

O EMPREGO DA TECNOLOGIA NIR EM PROCESSOS DE MEDIÇÃO NAS INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS E MINERADORAS¹

Claudio M. Gonçalves²

Resumo

A utilização de sistemas de monitoramento de processos nas indústrias de mineração e siderurgia tem sido crescente, sobretudo diante do desenvolvimento de tecnologias cada vez mais aptas para atender variáveis de processos de modo rápido e confiável. Dentre os avanços tecnológicos recentes no que tange ao monitoramento de processos, destaca-se o uso da tecnologia NIR (*Near Infra Red* – próximo ao infravermelho), que vem sendo aplicada com sucesso no acompanhamento de variáveis de processos em diferentes etapas como filtragem, beneficiamento, carregamento, etc. Uma das motivações deste trabalho é a possibilidade de se mostrar o enorme potencial da tecnologia infravermelha, como ferramenta de monitoramento de propriedades relevantes de sólidos minerais durante a produção e seu processamento. Esta técnica tem sido aplicada freqüentemente como um método analítico de medição que fornece resultados rápidos e confiáveis, possibilitando a realização de análises não destrutivas, e a obtenção de atrativos retornos econômicos com a medição *on-line*. Além disso, a instrumentação é relativamente simples, os sistemas ópticos podem ser facilmente adquiridos e quase todos os compostos orgânicos minerais absorvem a luz infravermelha nesta região.

Palavras-chave: Infravermelho; Tecnologia; Umidade.

NIR TECHNOLOGY JOBS IN PROCEDURES FOR MEASURING THE STEEL INDUSTRY AND MINERALS

Abstract

The use of monitoring processes in the mining and steel industry has been growing, especially given the development of technologies more suited to meet variable process quickly and reliably. Among the recent technological advances in relation to the monitoring process, we highlight the use of technology NIR (Near Infrared), which has been successfully applied in the monitoring of process variables at different steps such as filtering, processing, loading, etc.. One of the motivations of this work is the possibility to show the enormous potential of infrared technology as a tool for monitoring relevant properties of solid minerals during the production and processing. This technique has been used frequently as an analytical method of measurement that provides rapid and reliable results, enabling the non-destructive analysis and obtaining with attractive economic returns on-line measurement. In addition, the instrumentation is relatively simple optical systems can be easily purchased and almost all organic compounds absorb infrared light minerals in this spectral band.

Key words: Infrared; Technology; Moisture.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES

² Engenheiro Eletrônico, Gerente de Produto - MS Instrumentos Ind. Ltda.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho busca atingir alguns objetivos, entre eles o de apresentar o emprego da tecnologia NIR exemplificado através de um analisador que quantifica o teor de água contido em minerais, e utilizado para determinação de umidade em processos de metalurgia, bem como seu emprego em diferentes e etapas de processos de mineração e siderurgia. Algumas derivações pertinentes ao assunto também são tratadas como condições ambientais, físicas e mecânicas para instalação, e operação em condições agressivas do analisador de umidade em processos, os métodos alternativos e algumas derivações do uso da Tecnologia NIR na Indústria Metalúrgica.

2 A TECNOLOGIA NIR UTILIZADA PARA DETERMINAR A QUANTIDADE DE ÁGUA CONTIDA EM SÓLIDOS MINERAIS

Em diversos setores industriais, entre eles os de mineração e siderurgia, a medição de umidade é uma tarefa fundamental para se estabelecer qualidade e garantia do processo. O método clássico de medição de umidade tradicionalmente empregado requer a análise de uma amostra em laboratório, que é um processo destrutivo, caro e demorado. Além do mais, como a umidade da matéria-prima pode variar bastante ao longo do dia, são necessárias várias medições em laboratório ao longo do período.

Por outro lado, com o processo de medição on-line de umidade, a percentagem de água é conhecida instantaneamente, logo tem-se controle do processo de produção sem perdas, com o lucro máximo e qualidade. Nos mercados globais dos nossos dias, poucas indústrias siderúrgicas ou metalúrgicas podem se dar ao luxo de não buscar aumentar a eficiência de seu processo. Investimentos intensos nas mais recentes tecnologias de automação, colocaram grupos de profissionais responsáveis pela operação conscientes de que a tarefa quase impossível de aumentar a eficiência do processo depende da precisão de analisadores em linha, entre eles Analisadores Contínuo de Umidade. A informação passada depois de algumas horas pelo laboratório e a pequena dimensão das amostras não são, estatisticamente, significativas para correção do processo.

2.1 O Princípio de Funcionamento do Analisador Infravermelho

A água é um composto químico naturalmente associado aos minérios em geral. Durante o processamento do mineral, seja no beneficiamento, na redução do tamanho de partículas, no peneiramento, na mistura, secagem e transporte, o percentual de água presente precisa ser bem conhecido. O mesmo impacta diretamente nos custos de aquisição, na eficiência do processo, condições ambientais, entre outros. Ao longo dos anos, várias tecnologias para medição de umidade foram desenvolvidas com este propósito, e tiveram seus desempenhos limitados devido a fatores agressivos como abrasão, pó em suspensão, impactos mecânicos, variabilidades dimensionais, químicas, cores etc. A utilização de medidores de umidade por si somente, pelos usuários, mostrou não produzir a satisfação desejada. O treinamento adequado do instrumentista, do usuário e do técnico do fabricante de instrumento, em ambos; no processo e no sistema de medição, foi ditado pelo mercado como forma de assegurar a satisfação do usuário.

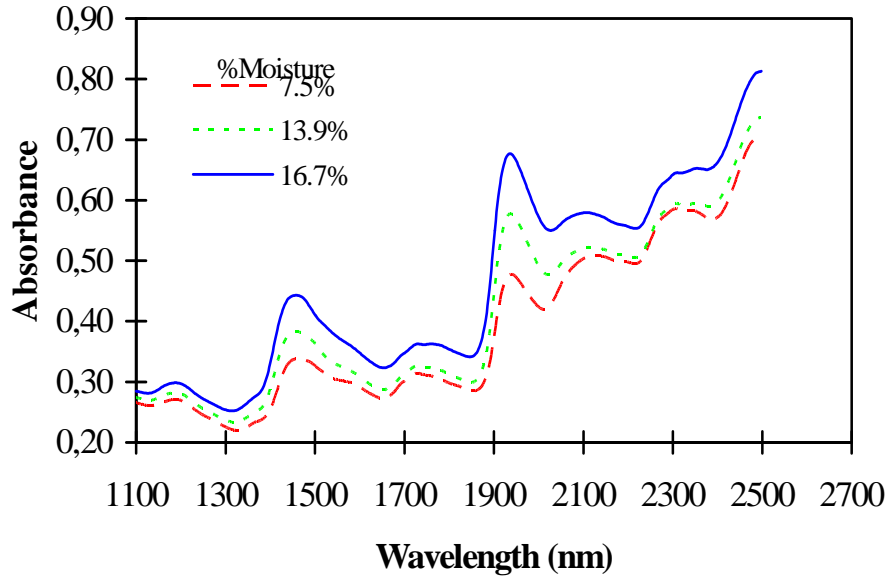


Figura 1. Espectro-fotografia do feixe NIR

Na espectro-fotografia a região do infravermelho próximo consiste na faixa onde as ligações C-H, O-H e N-H possuem comprimentos de onda de absorção característicos e conhecidos. Estas absorções não são muito fortes, e muitas vezes são passíveis de interferências, havendo assim a necessidade da aplicação de métodos de calibração multivariável, além de combinações paralelas de outros comprimentos de onda e algoritmos peculiares para determinações quantitativas.⁽¹⁾

Tabela 1. Absorção de diferentes constituintes

Grupo Funcional	Constituinte	Faixa de absorção (nm)
O-H	Água	1.940 - 1.430
	Álcool	2.100 - 1.600
C-H	Óleo	1.670 - 1.760
	Adesivos/Plásticos	2.100 - 2.500
N-H	Aminas/Amônia	1.950 - 1.500
	Proteína	2.180 - 2.050

O analisador *on-line* utiliza o fenômeno de que muitas substâncias absorverem energia próxima do infravermelho (NIR) em comprimentos de onda específicos e não absorverem energia NIR de outros comprimentos de onda.⁽²⁾ Ao medir-se a umidade em uma mistura (base), pelo menos dois comprimentos de ondas de energia NIR são escolhidos. Um é o comprimento de onda de referência que não é absorvido fortemente nem pela base e nem pela água.⁽³⁾ O outro comprimento de onda é o comprimento de medida, que é fortemente absorvido pela água, mas não é fortemente absorvido pela base. O instrumento utiliza filtros de interferência óptica NIR de precisão montados num disco giratório. Essa disposição permite que pulsos de referência e de medição de energia NIR passem alternadamente através do disco.

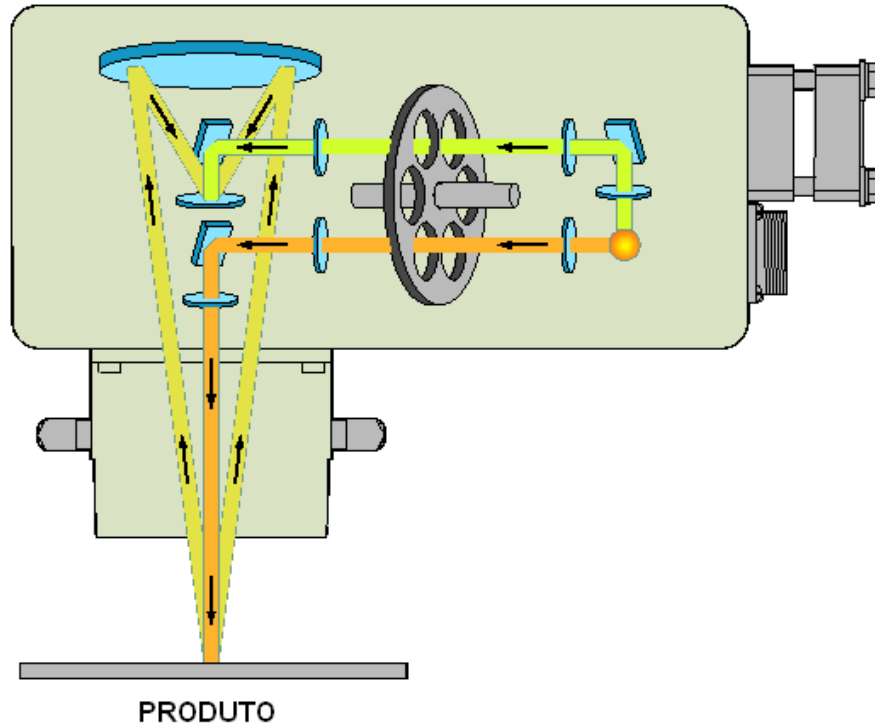


Figura 2. Disposição interna do feixe NIR em um sensor

O feixe de luz NIR selecionado opticamente é então focado sobre a amostra. Primeiramente, o feixe de referência é projetado sobre a amostra e a energia refletida é medida. A seguir, o feixe de medição é projetado sobre a amostra e a sua energia refletida é medida. O feixe de referência indica a quantidade de energia refletida esperada. O feixe de medição é parcialmente absorvido pelo componente de interesse (neste caso a água) e desse modo não reflete tanta energia quanto o de referência. As energias dos comprimentos de onda de medição e de referência projetadas sobre o produto são denominadas feixes externos (ou de produto). Os dois sinais correspondentes aos feixes de produto (referência e medição) provenientes do detector são combinados para formar uma razão (referência dividida pela medição). A diferença entre essa razão e a razão obtida em uma amostra contendo um nível distinto de umidade é proporcional à diferença de umidade contida nas duas amostras. O analisador é então calibrado para fornecer uma leitura digital direta da concentração de água.⁽⁴⁾

Uma característica única do analisador é a utilização de até três feixes adicionais de luz infravermelha para compensar desvios indesejáveis causados por alterações no produto medido, como composição química, cor, etc. Essa característica proporciona estabilidade adicional na medição de amostras onde os múltiplos componentes encontram-se simultaneamente mudando. Os dois feixes de dupla referência são projetados sobre o produto como parte do feixe de produto e internamente como parte do feixe interno. Os sinais provenientes dos feixes externos e internos são combinados utilizando-se o algoritmos particulares para se produzir um cálculo de “razão real”.

3 O ANALISADOR NIR INSTALADO NO PROCESSO

Em 1988 foi introduzido o primeiro medidor de umidade on-line na planta pelotização de minério da CVRD, e em alguns meses de teste o mesmo demonstrou excelentes resultados. Em decorrência deste, foram adquiridos instrumentos para todas as seis plantas. Em 1992 foi a vez da SAMA (Mineração de Amianto), cujos propósitos eram proteção ambiental e melhora na qualidade das fibras. Em 1998 já com vários equipamentos instalados em minerações, um estudo realizado pelo Sistema de Gestão da Produção de Minério – SGPM, na planta da CVRD em Carajás, demonstrou a precisão do sistema na medição da umidade do minério de Ferro. Com o compromisso em melhorar continuamente seus produtos e aplicações o analisador *on-line* tem sido uma solução definitiva para medição de umidade de minerais.



Figura 3. Analisador NIR instalado para medição de umidade em minério de ferro.

Uma grande indústria do ramo de mineração necessitava de um rápido e eficaz método de determinar a umidade contida no minério de ferro. Havia uma necessidade de se manter e controlar a umidade do minério P.E.C.A. (*Pellet Feed*) em aproximadamente 8%, já que valores acima deste alvo causavam entupimento nos filtros de secagem e conseqüentemente rejeito de material. Em alguns casos, pilhas de emergência eram acionadas para suprir o abastecimento e garantir metas de produção até que providências operacionais fossem tomadas para baixar a umidade verificada; isto deveria ocorrer em um rápido intervalo de tempo de modo a minimizar perdas de produção.



Figura 4. Analisador NIR instalado em Siderurgias.

Esta mesma indústria já havia obtido sucesso e otimização do processo de pelletização de minério de ferro, instalando um medidor para medir a umidade no transportador antes deste alcançar os discos de formação de pellets. O controle de umidade em indústrias de mineração também pode ser feito na etapa de embarque do minério para navios, já que o armazenamento em pátios torna as pilhas de minério sujeitas a variações climáticas, principalmente em épocas de chuva. Neste caso, o analisador é instalado em transportadores na linha de produção final para monitorar a umidade do minério permitindo o controle e manobras de operação como abertura para recuperação de pilhas e em certos casos até uma paralisação total da usina.

Outra aplicação interessante, é comumente observada em indústrias siderúrgicas, as quais produzem uma mistura de diversos minerais denominada sinter. Neste caso, o analisador pode medir em linha a umidade destes minerais de composição e também a mistura final. Um exemplo comum nesta situação é o controle da umidade do carvão, permitindo que o carregamento deste para o alto forno (onde também se processa a redução de minério de ferro) possa ser feito com base no “peso seco”. O carvão úmido, significa instabilidade na temperatura nos altos-fornos, gastos em excesso de carvão e qualidade ruim do gusa.

4 DISPOSITIVOS ASSOCIADOS PARA OPERAÇÃO EM CONDIÇÕES AGRESSIVAS DO ANALISADOR NIR EM PROCESSOS

O ambiente de uma usina siderúrgica ou de um complexo minerador é considerado como principal adversidade para instalações e operações de analisadores on-line. Temperatura elevada, poeiras em excesso na atmosfera, vapores e gases provenientes de materiais e processos, são apenas alguns dos problemas enfrentados por fabricantes que se propõem a desenvolver soluções que sejam compatíveis com o meio físico e que tenha a robustez necessária para garantir confiabilidade dos resultados. Outros problemas verificados em processo, tais como disposição do material na correia, variação granulométrica, camada irregular e fluxo não constante de material também exigem que os analisadores se adequem cada vez mais através da criação de dispositivos auxiliares de instalação.

Mostramos a seguir alguns acessórios do analisador o qual o tornam adequado para operar nas mais diversas condições de processos (Figura 5).

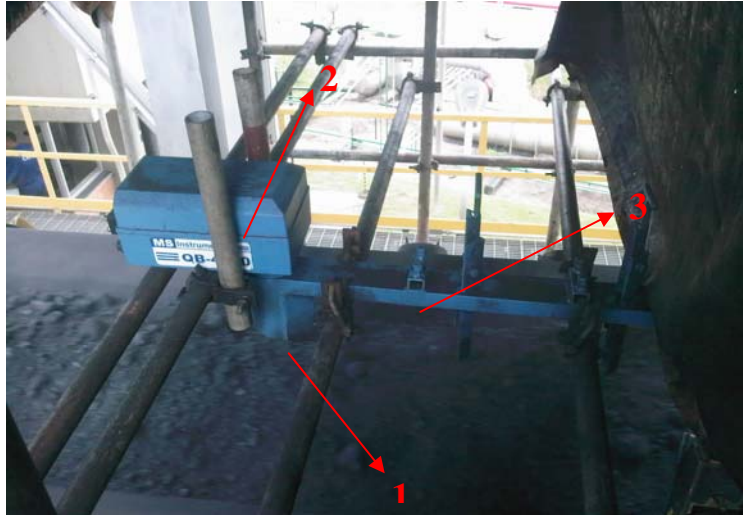


Figura 5. Dispositivos de instalação de um Analisador NIR

4.1 Limpeza da Lente Óptica

Um fluxo de ar comprimido, devidamente tratado para torná-lo livre de impurezas, como óleo e umidade é necessário na instalação. O Analisador dispõe de um tubo especial com dispersador de ar para pressurizar positivamente este tubo e impedir entrada e conseqüentemente acúmulo de pó na lente por onde sai o feixe NIR.

4.2 Invólucro com Construção (IP) e Robustez Adequada

A robustez do analisador é a sua principal garantia de proteção. A parte interna do analisador NIR é composta de lentes e espelhos precisamente alinhados, que precisam manter esta condição para garantir sua operação. O invólucro também deve ser totalmente vedado para impedir a entrada de pó em seu interior. Atualmente usam-se alumínio fundido, com parede espessa e conexões adequadas às condições do ambiente.

4.3 Acondicionamento do Analisador no Processo

Para um funcionamento correto e adequado do Analisador NIR é necessário levar em consideração a dinâmica do processo e as necessidades do equipamento. A montagem do medidor de umidade em qualquer correia transportadora necessita de um dispositivo para permitir adequar o processo à condição ideal de medição e proporcionar uma leitura precisa e confiável do analisador. Este dispositivo foi desenvolvido com os seguintes propósitos:

- nivelar a camada de material na correia, proporcionando distância constante entre o sensor e o produto;
- proteger o sensor contra choques mecânicos do material, provenientes de sobrecargas na correia; e
- proporcionar o enclausuramento necessário do sensor, protegendo-o de fontes de luzes externas emissoras de infravermelho, como por exemplo, a luz solar.

Projetado e construído em liga Ferro-Manganês, para permitir durabilidade em processos agressivos o dispositivo possui ajustes seqüenciais para garantir a uniformidade da camada, e deve ser instalado antes do analisador. Desta forma o

usuário garantirá a estabilidade e a precisão do medidor em relação à calibração feita.

5 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DETERMINAÇÃO DE UMIDADE, VANTAGENS E DESVANTAGENS

São vários os princípios de funcionamento dos instrumentos usados para medir a umidade de materiais em plantas mineradoras e siderúrgicas, entretanto, por se tratar de ambientes agressivos e severos, a maioria das soluções oferecidas pelo mercado não é projetada para ter a robustez adequada e nem prever as condições adversas do próprio processo. A seguir serão analisados os principais métodos de medição.

5.1 Métodos Indutivos

Os métodos Indutivos são os mais usados, de simples instalação, porém não apresentam reprodutividade e sua principal desvantagem é que a sua precisão depende da distribuição uniforme da umidade no material. Outras desvantagens dos medidores indutivos são: o requerimento periódico de recalibração e a relativamente estreita faixa de medição. Além disso, por necessitar entrar em contato direto com o material, permitem apenas estimar a umidade por amostragem, inviabilizando um controle contínuo da produção.

Essa característica torna os medidores elétricos inadequados para o monitoramento do processo. Existem dois tipos de medidores indutivos: por capacitância e por resistividade, podendo ser destrutivos ou não. Métodos destrutivos são aqueles que modificam ou destroem, inviabilizando o uso do material analisado.

5.1.1 Método capacitivo

O método capacitivo parte do princípio de que a capacitância do material é diretamente proporcional a sua umidade. Mede-se a capacitância entre dois polos coaxiais, tendo o próprio produto como material dielétrico. Além da umidade, a leitura pode ser afetada pela composição química, densidade, forma, dimensões e a não homogeneidade do material, temperatura, frequência usada, entre outros fatores.

Os medidores por capacitância têm um limite inferior de medição de 6% e superior de 29%, e são menos sujeitos a erros devido à má distribuição da umidade do produto. Duas grandes desvantagens são a dificuldade em manter os medidores por capacitância calibrados e a precisão de vários instrumentos entre si.

5.1.2 Método resistivo

O método resistivo parte do princípio que a resistência do material é dependente de sua umidade. Para isso, aplica-se uma tensão a fim de induzir uma corrente através do produto, permitindo assim, estimar a sua resistividade. Este tipo de equipamento é amplamente usado nas operações comerciais de secagem e de beneficiamento, principalmente pelos fatos de ser rápido, relativamente preciso e possuir baixo custo.

5.2 Método por Microondas

Os analisadores de umidade por microondas fazem parte de uma categoria de medidores que não necessita entrar em contato direto com o material. Esses

instrumentos funcionam baseados no princípio de que a água possui uma constante dielétrica muito alta se comparada a muitos outros materiais. Quando a energia microondas entra em contato com materiais úmidos elas sofrem atraso (conseqüentemente mudando de fase) e atenuam devido à transferência de energia para o material. Dessa forma, medindo a mudança de fase e a atenuação de uma microonda que passa através do material úmido, pode-se inferir a umidade. A grande desvantagem desse método é que a mudança de fase e a atenuação também dependem da quantidade de material presente entre a antena transmissora e a receptora. Conseqüentemente, para uma medição precisa, torna-se necessário o uso de um compensador da densidade do material, tornando o projeto mais complexo e oneroso.

5.3 Método Nuclear

A medição é feita através da tecnologia *Fast Neutron Gamma Transmission* e mede a densidade de Hidrogênio no meio, e não a umidade propriamente dita. Em processos normalmente requer geometria regular, medição de densidade (feita também com radiação gama), e compensação para o Hidrogênio nas moléculas orgânicas. Alguns isótopos utilizados possuem meia vida de 2.6 anos, o que implica em frequentes substituições da fonte radioativa durante a vida útil do equipamento. Outros fatores relevantes são as burocracias típicas para implantação devido a necessidade de licenças especiais e operadores capacitados, além de custos de aquisição e manutenção que em alguns casos podem representar mais do que 10 vezes o equivalente outras tecnologias. Atualmente, a maioria das indústrias que utiliza esta forma de medição está optando por outras alternativas devido aos impactos nas questões ambientais.

6 DERIVAÇÕES DA TECNOLOGIA NIR NA INDÚSTRIA METALÚRGICA

6.1 Medição de Coating (Camada) de Óleo e Resinas em Processo de Laminação



Figura 6. Analisador NIR na Industria metalurgia - Estanhamento

Em processos de laminação a frio comumente se aplica uma fina camada de óleos protetivos sobre folhas de metal com o objetivo de lubrificar e proporcionar o

tratamento necessário para o recebimento de resinas e outros revestimentos. As oleadeiras, como são chamadas as máquinas laminadoras, aplicam em média de 5 mg/m² a 20 mg/m² de camada e o custo do óleo é a principal razão para se medir on-line, para permitir redução de excessos e conseqüentemente estabelecer uma uniformidade necessária. O Analisador infravermelho neste caso é configurado com um comprimento de onda típico para ser absorvido pela ligação molecular do óleo, da mesma forma que na medição da umidade. A ligação H-C do revestimento reage com a luz infravermelha e a conversão é feita para leitura em peso por área de revestimento (g/m²). Outra utilização do analisador infravermelho em siderúrgicas é na área de pintura, onde tintas a base de água são aplicadas sobre as folhas metálicas, na preparação da superfície e a gramatura aplicada precisa ser conhecida.

7 CASES DE APLICAÇÕES

7.1 Medição de Umidade em Finos de Coque

- Instalação: correia que abastece o alto forno;
- objetivo: controle da injeção de finos no alto forno; e
- range: 0% a 13%.



Figura 7. Umidade em finos de coque

7.2 Medição de Umidade em Polpa Retida de Minério de Ferro

- Instalação: torre de amostragem;
- objetivo: estudo da aplicabilidade da tecnologia; e
- range: 3% a 8%.



Figura 8. Umidade em polpa de minério de ferro

7.3 Medição de Umidade em Minério de Ferro

- Instalação: usina de pelotização;
- objetivo: monitoramento da filtragem; e
- range: 4% a 8%.



Figura 9. Umidade em minério de ferro – Pelotização

7.4 Medição de Umidade em Sinter (*Mix Feed*)

- Instalação: saída do misturador;
- objetivo: controle de adição de água no misturador; e
- range: 0% a 13%.



Figura 10. Umidade em sinter (raw mix)

7.5 Medição de Umidade em Bauxita

- Instalação: saída do secador de bauxita;
- objetivo: controle do secador; e
- range: 0% a 12%.



Figura 11. Umidade em bauxita

7.6 Medição de Umidade em Coque

- Instalação: carregamento de coque;
- objetivo: monitorar a eficiência; e
- range: 0% a 4%.



Figura 12. Umidade em coque – Alto Forno

8 CONCLUSÃO

Nos mercados globais dos nossos dias, poucas indústrias siderúrgicas ou metalúrgicas podem se dar ao luxo de não buscar aumentar a eficiência de seu processo. Investimentos intensos nas mais recentes tecnologias de automação, colocaram grupos de profissionais responsáveis pela operação conscientes de que a tarefa quase impossível de aumentar a eficiência depende de tecnologias. Os tópicos abordados neste trabalho apresentam uma forma prática, não nociva e econômica forma de se controlar algumas variáveis de processo através de analisadores que utilizam a tecnologia NIR.

REFERENCIAS

- 1 Burns, D. A., Ciurczak, E. W.. Handbook of Near-Infrared Analysis. CRC Press. 3rd Edition. 2008.
- 2 Burns, D. A., and E. W. Ciurczak, ed., 1992. Handbook of NearInfrared Analysis. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
- 3 Reeves, J. B., III, 1993. Influence of water on the near infrared spectra of model compounds. J. AOAC Int. 76:741–748.
- 4 Workman, J. J., Jr., 1992. NIR spectroscopy calibratiion basics. Pages 247–280 in: Handbook of Near-Infrared Analysis. D. A. Burns and E. W. Ciurczak, ed. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.