

# Triagem mineral por sensores: menores custos e maior sustentabilidade na mineração

Mario Conrado Reinhardt, Karl Santório Torres – GE21 Consultoria Mineral Ltda  
Manfred Berghofer – REDWAVE BT-Wolfgang Binder GmbH, Áustria

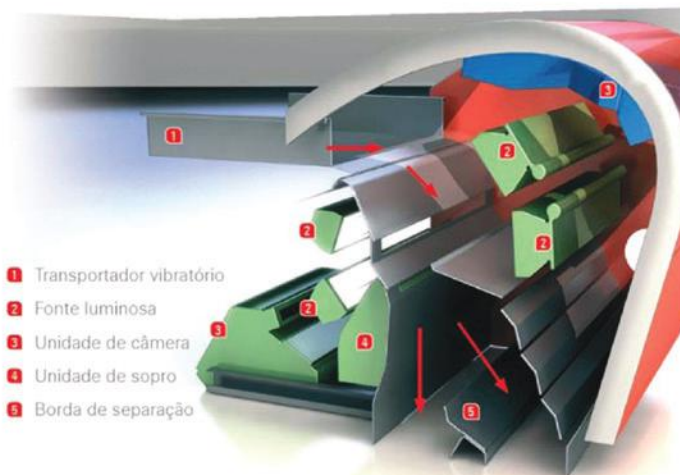
## Tecnologia Envolvida

A classificação baseada em sensores é usada largamente na indústria alimentícia, para garantir a qualidade dos produtos, removendo impurezas e componentes indesejados, como também na reciclagem de materiais, onde tem sido aplicada com sucesso, para classificação de vidro, plástico, papel e metais. Nessas áreas, as máquinas de classificação por sensores já são consideradas indispensáveis nos processos de produção, enquanto na mineração é uma área em amadurecimento e crescimento.

A classificação baseada em sensores pode ser entendida como uma "catação mecanizada". Ela representa uma combinação de detecção por sensores ópticos ou raios-X, e separação pneumática, que é realizada em fragmentos individuais de rocha. Os fragmentos de rocha são distribuídos por toda a largura da correia transportadora, em uma relação máxima de tamanho 3:1 entre os fragmentos individuais, por um alimentador vibratório. O equipamento de triagem, onde o material é escaneado, pode atuar sobre o transportador de correia ou no



Esquema de funcionamento da lógica da triagem por sensores



Layout de um sensor tipo chute e exemplo de processamento

chute (durante queda livre). O escaneamento do material em queda livre pode ser feito ainda unilateral ou bilateralmente. São possíveis granulometrias de matérias desde 3 até 300 mm.

Se um material corresponder aos parâmetros de triagem previamente configurados e identificados, será enviado um sinal à unidade de sopro. O objeto detectado é soprado com ar comprimido através de bicos de ar de alta pressão. A quantidade de bicos que são ativados para cada sopro depende do tamanho e peso do objeto a ser separado.

A classificação baseada em sensores diferencia-se da tradicional justamente por oferecer parâmetros que vão além da densidade e da forma, abrangendo características ópticas e espectroscópicas, ampliando assim a gama de minerais e rochas passíveis de seleção.

### Tipos de sensores aplicados na mineração pela REDWAVE

**ROX-C e ROX-CC** - Reconhecimento de cores por uma ou duas câmeras, largura de correia de 1.200, 1.300 e 2.000 mm, granulometria de triagem de até 300mm, classificação por cor com 3 câmeras CCD de 3200 pixels, taxa de varredura de até 6.000 Hz com 16 milhões de variações de cores. A seleção pode ser feita por cor, forma, brilho ou tamanho.

Ampla aplicação para minerais industriais, como Pegmatito, Rocha Calcária, Quartzo, Fosfato, entre outros, além de gemas, bem como para triagem de estéril ou baixo teor de minérios.

**ROX-NIR** - Reconhecimento por radiação próxima ao infravermelho, área de comprimento de onda de infravermelho próximo 800 nm - 2500 nm. Cada material absorve uma área especial de comprimento de onda, sendo a identificação feita de acordo com um espectro de referência.



Operação na mina de ferro de VA Erzberg GmbH - Áustria com seleção de Fe > 20% e redução de impurezas

Com o NIR é possível selecionar materiais em caso de não ter diferenciação de cor, como por exemplo, entre Calcita/Dolomita/Magnesita/Talco/Quartzo/Espodumênio/Feldspato. Pode ainda ser aplicado em máquinas de sensor duplo junto com o sensor de cores.

**ROX-XRF** - Classificação de acordo com a composição química através de reconhecimento por fluorescência de raios-X que detecta as propriedades químicas do material. Usando a tecnologia XRF, minérios e minerais podem ser classificados com base em seu conteúdo e teor de elementos específicos, de forma bastante precisa, bem como podem ser detectadas e separadas inclusões /contaminações indesejadas.

Os critérios de classificação podem ser baseados em apenas um elemento, em vários elementos ou uma razão entre dois elementos.

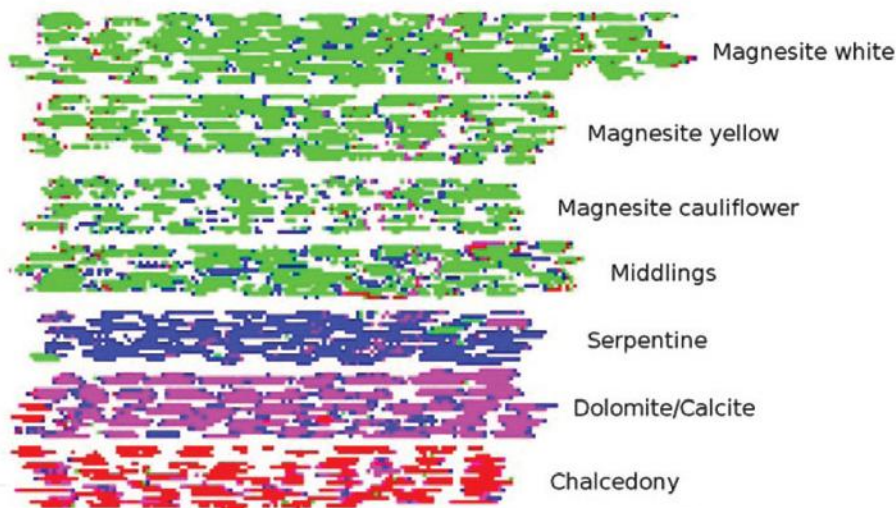
Aplicado para Ferro, Ouro, Manganês, Zinco, Cobre, Chumbo, Níquel, Alumínio, Cromita, Urânio, entre outros.

### Aplicação de Triagem por Sensores

O uso dos diversos sensores disponíveis de Cor – NIR – XRF permite o enriquecimento, aumento de purezas ou extração e seleção, de uma amplitude de minerais e minérios e composições químicas, abrindo um potencial bastante amplo de aplicação da triagem por sensores na mineração. Em função da granulometria de alimentação e massa percentual a ser ejetada, é possível atingir-se produções por hora variáveis, mas também bastante significativas, variando algo entre 15 e até 120t/h por equipamento.

Lista-se abaixo algumas aplicações de maior relevância da triagem por sensores:

- Diminuição/melhora da diluição de lavra;
- Pré-Concentração/Enriquecimento (“Waste Rejection”) de materiais ainda grossos após britagem primária e secundária para retirada de baixo teor ou rocha estéril;
- Produto e concentrado final para minerais industriais e metais (Ex. “lump ore”, rocha calcária, quartzo puro, separação de gemas, feldspato, etc.);
- Melhor qualificação de produtos minerais por ajustes/eliminação de contaminantes (Ex. Fe, Mg, SiO<sub>2</sub> etc.);
- Reaproveitamento de materiais de baixo teor ou depósitos de minérios marginais (seleção de minerais valiosos e liberados);
- Triagem de pelotas/carga em circuitos autógenos e semi-autógenos.



Exemplo de escaneamento NIR de diversos minerais

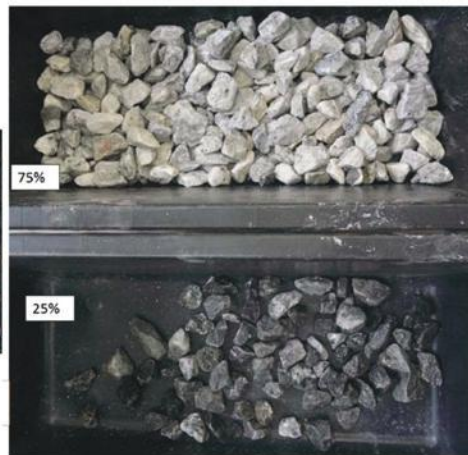
## Testes e Potenciais Benefícios e Ganhos Econômicos

Lista-se abaixo alguns resultados alcançados em avaliações de projetos recentes de triagem;

Tipo de Minério	Índices alcançados	Tipo de Sensor	Resultados Econômicos Projetados
Ouro tipo veio estreito - Alto Teor	Redução de diluição em 74% com recuperação de ouro de 98,70%	ROX-CC – triagem em 2 etapas	Além de viabilizar uma lavra mecanizada de veio estreito (<1m) e aumentar a recuperação de lavra, projeta-se redução de OPEX de cerca de US\$ 100 por onça com redução significativa na geração de rejeitos finos.
Ouro disseminado com sulfetos em Granodiorito Hidrotermalizado de baixo teor (tipo Bulk Mining)	Aumento de teor de ouro em 47% com redução de massa em 50% e recuperação de 95% de ouro	ROX-CC – triagem em 1 etapa	Significativa redução de diluição e redução de OPEX de processo em aprox. 30%, além de viabilizar minérios de menor teor e redução significativa na geração de rejeitos finos
Cobre Disseminado - baixo teor	Aumento de teor em 50 % com redução de massa de 54%	ROX-XRF – triagem em 1 etapa	A redução de teor de corte viabiliza a exploração de minério de baixo teor; redução do transporte mina-planta; redução de OPEX em aprox. 30% e de rejeitos finos.
Ouro sulfetado – teor médio	Aumento de teor em 60% e redução da massa total em 66%.	ROX-XRF – triagem em 1 etapa	Redução significativa de custo de transporte mina - planta; redução de OPEX em aprox. 50%;



Exemplo de teste positivo de eliminação de impurezas - diluição interna e externa



### Importância da Avaliação Macroscópica Geológica

A triagem por sensores oferece grande potencial de aplicação com uma nova maneira de separação de materiais com sua principal exigência relacionada à necessidade de liberação em granulometria grossa (5mm a 300mm), mas exige conhecimento nos trabalhos de amostragem, testes e calibração de processo devido à heterogeneidade dos fatores relacionados às características macroscópicas e composicionais destes materiais.

Pelo fato de tratarmos de seleção de materiais “grosseiros”, a avaliação macroscópica,

que é hoje muitas vezes negligenciada devido à facilidade de moer todo material lavrado e tratá-lo, é fundamental, ou seja, o entendimento da variação de relação entre mineralização, rocha hospedeira e rocha encaixante, assim como a presença de materiais estéreis ou de baixo teor e a sua distribuição são fundamentais.

Assim a avaliação geológica é fundamental e estratégica, já que não basta apenas amostrar, preparar, analisar e mandar para o laboratório de processamento. Neste sentido, a boa observação e descrição macroscópica apresenta questionamentos importantes, que devem ser considerados, a exemplo de:



Exemplo de variações macroscópicas significativas de minérios e rochas hospedeiras e encaixantes de um depósito mineral importantes na caracterização de um potencial estudo de aplicação de sensores.

▪ Qual a mineralogia, granulometria, liberação e composição química?

▪ Quais são as variações entre mineralização, rocha hospedeira e rocha encaixante?

▪ Qual a relação entre teor e variações das características mineralógicas?

▪ Que tipo de sensor seria mais adequado para separar os diversos materiais?

▪ Qual é a diluição interna dos corpos de minérios?

▪ Qual o comportamento dos elementos “contaminantes” do minério?

▪ É possível separar algo para melhorar a qualidade do produto?

### **Algumas Implicações no Planejamento de Lavra**

Objetivando explorar o real potencial do uso de sensores, o planejamento e controle de lavra

deve levar em conta cada vez mais as diversas tipologias de minério em nível de mineralogia e características macroscópica e não apenas teores de minério. O projeto de lavra deverá considerar não somente a seletividade e o teor de corte ou o dimensionamento dos equipamentos e escala de produção, mas também a avaliação de controle das variações mineralógicas mais úteis.

Ressalta-se de que, com a aplicação da triagem por sensores, o planejamento de lavra poderá também admitir maiores fatores de diluição com conseqüente diminuição do custo de lavra e aumento de recuperação sem afetar os custos finais da planta.

Novos projetos deverão incluir nas avaliações geometalúrgicas o uso de sensores tanto na pré-concentração, quanto no processamento final.

### **Vantagens em aplicar a triagem por sensores**

✓ Maior qualidade e teor do produto obtido devido à separação de impurezas e materiais de menor qualidade, com redução da diluição externa antes da moagem;

✓ Redução dos custos de transporte na mina, uma vez que apenas material mais enriquecido será transportado;

✓ O material de baixo teor ou estéril já pode ser armazenado diretamente na mina e em granulometria grossa;

✓ Menor necessidade de água no tratamento de minérios por trabalhar a seco e reduzir a massa a ser processada;

✓ Menores custos no processamento subsequente com redução de insumos de tratamento e de energia;

✓ Materiais de antigos “Bota-Foras” podem ser reprocessados para recuperar material valioso e potencial aumento de vida útil da mina;

✓ Pode se aplicar uma lavra menos seletiva e com maior recuperação e, conseqüentemente, obter custos de mineração mais baixos;

✓ Redução nos investimentos na planta de tratamento devido ao uso de teores de alimentação maiores;

✓ Redução de riscos e custos ambientais por manipular menos rejeitos finos;

✓ Apresenta baixo OPEX e em geral rápido payback. □