



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0618171-6 A2**

(22) Data de Depósito: 23/10/2006
(43) Data da Publicação: 16/08/2011
(RPI 2119)



* B R P I O 6 1 8 1 7 1 A 2 *

(51) *Int.Cl.:*
G01N 22/00 2006.01
B07C 5/344 2006.01
G01N 33/24 2006.01

(54) Título: **MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE UM MINERAL EM UM MATERIAL**

(30) Prioridade Unionista: 04/11/2005 AU 2005906115

(73) Titular(es): The University of Queensland

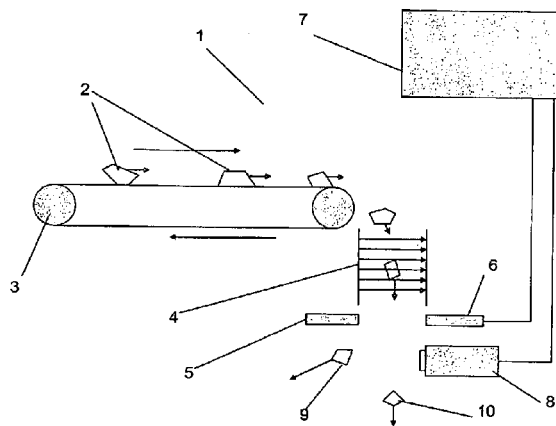
(72) Inventor(es): Nenad Djordjevic

(74) Procurador(es): ORLANDO DE SOUZA

(86) Pedido Internacional: PCT AU2006001561 de 23/10/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/051225 de 10/05/2007

(57) Resumo: MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE UM MINERAL EM UM MATERIAL, A invenção se refere geralmente a um método de determinação da presença de um mineral em um material, tal como uma rocha, um fragmento de rocha, solo, areia ou um outro material geológico, incluindo: a aplicação de radiação de microondas pulsada ao material; a detecção da radiação emitida a partir do material, após a aplicação da radiação de microondas pulsada; e a análise da radiação detectada para a determinação da presença de um mineral no material. A invenção também provê um método de classificação de fragmentos de rocha em pelo menos duas correntes, usando este método, e um aparelho para a realização do método.



MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE UM MINERAL EM UM MATERIAL

CAMPO DA INVENÇÃO

A invenção se refere primariamente a um método de
5 determinação da presença ou da ausência de um mineral em um material, seja um fragmento de rocha no laboratório ou um corpo de rocha *in situ*, por exemplo. A invenção também se refere a um método de classificação de fragmentos de rocha, tais como fragmentos de minério, com base em uma
10 determinação de acordo com o método acima. Mais ainda, a invenção se refere a um aparelho para a determinação da presença de um mineral em um material.

A invenção tem aplicação em particular, mas não exclusiva, na avaliação de teor de minério e/ou
15 distribuição dentro e sobre a superfície de fragmentos de rocha, e para fins ilustrativos uma referência em particular será feita a esta aplicação. Contudo, é para ser entendido que esta invenção poderia ser usada em outras aplicações, tais como na avaliação de teor de mineral e/ou
20 distribuição em corpos de rocha *in situ*, em solos ou areias, em mineração, em outros contextos geológicos e em pesquisa.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Tem sido conhecido por um longo tempo que materiais
25 dielétricos (não metálicos) podem ser aquecidos pela aplicação de energia na forma de microondas. A origem desse aquecimento é derivada da capacidade de o campo elétrico polarizar cargas no material e a incapacidade desta polarização de seguir reversões rápidas do campo
30 eletromagnético externo. A capacidade de um material ser

aquecido por microondas depende de sua permissividade complexa e tangente de perda. A permissividade complexa é descrita pela equação (1):

$$5 \quad \epsilon^* = \epsilon' - j \epsilon''_{\text{eff}} \quad (1)$$

onde a parte real (ϵ') é uma medida de quanta energia a partir do campo externo é armazenada no material; e a parte imaginária (ϵ''_{eff}) é o fator de perda efetiva e é uma medida de quão dissipativo o material é para um campo
10 externo.

A tangente de perda é definida pela equação (2) e representa uma relação de perda de energia e energia armazenada, por ciclo de oscilação de campo.

$$15 \quad \tan \delta_{\text{eff}} = \epsilon''_{\text{eff}} / \epsilon' \quad (2)$$

Ambos os parâmetros são uma função de frequência e temperatura.

A taxa de elevação de temperatura no material exposto à radiação de microondas é dada pela equação:

$$20 \quad DT/dt = \text{const.} * \epsilon''_{\text{eff}} * f * E^2 / \rho * C_p \quad (3)$$

onde E é a intensidade do campo eletromagnético; ϵ''_{eff} é o fator de perda; f é a frequência de microonda; ρ é o peso específico do material; e C_p é a capacidade de calor específico do material. Daí, para um dado material e uma
25 cavidade de microonda, a taxa de aquecimento de material aumentará com um aumento na frequência das microondas e na intensidade do campo eletromagnético ao quadrado.

Uma transferência ótima de energia de microondas pode
30 ser obtida ao se garantir uma penetração adequada no

material e uma alta conversão da energia de microondas em calor. Isto pode ser obtido se o material tiver um valor moderado de ϵ' e se o fator de perda for alto (isto é, um valor relativamente alto de ϵ''_{eff} resultando em um valor relativamente alto de $\tan \delta_{eff}$). A água é caracterizada por uma forte capacidade de absorver energia de microondas e transformar aquela energia em calor.

As rochas tipicamente compreendem um agregado de materiais de concentrações variáveis e pelo menos alguma água, absorvida ou ligada quimicamente. Os métodos antigos de análise de amostras de rocha fragmentada incluíam a irradiação das amostras com radiação de microondas por períodos de tempo relativamente longos, da ordem de vários segundos ou mais. A radiação de microondas aquece de forma diferencial os fragmentos de rocha, conforme observado, por exemplo, formação de imagem térmica, tal como por uma câmera de infravermelho. Fragmentos diferentes e/ou áreas de fragmentos da amostra de rocha são compostos por minerais diferentes e/ou têm teores de água diferentes. Como tal, estas áreas aumentarão de temperatura a uma taxa diferente, e, portanto, a um grau diferente, em resposta à radiação de microondas. Contudo, quando uma radiação de microondas constante é usada, os fragmentos de rocha tendem a se aquecer muito rapidamente de forma completa, reduzindo a diferença detectável entre os componentes diferentes na amostra de rocha e formando a superfície da amostra de rocha. A imagem térmica de infravermelho resultante tende a ser essencialmente uma descrição borracha e indistinta do fragmento inteiro.

Desta forma, os fragmentos contendo alguns minerais os

quais se aquecerão e proverão uma imagem de infravermelho geralmente borrada podem ser selecionados em relação àqueles contendo muito pouco ou nenhum mineral, o que se aquecerá apenas razoavelmente para a provisão de uma imagem
5 de resfriamento fraca. Contudo, a eficácia do método de classificação não é alta, já que não permite a avaliação do nível de aquecimento de microondas associado a mineral na rocha. Ao invés disso, provê uma análise rudimentar quanto a se o fragmento contém os minerais desejados ou não. Mais
10 ainda, esses métodos não provêem qualquer informação sobre o padrão de distribuição mineral nos fragmentos de rocha. Por exemplo, esses métodos não poderiam prover uma avaliação quanto a se os depósitos de mineral estão localizados no centro ou na superfície da rocha. Devido a
15 suas insensibilidades relativas, os métodos da técnica anterior foram primariamente concentrados na separação de rochas com base nas quantidades diferentes de água absorvida nas rochas.

Uma radiação de microondas pulsada foi usada para a
20 indução de microfraturas em fragmentos de rocha para redução da quantidade de energia requerida para uma trituração e uma pulverização subseqüentes. A absorção de densidade de potência da radiação de microondas usada para esta prática geralmente está na faixa de 1.000 a 100.000
25 MW/m³. Contudo, estes processos com essas densidades de potência de microondas alta não são adequados ou requeridos para a análise de teor de mineral dentro ou na superfície de fragmentos de rocha.

Assim, seria vantajoso se um método pudesse ser
30 provido para a determinação da presença de um mineral em

uma rocha de forma mais distinta e desse modo efetivamente possibilitasse a classificação de fragmentos de rocha contendo quantidades diferentes de minerais. Também seria vantajoso se um método fosse provido, que facilitasse a
5 determinação do padrão de distribuição de mineral valioso dentro ou na superfície dos fragmentos de rocha.

Surpreendentemente, foi descoberto que uma irradiação de microondas pulsada a densidades de potência mais baixas do que aquelas usadas para a indução de microfraturas em
10 rochas é superior a uma irradiação de microondas de onda contínua para a análise do teor de minerais de absorção de microondas em amostras fragmentadas. O uso dessa irradiação pode permitir não apenas a identificação dos fragmentos contendo minerais, mas também uma quantificação do teor de
15 mineral.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Em um aspecto da invenção, é provido um método de determinação da presença de um mineral em um material, que inclui:

20 a aplicação de uma radiação de microondas pulsada ao material;

a detecção da radiação emitida a partir do material, após a aplicação da radiação de microondas pulsada; e

a análise da radiação detectada para a determinação da
25 presença do mineral no material.

Conforme usado aqui, o termo "mineral" é pretendido em um sentido amplo. Este termo inclui em seu escopo minerais não orgânicos, tais como calcocita, calcopirita, galena, magnetita, hematita, pirita, pirotita, esfalerita,
30 uraninita, etc., e compostos geológicos orgânicos, tais

como óleo pesado, óleo leve, betume, etc.

Conforme usado aqui, o termo "material" é pretendido em um sentido amplo. Este termo inclui em seu escopo rochas, fragmentos de rocha, solos, areias e outros
5 materiais geológicos *in situ* ou não.

A duração de pulso de microondas é vantajosamente escolhida de modo que:

- o aquecimento da umidade de superfície e/ou da umidade absorvida no material seja minimizado;
- 10• -o diferencial térmico entre os materiais que absorvem microondas e um outro material seja maximizado;
- o aquecimento de materiais de ganga seja minimizado; e/ou
- o mineral de escolha no material seja adequadamente
15 afetado pelo pulso de microondas.

Em certas modalidades, a radiação de microondas pulsada aplicada ao material inclui pelo menos um pulso de até 1 segundo de duração, preferencialmente de 0,01 a 1 segundo de duração e, mais preferencialmente, de 0,1 a 1
20 segundo de duração. Em outras modalidades, a radiação de microondas pulsada aplicada ao material inclui uma pluralidade de pulsos de até 1 segundo de duração, preferencialmente de 0,01 a 1 segundo de duração e, mais preferencialmente, de 0,1 a 1 segundo de duração.

25 Conforme descrito brevemente acima, quando o material inclui rochas ou fragmentos de rocha, a radiação de microondas pulsada é geralmente aplicada a densidades de potência relativamente baixas, de modo a se evitar qualquer indução de microfaturas nos fragmentos de rocha. Esta
30 quantidade de irradiação de microondas que induzirá uma

fratura variará de caso para caso, conforme será apreciado por aqueles de conhecimento na técnica. Em uma modalidade preferida, a radiação de microondas pulsada é aplicada a uma densidade de potência abaixo de 1.000 MW/m³, mais preferencialmente em uma faixa de 1 a 100 MW/m³.

Em uma disposição similar para seleção da duração de pulso de microondas, a frequência de microondas pode ser escolhida para:

- minimizar o aquecimento da umidade de superfície e/ou da umidade absorvida dentro do material;
- maximizar o diferencial térmico entre os materiais que absorvem microondas e o outro material;
- adequar-se a um mineral de escolha; e/ou
- minimizar o aquecimento do material de ganga.

A frequência preferencialmente estará na faixa de 900 a 5800 MHz, mais preferencialmente na faixa de 900 a 3500 MHz, ainda mais preferencialmente de 915 a 2450 MHz e, o mais preferencialmente na faixa de 915 a 950 MHz.

O método de detecção de radiação emitida a partir do material não está particularmente limitado. Em uma modalidade, a detecção de radiação emitida a partir do material inclui a formação de imagem térmica do material, por exemplo, usando-se uma câmera de infravermelho. Em uma outra modalidade, a detecção de radiação emitida a partir do material inclui a detecção de uma radiação de microondas emitida a partir do material, por exemplo, usando-se uma detecção de microondas passiva.

Geralmente, o mineral sendo almejado em cada caso em particular será conhecido. Como tal, os espectros de infravermelho do mineral sendo almejado também serão

geralmente conhecidos ou poderão ser determinados. Quando a formação de imagem térmica é o método de escolha, é preferido que a formação de imagem de infravermelho seja realizada na faixa espectral de radiação de infravermelho dentro da qual o mineral almejado é caracterizado como tendo sua emissividade diferencial mais alta em relação à rocha ou ao solo principal (de fundo).

Conforme mencionado acima, o método da invenção pode ser aplicável para uma análise *in situ* do material, por exemplo, para a determinação do teor de mineral em um corpo ou minério *in situ*. Geralmente, o método é aplicável a fragmentos de rocha ou outras amostras de material, tais como amostras de areia ou amostras de solo que são removidas de seu local *in situ*. Nesse caso, o material preferencialmente é alimentado para uma zona de irradiação de microondas para aplicação subsequente da radiação de microondas pulsada.

O material pode ser alimentado para a zona de irradiação de microondas em um canal de alimentação único. Alternativamente, para aumento da produção, o material pode ser alimentado para a zona de irradiação de microondas em uma pluralidade de canais de alimentação em separado. Em qualquer caso, quando o material inclui rochas ou fragmentos de rocha, as rochas ou os fragmentos de rocha preferencialmente são alimentados para a zona de irradiação de microondas em uma fila única em um ou mais canais.

Em certas modalidades, pode ser desejável aplicar mais de uma frequência de microondas ao material sendo analisado. Isto pode prover uma análise mais detalhada da constituição da amostra de material, conforme descrito

abaixo.

Assim sendo, em um outro aspecto, a invenção provê um método de determinação da presença de um mineral em um material, incluindo:

5 a aplicação de radiação de microondas pulsada de uma primeira freqüência ao material;

a detecção de uma primeira quantidade de radiação emitida a partir do material, após a aplicação da radiação de microondas pulsada da primeira freqüência;

10 a aplicação de uma radiação de microondas pulsada de uma segunda freqüência ao material;

a detecção de uma segunda quantidade de radiação emitida a partir do material, após a aplicação da radiação de microondas pulsada da segunda freqüência; e

15 a análise das primeira e segunda quantidades detectadas de radiação para a determinação da presença do mineral dentro do material.

A eficiência de penetração da energia de microondas em um material, descrita como a profundidade na qual a
20 intensidade do campo de microondas decai por um fator de $(1/e)$ ou aproximadamente 37% da intensidade inicial, é descrita por um parâmetro (profundidade pelicular) o qual é uma função das propriedades dielétricas do material, bem como da freqüência de radiação de microondas aplicada. Isto
25 é definido pela equação:

$$\delta = (c/f) ((\epsilon')^{0.5} / (2\pi\epsilon''_{eff})) \quad (4)$$

onde (δ) é a profundidade pelicular; (c) é a velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas através do material;

30 (f) é a freqüência de microondas aplicada; e ϵ' e ϵ''_{eff}

são as partes real e imaginária da permissividade dielétrica complexa do material.

Todos estes parâmetros, exceto pela frequência de microondas, são constantes para um dado material. Então, para uma dada rocha principal, (isto é, parâmetros dielétricos constantes) uma frequência de fonte de microondas determinará a profundidade efetiva de aquecimento de microondas.

No caso de um material tendo minerais de absorção de microondas embutidos de forma relativamente profunda, pelo uso de duas frequências de microondas, é possível distinguir entre minerais que absorvem microondas na ou próximo da superfície dos materiais que absorvem microondas fortemente localizados a uma profundidade dentro do material.

O aquecimento de minerais que absorvem microondas dentro do material, por exemplo, uma rocha ou um fragmento de rocha não é imediatamente evidente na superfície do material em termos de padrão térmico produzido. Devido à condutividade térmica relativamente baixa desses materiais, pode levar até vários segundos para o calor atingir a superfície do material. Este é particularmente o caso quando o material é uma rocha ou um fragmento de rocha.

No primeiro estágio deste aspecto da invenção, uma radiação de microondas é aplicada em uma primeira frequência, a qual geralmente é uma radiação de microondas de frequência relativamente alta, por exemplo, de 920 a 925 MHz. Obviamente, outras frequências podem ser empregadas nas faixas preferidas mencionadas acima. Se o material contiver minerais que absorvem microondas em sua

superfície, isto será imediatamente reconhecido pela análise a seguir, a qual pode ser conduzida usando-se os métodos previamente descritos. Esses fragmentos serão imediatamente removidos para processamento adicional.

5 No segundo estágio deste aspecto da invenção, uma irradiação de microondas é aplicada em uma segunda frequência a qual geralmente é uma radiação de microondas de frequência relativamente baixa, por exemplo, de 915 a 920 MHz. De novo, outras frequências podem ser aplicadas,
10 conforme mencionado acima. Isto permitirá uma penetração profunda mais eficiente das microondas no material e um aquecimento dos minerais que absorvem microondas dentro do material. Devido ao tempo requerido para este aquecimento atingir a superfície do material, o material
15 preferencialmente será analisado algum tempo depois da aplicação da radiação de microondas. Por exemplo, o material pode ser analisado de 1 a 5 segundos após a aplicação de microondas. Isto pode ser obtido, novamente, pelo uso dos métodos de análise descritos acima.

20 Será apreciado que a primeira frequência pode ser uma frequência alta e a segunda frequência pode ser uma frequência baixa, se desejado, em uma aplicação em particular.

 Pela exposição de materiais, particularmente rochas ou
25 fragmentos de rocha, a uma radiação de microondas de frequência relativamente alta, uma análise da radiação resultante (por exemplo, do padrão térmico) emitida a partir do material e, subseqüentemente, pela exposição do material a uma radiação de microondas de frequência
30 relativamente alta, preferencialmente na mesma energia, e,

de novo, pela análise da radiação resultante emitida a partir do material, a diferença entre aquelas duas emissões revelará a existência de minerais que absorvem microondas os quais estão localizados profundamente no interior do material.

Quando as imagens são produzidas seguindo-se à aplicação da primeira e segunda frequências de microondas, técnicas de processamento de imagem, tal como a subtração da primeira imagem da segunda imagem, podem melhorar aspectos indicando a existência de minerais que absorvem microondas enterrados de forma relativamente profunda quentes. Os materiais exibindo uma anomalia térmica como essa serão extraídos para processamento adicional.

Daí, pelo uso de duas frequências de microondas diferentes, é possível distinguir materiais, particularmente rochas e fragmentos de rocha, contendo minerais que absorvem microondas na superfície, daqueles em que os minerais que absorvem microondas não estão visíveis na superfície, mas que estão embutidos no material.

Adicionalmente ao dito acima, a partir da taxa de decaimento de temperatura normalizada com a massa e o tamanho da amostra de material sendo analisada, pode ser possível determinar a massa dos minerais que absorvem microondas de certo tipo que estiverem presentes no material. Isto proverá vantagens, conforme seria apreciado por aqueles de conhecimento na técnica.

Deve ser apreciado que etapas adicionais podem ser incluídas. Por exemplo, o método pode incluir pelo menos uma aplicação adicional de radiação de microondas de uma frequência diferente das primeira e segunda frequências ao

material, e a subseqüentemente detecção da quantidade de radiação emitida a partir do material.

De acordo com um outro aspecto da invenção, é provido um método de classificação de uma corrente de alimentação
5 de material em pelo menos duas correntes, que inclui:

a determinação da presença de um mineral na corrente de alimentação de material, usando-se um método de acordo com a reivindicação 1 ou com a reivindicação 13; e

a separação da corrente de alimentação de material em
10 pelo menos duas correntes, com base naquela determinação.

De acordo com este aspecto, a corrente de alimentação preferencialmente é separada em uma corrente de perda e uma corrente de produto. Em certas modalidades, a corrente de alimentação pode ser separada em uma corrente de perda e em
15 uma pluralidade de correntes de produto, com base no grau de mineral do material.

A separação da corrente de alimentação em pelo menos duas correntes separadas pode ser obtida por qualquer meio adequado. Por exemplo, isto pode ser obtido usando-se uma
20 cinta transportadora de separação ou similar. Preferencialmente, a corrente de alimentação é separada em pelo menos duas correntes por um soprador de ar à alta pressão.

De acordo ainda com um outro aspecto da invenção, e
25 provido um aparelho para a determinação da presença de um mineral dentro de um material, que inclui:

uma zona de irradiação de microondas que inclui um emissor de microondas adaptado para emitir uma radiação de microondas pulsada para a zona de irradiação de microondas;

30 um detector para a detecção da radiação emitida a

partir do material seguindo-se à aplicação de radiação de microondas pulsada ao material; e

um analisador para a interpretação da radiação detectada e, desse modo, para a determinação da presença do mineral no material.

Preferencialmente, a zona de irradiação de microondas, incluindo o emissor de microondas, é disposta de modo que o material sendo analisado possa simplesmente cair por gravidade através da zona de irradiação de microondas.

De modo a facilitar o processamento de um grande volume de material de uma maneira uniforme e contínua, o emissor de microondas mais provavelmente será na forma de uma cavidade de microondas de modo múltiplo, preferencialmente equipada com um agitador adequado. Vantajosamente, o uso de uma cavidade de microondas como essa garantirá que todos os modos de ressonância de microondas na cavidade sejam excitados, garantindo um aquecimento tão uniforme quanto possível do material. O uso de uma cavidade de microondas de modo único adequada poderia prover um aquecimento mais eficiente do material do ponto de vista de consumo de energia.

Conforme será apreciado a partir da descrição acima da invenção geralmente, o detector preferencialmente é um formador de imagem térmica ou um sensor de microondas passivo.

Se um formador de imagem térmica for empregado, este pode ser um formador de imagem de infravermelho. Mais ainda, o aparelho pode incluir formadores de imagem térmica adicionais. Em uma modalidade, o aparelho ainda inclui uma região fria, a região fria sendo de uma temperatura

relativamente mais baixa em relação ao restante do aparelho. Os formadores de imagem térmica então podem ser posicionados em torno da região fria para uma detecção melhorada de radiação emitida a partir do material,
5 conforme ele passar através da zona de irradiação de microondas.

Considerando-se que a velocidade do material através da zona de irradiação de microondas poderia ser de até vários metros por segundo, é importante que o tempo de
10 residência do material na zona de irradiação de microondas seja suficientemente longo para induzir a quantidade requerida de aquecimento dos minerais de interesse, para se permitir sua identificação eficiente. Preferencialmente, os minerais que absorvem microondas serão aquecidos até uma
15 temperatura a qual é significativamente mais alta (de 10 a 50 °C) a partir da temperatura dos minerais que não absorvem microondas. Considerando-se que a sensibilidade térmica dos sistemas modernos de formação de imagem por IR é de em torno de 0,02 °C, os minerais que absorvem
20 microondas e seu padrão de distribuição no material serão facilmente reconhecidos pela formação de imagem térmica.

Conforme citado, o detector pode incluir um sensor de microondas passivo, ou uma pluralidade desses sensores. Nesse caso, após a passagem através da zona de irradiação
25 de microondas, a presença de minerais que absorvem microondas será detectada pelo uso do sensor de microondas passivo (isto é, um radiômetro). Esses sensores são, com efeito, receptores de microondas de alta precisão e são capazes de detectarem uma radiação eletromagnética vindo do
30 material na parte de microondas do espectro

eletromagnético. Isto permite a detecção de materiais aquecidos, os quais absorveram radiação de microondas, enquanto passavam através da cavidade, não apenas na superfície do material, mas também embutidos de forma
5 relativamente profunda. Isto é devido ao fato de as microondas terem um comprimento de onda maior, se comparado com uma radiação de infravermelho.

Nesta modalidade, a detecção de minerais que absorvem microondas não é baseada na detecção de radiação de
10 microondas que é transmitida através do material investigado, mas é baseada na detecção de radiação eletromagnética de microondas natural vindo a partir do material previamente aquecido. Nesse sentido, os sensores de microondas passivos são similares no conceito aos
15 sensores de infravermelho. De acordo com a lei de radiação de Plank, todos os objetos emitem energia de microondas de alguma magnitude, mas as quantidades geralmente são muito pequenas. A quantidade de energia emitida a partir do material é proporcional à temperatura do material. Um
20 sensor de microondas passivo detecta a energia de microondas emitida naturalmente em seu campo de visão. Uma radiação de microondas geralmente é detectada usando-se uma antena de um tipo adequada (mais provavelmente uma antena tipo corneta).

25 Devido aos seus comprimentos de onda mais longos, se comparados com uma radiação de infravermelho, as descritores têm propriedades que são vantajosas para a detecção de minerais valiosos. Uma radiação de microondas de comprimento de onda mais longo pode penetrar através de
30 pó, já que os comprimentos de onda mais longos não são

suscetíveis a uma dispersão atmosférica, a qual afeta os comprimentos de onda ótica mais curtos (infravermelho e visível). Esta propriedade permite a detecção de energia de microondas sob quase todas as condições ambientais, de modo
5 que os dados podem ser coletados em qualquer momento.

O analisador geralmente será um computador equipado com um software de processamento de imagem. Vantajosamente, isto permitirá um processamento contínuo e automatizado e uma análise de uma alimentação de material.

10 Em certas modalidades, pode ser desejável que o aparelho inclua uma câmera de luz visível ou um outro meio para calibração do tamanho do material passando através da zona de irradiação de microondas. Este pode ser particularmente o caso quando o material incluir rocha ou
15 fragmentos de rocha.

O aparelho da invenção preferencialmente será configurado para facilitar a classificação do material passando através da zona de irradiação de microondas. Preferencialmente, portanto, o aparelho inclui um
20 classificador para a classificação do material em pelo menos duas correntes. O classificador pode incluir uma cinta transportadora de separação, mas, preferencialmente, é um soprador de ar à alta pressão. Uma pluralidade de sopradores de ar à alta pressão pode ser incluída, se
25 desejado.

O material pode ser alimentado para a zona de irradiação de microondas por quaisquer meios adequados. Contudo, o aparelho preferencialmente inclui um alimentador para suprimento do material para a zona de irradiação de
30 microondas em pelo menos um canal. Preferencialmente, o

alimentador é uma cinta transportadora.

Em certas modalidades, a monitoração contínua de umidade no material pode ser uma adição útil que melhorará a eficiência do processo de classificação. Como tal, um monitor pode ser provido para facilitação disto.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Será conveniente, a partir deste ponto, prover uma descrição detalhada de certas modalidades da invenção com referência aos desenhos associados. A finalidade de provisão desta descrição detalhada é instruir pessoas tendo interesse no assunto da invenção sobre como colocar em prática a invenção. É para ser claramente entendido, contudo, que a natureza específica desta descrição detalhada não substitui a generalidade das declarações precedentes.

Nos desenhos:

a Figura 1 ilustra um aparelho de acordo com uma modalidade da invenção;

a Figura 2 é uma imagem de IR de um minério de cobre de grau alto, de um minério de cobre de grau médio e de uma rocha estéril após uma breve exposição a um aquecimento por microondas;

a Figura 3 é uma imagem de IR de um fragmento de minério de grau alto, de um fragmento de arenito e de uma rocha de desmonte após uma breve exposição a um aquecimento por microondas;

a Figura 4 é uma imagem de IR de um minério de cobre de grau alto, arenito homogêneo, rocha de desmonte e minério de cobre de grau baixo após uma breve exposição a um aquecimento por microondas;

a Figura 5 é uma imagem de IR de um minério de cobre de grau médio, minério de cobre de grau alto e amostra de granito após uma breve exposição a um aquecimento por microondas;

5 a Figura 6 é uma imagem de IR que mostra uma mineralização aumentada correspondente à parte mais aquecida da rocha, após uma breve exposição a um aquecimento por microondas;

10 a Figura 7 é uma imagem de IR que mostra não apenas uma parte altamente mineralizada da rocha, mas também aspectos estruturais, tais como fissuras, após uma breve exposição a um aquecimento por microondas;

15 a Figura 8 é uma imagem de IR de um fragmento minério de cobre versus uma rocha vulcânica não mineralizada após uma exposição breve simultânea a um aquecimento por microondas;

20 a Figura 9 é uma imagem de IR de uma área altamente mineralizada dentro de uma rocha que está mais aquecida do que o restante da superfície de rocha, após uma breve exposição a um aquecimento por microondas;

a Figura 10 é uma imagem de IR do padrão mineralizado em minério de cobre pórfiro, após uma breve exposição a um aquecimento por microondas; e

25 a Figura 11 é uma imagem de IR de aspectos de textura em um fragmento de minério, após uma breve exposição a um aquecimento por microondas.

30 A Figura 1 descreve um aparelho (1) de acordo com uma modalidade da presente invenção. Os fragmentos de rocha (2) são transportados por uma cinta transportadora (3) que termina acima de uma zona de irradiação de microondas na

forma de uma cavidade de microondas de modo múltiplo ou de modo único (4). Os fragmentos de rocha (2) caem verticalmente através da cavidade de microondas (4). Embora os fragmentos de rocha (2) possam passar através da cavidade (4) em qualquer direção, cair verticalmente é vantajoso já que aumenta a probabilidade de uma distribuição uniforme da irradiação dos fragmentos, conforme eles caírem através da cavidade (4). Os fragmentos de rocha podem passar através da cavidade (4) individualmente, de modo que cada fragmento (2) possa ser analisado individualmente.

Dentro da cavidade de microondas (4), os fragmentos de rocha (2) são expostos a uma radiação de microondas de pulso curto de uma freqüência e de uma intensidade selecionadas. Conforme citado previamente, a radiação de microondas geralmente terá uma freqüência de 900 a 5800 MHz, embora a freqüência obviamente seja bastante variável, dependendo do mineral ou do grau de interesse. Geralmente, uma freqüência na extremidade inferior desta faixa será empregada. A radiação de microondas pulsada pode ser aplicada a uma densidade de potência abaixo daquela a qual é requerida para a indução de microfraturas nos fragmentos de rocha, conforme descrito previamente. Geralmente, a radiação de microondas pulsada será aplicada a uma densidade de potência abaixo de 1000 MW/m³.

Imediatamente após passar através da cavidade de microondas (4), uma radiação emitida a partir dos fragmentos de rocha (2) é detectada por um formador de imagem de infravermelho de alta velocidade e de alta resolução (5) e (6). Conforme citado previamente, outras

formas de detecção podem ser usadas de acordo com a invenção. Nesta modalidade, os formadores de imagem (5, 6) capturam imagens térmicas dos fragmentos de rocha (2). Embora um formador de imagem térmica seja suficiente, dois ou mais formadores de imagem térmica (5, 6) podem ser usados para uma cobertura plena da superfície de partícula de rocha. As imagens coletadas pelos formadores de imagem térmica (5, 6) são processadas usando-se um computador (7) equipado com um software de processamento de imagem. Os formadores de imagem térmica (5, 6) também podem ser usados para a determinação do tamanho dos fragmentos de rocha (2).

Alternativamente, ou em combinação, uma ou mais câmeras de luz visível podem capturar imagens de luz visível para se permitir uma determinação do tamanho de fragmento. A partir do número de pontos quentes (pixels) detectados, temperatura, padrão de sua distribuição e sua área cumulativa, em relação ao tamanho do fragmento, uma estimativa do grau de fragmentos de rocha observados será feita. Esta estimativa pode ser suportada e/ou mais teor de mineral pode ser quantificado por uma comparação dos dados com relações previamente estabelecidas entre propriedades térmicas induzidas por microondas de fragmentos de rocha graduados e dimensionados especificamente.

Com base na análise de teor, os fragmentos de rocha individuais (2) podem ser então separados usando-se um separador na forma de um soprador de ar à alta pressão (8). Qualquer dispositivo convencional apropriado pode ser usado, contudo, conforme descrito acima. O soprador de ar (8) separa os fragmentos de rocha individuais (2) com base na informação enviada pelo computador (7). Os fragmentos de

rocha individuais (2) podem ser separados com base, por exemplo, em grau estimado, teor de mineral quantificado e/ou localização de bolsões de mineral dentro ou na superfície dos fragmentos de rocha (2).

5 No aparelho descrito na Figura 1, o soprador de ar à alta pressão (8) pode receber um sinal do computador (7) para liberação do ar no momento em que um fragmento de rocha contendo um teor de mineral alto (9) passar por ele, de modo que o fragmento (9) seja dirigido para um coletor
10 específico. Pode ser permitido que partículas de grau baixo ou de ganga (10) continuem sua queda livre para um coletor em separado. Nesta modalidade em particular, para facilidade de entendimento, os fragmentos foram divididos apenas em dois grupos. Contudo, deve ser percebido que este
15 aparelho e o método podem ser configurados para a separação de fragmentos de rocha (2) através de uma escala de teor de mineral. Em uma configuração como essa, o soprador de ar à alta pressão (8) pode soprar ar a forças e/ou em direções variáveis, ou múltiplos sopradores poderiam ser usados, por
20 exemplo, para cada grau de fragmento, para direcionamento de fragmentos específicos para coletores específicos, dependendo do nível de teor de mineral e do padrão de distribuição do mineral nos fragmentos. Alternativamente, ou em combinação, cintas transportadoras separadas podem
25 ser usadas para direcionamento dos fragmentos de rocha para coletores em separado.

 Conforme discutido acima, os métodos prévios empregando uma irradiação de microondas de potência alta constante resultaram no aquecimento de fragmentos de rocha
30 completamente, produzindo uma imagem térmica borrada. As

imagens resultantes foram limitadas a essencialmente permitirem a determinação daqueles fragmentos de rocha contendo minerais de interesse e aqueles não contendo o mineral. O uso de uma irradiação de microondas de potência
5 baixa pulsada permite que os bolsões de mineral nos fragmentos de rocha e/ou na superfície dos fragmentos de rocha se aqueçam rapidamente, sem uma distribuição de calor rapidamente para a rocha circundante. Assim sendo, a imagem térmica resultante será bem mais definida e, em muitos
10 casos, a imagem permitirá que o receptáculo de mineral seja destacado dentro do fragmento de rocha. Uma vantagem óbvia disto é o fato que uma quantificação mais acurada de teor de mineral é obtida. Segue-se com a vantagem de os fragmentos de rocha poderem ser classificados através de
15 uma escala de teor de mineral, ao invés de com uma análise rudimentar de teor de mineral de nível alto ou baixo / nenhum.

De modo a ilustrar a invenção em detalhes adicionais, uma referência é feita, agora, às Figuras 2 a 11. O
20 aquecimento diferencial dos vários fragmentos de rocha é claramente ilustrado nestas figuras, as quais serão descritas brevemente abaixo.

A Figura 2 ilustra um minério de cobre de grau alto no topo da Figura. Este fragmento de minério tem temperatura
25 mais alta do que os outros fragmentos que tiveram a imagem formada. O fragmento do meio desta imagem é um minério de cobre de grau médio. Será apreciado ao se ver a imagem que o minério de grau médio é mais embaçado e, portanto, tem uma temperatura menor do que o minério de grau alto, após a
30 mesma quantidade de irradiação de microondas ter sido

aplicada. Da mesma forma, a rocha estéril, a qual está localizada no fundo da imagem, é preta, indicando muito pouco aquecimento daquele fragmento após a mesma quantidade de irradiação de microondas.

5 A Figura 3, de modo similar, provê uma imagem de fragmento de minério de grau alto no topo, um fragmento de arenito na esquerda inferior e uma rocha de desmonte na direita inferior. Mais uma vez, a amostra de minério de grau alto mostra notadamente uma temperatura mais alta do
10 que as duas outras amostras.

 A Figura 4 é uma imagem de fragmentos de rocha aquecidas por microondas simultaneamente, incluindo um minério de cobre de grau alto no topo, um fragmento de arenito homogêneo na metade à esquerda, uma rocha de
15 desmonte na metade à direita e um minério de cobre de grau baixo no fundo. De novo, uma delineação entre os graus dos vários fragmentos é clara nesta imagem.

 A Figura 5 é uma imagem de minério de cobre de grau alto na metade, a qual é distinta de forma bastante clara
20 do minério de cobre de grau mais baixo à esquerda. A amostra de granito à direita é facilmente distinguida das duas amostras de minério de cobre.

 A Figura 6 é uma imagem de um fragmento de rocha que tem graus variáveis de mineralização por toda a sua
25 estrutura. A partir desta imagem, pode ser visto como a invenção pode ser usada para esclarecer onde uma mineralização, correspondente a uma temperatura mais alta pós uma irradiação de microondas, está localizada no fragmento.

30 A Figura 7 ilustra que uma breve exposição a uma

radiação de microondas pode não apenas prover uma indicação da localização de mineralização dentro de um fragmento de rocha, mas também pode prover uma informação sobre aspectos estruturais. Nesta imagem, uma fissura é claramente visível
5 após o fragmento ter sido brevemente exposto a uma radiação de microondas.

A Figura 8 mostra a diferença entre um fragmento de minério de cobre à esquerda e uma rocha vulcânica não mineralizada à direita, após uma exposição simultânea à
10 radiação de microondas.

A Figura 9 mostra de novo um aquecimento diferencial de áreas mineralizadas em um fragmento de rocha, após a aplicação de radiação de microondas.

A Figura 10 mostra o padrão mineralizado em uma
15 amostra de minério de cobre pórfiro após uma exposição a uma radiação de microondas.

A Figura 11 mostra os aspectos de textura de um fragmento de minério revelados por uma imagem de infravermelho, após uma breve exposição a uma radiação de
20 microondas.

Obviamente, será percebido que o dito acima foi dado apenas a título de exemplo ilustrativo da invenção e que todas essas modificações e variações para isto, conforme será evidente para pessoas versadas na técnica, são
25 julgadas como caindo no amplo escopo e âmbito da invenção, conforme estabelecido aqui.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de determinação da presença de um mineral em um material, caracterizado pelo fato de que inclui:

5 a aplicação de uma radiação de microondas pulsada ao material;

a detecção da radiação emitida a partir do material, após a aplicação da radiação de microondas pulsada; e

a análise da radiação detectada para a determinação da presença do mineral no material.

10 2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a radiação de microondas pulsada aplicada ao material inclui pelo menos um pulso de até 1 segundo de duração, com preferencialmente de 0,1 a 1 segundo de duração.

15 3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a radiação de microondas pulsada aplicada ao material inclui uma pluralidade de pulsos de até 1 segundo de duração, com preferencialmente de 0,1 a 1 segundo de duração.

20 4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a radiação de microondas pulsada tem uma densidade de potência induzida em minerais almejados abaixo de 1.000 MW/m^3 .

25 5. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a radiação de microondas pulsada tem uma densidade de potência induzida em minerais almejados a partir de 1 a 100 MW/m^3 .

30 6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a radiação de microondas pulsada tem uma frequência de 900 a 5800 MHz.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a radiação de microondas pulsada tem uma frequência de 900 a 3500 MHz.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a radiação de microondas pulsada tem uma frequência de 915 a 950 MHz.

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a detecção emitida a partir do material inclui uma formação de imagem térmica do material.

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a detecção emitida a partir do material inclui a detecção da radiação de microondas emitida a partir do material.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material é alimentado para uma zona de irradiação de microondas para subsequente aplicação da radiação de microondas pulsada.

12. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material é alimentado para uma zona de irradiação de microondas em pelo menos um canal de alimentação.

13. Método de determinação da presença de um mineral em um material, caracterizado pelo fato de que inclui:

a aplicação de radiação de microondas pulsada de uma primeira frequência ao material;

a detecção de uma primeira quantidade de radiação emitida a partir do material, após a aplicação da radiação de microondas pulsada da primeira frequência;

a aplicação de uma radiação de microondas pulsada de

uma segunda freqüência ao material;

a detecção de uma segunda quantidade de radiação emitida a partir do material, após a aplicação da radiação de microondas pulsada da segunda freqüência; e

5 a análise das primeira e segunda quantidades detectadas de radiação para a determinação da presença do mineral dentro do material.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que a primeira freqüência é de 10 920 a 925 e a segunda freqüência é de 915 a 920 MHz.

15. Método, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que a análise das primeira e segunda quantidades de radiação inclui uma subtração de uma das quantidades de radiação da outra.

16. Método, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que inclui pelo menos uma aplicação adicional de radiação de microondas de uma freqüência diferente das primeira e segunda freqüências ao material, e a detecção subsequente da quantidade de 20 radiação emitida a partir do material.

17. Método de classificação de uma corrente de alimentação de material em pelo menos duas correntes, caracterizado pelo fato de que inclui:

a determinação da presença de um mineral na corrente 25 de alimentação de material, usando-se um método de acordo com a reivindicação 1 ou com a reivindicação 13; e

a separação da corrente de alimentação de material em pelo menos duas correntes, com base naquela determinação.

18. Método, de acordo com a reivindicação 17, 30 caracterizado pelo fato de que a corrente de alimentação é

separada em uma corrente de perda e uma corrente de produto.

19. Método, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que a corrente de alimentação é
5 separada em uma corrente de perda e uma pluralidade de correntes de produto com base no grau mineral do material.

20. Método, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que a corrente de alimentação é
10 separada em pelo menos duas correntes por um soprador de ar à alta pressão.

21. Aparelho para a determinação da presença de um mineral dentro de um material, caracterizado pelo fato de que inclui:

15 uma zona de irradiação de microondas que inclui um emissor de microondas adaptado para emitir uma radiação de microondas pulsada para a zona de irradiação de microondas;

um detector para a detecção da radiação emitida a partir do material seguindo-se à aplicação de radiação de microondas pulsada ao material; e

20 um analisador para a interpretação da radiação detectada e, desse modo, para a determinação da presença do mineral no material.

22. Aparelho, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o emissor de microondas é
25 uma cavidade de microondas de modo múltiplo ou de modo único.

23. Aparelho, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o detector é um formador de imagem térmica ou um sensor de microondas passivo.

30 24. Aparelho, de acordo com a reivindicação 21,

caracterizado pelo fato de que o analisador é um computador equipado com um software de processamento de imagem.

25. Aparelho, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que o material inclui rochas ou
5 fragmentos de rocha e o aparelho inclui uma câmera de luz visível para calibração do tamanho das rochas ou dos fragmentos de rocha.

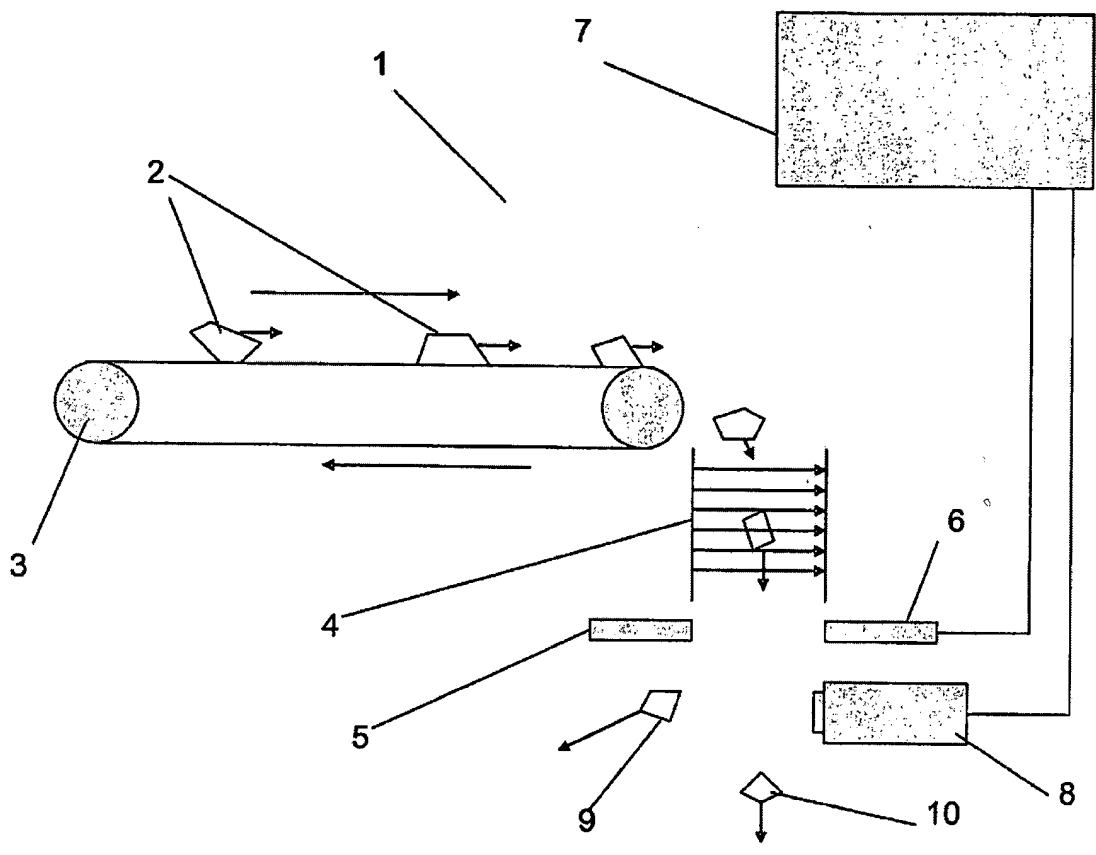
26. Aparelho, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que inclui um classificador para
10 a classificação do material em pelo menos duas correntes.

27. Aparelho, de acordo com a reivindicação 26, caracterizado pelo fato de que o classificador é um soprador de ar à alta pressão.

28. Aparelho, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que inclui um alimentador para
15 suprimento do material para a zona de irradiação de microondas em pelo menos um canal.

29. Aparelho, de acordo com a reivindicação 28, caracterizado pelo fato de que o alimentador é uma cinta
20 transportadora.

Figura 1



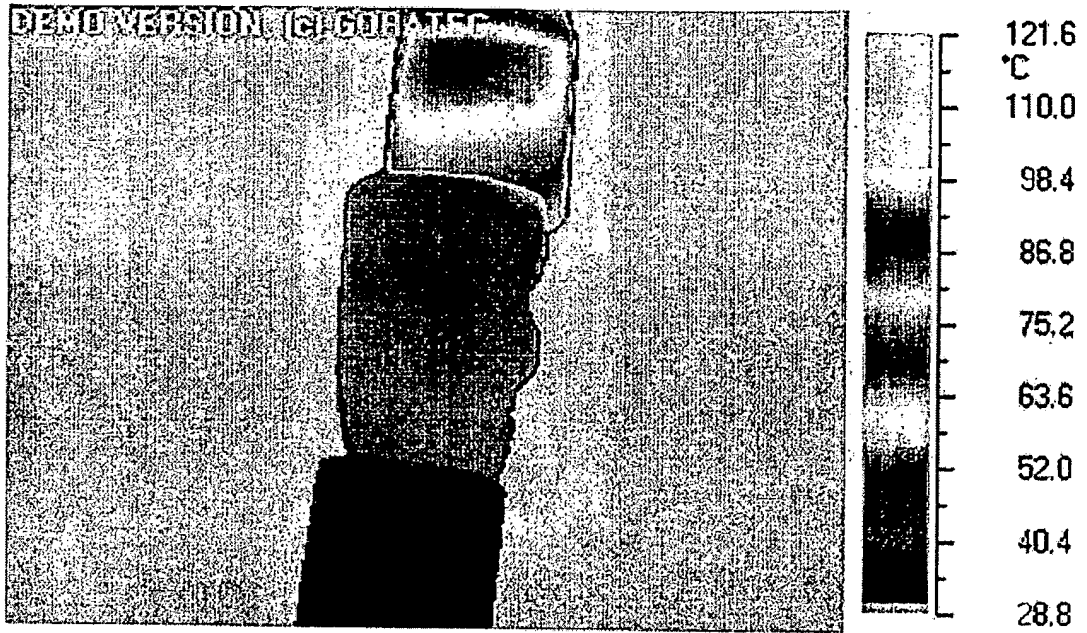


Figura 2

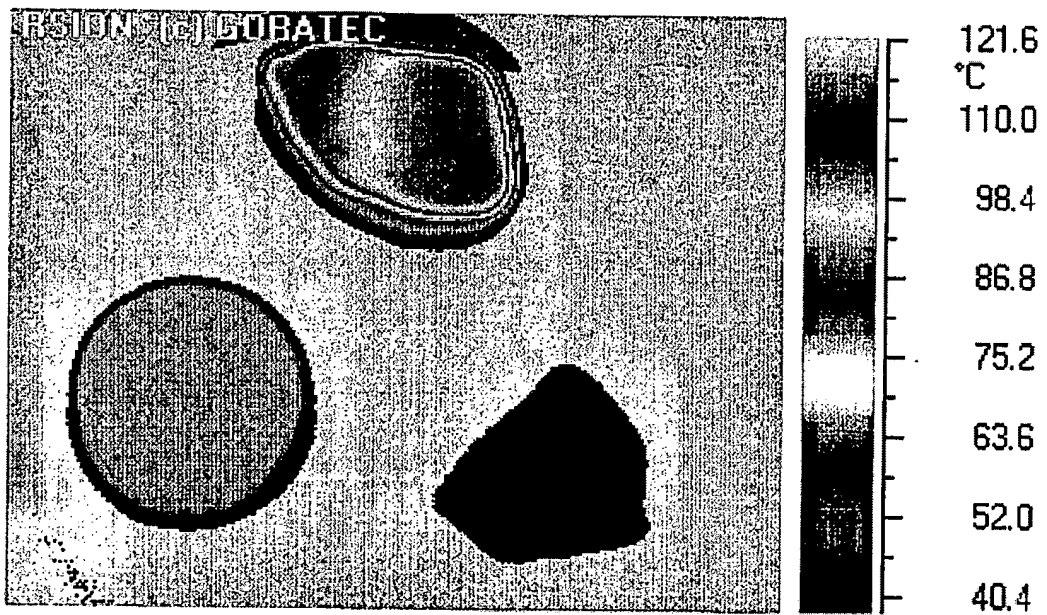


Figura 3

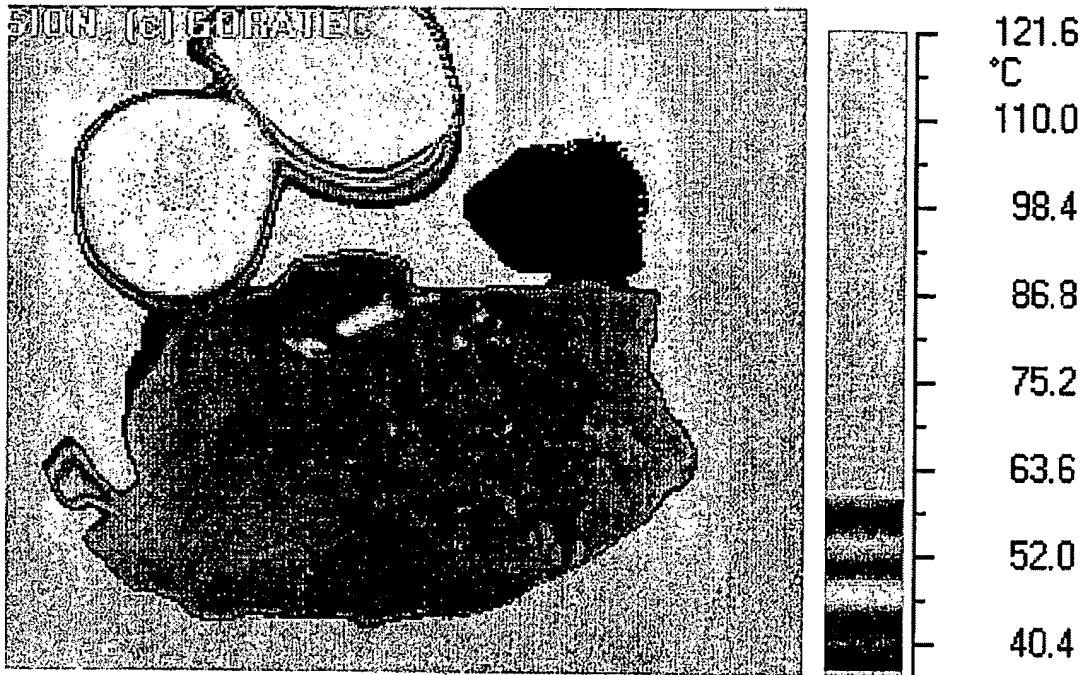


Figura 4

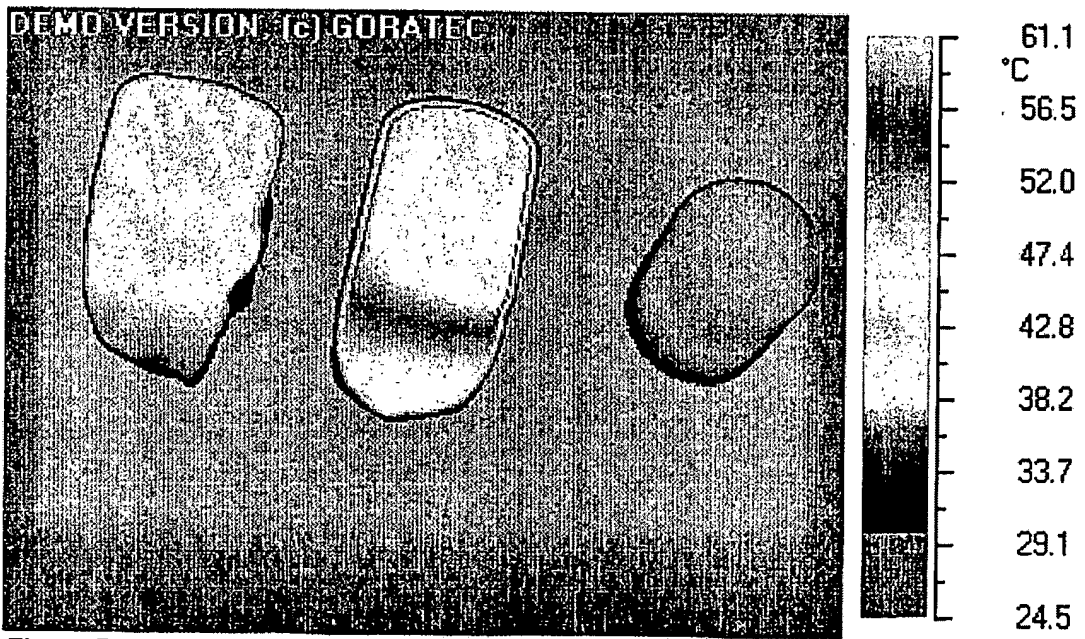


Figura 5

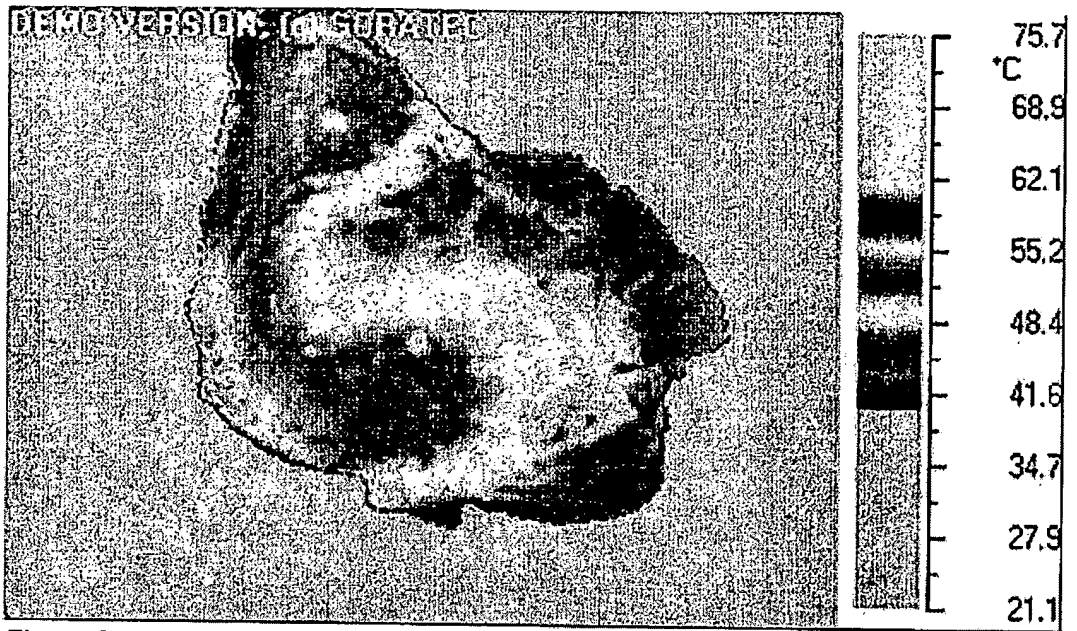


Figura 6

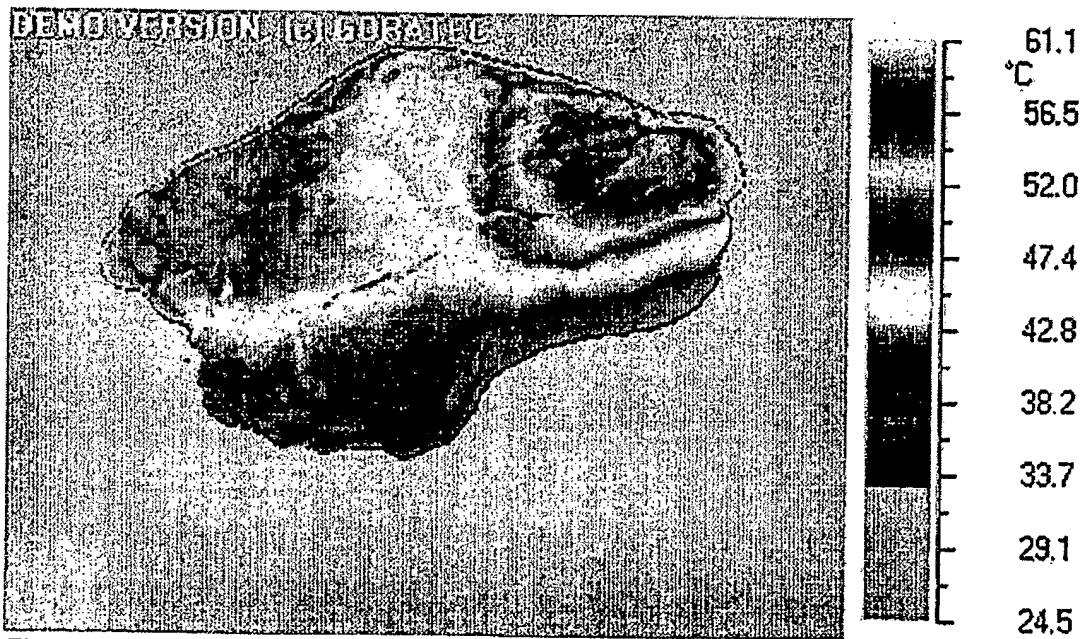


Figura 7

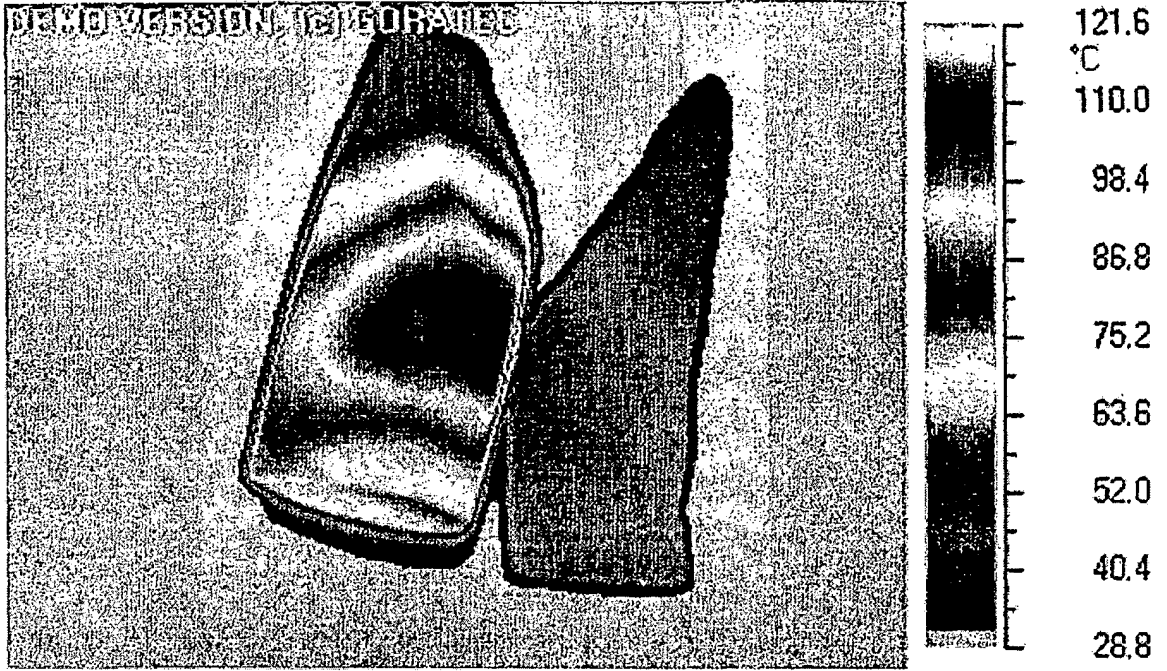


Figura 8

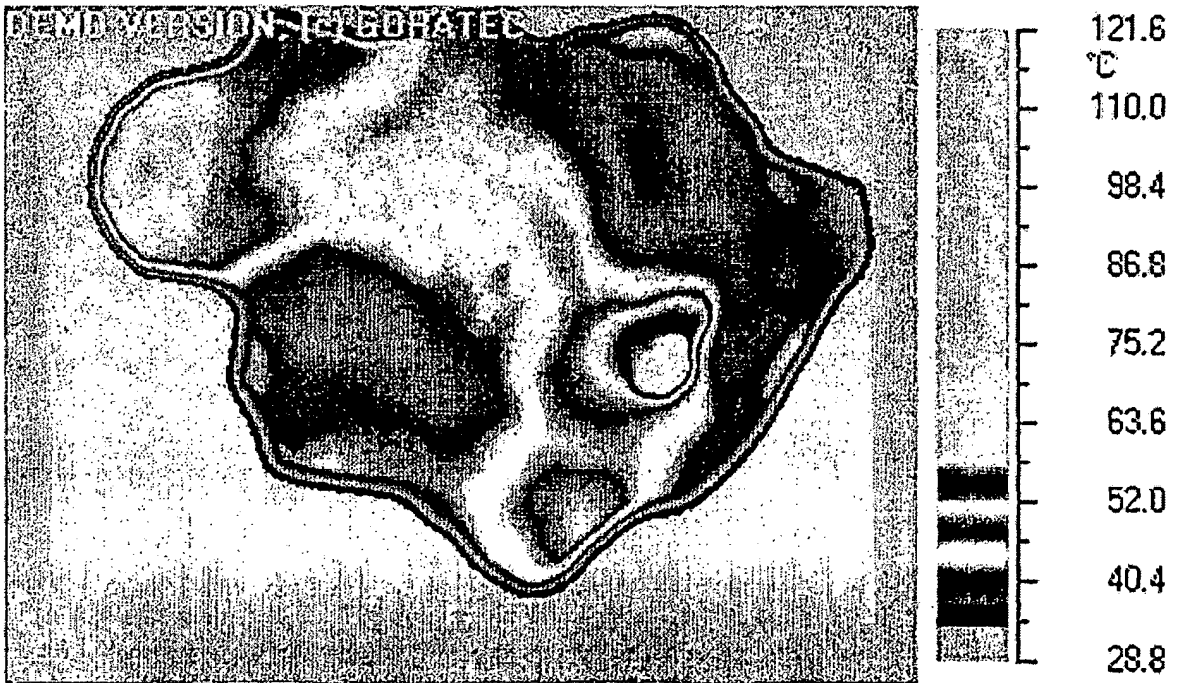


Figura 9

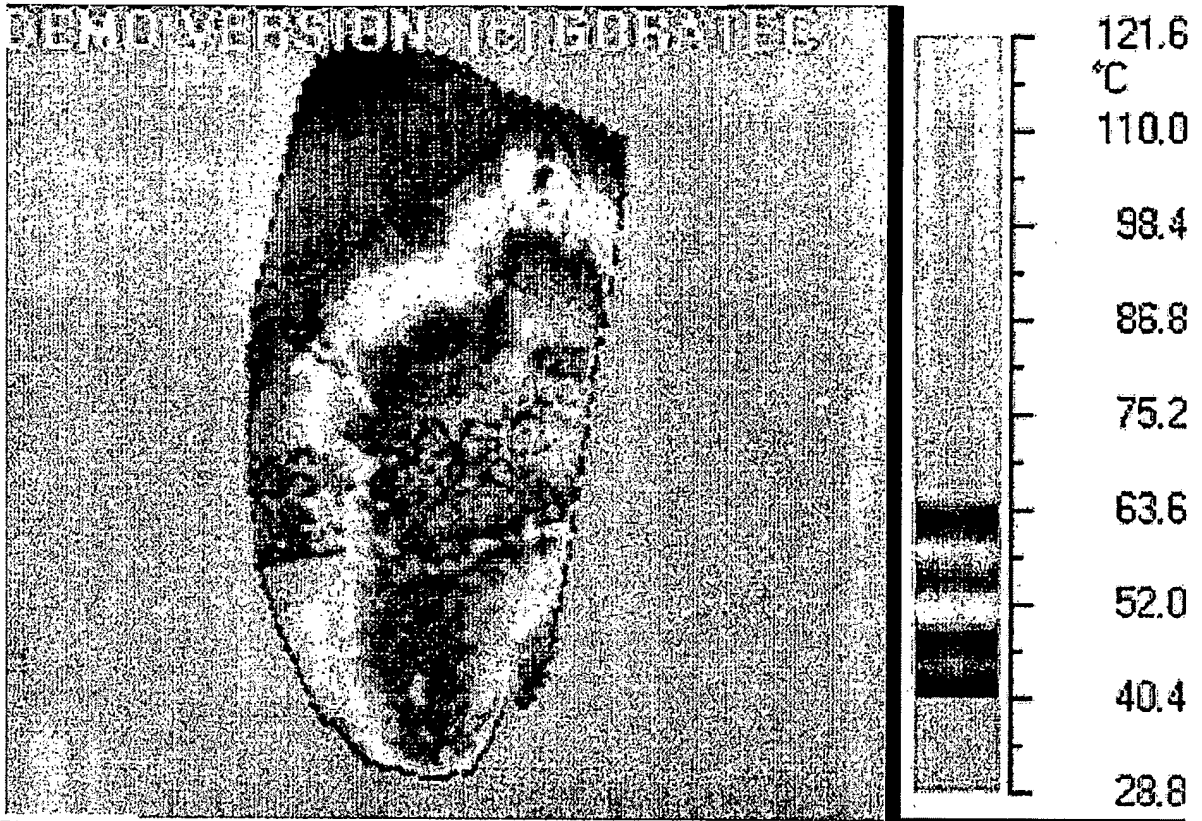


Figura 10

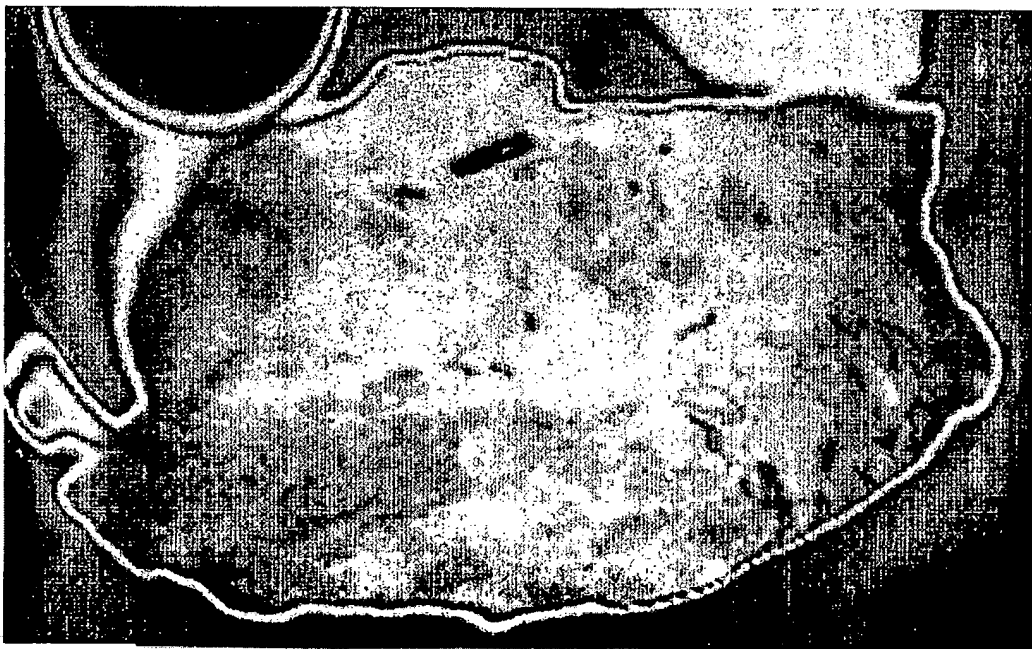


Figura 11

**MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE UM MINERAL EM UM
MATERIAL**

A invenção se refere geralmente a um método de determinação da presença de um mineral em um material, tal
5 como uma rocha, um fragmento de rocha, solo, areia ou um
outro material geológico, incluindo: a aplicação de
radiação de microondas pulsada ao material; a detecção da
radiação emitida a partir do material, após a aplicação da
radiação de microondas pulsada; e a análise da radiação
10 detectada para a determinação da presença de um mineral no
material. A invenção também provê um método de
classificação de fragmentos de rocha em pelo menos duas
correntes, usando este método, e um aparelho para a
realização do método.