete

unidades de operação. Cada unidade de operação pode se comunicar diretamente com cada unidade de modelo por intermédio de comunicação não-hierárquica. Alternativamente, a permuta de informação entre as unidades de modelo e as unidades de operação pode ser realizada por intermédio de um servidor. A comunicação entre as unidades de operação também é possível quer seja por intermédio de um servidor ou por intermédio de comunicação não-hierárquica.

Deve ser entendido que a estação base pode ter apenas uma única unidade de modelo adaptada para realizar as tarefas alocadas para a unidade de modelo no solo, para a unidade de modelo fora do solo e para a unidade de modelo de equipamento.

2 ESTAÇÃO BASE

A estação base; incluindo a unidade de modelo no solo, a unidade de modelo fora do solo e a unidade de modelo de equipamento; pode ser implementada com o auxílio de hardware e software de computador, apropriados, na forma de um sistema de computação, tal como um servidor. O servidor compreende componentes adequados necessários para receber, armazenar e executar instruções apropriadas de computador. Os componentes podem incluir uma unidade de processamento, memória, meio de armazenamento e uma interface de entrada/saída. O hardware de computação padrão também incluirá um barramento para comunicação entre os componentes de hardware. Um exemplo de um sistema adequado é o servidor Dell PowerEdge M600, o qual pode ser alojado em um gabinete PowerEdge M1000e.

A comunicação entre as unidades implementadas por

software (a unidade de modelo no solo, a unidade de modelo fora do solo e a unidade de modelo de equipamento) pode ser implementada em software executando no mesmo hardware.

2.1 Unidade de Modelo no Solo

5 A Figura 3 ilustra a operação de uma unidade de modelo no solo 204, de acordo com uma modalidade. A unidade de modelo no solo 204 é responsável por manter e atualizar uma representação probabilística de múltipla escala da geometria e geologia do material no solo. Exemplos de
10 elementos incluídos no modelo no solo são as propriedades geométricas (tais como paredes, bancadas, etc.), posições dos furos e padrões de perfuração, informação geológica tal como a disposição de xisto, zonas de minério, composição química, e propriedades mecânicas dessas zonas tais como
15 fatores de rocha, dureza, etc.

A unidade de modelo no solo 204 é responsável por integrar a informação de pesquisa 302, informação de reconhecimento de rocha 304, informação de inspeção de cabeceira 306, e outra informação tal como informação para
20 ensaios químicos e informação sobre furos de exploração, para melhor modelar e prever a geometria e a geologia do material no solo. Essa informação é espacialmente heterogênea em muitas escalas e, portanto, é incerta. O modelo no solo é mantido centralmente e é distribuído para
25 unidades de operação para o propósito de controle e operação ótima. A unidade de modelo no solo 204 é responsável por espacialmente registrar nova informação no solo utilizando a posição, orientação e status do equipamento gerando a nova informação. Isso é feito no
30 módulo de dados de registro 308. A unidade de modelo no

solo 204 também é responsável por fundir nova informação no solo e informação de equipamento para conhecer a localização da peça de equipamento que envia a informação no solo para um modelo de bloco geológico existente para
5 melhorar a predição da geologia. A informação de equipamento é colocada na unidade de modelo no solo a partir da unidade de modelo de equipamento 208, ou diretamente a partir do equipamento (unidades de operação) empregados no sistema. Através do modelo no solo, a
10 geologia da mina pode ser predita e atualizada à medida que nova informação se torna disponível.

Em uma modalidade, a unidade de modelo no solo 204 utiliza algoritmos de fusão de dados para propagar a influência de uma observação ou uma medição do restante do
15 modelo geológico.

Em uma modalidade, dados de informação no solo são registrados em um quadro de coordenadas comuns. A arquitetura permite que fontes de dados, em qualquer número, sejam registradas, e exploradas, na unidade de
20 modelo no solo 204. O registro utiliza informação absoluta a partir de um GPS (Sistema de Posicionamento Global) assim como associação de dados/mapa. A informação registrada é armazenada no meio de armazenamento de dados central 310, e é caracterizada por múltiplas escalas espaciais e contém
25 informação estatística associada aos erros de registro e imprecisões da fonte de sensor.

Em uma modalidade, registro inclui também um método de validação de dados ou monitoração de integridade de dados para proteção contra informação incorreta sendo assimilada.
30 Informação a partir de um banco de dados externo 312, que

pode incluir um banco de dados TPPS (Sistema de Planejamento de Produção Total) existente, determinístico e modelos de bloco geológico, também pode ser colocada no modelo no solo. O banco de dados comum único 310 contém
5 dados brutos em todas as escalas espaciais e inclui toda a informação probabilística (estatística) associada aos dados. Por exemplo, o banco de dados comum 310 pode se basear em uma árvore espacial KD, a qual é um método para modelar os dados espaciais em múltiplas escalas.

10 Os mecanismos de fusão de dados 316 têm como entradas os dados de sensor a partir do módulo de dados de registro 308 e os dados de modelo TPPS e de bloco por intermédio do meio de armazenamento de dados central 310. A operação de fusão é realizada nos mecanismos de fusão de dados 316.

15 A saída da operação de fusão é conhecida como imagem de operação comum (COP) 318 e representa uma estimativa de todas as propriedades espaciais e geológicas com base na evidência combinada a partir de todas as fontes de informação. Algoritmos de fusão diferentes e métodos são
20 usados para diferentes tipos de estimativas. Por exemplo, estimativas espaciais para estruturas geológicas podem exigir o uso de um modelo de Processo Gaussiano o qual descreve as correlações espaciais nos dados; modelos de cabeceira podem ser obtidos a partir de mosaicos espaciais
25 irregulares; e informação de classe geológica a partir de um classificador discreto.

Em uma modalidade, a COP 318 contém uma estimativa das propriedades geométricas, geológicas e geofísicas quantitativas, qualificadas com limites de confiança
30 estatísticos. Essa informação pode ser acessada através de

solicitações de dados específicas 320 a partir de quaisquer outros provedores de serviço nas minas e outras unidades tais como as unidades de operação, a unidade fora do solo 206 e a unidade de equipamento 208. Os provedores de
5 serviço podem incluir, mas não são limitados às máquinas automatizadas ou autônomas, tais como plataformas de perfuração, que requerem informação para a finalidade de controle e operação ótima; tomadores de decisão individuais, tais como planejadores, que requerem essa
10 informação para planejar as operações de mineração; ou para exibição em localizações remotas ou locais. Diferentes tipos de solicitações são suportados incluindo aqueles em áreas espaciais restritas ou aqueles para os quais os dados são exigidos em tempo real ou quase real.

15 Em uma modalidade, a unidade de modelo no solo 204 é configurada para realizar as seguintes tarefas:

- Registrar informação geológica e geométrica a partir de múltiplas fontes

- Representar e armazenar os dados em
20 múltiplas escalas espaciais

- Representar e armazenar medidas probabilísticas em dados

- Fundir os dados para formar um modelo espacial integrado único com medidas de variabilidade

- 25 • Fundir os dados para formar um único modelo geológico integrado com medidas de variabilidade

- Produzir informação mediante solicitação para outras fontes incluindo displays e equipamento no campo.

30 Nessa modalidade, a unidade de modelo no solo 204 tem

certos parâmetros de desempenho. Os parâmetros de desempenho relevantes são *restrições* e *qualidades* do sistema. Eles descrevem quão bem o sistema deve realizar sua funcionalidade.

5 *Qualidades* capturam as propriedades exigidas de um sistema, tal como performance. Elas podem ser divididas em qualidades de tempo de execução e qualidades de tempo de desenvolvimento. A mencionada em primeiro lugar se refere aos objetivos do usuário final e inclui qualidade de
10 usável, capacidade de configuração, correção, segurança, performance (por exemplo, capacidade de transmissão, tempo de resposta, latência, largura de banda), propriedades de segurança e propriedade de redimensionamento operacional. Qualidades de tempo de desenvolvimento são propriedades dos
15 artefatos do processo de desenvolvimento que são importantes para a organização do desenvolvimento. Os artefatos compreendem a arquitetura do sistema, modelo do sistema e código de programa. Exemplos de exigências de qualidade de tempo de desenvolvimento são: capacidade de
20 modificação, capacidade de extensão, capacidade de desenvolvimento, capacidade de composição e capacidade de utilização.

 Uma *restrição* é uma condição ou limitação que é imposta a um sistema. As restrições não estão sujeitas à
25 negociação, e ao contrário das qualidades, não estão incluídas em quaisquer análises de equilíbrio de projeto. Exemplos de restrições comuns incluem o uso obrigatório de padrões específicos ou processos de desenvolvimento dentro de uma organização.

30 Em um exemplo, a unidade de modelo no solo 204 tem os

seguintes parâmetros de desempenho:

- Registro < 10 cm, 0,1 grau em cada sensor
- Resolução absoluta por toda a mina < 0,5 m
- Resolução absoluta de bancada < 0,2 m
- 5 • Modelo de erro espacial > 95% exato
- Classes de geologia < 20
- Sucesso de classificação > 95%
- Treinamento de parâmetro < 12 horas
- Interferência < 5s
- 10 • Display: taxa de vídeo
- Acesso remoto aos dados na área de 30mx30m < 2s

2.2 Unidade de Modelo Fora do Solo

A Figura 4 ilustra a operação da unidade de modelo fora do solo 206, de acordo com uma modalidade. A unidade de modelo fora do solo 206 é conectada operativamente à unidade de modelo no solo 204, à unidade de modelo de equipamento 208, à unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224, à unidade de ensaio em tempo real 220, à unidade de automação de vagão 212, e à unidade de automação de escavadeira 218. Deve ser entendido que a unidade fora do solo 206 também pode ser conectada aos provedores de serviço e outras unidades de operação.

Em uma modalidade, a unidade de modelo fora do solo 206 harmoniza a informação sobre o material à medida que ele é escavado, transportado e armazenado, com as estimativas do modelo no solo provenientes da unidade de modelo no solo 204. No módulo de harmonização de massa a granel/no solo 406, a unidade de modelo fora do solo 206 funde a informação a partir do modelo no solo e do modelo

de equipamento para conhecer a localização das escavadeiras, vagões, etc. que enviam a informação fora do solo com os dados a partir dos sensores de escavadeira para estimar a quantidade e classe durante a remoção de material a partir da cabeceira. Essa informação é propagada durante reboque e é harmonizada, no mecanismo de fusão de massa a granel 404, com observações feitas pelas medições de fluxo de material e ensaios na instalação; e adicionalmente harmonizadas com pesquisas de armazenamento em montões, pós-instalação. A unidade de modelo fora do solo 206 inclui um modelo de massa a granel 402 com atributos geofísicos e químicos associados. O modelo de massa pode ser ligado ao ponto de escavação para uso no refinamento pós-mineração do modelo de recurso. A unidade de modelo fora do solo 206 pode estimar mediante solicitação a localização e a classe de todo o estoque disponível na mina. O estoque fraturado não-escavado é considerado como parte do modelo no solo.

O modelo fora do solo conserva a massa e os atributos à medida que o material flui através do sistema a partir da bancada para o trem. Cada etapa no processo envolve medições que identificam características de fluxo local. Essas medições são fundidas para harmonizar a conservação de material.

O modelo fora do solo descreve o fluxo a partir de no solo até recuperação de armazenamento em montões. O modelo conserva a massa e atributos à medida que o material flui através do sistema a partir da bancada para o trem. Cada etapa no processo envolve medições que identificam características de fluxo local. Essas medições precisam ser fundidas para harmonizar a conservação de material. A

unidade de modelo fora do solo 206 é conectada à unidade de modelo de equipamento 208 de modo que o modelo fora do solo está disponível para gerenciamento de material e programação realizada pela unidade de modelo de equipamento 208.

Em uma modalidade, a unidade de modelo fora do solo 206 é configurada para realizar as seguintes tarefas:

- Registrar e fundir dados de sensor de escavadeira com modelo no solo;
- 10 • Estimar modelo de massa a granel e atributos na cuba;
- Estimar modelo de massa a granel e atributos no vagão;
- Monitorar modelo de massa a granel na
15 instalação e fundir com medições químicas e de massa a partir da instalação;
- Monitorar modelo de massa a granel e atributos para armazenamento em montões e fundir com dados de pesquisa; e
- 20 • Gerar dados de estoques de massa a granel sob demanda.

Em um exemplo, a unidade de modelo fora do solo 206 tem os seguintes parâmetros de desempenho:

- 25 • Harmonização de massa no solo/escavadeira <2%;
- Harmonização de escavadeira/vagão <2%
- Harmonização de vagão/instalação <2%
- Harmonização de armazenamento em montões de volta para no solo <5% em massa, <2% em medição geofísica e
30 química; e

- Dados disponíveis em < 1s.

2.3 Unidade de Modelo de Equipamento

A Figura 5 ilustra a operação da unidade de modelo de equipamento 208, de acordo com uma modalidade. A unidade de modelo de equipamento 208 mantém e atualiza a informação relacionada à localização do equipamento, disposição e programação. Essa informação pode ser disponibilizada através de sistemas de despacho existentes para vagões, escavadeiras e outras peças de equipamento. O modelo de equipamento provê uma interface 512 através da qual a informação pode ser permutada entre esses sistemas existentes e o sistema MPC e especificamente para habilitar a unidade de modelo fora do solo 208 a harmonizar os modelos de material na bancada com fluxos de material através da instalação. A unidade de modelo de equipamento 208 recebe a posição do equipamento, disposição e status, a partir dos quais a disponibilidade do equipamento é determinada no módulo 504. A informação de disponibilidade de equipamento, em conjunto com a topologia da mina e informação de classe, é usada pelo programador 506 para determinar as atribuições do equipamento. Essa informação é por sua vez realimentada no módulo de disponibilidade de equipamento 504, e comunicada ao equipamento por intermédio da interface de comunicação 502. O modelo de equipamento pode ser atualizado com informação a partir de um despachador externo.

Em uma modalidade, a unidade de modelo de equipamento 208 é configurada para realizar as seguintes tarefas:

- Prover uma interface para os sistemas existentes de despacho para vagões e escavadeiras;

- Prover uma interface para detecção de carga de vagão ou escavadeira patenteada; e
- Prover uma interface para quaisquer sensores de conexão de equipamento.

5 Em um exemplo, a unidade de modelo de equipamento 208 tem os seguintes parâmetros de desempenho:

- Dados de posição a partir dos vagões e escavadeiras para garantir correspondência de um a um entre movimentos de equipamento; e
- 10 • Informação de tempo < 1s.

Com referência de volta à Figura 2, a estação base 202 é conectada a sete unidades de operação. As tarefas dessas unidades é a de enviar informação de no solo, fora do solo, e de equipamento para a estação base 202 e também para
15 controlar e/ou automatizar peças de equipamento tais como perfuratrizes, vagões, escavadeiras, etc.

3 UNIDADES DE OPERAÇÃO

A funcionalidade de automação nas unidades de operação pode ser implementada utilizando hardware e software de
20 computador apropriado. Software que precisa ser executado em unidades em condições severas, por exemplo, em uma mina, podem ser executados em um computador integrado que tem um fornecimento de energia montado, o computador integrado compreendendo componentes adequados necessários para
25 receber, armazenar e executar instruções apropriadas de computador. Os componentes podem incluir uma unidade de processamento, memória, meio de armazenamento e uma interface de entrada/saída. Um exemplo de um sistema adequado é o computador de placa única Ampro
30 LittleBoard™800 provido pela Ampro Computers, Inc. of San

Jose, Califórnia. Se as unidades de automação forem empregadas em condições severas, o sistema de computador pode ser alojado em um recinto de proteção.

5 A comunicação entre as unidades, e entre as unidades de operação e a estação base pode ser implementada utilizando um sistema de comunicação sem fio que suporta comunicação bidirecional.

3.1 Unidade de Automação de Perfuratriz

Em uma modalidade, a unidade de automação de 10 perfuratriz 210 é dividida em duas unidades:

1. A unidade de autoperfuração 210 (Figura 6) usada para controlar o processo de perfuração de uma perfuratriz e

2. A unidade de autoalinhamento 702 (Figura 7) usada 15 para posicionar a perfuratriz.

A Figura 6 ilustra a operação de uma unidade de autoperfuração 210, de acordo com uma modalidade. A unidade de autoperfuração recebe informação a partir dos sensores de controle 604 de sua perfuratriz associada, tal como 20 velocidade de rotação e pressão de puxar para baixo. A unidade de autoperfuração provê informação sobre propriedades geológicas e geofísicas de rocha na bancada no ponto onde um furo de detonação é perfurado. Essa informação é explorada através de duas vias:

25 1 - Uma via direta para controlar o próprio processo de perfuração. Na perfuração, a estimacão de propriedade de rocha em tempo real é usada para controlar o modo de perfuração, avanço da perfuratriz e outras propriedades de controle da perfuratriz. Essa é uma função imediata e não 30 existe modelo geológico explícito construído. O sistema de

controle de perfuratriz 606 ajusta a velocidade de rotação e a taxa de penetração de acordo com a dureza do material. Esse pode ser um sistema de controle total para operação autônoma. Controle parcial também é possível para automatizar certas ações se um operador estiver presente, por exemplo, a posição autônoma na perfuratriz.

2 - Uma via indireta para atualizar o modelo no solo. Um classificador 608 é treinado para reconhecimento de rocha e usa informação anterior 610 a partir do modelo no solo para aperfeiçoar a exatidão da classificação. A informação anterior 610 combinada com a informação local a partir do classificador produz uma informação posterior 612. Essa informação posterior é então enviada para o modelo no solo onde ela é fundida com o modelo geológico. Ao contrário, o uso e a fusão da informação de perfuração no modelo no solo são usados para refinar a caracterização geológica e geofísica da bancada local.

Um método que o classificador 608 pode usar para gerar a informação posterior usada para fundir o modelo no solo é um Processo Gaussiano, um exemplo do qual é discutido abaixo com referência às Figuras 14-17.

Em uma modalidade, um operador 211 é exigido e a unidade de autoperfuração 210 é operada em um modo de auxílio de operador. O sistema provê análise em tempo real da dureza da rocha sendo perfurada, e um operador é responsável por controlar a perfuratriz. Controles manuais de veículo são mecanicamente conectados ao veículo ou conectados através de fios. A interação com o usuário cancela o controle autônomo.

Em outra modalidade, a unidade de autoperfuração é

completamente autônoma. No modo autônomo, um controlador usa a dureza para otimizar as velocidades rotacionais e as taxas de penetração. Nesse modo, detecção no fundo do furo incluindo ensaios químicos gama natural e no local podem
5 ser usados. O processo de fusão ocorre na unidade de modelo no solo. O produto do sistema COP na bancada local pode ser explorado pela própria perfuratriz na determinação do leiaute de furo subsequente, no processo de carregamento para determinar a carga de explosivos, e no refinamento dos
10 extratos geológicos em áreas de produção adjacentes futuras.

Com referência à Figura 6, a unidade de comunicação 614 permuta informação com a estação base 202. A perfuratriz recebe informação anterior 610 a partir do
15 modelo no solo sobre a geologia da área atual a ser perfurada. Durante a perfuração, os sensores 616 tais como acelerômetros, tacômetros, transdutores de pressão e sensores de torque, por exemplo, são usados para classificar as rochas em termos de fatores de rocha (tal
20 como dureza e fragmentação) e geologia. A informação anterior 610 combinada com observações locais a partir das entradas de sensor 616 produz uma informação posterior 612. Essa informação posterior 612 é um estimador local da geologia e dureza das rochas. Essa informação posterior 612
25 é enviada para a unidade de modelo no solo 204 onde ela é fundida com informações posteriores a partir da região próxima para produzir uma classificação final. O modelo geológico é então atualizado na unidade de modelo no solo 204 mediante fusão de nova informação.

30 Um padrão de perfuratriz é enviado para a unidade de

autoperfuração 210 pela unidade de modelo no solo 204 e inclui informação relevante sobre a posição e profundidade dos furos, e a geometria da bancada. Quando a unidade de autoalinhamento 702 tiver colocado a perfuratriz sobre um local de furo, a perfuração começa utilizando a informação angular e de profundidade especificada. O controle de baixo nível é implementado em uma subunidade de sistema de controle 606 que recebe informação de dureza a partir do classificador 608 e controla as taxas de penetração e velocidades de rotação.

Em uma modalidade, uma subunidade de sistema de segurança 618 é responsável pela detecção de falha e ações de emergência. Essa unidade 618 inclui sensores tais como sensores de colisão 620 e sensores de monitoração de status interno 622 e uma parada de emergência 624.

No modo de auxílio de operador, são providas duas subunidades adicionais, isto é, a subunidade de interface de usuário 626 e os controles manuais 628. A subunidade de interface de usuário 626 possui um display com o padrão de perfuratriz, comportamento da perfuratriz e parâmetros de furos (profundidade e ângulo). O display também mostra a classificação em tempo real das rochas em termos de dureza. O operador 211 pode usar isso para modificar a taxa de penetração e a velocidade de rotação se necessário. A subunidade de controle manual 628 provê acesso direto aos acionadores 630 da máquina. Isso é provido no caso de uma emergência ou de situações imprevistas.

Em uma modalidade, a unidade de autoperfuração 210 é configurada para realizar as seguintes tarefas:

- Seleção automática do modo de perfuração;

- Ajuste automático da velocidade de rotação e taxa de penetração;

- Reconhecimento das propriedades de rocha tal como fator e dureza da rocha;

5 • Reconhecimento de geologia (Zonas de minério de ferro, xistos, Formação de Ferro Cintada (BIF), etc.);

- Realização de análise química no furo;

- Exportação dos dados de reconhecimento de rocha para modelo no solo; e

10 • Importação de dados de modelo no solo para controle de perfuratriz.

Em um exemplo, a unidade de autoperfuração 210 tem os seguintes parâmetros de desempenho:

- Exatidão de posicionamento < 10cm;

15 • Exatidão de profundidade < 10 cm;

- Limitações de vibração e ambientais respectivas da máquina;

- Classificação de fator de rocha < 10%;

- Resolução espacial dos extratos < 10 cm;

20 • Erro de classificação de geologia < 10%;

- Erro de análise química < 1%;

- Transferência de características de furo para modelo no solo < 5s; e

25 • Transferência de características de bancada a partir do modelo no solo < 2s.

A Figura 7 ilustra a operação de uma unidade de autoalinhamento 702, de acordo com uma modalidade. Para automação de perfuratriz, a unidade de autoalinhamento 702 automaticamente alinha e posiciona a perfuratriz sobre os

30 locais de furo exigidos especificados no padrão de

perfuração. O padrão de perfuração e a geometria de bancada são transmitidos para a unidade de automação de perfuração 210 a partir da unidade de modelo no solo 204. A unidade de autoalinhamento 702 compreende um componente de planejamento de percurso 704 para determinar automaticamente uma trajetória de perfuração otimizada (indicada pelos pontos de percurso 706) através da bancada e um sistema de navegação 708 responsável pela localização da perfuratriz. O sistema de navegação funde a informação de sensor de navegação para prover comportamento do veículo, onde o comportamento inclui posição, velocidade e atitude (PVA). Em uma modalidade, a unidade de autoalinhamento 702 inclui um sistema de segurança 710 para monitorar o status da perfuratriz e detectar possíveis colisões ou outras anomalias.

A unidade de autoalinhamento 702 pode ser operada em dois modos operacionais. No modo auxiliado pelo operador, uma interface de usuário 712 informa o operador 211 sobre o percurso e a posição atual da perfuratriz; e o operador 211 é responsável por confirmar as posições da perfuratriz. No modo totalmente autônomo, um controlador de alinhamento 714 recebe as decisões de baixo nível, proporcionando uma interface entre o planejador de percurso e o sistema de navegação. Quando um sistema de controle total é usado para operação autônoma, nenhuma intervenção por parte do operador é exigido e o status da perfuratriz é monitorado remotamente. Controle parcial também é possível para automatizar certas ações se um operador estiver presente, por exemplo, para o posicionamento autônomo em uma perfuratriz. A unidade de autoalinhamento 702 é projetada

para operar em conjunto com a unidade de autoperfuração 210 em uma solução de perfuração completamente autônoma. Essas duas unidades se comunicam e o modo de perfuração é ativado quando a perfuratriz atinge um local de furo específico.

5 Conforme ilustrado na Figura 7, a subunidade de comunicação 716 permuta informação com a unidade de modelo no solo central 204 e a unidade de modelo de equipamento 208. A perfuratriz envia o status de perfuratriz atual 718, incluindo posição, velocidade e trajetória pretendida para
10 o modelo de equipamento, por exemplo. A unidade de modelo de equipamento 208 utiliza a trajetória pretendida para acomodar outras peças de equipamento e unidades de operação operando na mesma área. Quando os furos são perfurados, a unidade de automação de perfuratriz 210 atualiza a unidade
15 de modelo no solo 204 com um mapa atualizado do local de furo real e profundidade.

Uma subunidade de planejamento de percurso 704 gera um conjunto de pontos de trajeto 706 representando a trajetória da perfuratriz. Ela obtém um modelo de bancada
20 geométrica e padrão de perfuração desejada a partir do modelo no solo e gera uma sequência e trajetória de perfuração.

A unidade de auto alinhamento 702 compreende um sistema de navegação de perfuração 708 que pode ser similar
25 a outros sistemas de navegação de veículo (por exemplo, para uma unidade de automação de vagão 212). Ela é responsável pela fusão dos dados a partir de sensores de posição para a localização exata da perfuratriz. Os sensores de posição podem incluir uma unidade de medição
30 inercial (IMU) 720, um GPS 722, sensores de ponto estimado

724 tais como codificadores de roda, sensores de percepção de nível superior 726 baseados em scanner a laser, etc. O uso de sensores redundantes habilita exigências de integridade.

5 Em uma modalidade, a unidade de autoalinhamento 702 compreende ainda uma subunidade de sistema de segurança 710 responsável por detecção de falha e ações de emergência. Essa subunidade inclui sensores de colisão 728, sensores de monitoração de status interno 730 e uma parada de
10 emergência 732. Deve ser entendido que a unidade de autoperfuração 210 e a unidade de autoalinhamento 702 podem compartilhar uma mesma e única subunidade de sistema de segurança (618 e 710).

 O controle de baixo nível é implementado em uma
15 subunidade de controle de alinhamento 714. Essa subunidade recebe pontos de trajeto 706 a partir de uma subunidade de planejamento de percurso 704 e apresenta as estimativas a partir do sistema de navegação 708. Essas estimativas são usadas para controlar os acionadores de veículo 734.

20 No modo auxiliado pelo operador, a unidade de autoalinhamento 702 compreende ainda uma subunidade de interface de usuário 712 e uma subunidade de controle manual 736. Os controles manuais do veículo são conectados mecanicamente ao veículo ou conectados através de
25 acionamento por fios. A interação com o usuário cancela o controle autônomo. A subunidade de interface de usuário 712 é implementada com um display com o padrão de perfuração, comportamento de perfuração e trajetória pretendida da máquina. A subunidade de controles manuais 736 provê acesso
30 direto aos acionadores 734 da máquina.

Deve ser entendido que a subunidade de interface de usuário 712 (e 626) e a subunidade de controles manuais 736 (e 628) não somente da unidade de perfuração autônoma 210 como também das unidades de alinhamento autônomas 702 poderiam ser combinadas em uma subunidade de interface única e subunidade de controles manuais. Alternativamente, a unidade de perfuração autônoma 210 e a unidade de alinhamento autônoma 702 podem ser reagrupadas em uma única unidade.

Em uma modalidade, a unidade de alinhamento autônoma 702 realiza as seguintes tarefas:

- Planejamento e otimização de percurso;
- Controle autônomo de trajetória na bancada;
- Controle de posição e atitude final; e
- Detecção de potenciais colisões.

Em um exemplo, a unidade de alinhamento autônoma 702 tem os seguintes parâmetros de desempenho:

- Precisão de posicionamento final < 10 cm, exatidão de comportamento $< 0,5^\circ$;
- Exatidão de posição no percurso < 40 cm, exatidão de rumo $< 2^\circ$;
- Integridade de posição durante movimento autônomo 100%;
- Evitar colisões com rochas > 40 cm, todos os seres humanos e maquinaria; e
- Evitar obstáculos negativos > 50 cm (obstáculos negativos são definidos como áreas de espaço livre perigoso tal com a borda de um poço).

3.2 Unidade de Automação de Vagão

A Figura 8 ilustra a operação de uma unidade de

automação de vagão 212, de acordo com uma modalidade. Algumas das tarefas da unidade de automação de vagão 212 são a de manter o conhecimento da disposição de equipamento no modelo de equipamento, para identificar materiais em
5 transporte através da unidade de modelo fora do solo 206, e para garantir segurança e coordenação entre outros elementos do processo de mineração. A unidade de automação de vagão 212 também é usada para mover um número de veículos de reboque de ponto a ponto na mina de acordo com
10 uma programação, e para ajudar esses veículos a conectar em um carregador ou escavadeira e despejo na instalação ou área de refugio.

A unidade de automação de veículo 212 compreende uma subunidade de sistema de navegação 804 para localização de
15 veículo, meio de acionamento 806 e de detecção 808 do veículo, e uma subunidade de sistema de controle 810 para acionar o veículo ao longo de uma trajetória especificada. O sistema de navegação 804 funde a informação de sensor de navegação para prover atitude do veículo, onde atitude
20 inclui posição, velocidade e comportamento (PVA). Sensores de navegação 806 incluem sensores de posição tal como GPS, ponto estimado a partir de sensores a bordo e sensores de percepção e IMU tais como scanners de radar e laser. O sistema de controle 810 provê controle total para operação
25 autônoma. Controle parcial pode ser provido para automatizar certas ações se um operador estiver presente, por exemplo, o posicionamento autônomo em uma escavadeira.

A unidade de automação de vagão 212 permite dois modos operacionais. No modo completamente autônomo, a unidade de
30 automação de vagão 212 pode ter uma interface de usuário

remota 812 para receber tarefas 814 e o status de veículo 816. O vagão realiza as tarefas sob o controle da subunidade de sistema de controle 810, e utilizando os sensores 806 e os acionadores 808. No modo autônomo
5 parcial, a unidade de automação de vagão 212 realiza qualquer uma das tarefas realizadas no modo completamente autônomo, mediante solicitação do operador 213, e o sistema pode ser cancelado manualmente e diretamente controlado por um operador 213 em qualquer tempo.

10 A subunidade de sistema de navegação 804 é responsável por produzir estimativas da posição, velocidade e atitude atual do veículo (PVA) incluindo a variabilidade. Estimativas PVA filtradas são providas em tempo real. Outros subsistemas de sensor, incluindo alvos artificiais,
15 para localização relativa em carregadores e instalação também podem ser incluídos. O sistema de controle 810 recebe trajetórias desejadas a partir da estação base 202 ou sistema de programação da unidade de modelo de equipamento 208 no modo completamente autônomo por
20 intermédio da interface de comunicação 830. A subunidade de sistema de controlador 810 utiliza estimativas PVA a partir da subunidade de sistema de navegação 804 para controlar o movimento do veículo. A interação com o MPC é através da interface de comunicação 830 para o modelo de equipamento
25 centralizado e modelo fora do solo. Programação coordenada com outro equipamento é executada pela unidade de modelo de equipamento 208. Comunicação não-hierárquica é implementada entre o sistema de controle 810 da unidade de automação de vagão 212 e outros veículos locais e a unidade de automação
30 de escavadeira 218 através da interface de comunicação não-

hierárquica 832.

Em uma modalidade, a unidade de automação de vagão 212 compreende ainda uma unidade de sistema de segurança 818 que permite a atuação do veículo quando as condições de
5 segurança são satisfeitas. O sistema de segurança compreende uma parada de emergência local e remota independente 820, meio de detecção de obstáculo local 822, e monitoração de status interno 824. A interação com outros veículos locais ou equipamento é direta com sistemas de
10 segurança a bordo. Isso garante velocidades de resposta apropriadas. No caso de uma emergência, a subunidade de sistema de segurança 818 cancela as solicitações de acionamento a partir do sistema de controle 810 para seguramente colocar o veículo em um estado de energia
15 mínima.

A unidade de automação de vagão 212 inclui controles manuais 826 os quais são conectados mecanicamente ao veículo ou conectados através de acionamento por fio. A interação com o usuário cancela o controle autônomo.

20 Em uma modalidade, a unidade de automação de vagão 212 realiza as seguintes tarefas:

- Localização de precisão;
- Controle de movimento de plataforma;
- Detecção de colisão, obstáculos positivos e
25 negativos;
- Programação de múltiplos veículos;
- Posicionamento autônomo na escavadeira;
- Posicionamento autônomo e despejamento na instalação ou área de refugio;
- 30 • Características de carga material; e

- Informação de programação.

Em um exemplo, a unidade de automação de vagão 212 tem os seguintes parâmetros de desempenho:

- Trajetória após erro de trilha cruzada < 50cm;
- Erro de localização < 25cm;
- Estimativas de localização disponíveis em > 50Hz;
- Faixa de detecção de colisão local 100m;
- Diversos tipos de obstáculos podem ser detectados;
- Posicionamento na escavadeira para erro relativo < 50cm;
- Posicionamento em erro de instalação < 25cm;
- Posição em erro de despejo < 50cm; e
- Interação com outro equipamento/operadores, retardo de < 0,5s.

3.3 Inspeção de Cabeceira

A Figura 9 ilustra a operação de uma unidade de inspeção de cabeceira 214, de acordo com uma modalidade. A unidade de inspeção de cabeceira 214 pode estar localizada em uma estação de sensor móvel operada por um controlador de classe 215. A unidade de inspeção de cabeceira 214 realiza inspeção automatizada de cabeceira utilizando sensores 910 para automaticamente adquirir informação geométrica e geológica na cabeceira de mineração atual. Essa informação é retornada em tempo real para prover um modelo local exato da classe de mineração, tonelagem, e relação de massa a granel/fina. Por sua vez, isso permite controle direto do processo de mineração físico e cubagem.

O processo de inspeção de cabeceira é uma ligação entre os modelos no solo e fora do solo. Automação desse processo provê uma alimentação direta para aperfeiçoar o conhecimento da geologia e classe, e proporcionando
5 informação de qualidade para controlar o processo de carregamento e de escavação.

Em uma modalidade, automação da unidade de inspeção de cabeceira 214 se refere à fusão de dados. Dois modos operacionais são possíveis: um modo semi-autônomo
10 utilizando entrada humana e um modo completamente autônomo. No modo semi-autônomo, um geólogo 216 auxilia com reconhecimento de geologia. Uma opção é deixar uma câmera de segmento de algoritmo gerar imagens enquanto um geólogo remotamente localizado 216 rotula os segmentos, seja em
15 tempo real ou após aquisição. No modo completamente autônomo, o reconhecimento geológico é realizado pela unidade de inspeção de cabeceira sem qualquer intervenção humana.

A operação da unidade de inspeção de cabeceira 214 é
20 como a seguir: estimativas anteriores 906 da geometria e geologia da cabeceira da mina são provenientes do modelo no solo. O objetivo é o de atualizar a representação utilizando a informação adquirida pelo conjunto de sensor 910 no veículo. Um sistema de navegação 908 é usado para
25 estimular a atitude global dos sensores 910 tais como câmeras. Mediante fusão das observações de câmera, estimativas de comportamento 912, e entrada humana 914 uma representação geológica e geométrica local é construída no módulo de representação 916. O módulo 916 utiliza as
30 estimativas anteriores 906 em conjunto com a informação a

partir dos sensores de inspeção de face 910 para gerar estimativas posteriores 924. As estimativas posteriores 924 são retornadas à unidade de modelo no solo 204 por intermédio da interface de comunicação 920, e são então
5 fundidas no modelo no solo.

Essa representação 916 é enviada para a unidade de modelo no solo 204. O controlador de classe 215 pode operar o veículo e monitorar a operação.

Em uma modalidade, a unidade de inspeção de cabeceira
10 214 realiza as seguintes tarefas:

- Adquire mapa de geometria e geologia da cabeceira;
- Funde informação em um mapa local;
- Exibe os dados brutos e mapa local;
- 15 • Envia estimativas atuais para modelo no solo; e
- Computa modelo de massa a granel e caracterização para modelo fora do solo.

Em um exemplo, a unidade de inspeção de face 214 tem
20 os seguintes parâmetros de desempenho:

- Exatidão de mapa (geometria) < 25cm;
- Exatidão de classificação de geologia < 10%;
- Quadro de tempo:
- Localmente < 50 ms;
- 25 • Comunicação com o modelo no solo: < 5s; e
- Sensores de penetração podem ser exigidos devido aos revestimentos a partir de poeira.

3.4 Unidade de Automação de Escavadeira

A Figura 10 ilustra a operação de uma unidade de
30 automação de escavadeira 218, de acordo com uma modalidade.

A escavação, a qual é a remoção de material a partir de uma estrutura geométrica e geológica razoavelmente bem caracterizada, é uma das maiores fontes de aumento em variabilidade no processo de mineração como um todo. A
5 automação da escavadeira reduz essa variabilidade através de dois mecanismos: primeiramente, mediante aquisição de informação sobre onde ocorre a escavação e o que está sendo exatamente escavado em qualquer tempo determinado, e em segundo lugar, mediante exploração dessa informação em
10 tempo real, para otimizar e controlar o processo de escavação e carregamento do material. A automação da escavadeira envolve detectar a geometria e a geologia da cabeceira e cuba, e controlar a operação em tempo real da escavação mediante uso da geometria e geologia detectada.

15 A automação de escavadeira pode ser operada em dois modos. No primeiro modo operacional, a escavadeira é completamente controlada por um operador de escavadeira 219. O sistema de detecção é empregado para determinar qual material é escavado e para auxiliar o operador a ver
20 através de poeira e chuva. Nesse modo, a unidade de automação de escavadeira 218 compreende uma interface de usuário 1026 usada pelo operador da escavadeira 219 para controlar todos os acionamentos, conforme realizados pelos acionadores 1028. Em um segundo modo operacional, todas as
25 funções de escavadeira são automatizadas, incluindo escavação, carregamento e alinhamento.

No modo não-autônomo, apenas a fusão de dados é automatizada. Informação anterior sobre a geometria e geologia da cabeceira é recebida a partir da unidade de
30 modelo no solo 204, e é comunicada à unidade de automação

de escavadeira 28 por intermédio da interface de comunicação 1030. Sensores geológicos como câmeras são usados para estimar qual material está sendo atualmente escavado. Combinando essa informação com uma estimativa da
5 posição de cuba obtida a partir de um sistema de navegação 1004, uma representação local 1006 é elaborada. Informação sobre o material escavado é enviada para a unidade de modelo no solo 204 e para a unidade de modelo fora do solo 206 por intermédio da interface de comunicação 1030. A
10 mesma informação pode ser enviada localmente para o vagão 1008 o qual é carregado com o material escavado se unidades operacionais forem providas com comunicação não-hierárquica 1010. O operador de escavadeira 219 controla a escavação, carregamento, e alinhamento da escavadeira nesse modo. Um
15 sistema de segurança 1016 pode cancelar os comandos do operador em ambos os casos.

Dois tipos de interações são ilustrados na Figura 10:

1. controle manual (operando acionadores 1028 diretamente), e
- 20 2. controle de supervisão (alimentando tarefas de nível superior para a subunidade de sistema de controle 1014).

O operador de escavadeira 219 também pode receber informação a partir da subunidade de representação 1006 com
25 o objetivo de aumentar a percepção do operador. Dados de sensores coletados podem ser usados para auxiliar a visão do operador através de poeira e chuva. Displays ativos poderiam mostrar fitas virtuais projetadas na cabeceira da mina para exibir limites de cubagem para o operador.

30 No modo autônomo, a fusão de dados e o controle da

escavadeira são automatizados. Uma subunidade de planejador 1012 recebe uma lista de tarefas de alto nível a partir da unidade de modelo de equipamento 208 e é responsável por produzir decisões de controle de nível inferior para todos os subsistemas (tal como escavação, carregamento, alinhamento). O processo considera estimativas da geometria e geologia da cabeceira da mina antes dessas decisões serem convertidas em comandos de acionamento físico pela subunidade de sistema de controle 1014. Nesse modo, o sistema de segurança 1016 faz uso dos sensores de monitoração de colisão 1018 e de status 1020 para decidir quando desabilitar o acionamento. Paradas-E remotas 1022 também podem ser usadas para atingir esse propósito.

Em uma modalidade, a unidade de automação de escavadeira 218 realiza as seguintes tarefas:

- Detecta a geologia e geometria da cabeceira;
- Monitora a posição da cuba;
- Exibir informação de cubagem (fitas virtuais), no modo não-autônomo;
- Auxiliar na visão através de poeira e chuva, no modo não-autônomo;
- Comunicar informação para os vagões;
- Automatizar escavação/carregamento/alinhamento, no modo autônomo; e
- Empregar sistema de segurança, no modo autônomo.

Em um exemplo, a unidade de automação de escavadeira 218 tem os seguintes parâmetros de desempenho:

- Resolução geométrica na face < 25cm;
- Erro de estimativa de classe < 10%;

- Erro de posição da ponta da cuba < 25cm;
 - Erro de posição relativa (cuba para vagão de reboque) < 50cm, no modo autônomo;
 - Erro de posição relativa (cuba para
- 5 cabeceira) < 50cm, no modo autônomo.

3.5 Unidade de Ensaio em Tempo Real

A Figura 11 ilustra a operação de uma unidade de ensaio em tempo real 220, de acordo com uma modalidade. A unidade de ensaio em tempo real 220 realiza ensaios

10 químicos sobre tipos de minério na instalação do processo. Esses ensaios químicos são realizados em um modo em tempo real ou em um modo em tempo quase real. Os resultados desses ensaios são enviados para a unidade de modelo fora do solo 206 por intermédio da interface de comunicação

15 1116. Realizar ensaios em tempo real reduz significativamente o retardo entre obtenção da amostra e o fornecimento do ensaio químico que está presente quando os ensaios são realizados periodicamente. Os ensaios químicos em tempo quase real reduzem a variabilidade e aumentam a

20 previsibilidade do material empilhado em armazenamento no momento em que é criado um armazenamento em montões. Estimativas de classe em tempo real ou em tempo quase real também podem ser usadas para prover realimentação para controlar o processo de escavação e transporte de material

25 através da estação base.

A unidade de ensaio em tempo real 220 inclui um módulo de aquisição de dados em tempo real 1102. Os dados são adquiridos a partir dos sensores químicos em linha 1104 os quais podem se basear em princípios espectrais ou de

30 difração. Sensores 1106 medindo as características físicas,

tal como massa e volume, os quais podem se basear em geradores de imagem a laser de taxa de quadro; também proporcionam dados de sensor para unidade de ensaio em tempo real. Os dados de sensor local 1108 são armazenados em um banco de dados local 1110 e estimativas locais de classe e volume são computados em um módulo de processamento de dados 1112. Essa informação é ligada a outros dados de instalação 1114 para harmonização tanto com o minério de chegada a partir dos veículos de reboque como a criação de armazenamento em montões. Informação sobre volume e classe é então enviada para o modelo fora do solo 206 por intermédio da interface de comunicação 1116 para fusão.

Em uma modalidade, a unidade de ensaio em tempo real 220 realiza as seguintes tarefas:

- Adquire informação química a partir do material na correia transportadora;
- Adquire informação física para estimativa de volume; e
- Envia estimativas atuais para modelo fora de solo.

Em um exemplo, a unidade de ensaio em tempo real 220 tem os seguintes parâmetros de desempenho:

- Quadro de tempo:
 - Localmente: tempo real ~ms;
 - Comunicação com modelo fora do solo: ~min; e
- Predição de classe: 0,1% de precisão.

3.6 Unidade de Carregamento Automatizado

A Figura 12 ilustra a operação de uma unidade de carregamento automatizado 222, de acordo com uma

modalidade. O carregamento automatizado é o processo de
carregar e alinhar furos perfurados com a mistura correta
de explosivo. Um objetivo desse processo é o de produzir um
padrão de explosão que fraturará a rocha em partículas do
5 tamanho exigido para processamento adicional.

Para alcançar essa finalidade, o sistema tem que
conhecer certos parâmetros de furo 1230: as posições dos
furos 1236, suas profundidades 1238, e a mistura de
material de detonação 1214 para cada furo. Uma exigência
10 adicional é a navegação autônoma a partir de furo para
furo. A unidade de carregamento automatizado 222 calcula um
percurso ótimo utilizando planejador de percurso 1202 e
introduz os pontos de trajeto gerados 1204 no sistema de
controle o qual por sua vez provê comandos para o controle
15 de alinhamento 1232. O controle de alinhamento 1232
controla a navegação autônoma que facilita o alinhamento
entre os furos. Quando o veículo alcança um furo, a unidade
de carregamento automatizada 222 ataca o mesmo com a
mistura exigida de explosivo. A operação de ataque é
20 controlada pelo controlador de ataque 234 que está em
comunicação com o sistema de controle 1206.

A unidade de carregamento automatizado 222 tem as
funções de exibir um mapa da bancada, posicionamento em
tempo real do veículo, proporcionando as dimensões e
25 profundidades de furo projetadas/reais, exibindo a carga
exigida e a profundidade do furo, e informando sobre o
status do veículo. Isso é feito através da interface de
usuário 1212.

A unidade de carregamento automatizada 222 recebe
30 informação 1230 sobre os furos (tal como suas posições na

bancada, suas dimensões, etc.) e a mistura desejada 1240 de explosivos para cada furo a partir da unidade de modelo no solo 204. Uma subunidade de planejamento de percurso 1202 pega as posições e utiliza uma posição de partida conhecida para calcular o percurso ótimo para enchimento dos furos. Esse percurso está na forma de um conjunto de pontos de trajeto 1204 que é enviado para um sistema de controle 1206. O sistema de controle 1206 emite os comandos necessários para alinhamento 1208 entre os mesmos e comando para ataque 1210 dos furos. Alinhamento e ataque podem ser ou completamente ou parcialmente automatizados. No caso de se precisarem fazer correções no percurso ou em que a sequência para perfuração dos furos é alterada por um operador 223, um novo conjunto de pontos de trajeto pode ser gerado online. A unidade de carregamento automatizada 222 compreende uma interface de usuário 1212, permitindo que o operador 223 monitore o veículo em relação às etapas de alinhamento e ataque. Em uma modalidade, a unidade de carregamento automatizada 222 compreende ainda um sistema de segurança 1214 monitorando o veículo. O sistema de segurança compreende uma função de parada-e 1216 e sensores para detectar colisões 1218 e qualquer evento de erro interno 1220.

A unidade de carregamento automatizado 222 tem também um sistema de navegação 1222 que funde informação de sensor de navegação para prover comportamento do veículo, o comportamento incluindo posição, velocidade e atitude (PVA). Os sensores de navegação incluem sensores de posição tal como GPS 1224, cálculo de posição a partir de sensores a bordo 1226, IMU 1228, e sensores de percepção 1230 tal

como scanners a laser e de radar.

Em uma modalidade, a unidade de carregamento automatizado 222 realiza as seguintes tarefas:

- Posiciona a máquina sobre o furo;
- 5 • Carrega e ataca os furos de detonação com a mistura e quantidade exigidas;
- Calcula a mistura de carga e quantidade para cada furo; e
- Obtém geometria e geologia de furo (real e
- 10 prevista).

Nessa modalidade exemplar, a unidade de carregamento automatizado 222 tem os seguintes parâmetros de desempenho:

- Posicionamento de ~5cm;
- Resolução de carregamento de ~1m;
- 15 • Erro de mistura de carga de 10%; e
- Profundidade de furo ~10cm.

3.7 Unidade de Pesquisa em Tempo Real Autônoma

A Figura 13 ilustra a operação de uma unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224, de acordo com uma

20 modalidade. A unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224 provê modelos geométricos completos e precisos da mina em um quadro de tempo permitindo automação não somente de planejamento como também de plataforma. Ela inclui construir e manter um modelo geométrico de ambos os

25 estoques, no solo e fora do solo, cabeceiras, cubagens, pilhas de armazenamento e paredes da mina.

O sistema de pesquisa em tempo real 1302 utiliza os dados a partir de múltiplos tipos de sensores 1304 em ambas as plataformas, estacionária e móvel, para capturar a

30 informação de geometria exigida. Plataformas fixas podem

estar localizadas nas bordas dos poços, proporcionando atualizações em relação às mudanças de geometria e em torno das pilhas de armazenamento para prover estimativa de volume. Plataformas móveis podem incluir veículos terrestres, maquinaria de mineração ou aeronave que pode atualizar a geometria das cabeceiras ativas, rodovias e outra infraestrutura da mina.

O sistema de pesquisa em tempo real 1302 requer a capacidade de precisamente fundir os dados a partir de diferentes tecnologias de sensor 1304 (tal como radar, laser, GPS e câmeras) para produzir representações exatas e oportunas da geometria da mina. Os resultados da pesquisa são enviados para serem integrados no sistema de banco de dados principal por intermédio da interface de comunicação 1306. A informação coletada pela unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224 é fundida de forma autônoma com o modelo de bloco geológico existente para atualizar a informação de estoque no solo. A informação de estoque fora do solo também é atualizada após o mesmo processo. Nenhuma intervenção humana é exigida para atualizar a informação de estoque no solo e fora do solo. Também é possível transferir essa informação para plataformas em tempo real para permitir automação.

Os quadros de tempo para a geração dos dados de pesquisa podem ser da ordem de minutos para operações de mineração efetivas (tal como operações de escavadeira), de horas para pesquisa de bancada, de dias para pilhas de armazenamento, de semanas para rodovias e de meses para geometria de mina global (tais como sobrevoos), por exemplo. A provisão oportuna de modelos geométricos de

estoques no solo e fora do solo, cabeceiras, cubagens, pilhas de armazenamento, e paredes de mina permite uma produção eficiente e segura.

A unidade de pesquisa em tempo real autônoma recebe
5 uma missão e objetivos 1308 a partir de um banco de dados de estação base. Uma subunidade de planejamento de percurso 1310 pega as posições e utiliza uma posição de partida conhecida para calcular um percurso ótimo para alcançar esses objetivos. O percurso é representado como um conjunto
10 de pontos de trajeto 1312 que são comunicados a um sistema de controle 1314. O sistema de controle 1314 emite comandos 1316 para executar o percurso e ativar os instrumentos de pesquisa. Correções ou mudanças no percurso podem ser feitas com novos pontos de trajeto se necessário.

15 Uma interface de usuário 1318 é usada para exibir mapas da mina inteira, mapas de parte da mina ou mapas de bancadas/cabeceiras individuais. A interface de usuário também é utilizada para exibir a localização dos principais inventários de mineração, tais como veículos, de uma
20 maneira oportuna. O veículo pode ou não ser controlado por um operador 225, e se houver um operador 225 ele pode controlar remotamente o veículo.

Em uma modalidade, o sistema de segurança 1320 monitorando o veículo é adicionado à unidade de pesquisa em
25 tempo real autônoma 224. O sistema de segurança 1320 tem uma função de parada-e 1322 e sensores para detecção de colisão 1324 e eventos internos 1326. A interface de usuário 1318 permite que o usuário monitore o veículo e seu status.

30 Se a unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224

for móvel, todas as subunidades ilustradas na Figura 13 são exigidas para o funcionamento da unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224. Contudo, se a unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224 for estacionária, apenas o sistema de pesquisa 1302 e a subunidade de comunicação 1306 são exigidos. As funcionalidades de monitoração também podem ser adicionadas à unidade de pesquisa em tempo real autônoma estacionária 224.

A unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224 tem um sistema de navegação 1328 que funde a informação de sensor de navegação para prover comportamento do veículo, o comportamento incluindo posição, velocidade e atitude (PVA). Os sensores de navegação incluem sensores de posição tal como GPS, ponto estimado a partir dos sensores a bordo, IMU e sensores de percepção tal como scanners a laser e de radar.

Em uma modalidade, a unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224 realiza as seguintes tarefas:

- Obtém conhecimento exato da geometria da mina;
- Monitora as pilhas de armazenamento para estimativa de volume;
- Integra e funde a informação tridimensional com informação mantida no sistema de banco de dados existente; e
- Calcula volumes a partir dos dados de pesquisa.

Em um exemplo, a unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224 tem certos parâmetros de desempenho, incluindo aquele em que a exatidão das posições seja da ordem de

centímetro.

Em uma modalidade, a unidade de sistema de segurança (tal como 618, 710, 818, 1016, 1214 e 1320) pode ser compartilhada e usada por todas as unidades de operação da mina. Deve ser entendido que todas as subunidades constituindo uma unidade de operação podem ser reagrupadas em uma única unidade.

4 NAVEGAÇÃO E OUTROS SENSORES

Em uma modalidade, diferentes tipos de sensores são conectados aos sistemas de navegação usados nas diferentes unidades de operação tal como a unidade de auto alinhamento das perfuratrizes 702, unidade de automação de vagão 212, a unidade de inspeção de cabeceira 214, a unidade de automação de escavadeira 218, a unidade de carregamento automatizado 222, e a unidade de pesquisa em tempo real autônoma 224. Os sensores de navegação podem ser divididos em ao menos três grupos principais: sensores que proporcionam informação de ponto estimado (tal como codificadores), sensores que proporcionam posicionamento de uma unidade de operação, e sensores que fornecem informação do ambiente circundante (tais como lasers).

Ponto estimado é a forma mais básica de localização. Ele consiste em integrar um modelo de movimento de veículo em relação ao tempo. Um modelo de movimento calcula o movimento do veículo com base em alguma informação sensorial tal como velocidade ou aceleração, por exemplo. Sensores de ponto estimado compreendem, mas não são limitados aos codificadores, sensores de medição inercial e bússolas.

Sensores de posicionamento tal como GPS permitem a

localização da unidade operacional. Diferentes precisões podem ser obtidas dependendo do modo de operação. Os modos de operação podem compreender um modo autônomo, um modo diferencial ou um modo RTK (Cinemática de Tempo Real), por exemplo. Em ambientes sem cobertura de satélite, tais como ambientes internos, pseudólitos podem ser usados como sensores de posicionamento. Pseudólitos são transceptores usados para criar um GPS baseado no solo local.

Sensores de ambiente circundante proporcionam informação sobre o ambiente circundante da unidade de operação e essa informação é usada para navegação. Por exemplo, lasers ou radares podem ser usados para localizar um veículo em relação ao mundo externo ou para detectar um veículo que se aproxima. Esse grupo compreende sensores tais como lasers, radares e câmeras. Como as observações são relativas à posição do sensor, elas proporcionam informação do ambiente circundante.

Em uma modalidade, os sensores proporcionam informação redundante sobre a localização da unidade de operação. Essa redundância aumenta a segurança e a robustez do sistema de navegação.

Em uma modalidade, os sensores de geometria são usados pelas unidades de operação tal como unidades de pesquisa em tempo real autônomas para capturar a geometria da mina. Esses sensores podem ser instalados em ambas as plataformas, estacionárias e móveis, para capturar a informação de geometria exigida. As plataformas estacionárias podem estar localizadas nas bordas dos poços, proporcionando atualizações em relação a mudanças de geometria e em torno de pilhas de armazenamento para prover

estimativa de volume. As plataformas móveis podem incluir veículos terrestres, maquinaria de mineração ou aeronave que atualiza a geometria das cabeceiras ativas, rodovias e outra infraestrutura de mina.

5 Em uma modalidade, os sensores de geometria podem ser agrupados em duas classes principais, isto é, a classe de sensores ativos e a classe de sensores passivos. Os sensores ativos são sensores que emitem um sinal eletromagnético e analisam o tempo de voo do retorno para
10 obter uma estimativa da distância alvo. Essa classe compreende, mas não é limitada a, lasers, radares e sonares. Câmeras representam os sensores passivos mais comuns. Elas medem passivamente a luz refletida por um objeto para se obter uma representação espacial de um
15 espectro do objeto. Como uma câmera fornece apenas uma representação 2D, várias câmeras podem ser usadas para se obter uma representação 3D. Utilizando várias imagens obtidas a partir de diferentes pontos favoráveis, a terceira dimensão é obtida utilizando-se métodos de
20 triangulação, por exemplo. Isso é referido como estereópse. Qualquer tecnologia utilizando informação a partir de sensores ativos e/ou passivos para renderizar imagem de alcance (imagem na qual informação provida a um usuário é um ponto tendo coordenadas tridimensionais) pode ser usada.

25 Em uma modalidade, os sensores de geologia são usados para elaborar o modelo no solo. O modelo no solo é responsável por integrar a informação a partir de pesquisa, reconhecimento de rocha, inspeção de cabeceira, ensaios químicos e furos de exploração para melhor modelar e
30 prever a geometria e a geologia dos materiais no solo.

Sensores de geologia podem ser agrupados de acordo com suas aplicações em ao menos 4 grupos: sensores de furo, sensores de solo, sensores de mão, e sensores de laboratório. Sensores de geologia podem se basear em diferentes
5 tecnologias. Por exemplo, sensores gama e de nêutrons se baseiam em tecnologia nuclear, sensores de espectroscopia de fluorescência de raio-X e sensores de espectroscopia de fracionamento induzido a laser se baseiam em propriedades espectro-químicas, sensores de geração de imagem de micro-
10 ondas ou rádio se baseiam em detecção eletromagnética e sensores de resistividade se baseiam em análise elétrica.

5 PROCESSOS ESTATÍSTICOS

Em uma modalidade, o algoritmo de fusão no solo se baseia em Processos Gaussianos (GPs) para melhor prever o
15 volume e classe do material no solo. Os processos gaussianos são modelos probabilísticos usados para modelar os dados espacialmente correlacionados. Um grupo de amostras é espacialmente correlacionado quando existe um nível de dependência entre amostras localizadas adjacentes.
20 Esse é o caso em geologia onde as amostras coletadas em uma mesma área apresentam um elevado grau de similaridade em propriedades químicas e mecânicas. Mediante modelagem da correlação espacial dos dados, um modelo estatístico pode melhor estimar as propriedades e a respectiva variabilidade
25 nas áreas não observadas.

Em uma modalidade, GPS utiliza o método "Kriging" para criar um modelo estatístico. Por exemplo, se o algoritmo de fusão tem que prever a concentração de ferro em uma área específica da mina, a interpolação através de locais
30 medidos é realizada através de GPs que coloca uma

distribuição probabilística em relação às funções que mapeiam as entradas (medições de sensor e comportamento) para saídas (classes). O GPs pode ser treinado em uma abordagem completamente Bayesiana evitando qualquer
5 determinação manual de parâmetros de calibração e minimizando a dependência em relação à habilidade humana.

As Figuras 14 a 17 ilustram a operação de um algoritmo de fusão GP no solo para fundir dados de observações geológicas provenientes de diferentes bancadas e para
10 prever a geometria e a geologia dessas bancadas (modelo no solo). A Figura 14 ilustra a geologia real de uma seção transversal de um terreno. A seção transversal é dividida em três bancadas. A linha tracejada 1402 representa o limite real entre as zonas de refugio 1404 e zonas de
15 minério de ferro 1406 da seção transversal. O objetivo da fusão é o de proporcionar uma predição dessa linha tracejada 1402 para estimar o limite de refugio/minério de ferro a partir das observações provenientes a partir de diferentes unidades de operação enquanto utilizando um
20 processo Gaussiano.

A Figura 15 ilustra uma estimativa do limite entre zonas de minério e de refugio. Nesse caso, três observações (representadas por cruzeiros) são feitas apenas na bancada 2. Nada se sabe sobre as bancadas, superior e inferior, e a
25 predição é computada exclusivamente a partir das observações da bancada do meio. O resultado de um processo Gaussiano utilizando uma função de covariância exponencial elevada ao quadrado é a linha não-interrompida 1408. As áreas cinza adjacentes à linha 1408 representam a
30 variabilidade da predição. Essa variabilidade é maior em

áreas distantes das observações (cruzes). Para reduzir a variabilidade, observações são feitas em áreas de elevada variabilidade. A Figura 16 ilustra a estimativa do limite quando observações adicionais são feitas nas áreas de bancada 3 onde a variabilidade é importante. Quando três observações são feitas a partir de ambas as bancadas 2 e 3 e aplicadas no processo Gaussiano, a estimativa resultante do limite está mais próxima da realidade e a variabilidade é diminuída, conforme ilustrado na Figura 16. Esse aperfeiçoamento é confirmado pela Figura 17 a qual ilustra a estimativa 1412 do limite quando observações são feitas nas três bancadas. Nesse processo, as observações a partir de uma bancada são fundidas com um modelo de estimativa precedente para aperfeiçoar a predição de geologia e reduzir a variabilidade.

Em uma modalidade, as dependências entre dois ou mais minérios podem ser usadas no processo Gaussiano para reduzir a dispersão dos dados. Por exemplo, a concentração de ferro em uma região específica poderia ser relacionada àquela de fósforo. Se os primeiros ensaios forem obtidos em um primeiro local para estimar a concentração de ferro e, em um segundo local, segundos ensaios forem obtidos para estimar a concentração de fósforo, a concentração de fósforo no primeiro local pode ser predita utilizando-se a concentração de ferro e vice-versa. Esse processo é referido como uma técnica "Co-Kriging".

Embora do princípio ao fim da descrição, a unidade de modelo no solo 204 e a unidade de modelo fora do solo 206 utilizem o modelo de equipamento para conhecer a localização de uma unidade de operação a partir da qual

elas recebem informação no solo e fora do solo, respectivamente, deve ser entendido que a informação de localização pode ser enviada diretamente a partir da unidade de operação para a unidade de modelo no solo 204 ou
5 fora do solo 206.

O sistema e método aqui descritos têm aplicação em uma gama de áreas incluindo agricultura, silvicultura, recursos marinhos e na defesa. Como exemplo dessas aplicações adicionais, descrevemos como podem ser empregados o sistema
10 e o método, na agricultura. Em uma aplicação agrícola o modelo no solo pode consistir em informação do terreno e dados relacionados às plantas ou culturas economicamente úteis. O modelo no solo obtém, através de detecção, uma imagem integrada da geometria, composição química, e saúde
15 da cultura através da área exigida. Isso é mantido utilizando algoritmos de fusão de dados para garantir que uma descrição em tempo real de todas as propriedades relevantes seja mantida. A informação pode ser obtida a partir de um número de sensores no solo ou até mesmo a
20 partir do ar, como na aplicação de mineração. O modelo fora do solo descreve a cultura como tendo sido colhida a partir da área. Durante a colheita as medições de sensor de produção e composição também podem ser feitas. Essas características fora do solo também podem ser ligadas de
25 volta às características no solo desse modo produzindo uma relação similar aos modelos encontrados na modalidade de mineração. O modelo de equipamento descreve o uso de plataformas para semeadura, fertilização, irrigação e finalmente colheita da cultura. O equipamento tem um efeito
30 sobre a descrição no solo do ambiente e, através desse

efeito, liga o modelo no solo ao modelo fora do solo, outra vez de uma maneira similar a da modalidade de mineração. Os três modelos em conjunto; no solo, fora do solo e de equipamento, são usados para formar a imagem integrada global da operação agrícola que pode ser usada para monitoração e automação. Paralelos em relação a esses três modelos existem na maioria das aplicações de automação para monitoração e exploração de recursos.

De uma maneira similar, fusão de informação de pré-processamento também pode ser usada para aplicações de drenagem ou irrigação. Aplicações adicionais também podem incluir a fusão de informação para estimar as propriedades do oceano ou outras extensões de líquido. Exemplos marítimos incluem o uso do modelo de "pré-intervenção" para estimar as propriedades tais como a temperatura e a salinidade do oceano. Estimativas de "pós-intervenção" podem ser relacionar aos peixes ou minerais extraídos do oceano, e unidades de operação e equipamento podem incluir itens tais como barcos de pesca. Um exemplo adicional dessa aplicação inclui aplicar um modelo de pré-intervenção (isto é, um modelo "no solo") para estimação de oceano para modelagem sonar e submarina.

Embora ilustradas nos diagramas de blocos como grupos de componentes discretos se comunicando uns com os outros por intermédio de conexões de sinais de dados distintos, será entendido por aqueles versados na técnica que as modalidades preferidas são providas por uma combinação de componentes de hardware e software, com alguns componentes sendo implementados por uma determinada função ou operação de um sistema de hardware ou software, e muitos dos

percursos de dados ilustrados sendo implementados por comunicação de dados dentro de uma aplicação de computador ou sistema operacional. A estrutura ilustrada é assim provida para eficiência de ensinamento das modalidades

5 descritas. Deve-se observar que as modalidades da invenção descritas acima pretendem ser apenas exemplares. O escopo da invenção, portanto, deve ser limitado apenas pelo escopo das reivindicações anexas.

Será entendido que a invenção revelada e definida

10 nesse relatório descritivo se estende a todas as combinações alternativas de duas ou mais das características individuais mencionadas ou evidentes a partir do texto ou desenhos. Todas essas diferentes combinações constituem vários aspectos alternativos da

15 invenção.

O termo "compreende" (ou suas variantes gramaticais) é usado nesse relatório descritivo como equivalente ao termo "inclui" e nenhum dos dois termos deve ser considerado como excluindo a presença de outros elementos ou

20 características.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para uso no controle de uma operação de extração de recursos em um ambiente em que uma pluralidade de unidades de equipamento (104) são empregadas para a
5 extração de ao menos um recurso do ambiente, o sistema sendo caracterizado por compreender:

a) uma unidade de modelagem de pré-extração (204) em comunicação de dados com uma primeira pluralidade de sensores heterogêneos que em uso medem as características
10 do ambiente, em que a unidade de modelagem de pré-extração é programada para fundir os dados da primeira pluralidade de sensores que compreende uma descrição espacial do ambiente e uma estimativa de uma distribuição do pelo menos um recurso no ambiente;

15 b) uma unidade de modelagem de equipamento (208) compreendendo meios de entrada de dados configurados para receber dados de equipamento relacionados à pluralidade de unidades de equipamento operando no ambiente e um processador programado para combinar os dados de
20 equipamento em um modelo de equipamento descrevendo as unidades de equipamento;

c) uma unidade de modelagem de pós-extração (206) em comunicação de dados com uma segunda pluralidade de sensores que em uso monitoram informações relacionadas ao
25 material extraído do ambiente, em que a unidade de modelagem de pós-extração é programada para fundir os dados da segunda pluralidade de sensores em um modelo de pós-extração descritivo do material extraído do ambiente, e

d) um sistema de comunicação de dados (502, 614,
30 716, 830, 920, 1030) que comunica informação solicitada de

ao menos um dos modelos de pré-extração, do modelo de equipamento e do modelo de pós-extração às unidades de equipamento para uso na operação de controle das unidades de equipamento na operação de extração de recurso.

5 2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de compreender uma unidade de modelagem local associada a pelo menos uma das unidades de equipamento, a unidade de modelagem local configurada para receber estimativas anteriores de uma região do ambiente da
10 unidade de modelo de pré-extração e para gerar uma estimativa posterior dependente da estimativa anterior e medições a partir de um ou mais sensores locais na pluralidade de sensores heterogêneos.

 3. Sistema, de acordo com a reivindicação 2,
15 **caracterizado** pelo fato de que a unidade de modelagem de pré-extração é configurada para fundir a estimativa posterior com o modelo de pré-extração.

 4. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a primeira pluralidade de
20 sensores heterogêneos proporciona informação em múltiplas escalas espaciais e a unidade de modelagem de pré-extração compreende uma unidade de registro configurada para registrar espacialmente a informação dependendo do modelo de equipamento.

25 5. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a unidade de modelagem de pré-extração funde os dados da primeira pluralidade de sensores heterogêneos utilizando algoritmos descrevendo correlações espaciais entre os dados de entrada.

30 6. Sistema, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pelo fato de que a unidade de modelagem de pós-extração harmoniza a informação sobre o material extraído do ambiente relacionado a transporte e armazenamento do material.

5 7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a unidade de modelagem de pré-extração, a unidade de modelagem de pós-extração e a unidade de modelagem de equipamento se comunicam umas com as outras para harmonizar o modelo de pré-extração, o
10 modelo de pós-extração e o modelo de equipamento.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o ambiente compreende uma mina.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o ambiente é selecionado do
15 grupo consistindo em uma região agrícola, uma região de silvicultura e uma região marinha contendo ao menos um recurso para extração.

10. Sistema para uso no controle de uma operação de
20 mineração em uma mina em que uma pluralidade de unidades de equipamento (104) são empregadas para a extração de ao menos um recurso da mina, o sistema caracterizado por compreender:

a) uma unidade de modelagem no solo (204)
25 configurada para receber dados a partir de uma primeira pluralidade de sensores heterogêneos que em uso medem as características da mina e para fundir os dados em um modelo no solo que compreende uma descrição geométrica da mina e a descrição de uma distribuição e grau de ao menos um
30 recurso;

b) uma unidade de modelagem de equipamento (208) compreendendo meios de entrada de dados configurados para receber dados de equipamentos relacionados à pluralidade de unidades de equipamentos empregadas na mina e um
5 processador programado para combinar os dados de equipamento em um modelo de equipamento descrevendo as unidades de equipamento;

c) uma unidade de modelagem fora do solo (206) configurada para receber os dados a partir de uma segunda
10 pluralidade de sensores que em uso monitora informações descritivas do material extraído da mina e para fundir os dados em um modelo fora do solo descritivo do material extraído da mina, e

d) um sistema de comunicação de dados (502, 614,
15 716, 830, 920, 1030) que comunica a informação solicitada a partir de ao menos um do modelo no solo, do modelo de equipamento e do modelo fora do solo às unidades de equipamento para uso no controle da operação das unidades de equipamento na mina.

20 11. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que o modelo no solo compreende informação de recurso descritiva do recurso e selecionada do grupo consistindo em propriedades químicas, físicas, geológicas, geofísicas, mineralógicas e contextuais do
25 recurso.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que o modelo fora do solo harmoniza informação sobre o material extraído da mina relacionado a transporte e armazenamento do material.

30 13. Sistema, de acordo com a reivindicação 12,

caracterizado pelo fato de que a unidade de modelagem fora do solo é configurada para harmonizar conservação de material de material monitorado no modelo fora do solo.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 10,
5 caracterizado pelo fato de que as unidades de equipamento compreendem ao menos um de um vagão de reboque, uma escavadeira, uma unidade de inspeção de cabeceira, uma perfuratriz, uma unidade de carregamento, uma unidade de pesquisa e uma unidade de análise em tempo real.

10 15. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a unidade de modelagem no solo, a unidade de modelagem de equipamento e a unidade de modelagem fora do solo atualizam os respectivos modelos no solo, modelos de equipamento e modelos fora do solo em
15 tempo real.

16. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a primeira pluralidade de sensores heterogêneos e a segunda pluralidade de sensores compreendem pelo menos um entre: uma unidade de análise
20 química, um sensor de posição, uma unidade de medida inercial (IMU), um sistema de posicionamento global (GPS), um sensor de estima, um codificador em roda, um sensor laser, um sensor radar, um sensor sonar, uma câmera, um sensor de controle que mede a velocidade rotacional de uma
25 broca, um sensor de controle que mede a pressão de abaixamento de uma broca, um acelerômetro, um tacômetro, um transdutor de pressão, um sensor de torque, um sensor de colisão de veículo, um monitor de status interno de veículo, um sensor numa plataforma estacionária, um sensor
30 numa plataforma móvel, um sensor gama, um sensor de

nêutron, um sensor espectroscópico fluorescente de raio-X, um sensor espectroscópico de colapso induzido a laser, um sensor de micro-ondas, um sensor de rádio-imagem e um sensor de resistividade.

5 17. Sistema para explorar uma mina caracterizado por compreender:

 um banco de dados armazenando um modelo no solo (204) e um modelo de equipamento (208);

 um módulo de comunicação para permutar dados com uma
10 pluralidade de unidades de operação (104);

 um módulo de fusão adaptado para fundir informação no solo em relação às propriedades geométricas, geológicas e geofísicas de um material no solo no referido modelo no solo para atualizar o referido modelo no solo, para fundir
15 informação de equipamento relativa a peças de equipamento no referido modelo de equipamento para atualizar o referido modelo de equipamento, e para fundir informação fora do solo relativa às propriedades geofísicas, químicas e de classe de um material fora do solo com informação sobre o
20 referido modelo no solo e sobre o referido modelo de equipamento para criar um modelo fora do solo (206); e

 pelo menos um controlador para controlar a operação de pelo menos uma das unidades de equipamento dependente do modelo no solo, do modelo de equipamento ou do modelo fora
25 do solo.

 18. Método, implementado em computador, de controle de operação de extração de recursos de um ambiente no qual uma pluralidade de unidades de equipamento (104) são empregadas para extração de ao menos um recurso, o método
30 caracterizado por compreender:

a) receber os dados a partir de uma primeira pluralidade de sensores heterogêneos no ambiente;

b) fundir os dados em um sistema eletrônico para atualizar um modelo de pré-extração (204) que compreende
5 uma descrição espacial do ambiente e uma estimativa de distribuição do ao menos um recurso;

c) receber os dados de equipamento relacionados à pluralidade de unidades de equipamento operando no ambiente;

10 d) combinar os dados de equipamento em um sistema eletrônico para atualizar um modelo de equipamento (208) descritivo das unidades de equipamento;

e) receber os dados de uma segunda pluralidade de sensores;

15 f) fundir os dados a partir da segunda pluralidade de sensores no sistema eletrônico para atualizar um modelo de pós-extração (206) descritivo de material extraído do ambiente, em que ao menos uma das unidades de equipamento opera para extrair o ao menos um recurso do ambiente;

20 g) comunicar informação a partir de ao menos um entre o modelo de pré-extração, modelo de equipamento e modelo de pós-extração para pelo menos uma das unidades de equipamento; e

h) controlar automaticamente a operação da pelo menos
25 uma unidade de equipamento baseada na informação comunicada.

19. Método, implementado em computador, de controle de uma operação de mineração na qual uma pluralidade de unidades de equipamento são empregadas para a extração de
30 ao menos um recurso da mina, o método caracterizado por

compreender:

a) receber os dados a partir de uma primeira pluralidade de sensores heterogêneos na mina;

5 b) fundir os dados em um sistema eletrônico para atualizar um modelo no solo (204) que compreende uma descrição geométrica da mina e uma descrição da distribuição e grau do ao menos um recurso;

10 c) receber os dados de equipamento relacionados à pluralidade de unidades (104) de equipamento empregadas na mina;

d) combinar os dados de equipamento em um sistema eletrônico para atualizar um modelo de equipamento (208) descritivo das unidades de equipamento;

15 e) receber os dados a partir de uma segunda pluralidade de sensores;

f) fundir os dados da segunda pluralidade de sensores no sistema eletrônico para atualizar um modelo fora do solo (206) descritivo do material extraído da mina, em que ao menos uma das unidades de equipamento opera para
20 extrair o ao menos um recurso do recurso;

g) comunicar informação a partir de ao menos um entre o modelo no solo, o modelo de equipamento e o modelo fora do solo para pelo menos uma das unidades de equipamento; e

25 h) controlar automaticamente a operação da pelo menos uma unidade de equipamento baseada na informação comunicada.

20. Meio não transitório legível por computador caracterizado por ter instruções gravadas no mesmo, onde as
30 instruções são configuradas para fazer com que um

computador execute o método conforme definido na reivindicação 18.

21. Meio não transitório legível por computador **caracterizado** por ter instruções gravadas no mesmo, onde as
5 instruções são configuradas para fazer com que um computador execute o método conforme definido na reivindicação 19.

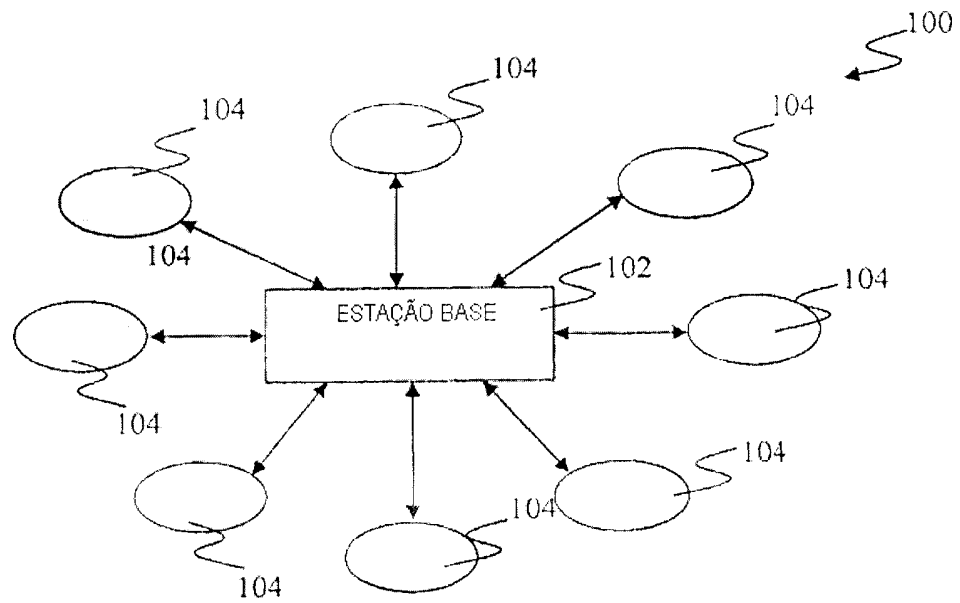


FIGURA 1

Visão Geral – Diagrama de Sistema

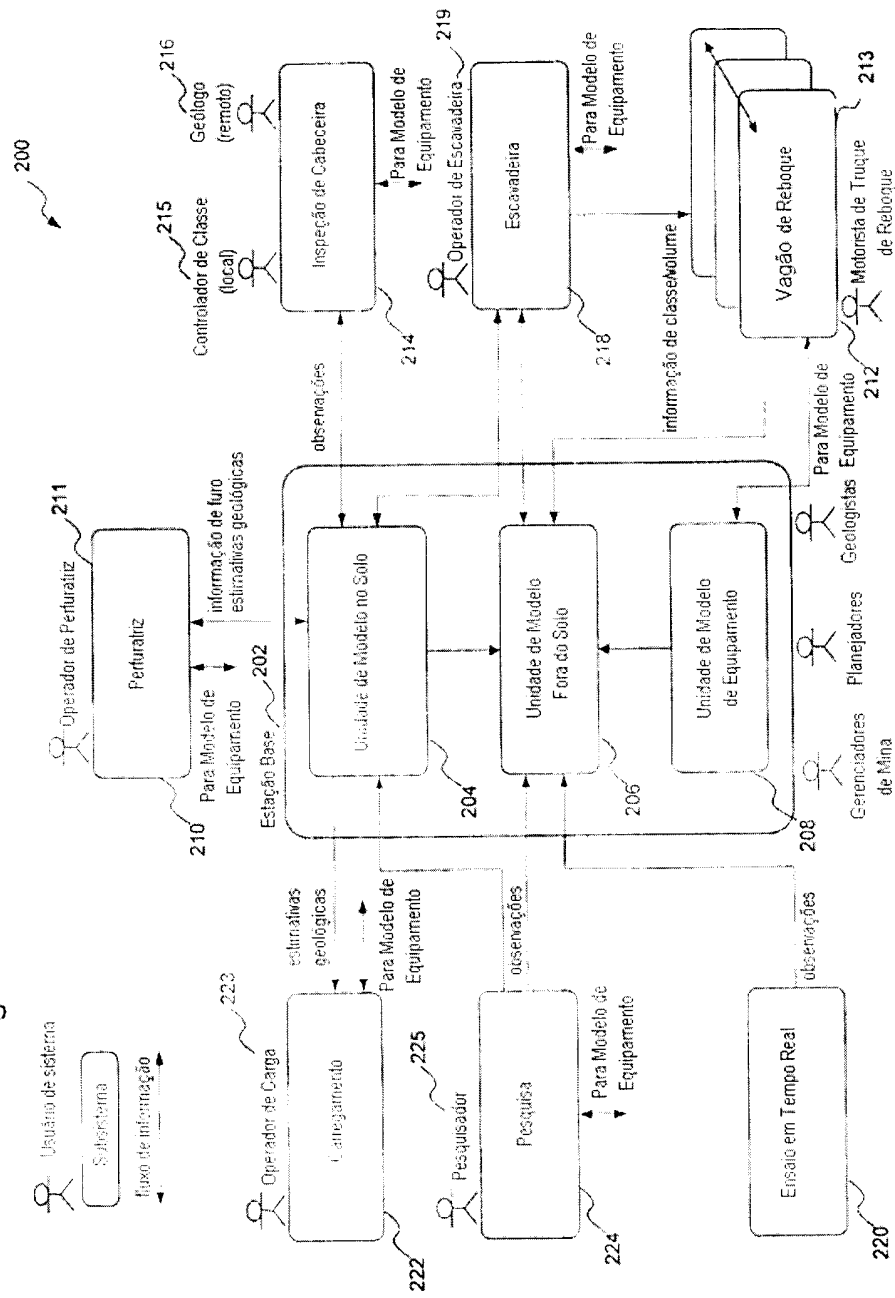


FIGURA 2

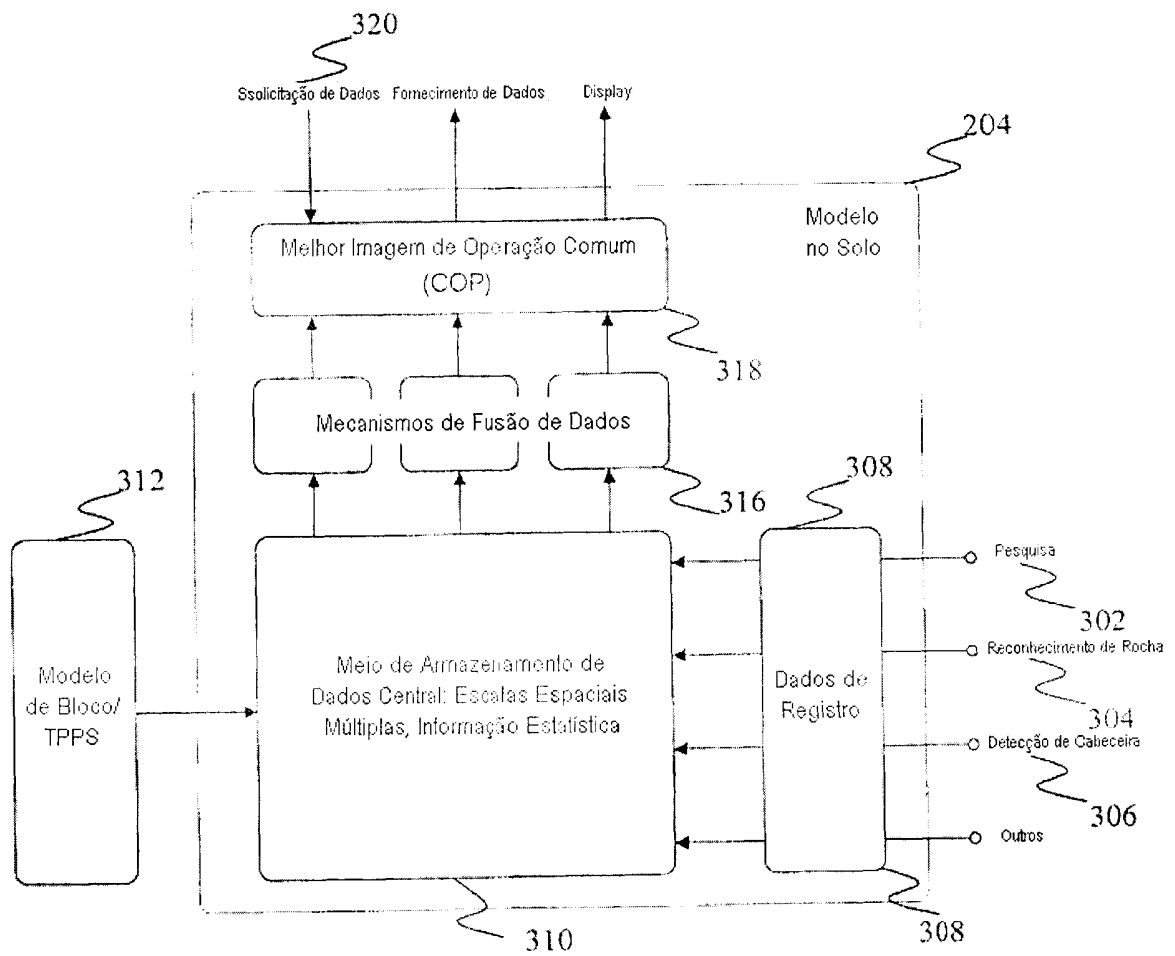


FIGURA 3

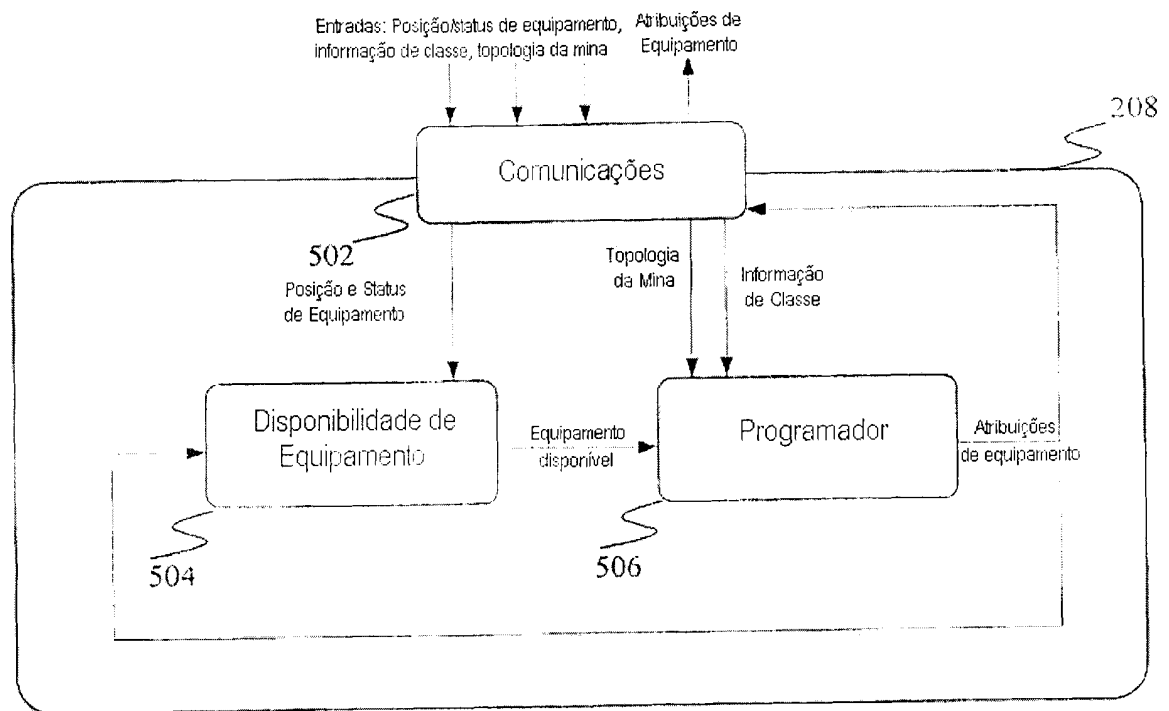


FIGURA 5

Automação de Perfuratriz/Auto Alinhamento

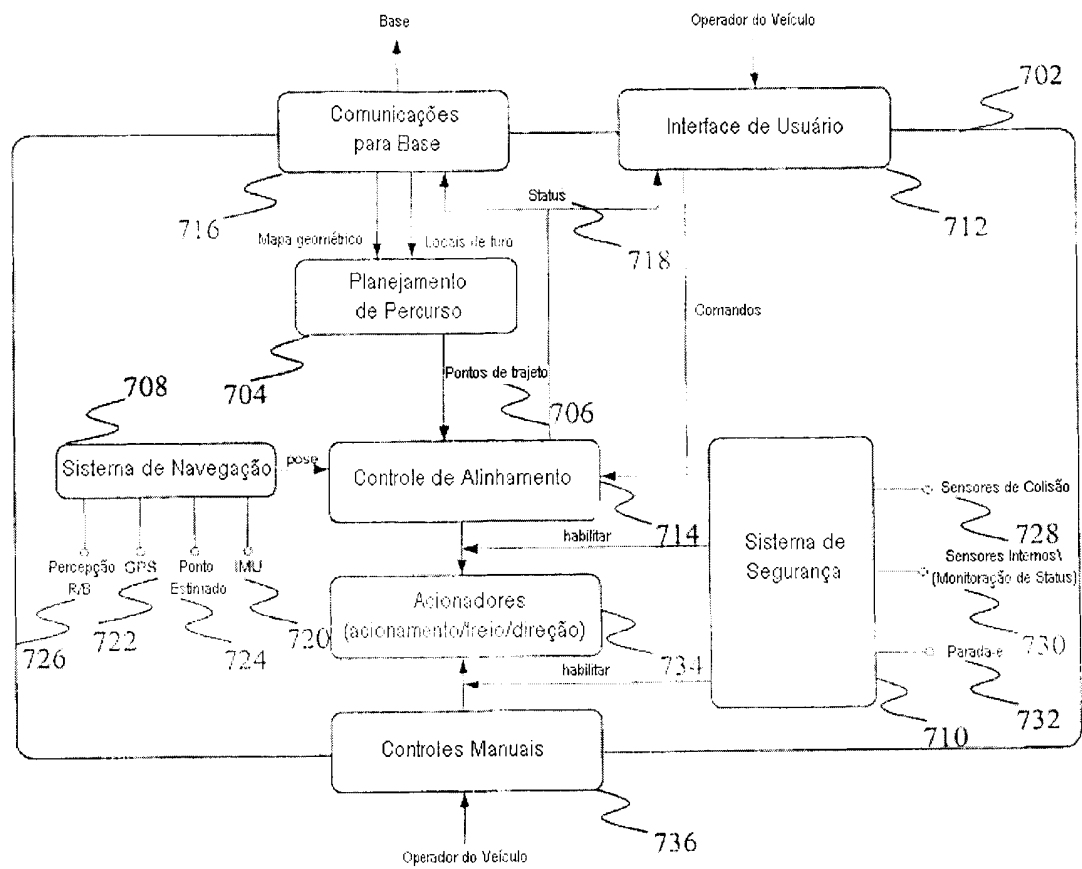


FIGURA 7

Automação de Truque

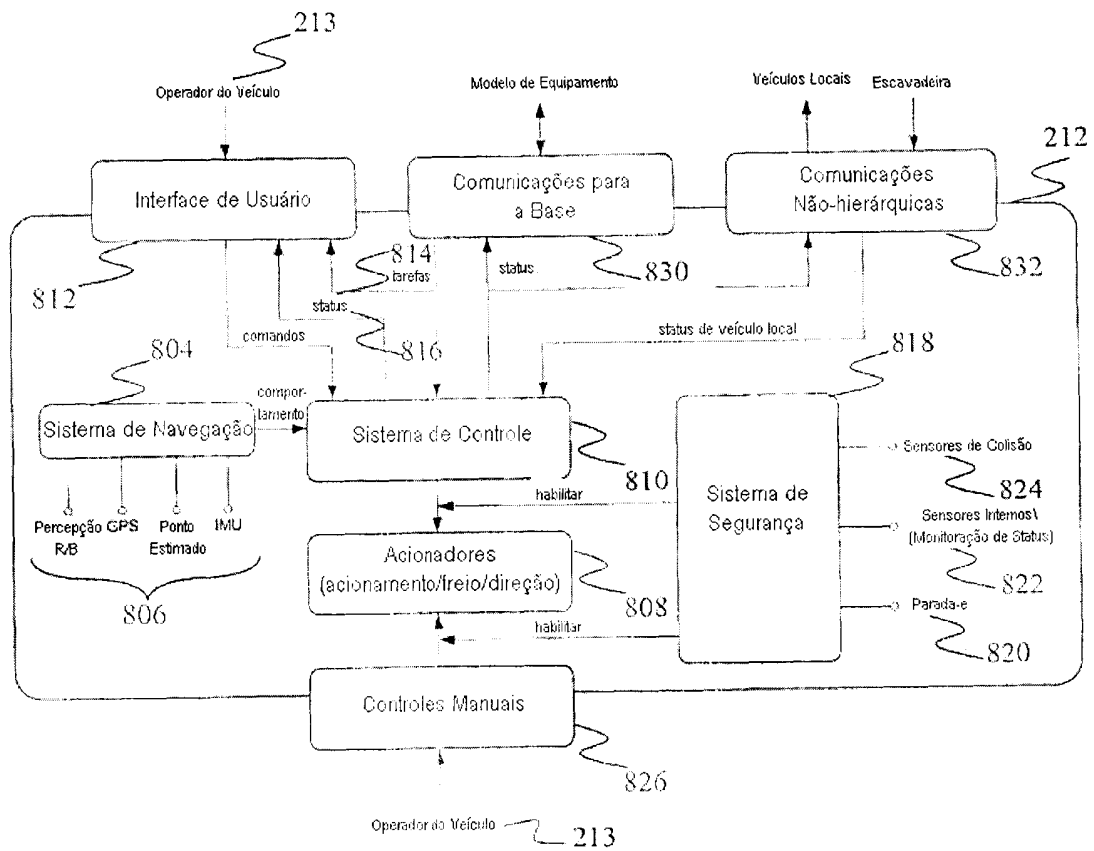


FIGURA 8

Inspeção de Cabeceira

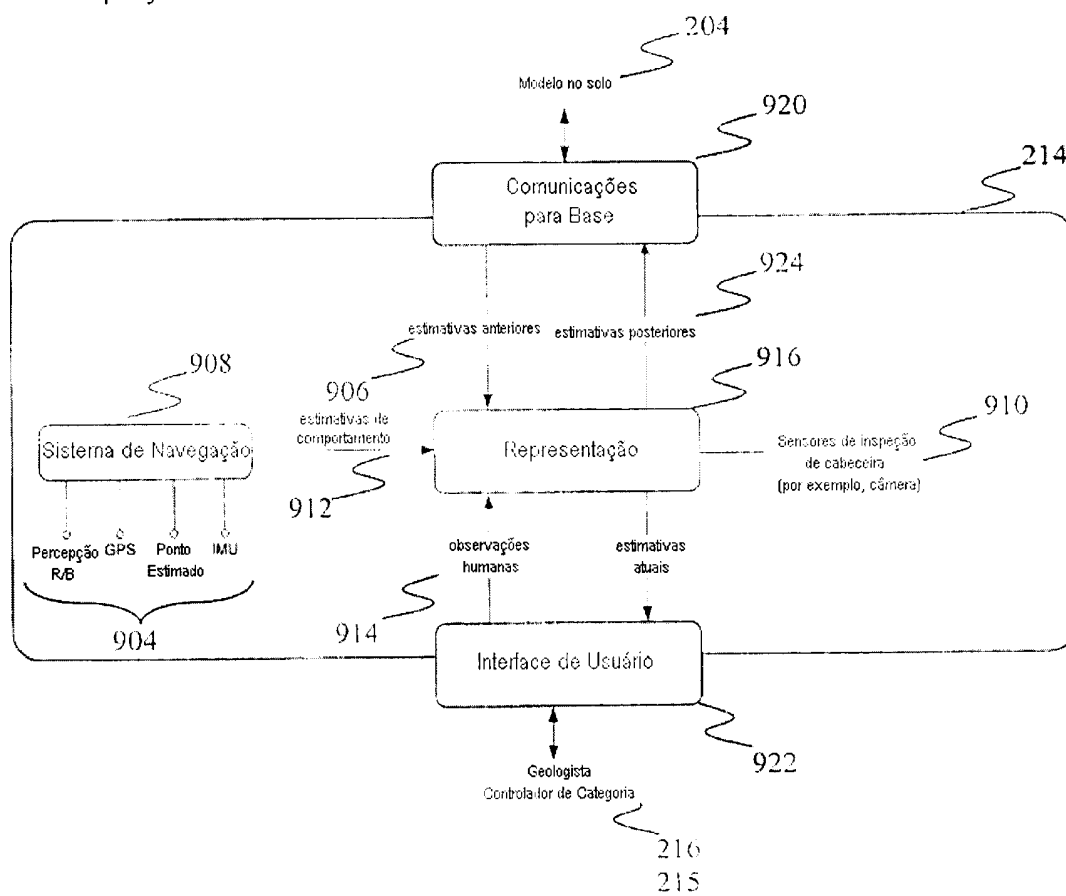
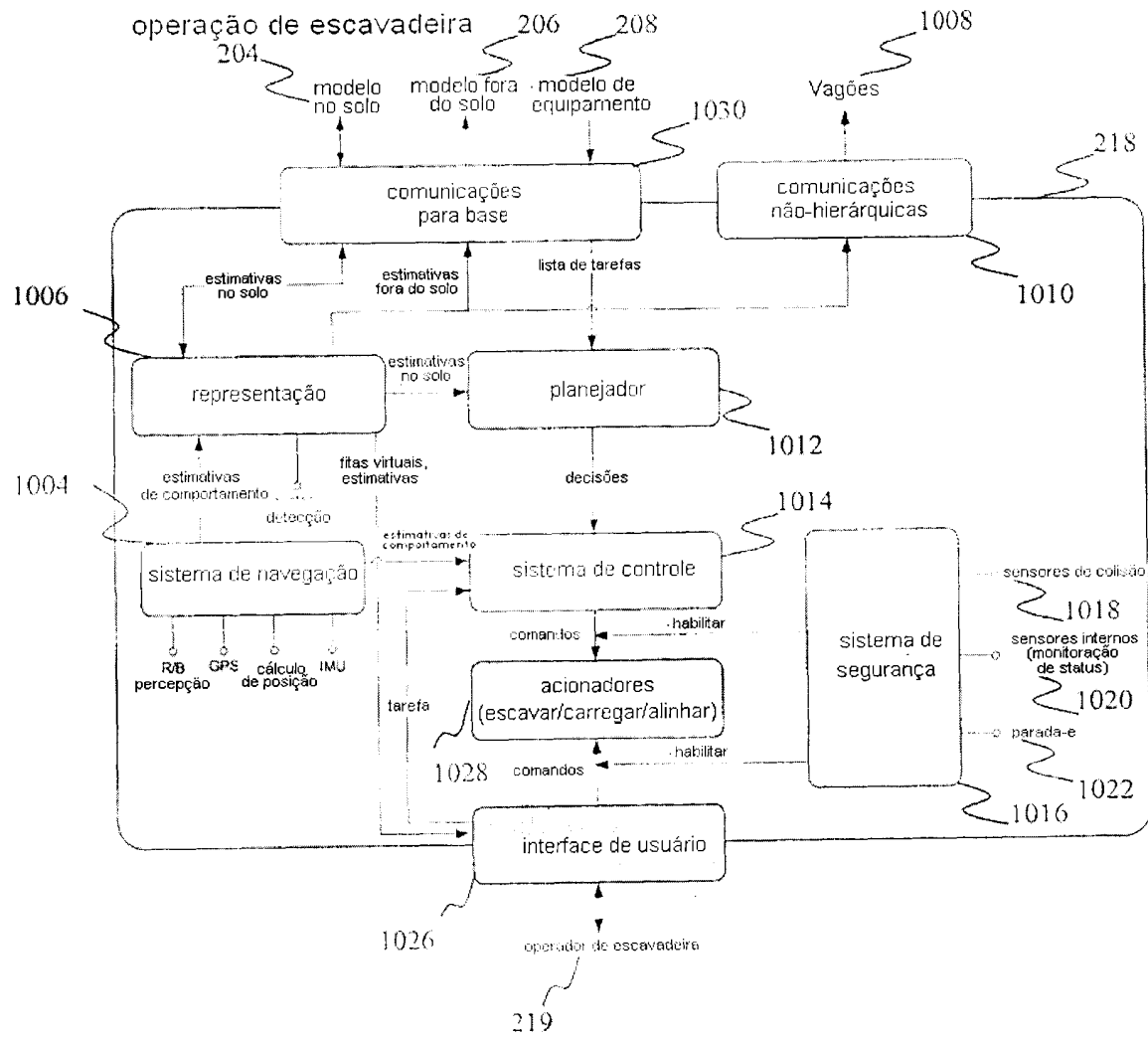


FIGURA 9



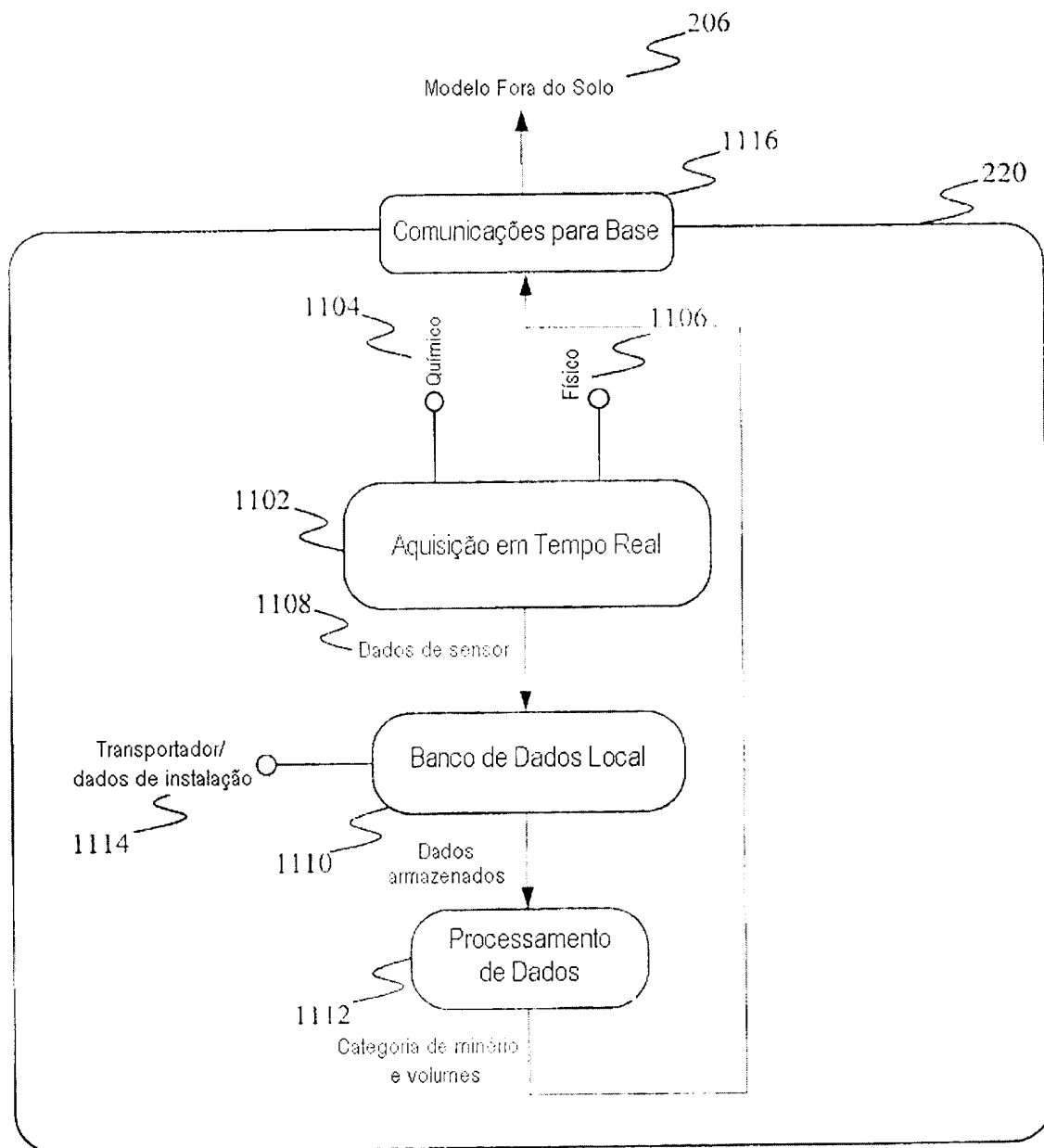


FIGURA 11

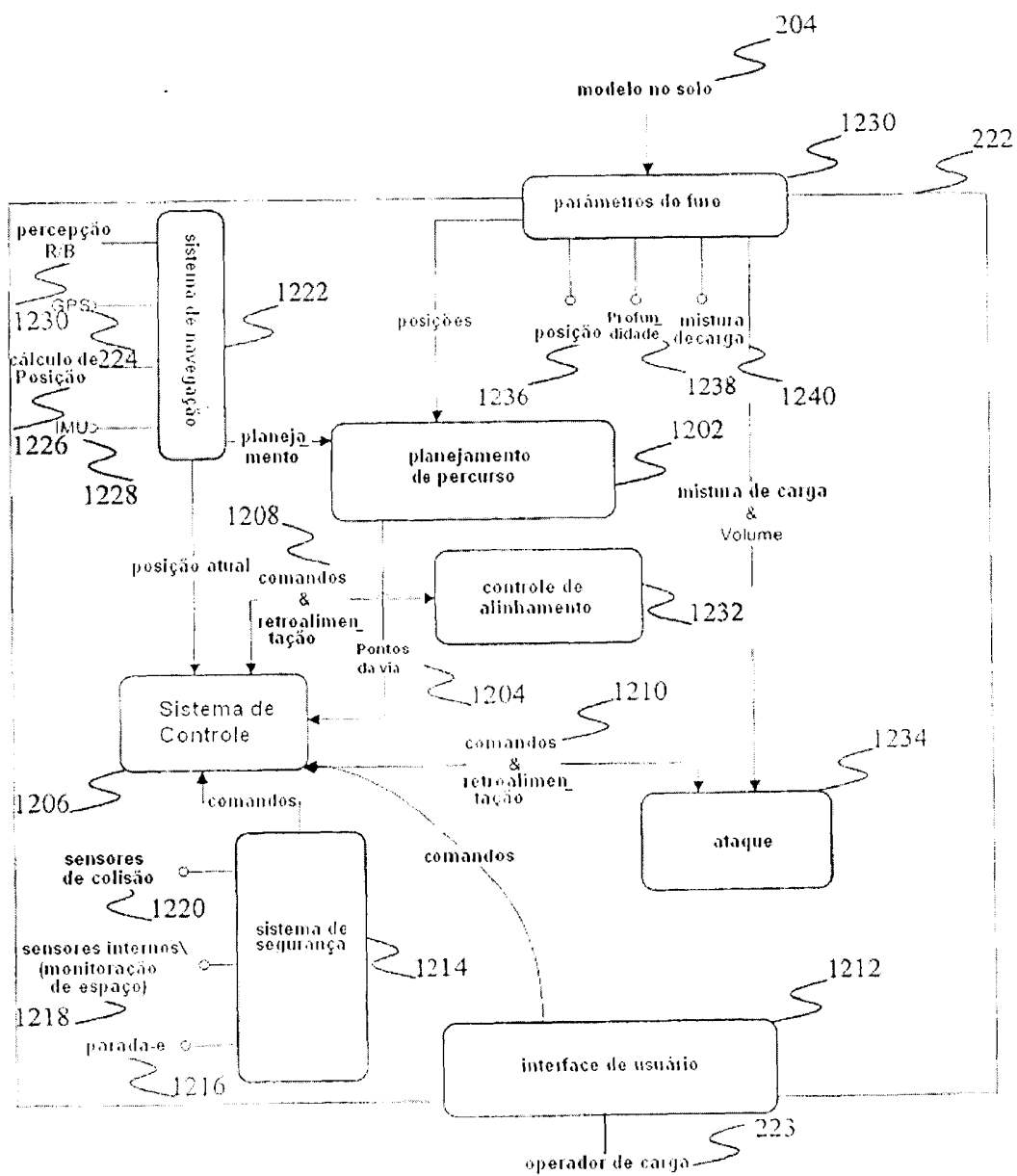


FIGURA 12

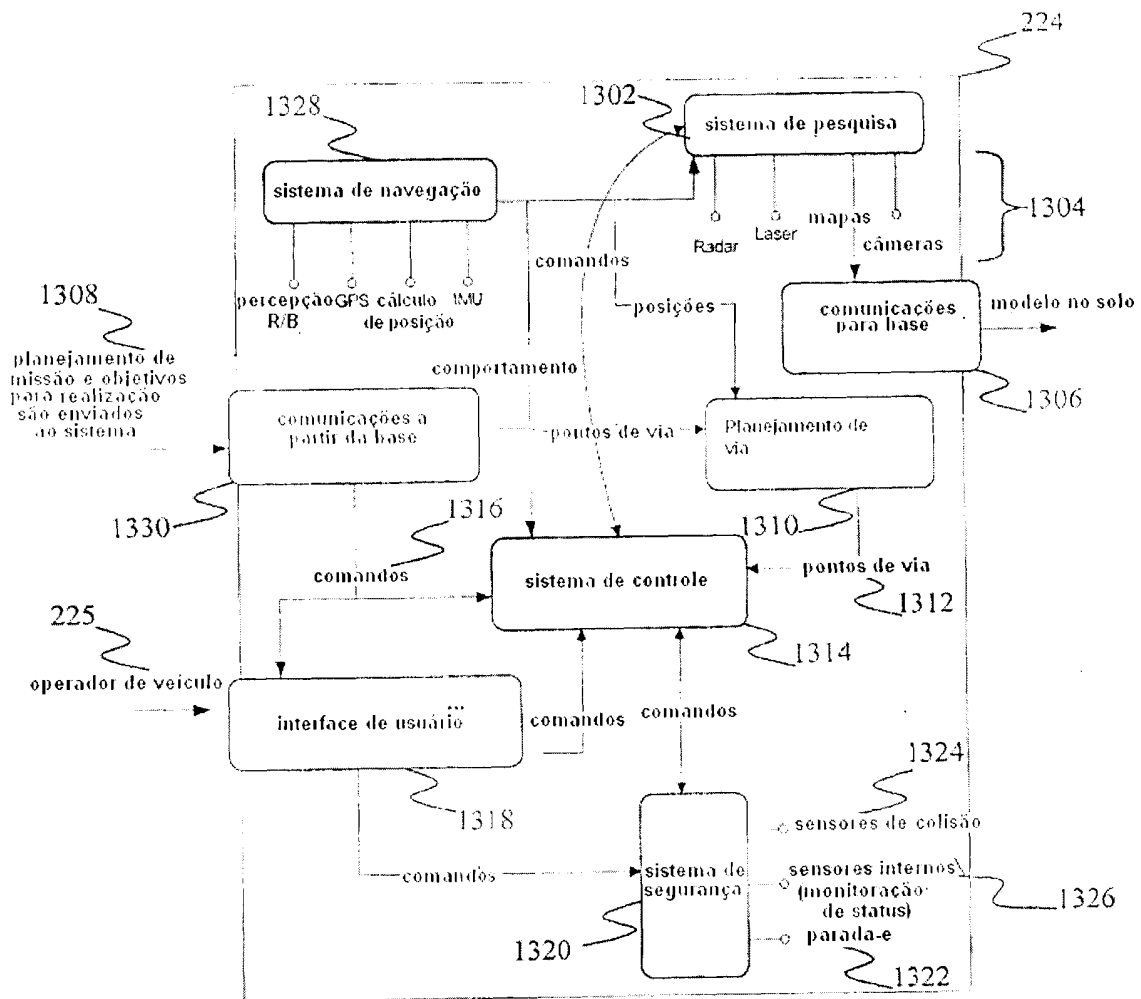


FIGURA 13

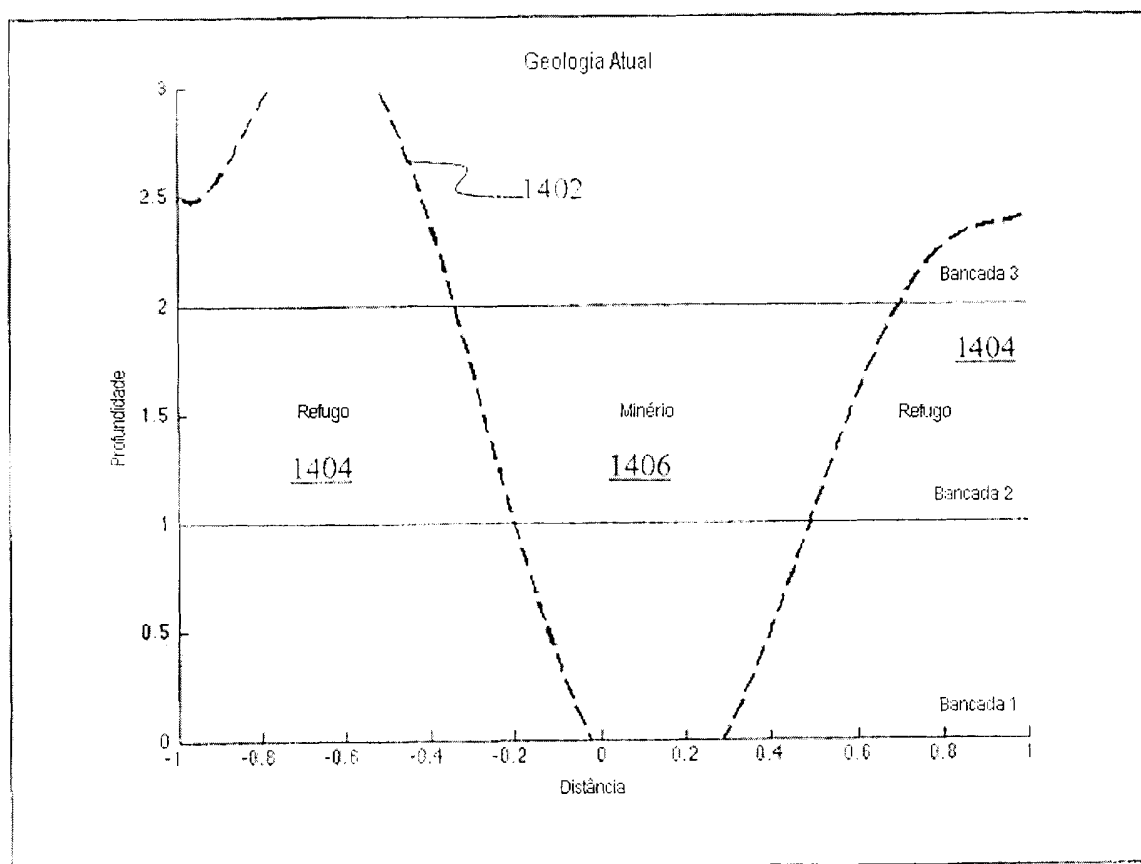


FIGURA 14

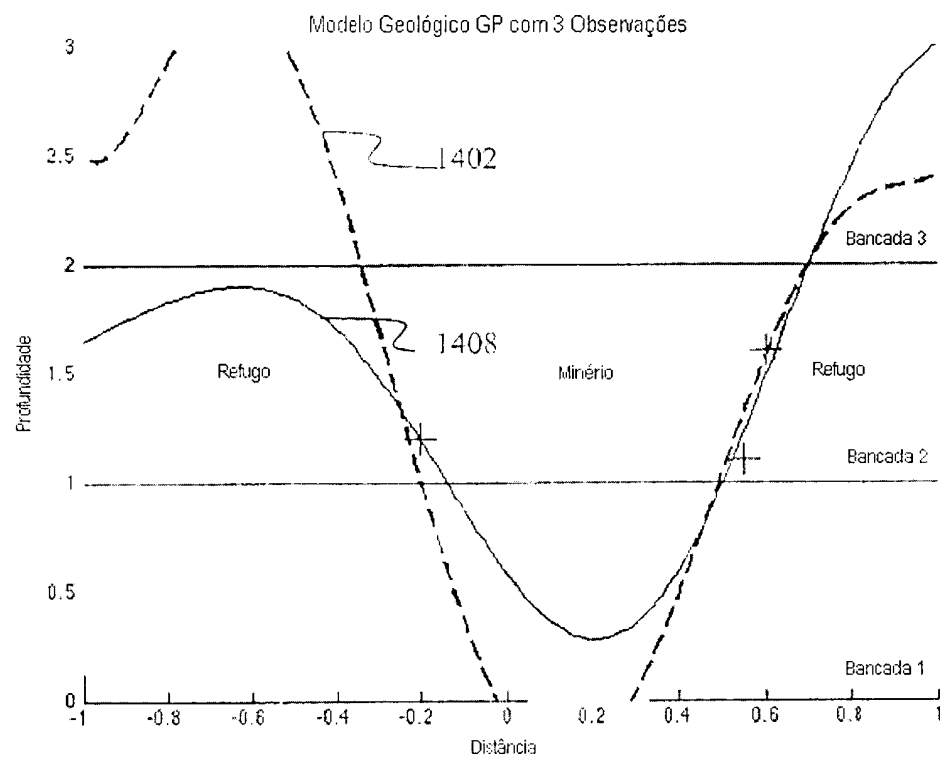


FIGURA 15

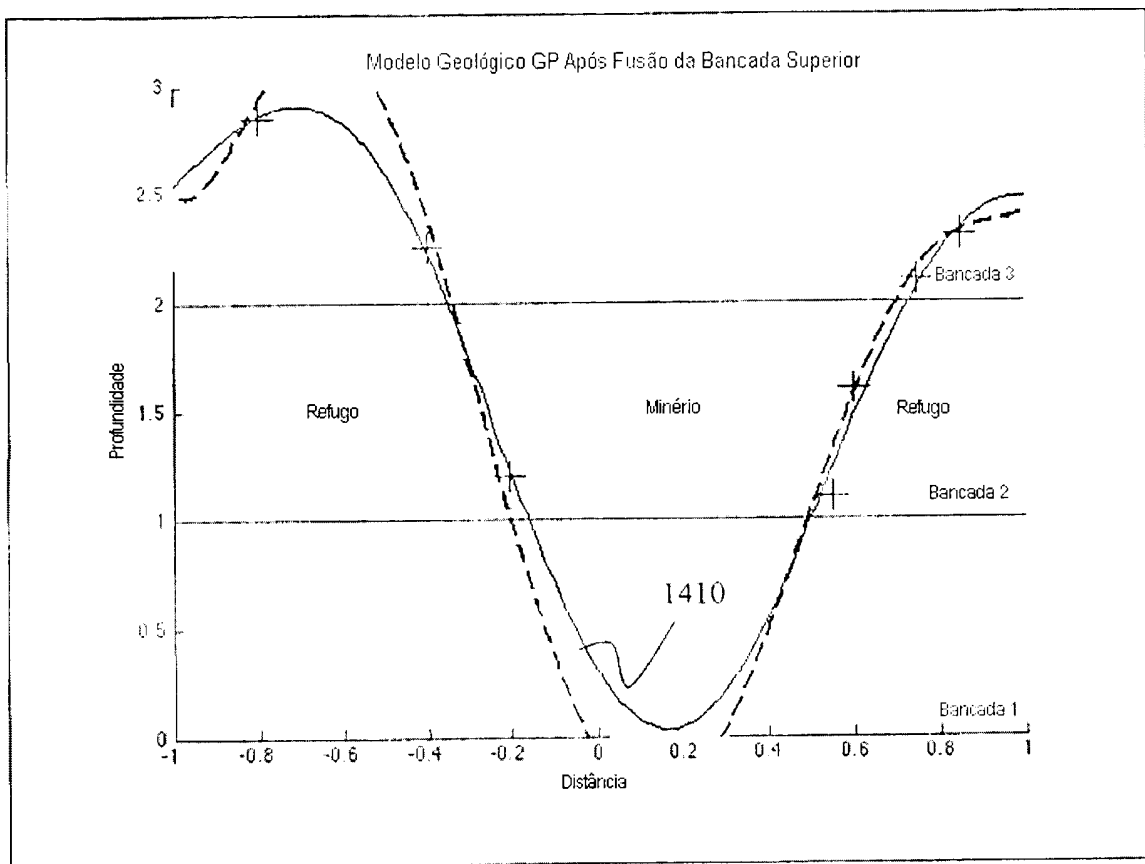


FIGURA 16

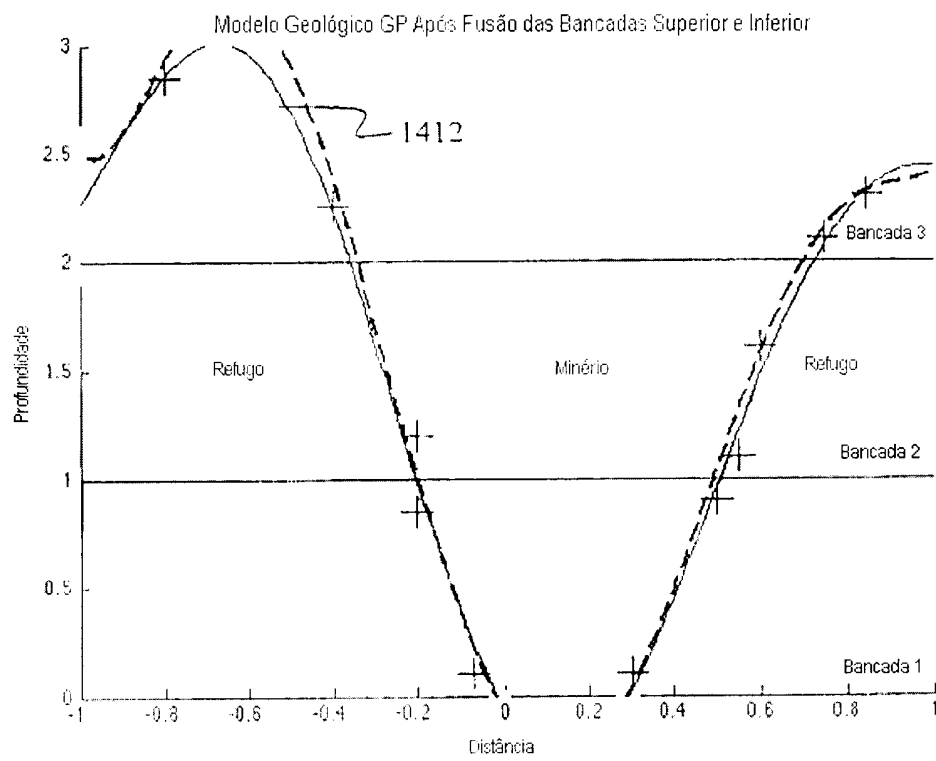


FIGURA 17