



Fluorescência de Raios-X

Leandro Almeida – PANalytical Brasil

Uma história de pioneirismo: Philips Analytical

- 1917** - Iniciou reparos e fabricação de Tubos de Raios-X na Holanda.
- 1948** - Comercializa o primeiro difratômetro de raios-x do mundo
- 1954** - Lança o difratômetro PW1050 e o PW1520, o primeiro espectrômetro de raios-x comercializado no mundo
- 1983** - Lança o APD1710: O primeiro difratômetro com software analítico do mundo
- 1990** - O primeiro filme fino com four-bounce (Bartels) monocromator.
- 2001** - Introduz o primeiro detector de estado sólido do mundo, o X'Celerator. Premiado pelo R&D 100



Spectris Plc

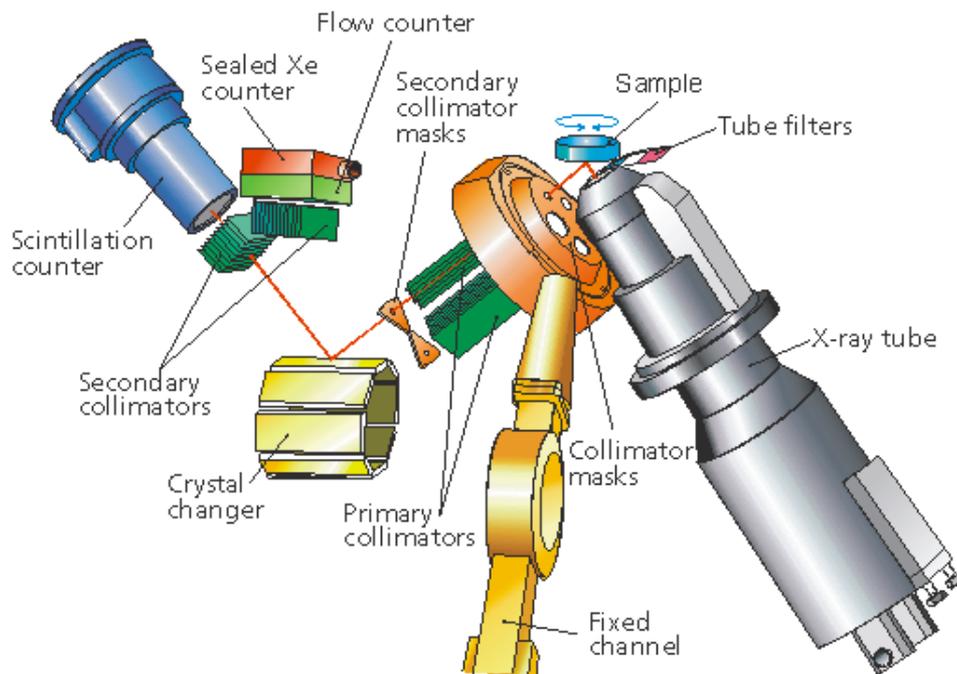
- Em 19 de Setembro de 2002, a divisão Phillips Analytical, passa a pertencer ao Grupo inglês Spectris Plc, e tem seu nome mudado para PANalytical
- 7500 funcionários no mundo
- 14 unidades de negócios com atuação mundial
- Todas suas unidades lideram seus mercados

 spectris

PANalytical no Brasil

- A maior base instalada do Brasil
- A maior equipe de suporte técnico da América latina
- Estoque de peças local
- Centro de capacitação
- Laboratórios de aplicação:
 - LCT – USP
 - DEMAR – USP
 - IME
 - UFPA
 - PANalytical

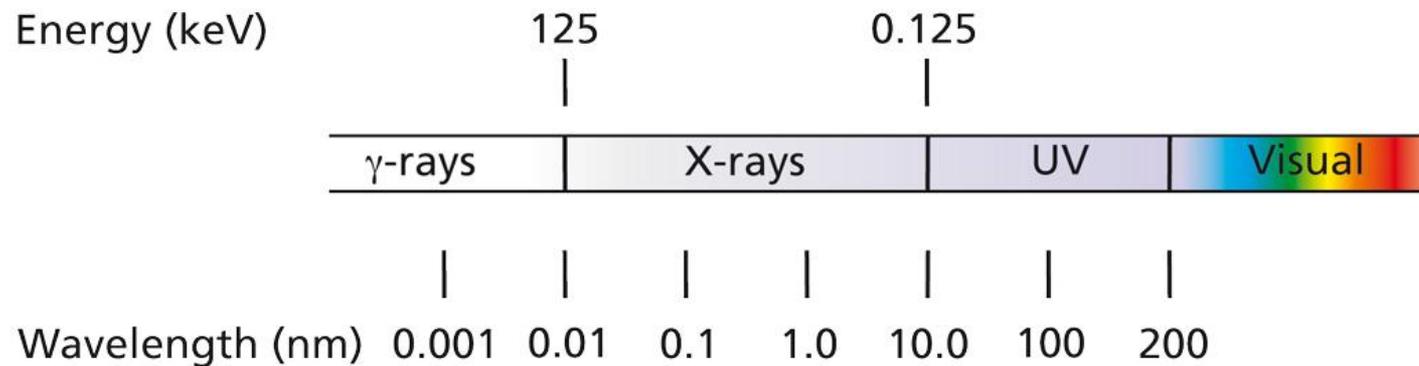
PANalytical é a líder mundial em XRF



- Composição e pureza dos materiais.
- Be a U (WDX) / F a U (EDX).
- Rápida, alta precisão e exatidão e não destrutiva.
- Ampla faixa analítica: Níveis traço a 100%.
- Sólidos, líquidos, pós, filmes e multi-camadas.
- Qualitativa e quantitativa.
- Maior e principal base instalada na indústria.

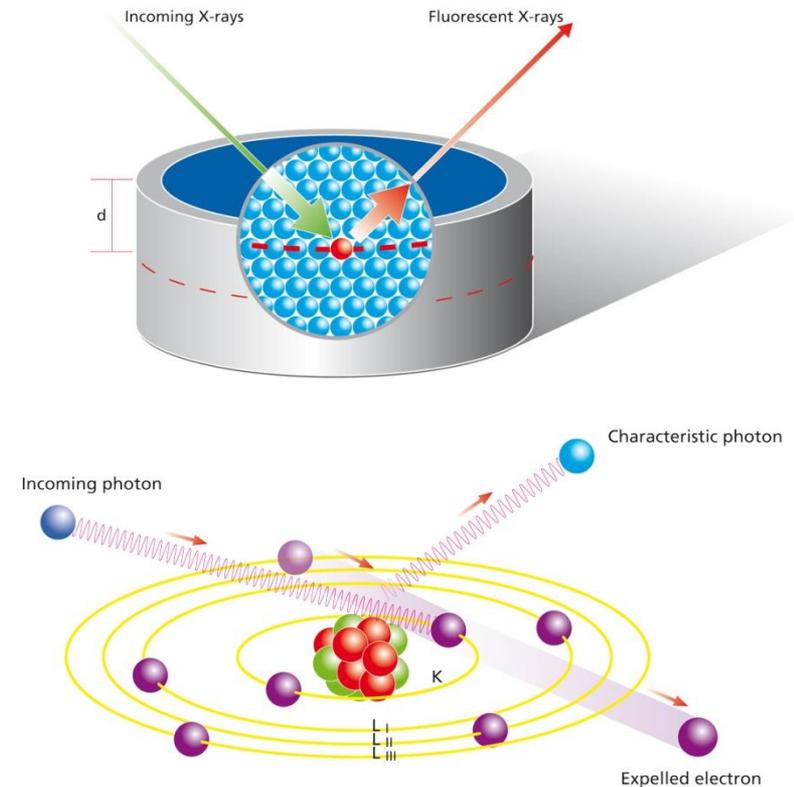
O que são os Raios-X?

- Raios-X são uma forma de radiação eletromagnética.
- Todos os tipos de radiação eletromagnética são distinguidos com base em seu comprimento de onda (energia).
- Instrumentos de fluorescência de raios-X (XRF) modernos utilizam tubos de raios-X como fonte de fótons.



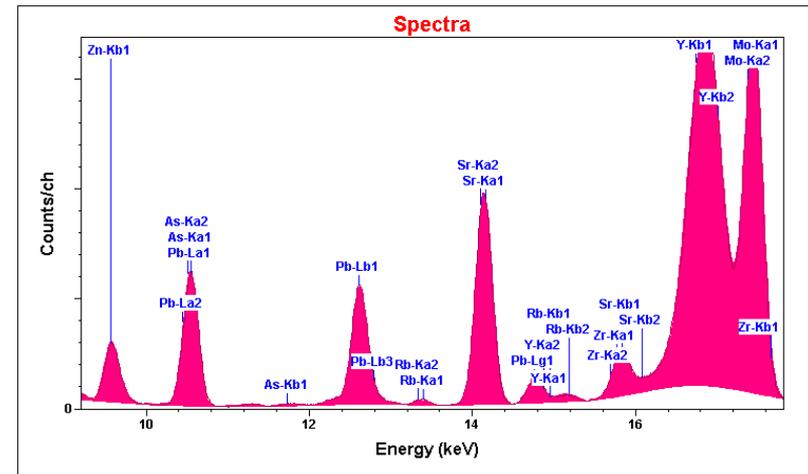
Os princípios básicos do XRF

- Raios-X incidentes excitam a amostra e criam uma perturbação eletrônica.
- Os elétrons retornam ao estado normal e neste processo raios-X secundários são produzidos.
- As energias dos raios-X secundários são característicos da composição atômica da amostra.
- As intensidades dos raios-X secundários são utilizados para determinar ambas a composição elementar e as concentrações.



Tipos de XRF: EDXRF e WDXRF

- O espectro de raios-X é emitido pela amostra.
 - Definida por diferentes energias / comprimentos de onda.
 - Características espectrais são dependentes da composição da amostra.



- O espectro precisa ser “dispersão” para identificar e separar raios-X específicos dos elementos.
- Dois métodos principais de dispersão:
 - Dispersão de energia \Rightarrow EDXRF
 - Dispersão de comprimento de onda \Rightarrow WDXRF

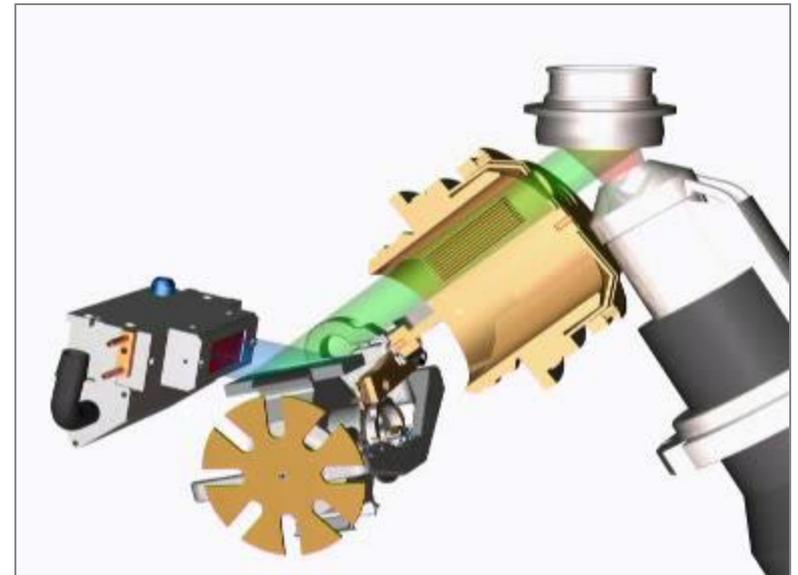
EDXRF - Dispersão de Energia

- Utiliza detectores com boa resolução de energia:
 - Silicon-PIN, Silicon Drift, Si(Li), Ge
 - Resolução 125 – 200 eV
 - Demandam resfriamento via elemento de Peltier ou nitrogênio líquido.
- Vantagens:
 - Simples, caminho óptico compacto.
 - Menor uso de energia.
 - Medição simultânea.
- Desvantagens:
 - Capacidade de contagem relativamente baixa – maiores tempos de medição e precisão mais baixa.
 - Resolução algumas vezes insuficiente em espectros complexos.



WDXRF – Dispersão de comprimento de onda

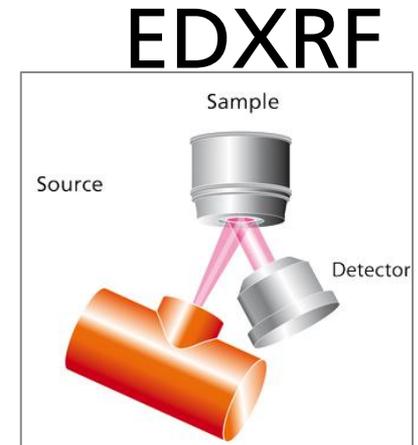
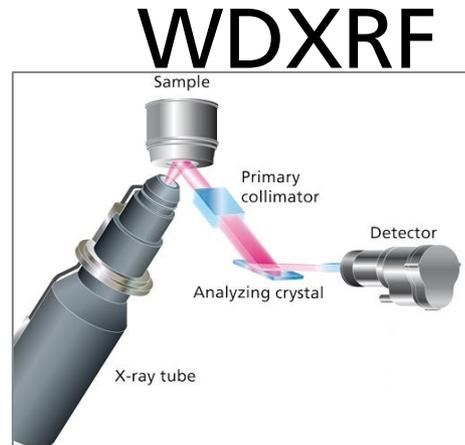
- Utiliza cristais analisadores (redes de difração):
 - Ex.: LiF200, PE002, sintéticos (PX-1), etc.
 - Resolução tipicamente < 50 eV
 - Usam um goniômetro para varrer a faixa de energia.
- Vantagens:
 - Alta capacidade de contagem – Alta velocidade e precisão. [Axios^mAX](#)
 - Alta resolução, pode lidar com espectros complexos (maior faixa de aplicação).
- Desvantagens:
 - Instrumentos mais complexos.
 - Maior necessidade de infra-estrutura.



XRF: Geometria Óptica

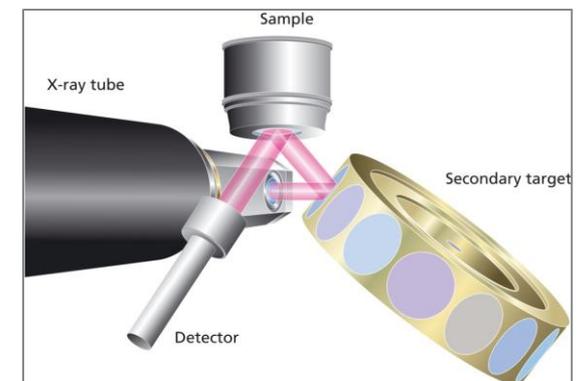
- **Excitação Direta**

- Tubo – amostra – detector no mesmo plano.
- Melhor performance para elementos leves.



- **Excitação Polarizada**

- Excitação Indireta, utiliza alvos secundários.
- Baixos limites de detecção.
- Excitação ajustável.

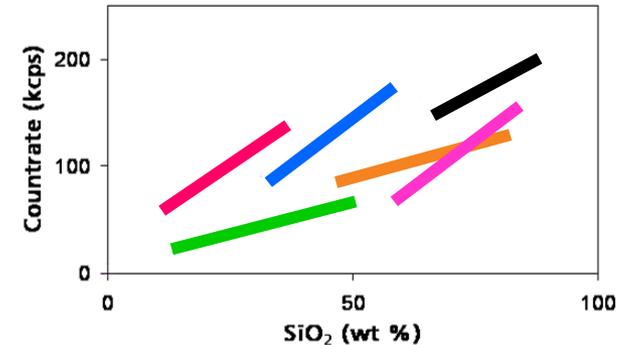


Calibrações de Pó Prensado no Controle de Processo

- Controle de Produção
- Aplicações de pó prensado em geral são preferidas.
 - Baratas, rápidas e relativamente fáceis de fazer.
- Produtos e intermediários diferentes caracterizados por:
 1. Composições químicas diferentes.
 2. Características físicas e mineralógicas diferentes.
 - Minerais / fases
 - Tamanho de partícula
 - Orientação de partícula
 - Segregação de componentes
- 1. Resolvido usando algoritmos de correção de matriz.
- 2. Requer calibrações específicas e dedicadas por material.

Calibrações de Pó Prensado versus Fusão

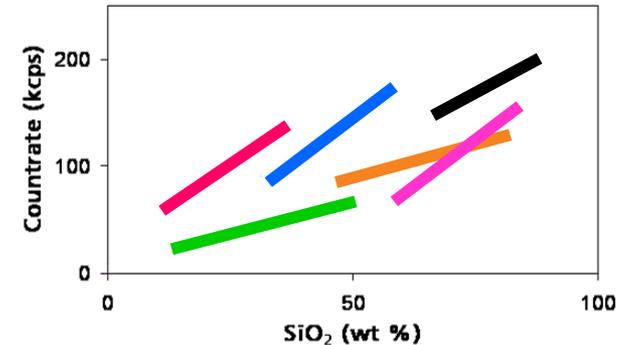
- Materiais diferentes requerem diferentes calibrações.
- Boa abordagem, enquanto as calibrações se manterem padronizadas.
- Requer padrões secundários específicos ou construídos internamente.
 - CRMs preparados como pó prensados não bastam devido às diferentes características físicas.



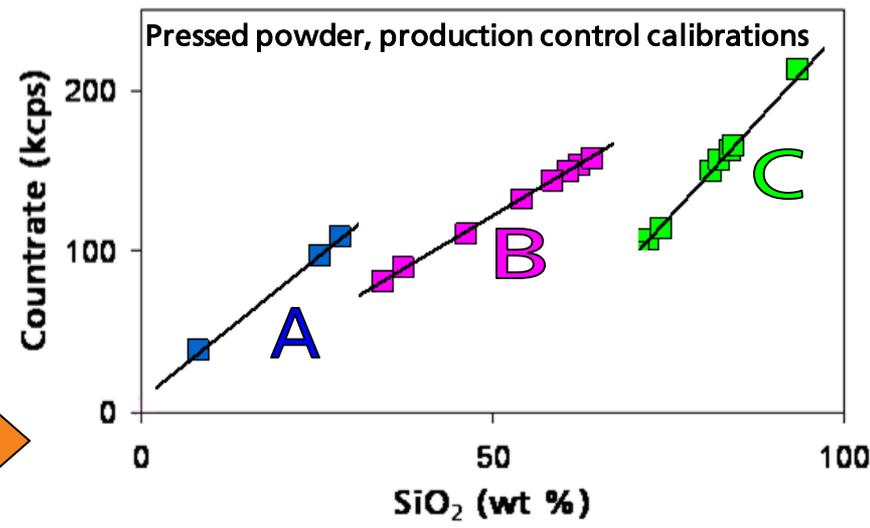
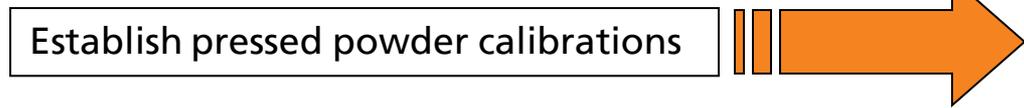
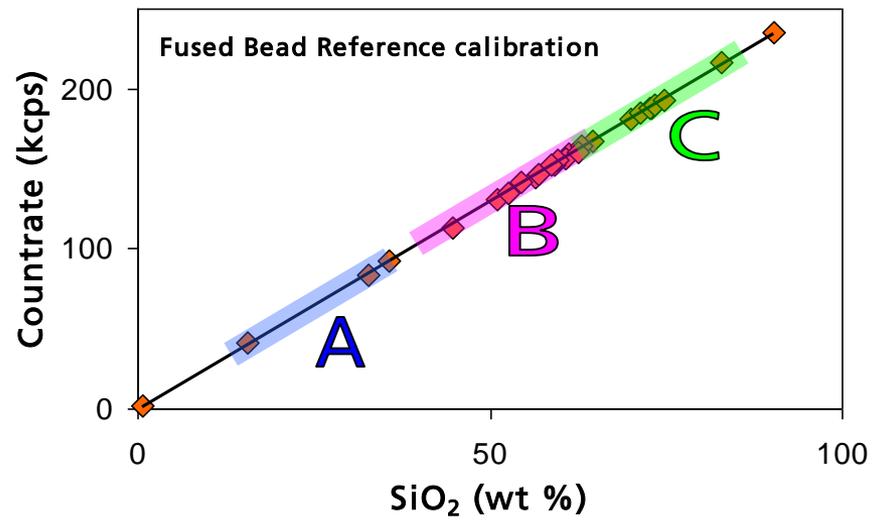
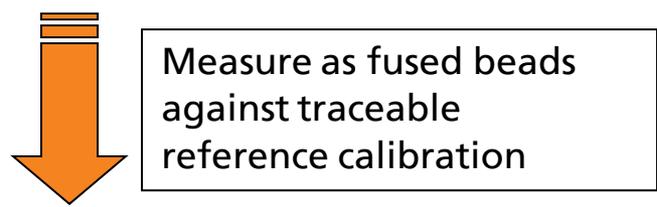
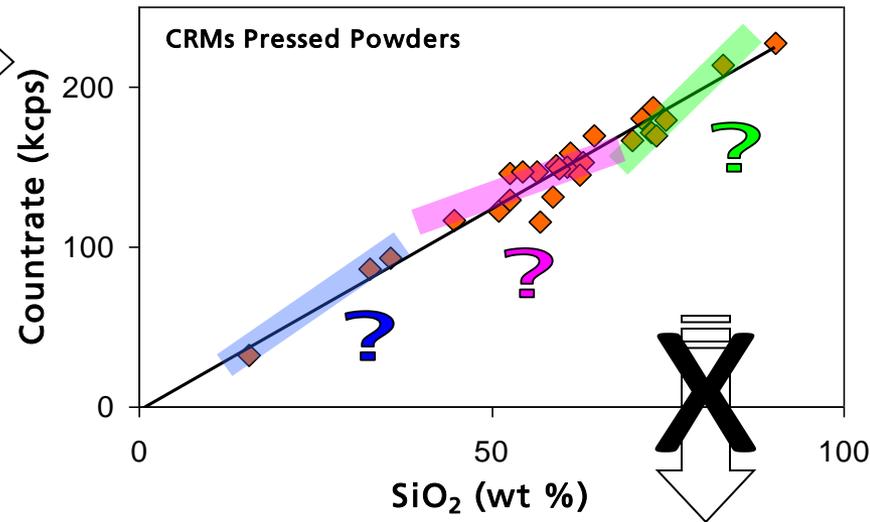
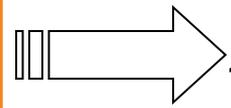
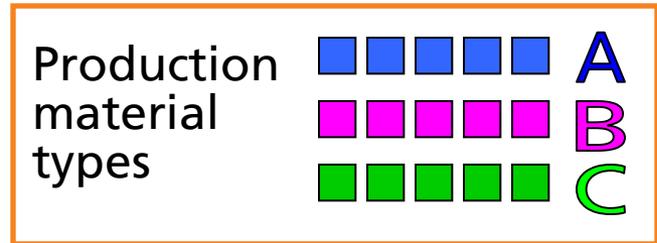
- Pode-se usar o SuperQ APS
 - Automatic Program Selection
- Manutenção de múltiplas calibrações com uma única monitora comum.

Calibrações de Pó Prensado versus Fusão

- Calibrações de referência via pastilha fundida são necessárias para com exatidão caracterizar os padrões internos.
 - Sem efeitos físicos
 - Usa CRMs ou padrões primários
 - Rastreabilidade comprovada
- Laboratórios de Serviço – múltiplos perfis de amostras
 - Aplicações de pastilha fundida muitas vezes são a única alternativa

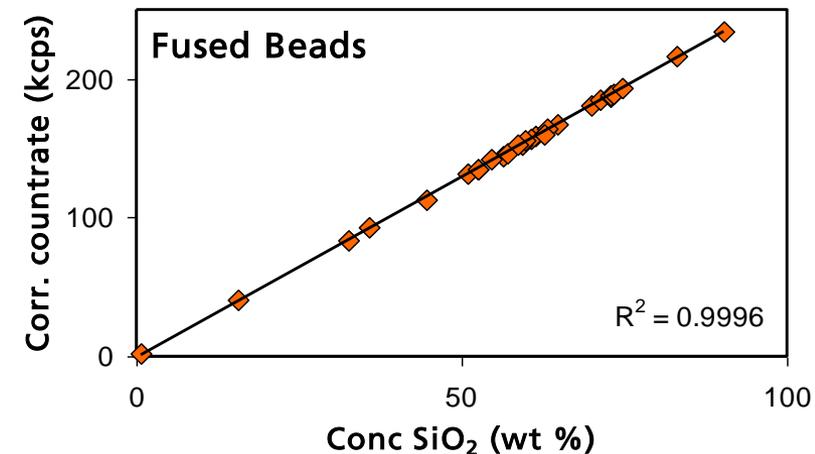
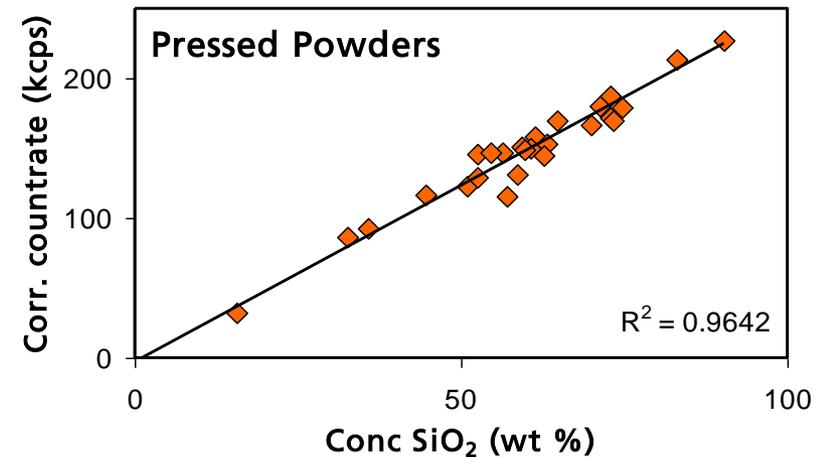


- Pode-se usar o SuperQ APS
 - Automatic Program Selection
- Manutenção de múltiplas calibrações com uma única monitora comum.



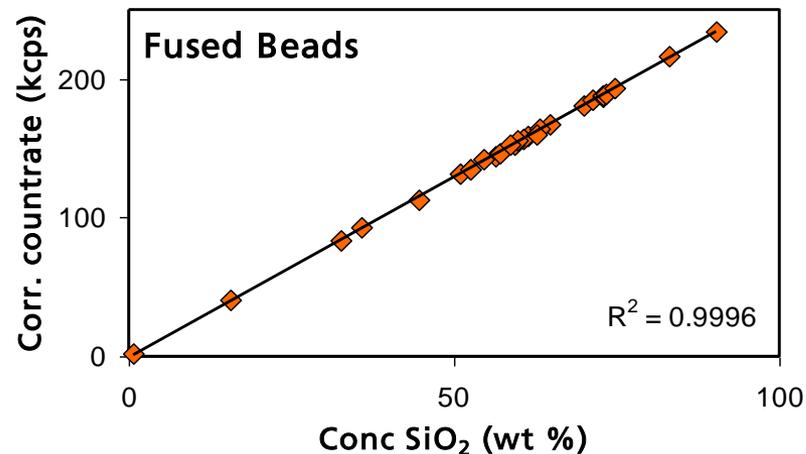
Técnicas de Fusão: Vantagens

- Sem efeitos de tamanho de partícula ou mineralógicos.
- Apenas efeitos de matriz para corrigir.
- Todos os métodos padrão aplicáveis.
 - Padrão interno, diluição, dupla diluição
- Preparação de padrões artificiais é fácil.



XRF – Uma Técnica Comparativa

- Correlacionar a intensidade do sinal medido versus as concentrações conhecidas de padrões para os elementos requeridos.
- Comparar a intensidade do sinal medido das amostras e calcular os resultados.



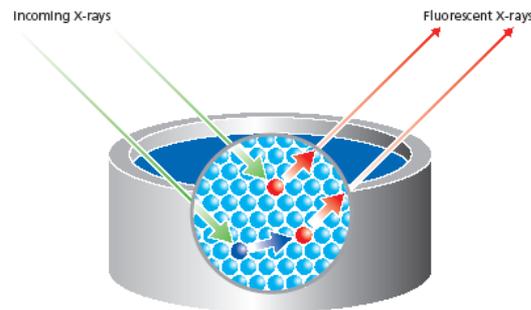
Por quê não é tão simples na prática?

Fatores complicantes:

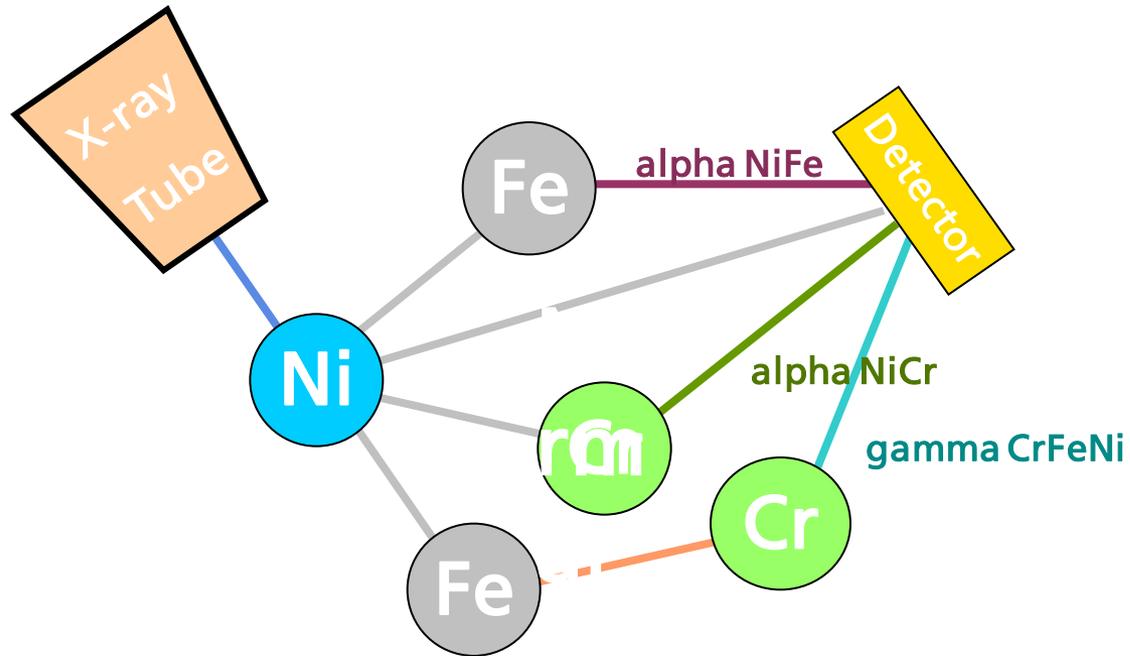
- Mudança de Background (análise de traços apenas)
- Sobreposição de linhas
- Efeitos matriz
- Preparação de amostras
- Erro humano

Efeitos Matriz

- A intensidade medida para um dado elemento não depende apenas do quanto está presente, mas também do meio material onde o elemento de interesse existe.
- A influência dos outros elementos no material é chamada de efeito matriz.



O que são efeitos matriz inter-elementares?

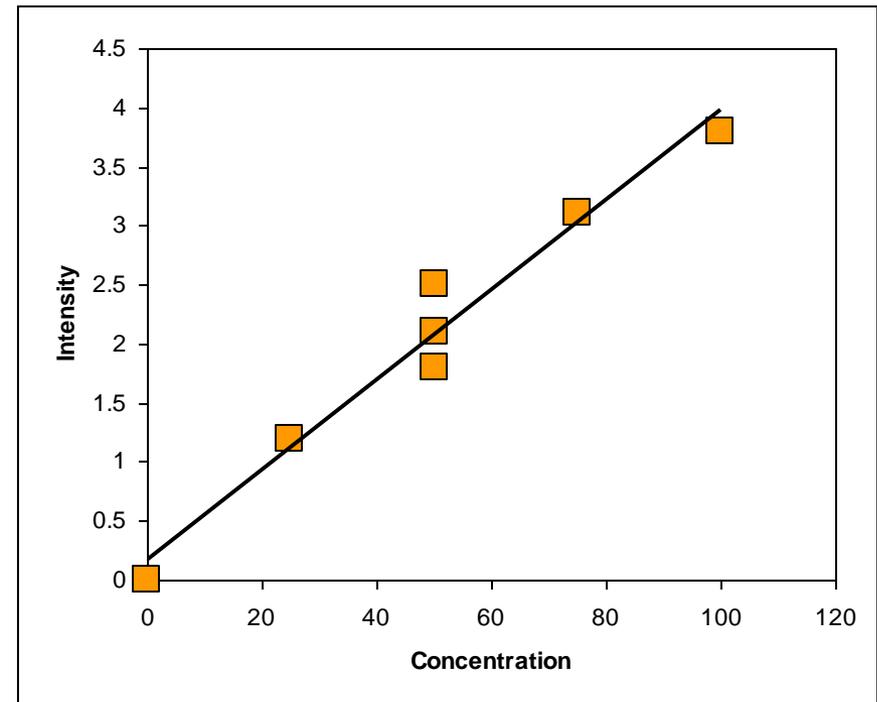


Amostra "Aço Inoxidável" (medindo Ni)

Efeitos Matriz - Geral

Efeitos Matriz:

- Diferentes matrizes de amostras dão diferentes respostas.
 - A mesma concentração do elemento X pode dar respostas completamente diferentes nas matrizes A, B e C (ver gráfico)
- Em geral:
 - Quanto mais “leve” a matriz, mais alta a resposta.



Efeitos Matriz - Geral

Efeitos Matriz:

- Algoritmos de correção (empíricos, teóricos e parâmetros fundamentais) corrigem as respostas em diferentes matrizes de amostras.
- Podem ser complicados por sobreposições espectrais severas ou em áreas de medição de background.
- Sempre é importante determinar todos os interferentes importantes que podem estar presentes da matriz.

Efeitos Matriz – Correções Espectrais

Coeficientes de Correções Espectral (line overlaps):

- Corrigem as distorções nos resultados oriundos da sobreposição de uma linha utilizada analiticamente pelas linhas oriundas de outro elemento químico.
- É necessário que a calibração inclua materiais de referência com a sobreposição espectral que se espera corrigir.
- As correções podem ser calculadas diretamente a partir das contagens. Não necessariamente se precisa conhecer a concentração do elemento interferente.
- Em geral, podem ser calculadas apenas empiricamente.

Efeitos Matriz – Coeficientes de Correção Alfa

Alfas Empíricos:

- Corrigem a resposta de um dado elemento a partir de coeficientes calculados para cada um dos elementos que compõe a matriz.
- Seus valores são calculados a partir das diferenças entre os valores obtidos e esperados para os padrões de calibração, correlacionando estas diferenças com a concentração do elemento interferente.
- É necessário ter um grande número de padrões independentes na curva de calibração, para se evitar sobrecorreção e manter significância estatística.
 - Em geral são calculadas apenas as interferências conhecidas e importantes (correção mínima)

Efeitos Matriz – Coeficientes de Correção Alfa

Alfas Teóricos:

- Corrigem a resposta de um dado elemento a partir de coeficientes calculados para cada um dos elementos que compõe a matriz.
- São calculados a partir da geometria do instrumento, condições de irradiação (ânodo do tubo, kV e mA) e um modelo médio da matriz analisada.
- Os valores dos alfas são independentes dos padrões de calibração e da faixa coberta, apenas dos dados iniciais de cálculo fornecidos.
 - Em geral são calculados todos os coeficientes de interferência dos elementos majoritários mais outros analitos importantes componentes da matriz (correção total)

Efeitos Matriz – Outros Coeficientes de Correção

Coeficientes Beta, Gamma ou Delta:

- Corrigem a resposta obtida a partir de efeitos de interferência de ordem superior.
- Em geral são calculados empiricamente, entretanto podem ser calculados similarmente aos alfas teóricos.
- São usados apenas em trabalhos finos específicos ou em caso de interferências muito severas.
 - Na grande maioria dos casos o impacto do valor destas correções nos resultados é pequeno, em geral menor que a variabilidade associada à preparação de amostras para leitura.

Efeitos Matriz – Parâmetros Fundamentais

Quantificação usando Parâmetros Fundamentais:

- É uma abordagem onde o espectro da amostra é utilizado inteiramente para se determinar a composição (elementos e concentrações) presentes na amostra.
- Após tratamento inicial, os dados são utilizados para construir um espectro inicial que é então refinado para se obter os resultados finais.
 - O método se baseia nas equações fundamentais da fluorescência de raios-X e em constantes fundamentais já determinadas.
- O método permite identificar e quantificar a composição de amostras nas mais diversas concentrações e apresentações.

Efeitos Matriz – Parâmetros Fundamentais

Quantificação usando Parâmetros Fundamentais:

- Informações complementares aos espectros podem ser incorporadas ao modelo (apresentação da amostra, parte da composição, somatório da composição visível, etc.)
- A matriz escura pode ser estimada a partir da relação entre a linha do tubo e a linha compton do mesmo.
 - É possível estimar perda por calcinação, teor de orgânicos e outros elementos invisíveis da composição. Este método deve ser utilizado com cuidado.
- Além dos controles de qualidade habituais, os resultados podem ser avaliados a partir do seu R.M.S.

Exemplo Análise Quantitativa - WROXI

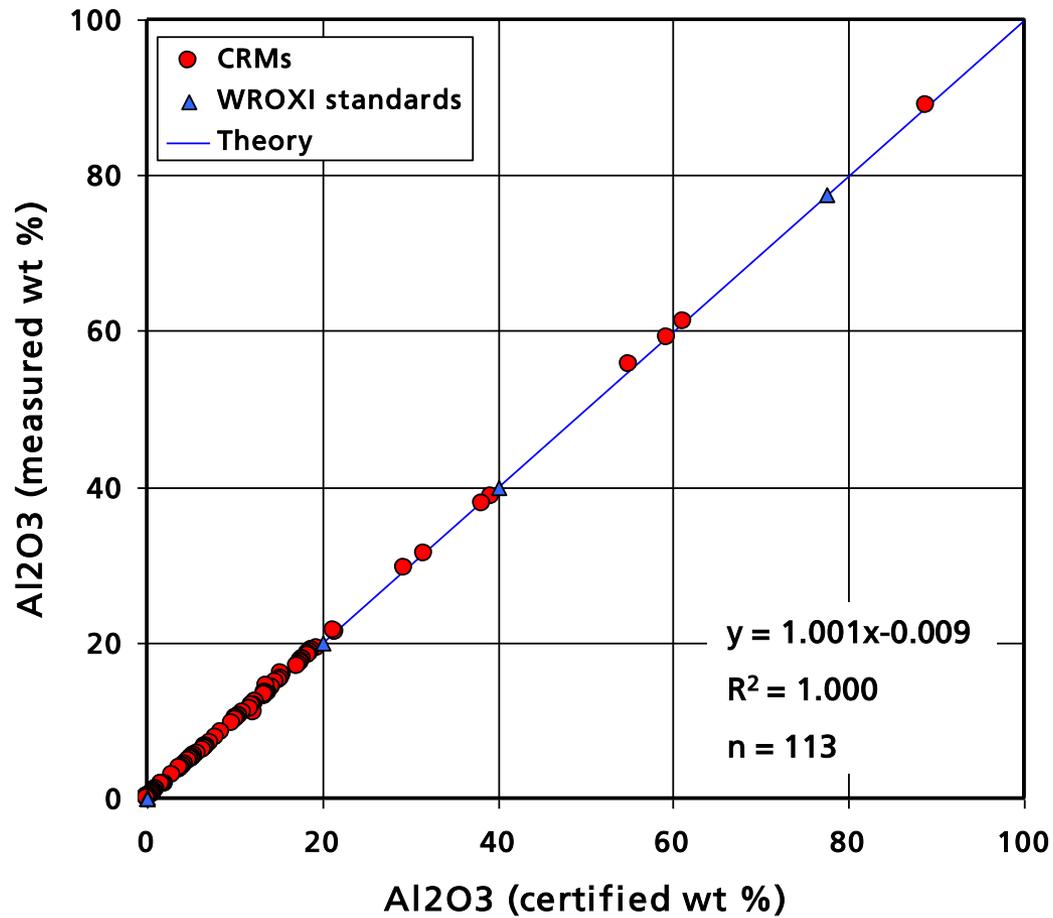
- Amostras preparadas como pastilhas fundidas
 - 1 g amostra 10 g fluxo (66:34 Li tetraborato:metaborato)
 - 40 mm diametro
- WROXI application template
 - 21 elementos (como óxidos)
 - Programa padrão com nove minutos de tempo de medição.
 - Tempos de medição podem ser ajustados para requisitos específicos de precisão.



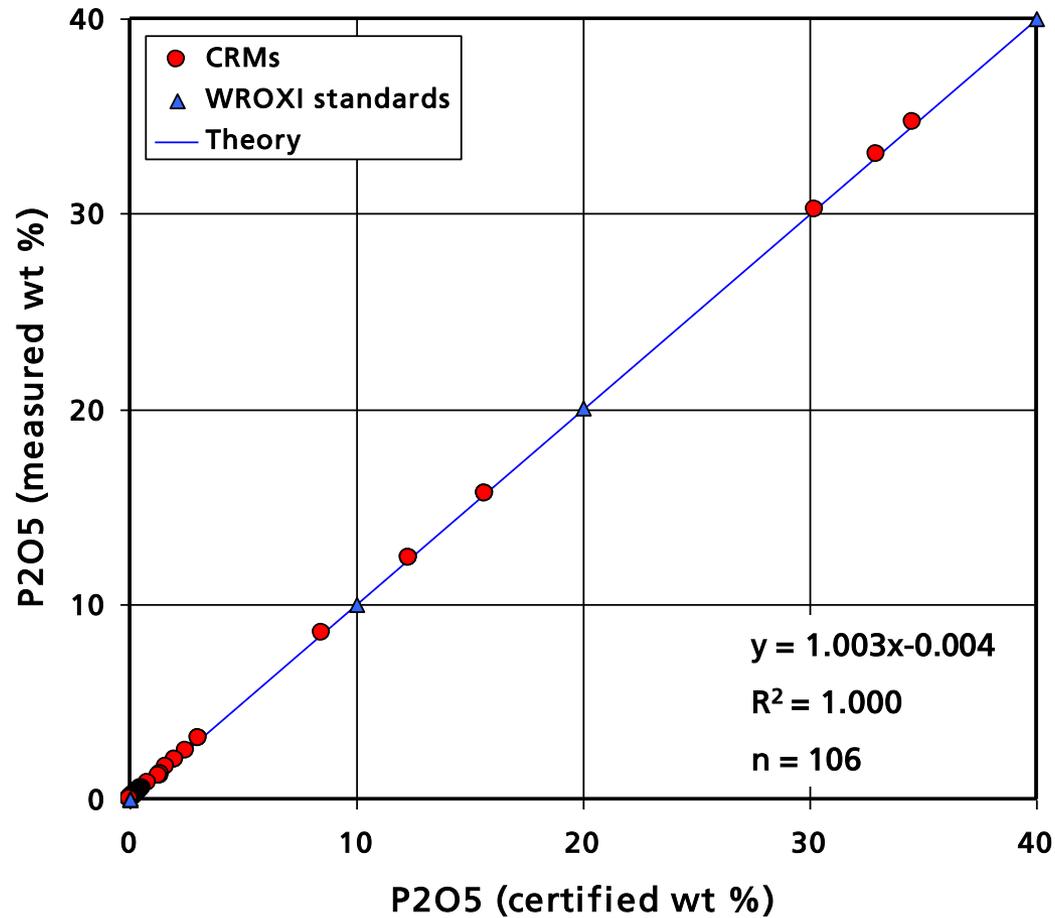
WROXI – Tempos de Medição

| Composto | Tempo total (s) | Composto | Tempo total (s) |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| SiO ₂ | 36 | V ₂ O ₅ | 16 |
| TiO ₂ | 16 | Cr ₂ O ₃ | 16 |
| Al ₂ O ₃ | 36 | NiO | 12 |
| Fe ₂ O ₃ | 16 | CuO | 12 |
| Mn ₃ O ₄ | 16 | ZnO | 12 |
| MgO | 42 | SrO | 56 |
| CaO | 20 | ZrO ₂ | 28 |
| Na ₂ O | 72 | BaO | 48 |
| K ₂ O | 16 | HfO ₂ | 26 |
| P ₂ O ₅ | 12 | PbO | 8 |
| SO ₃ | 24 | Total | 540 |

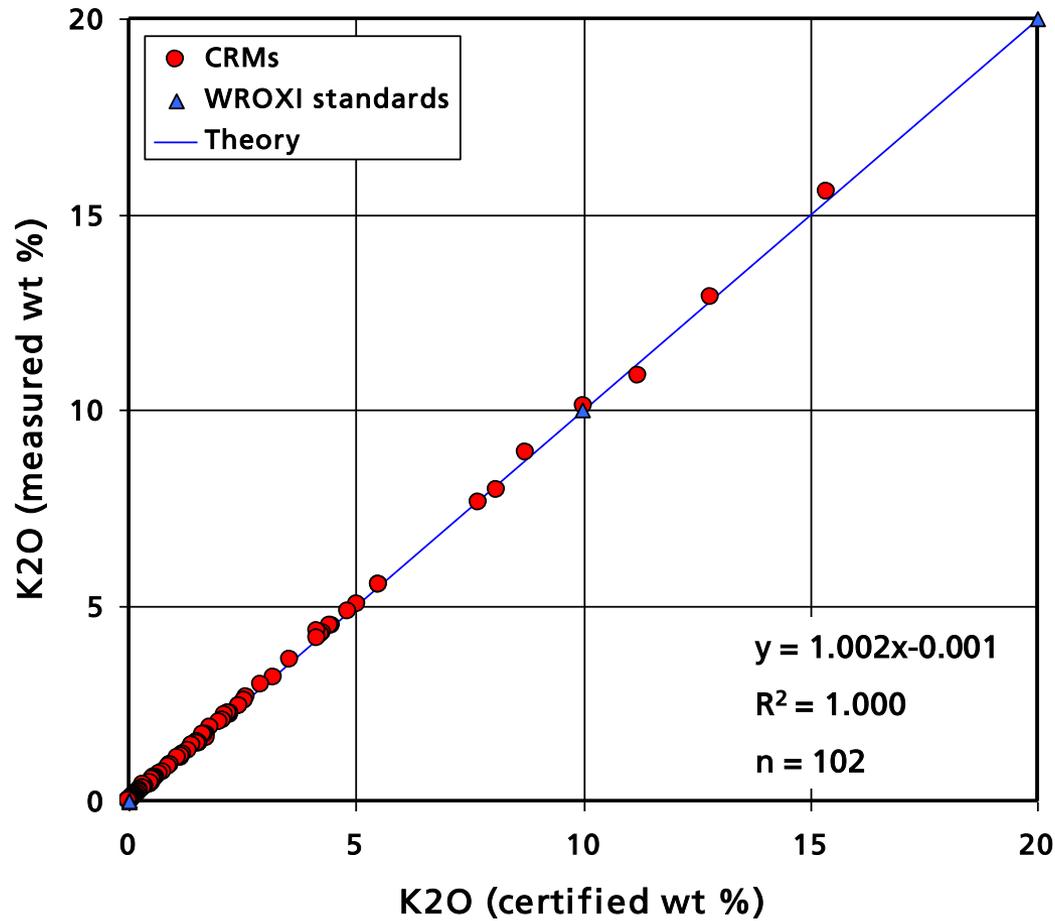
WROXI – Al₂O₃



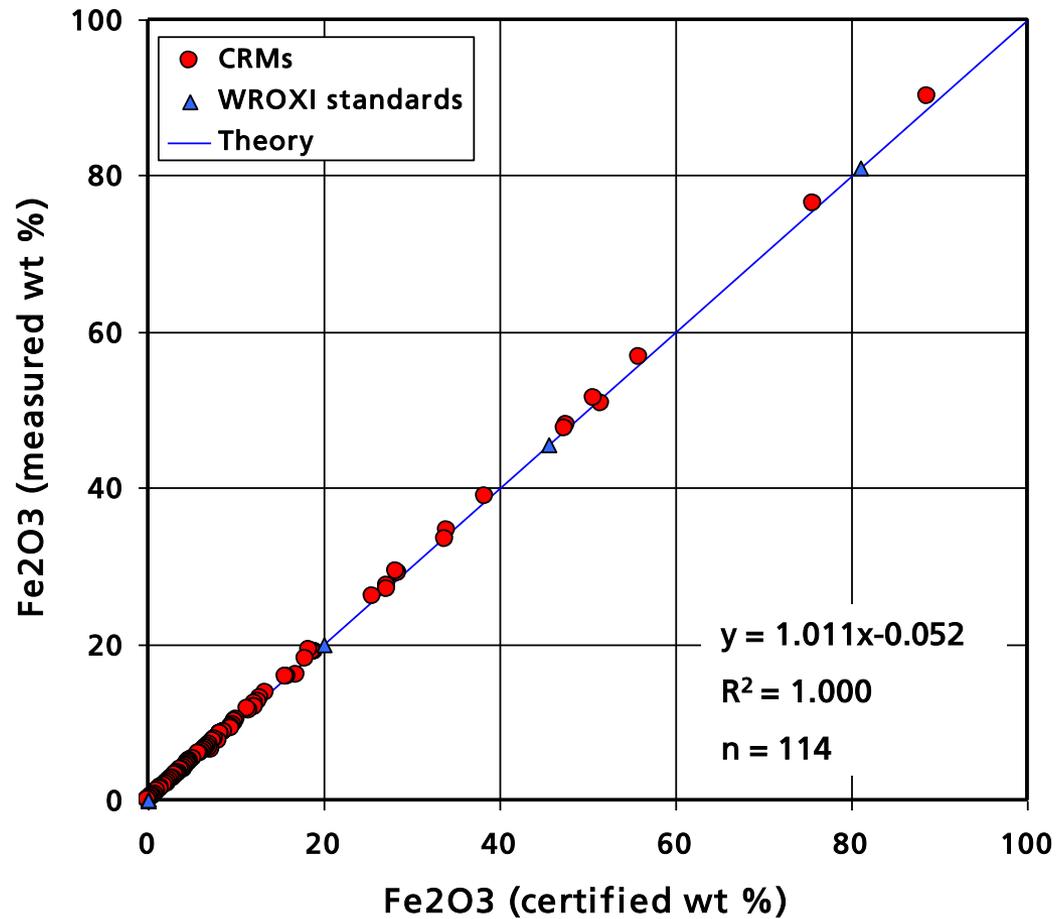
WROXI – P₂O₅



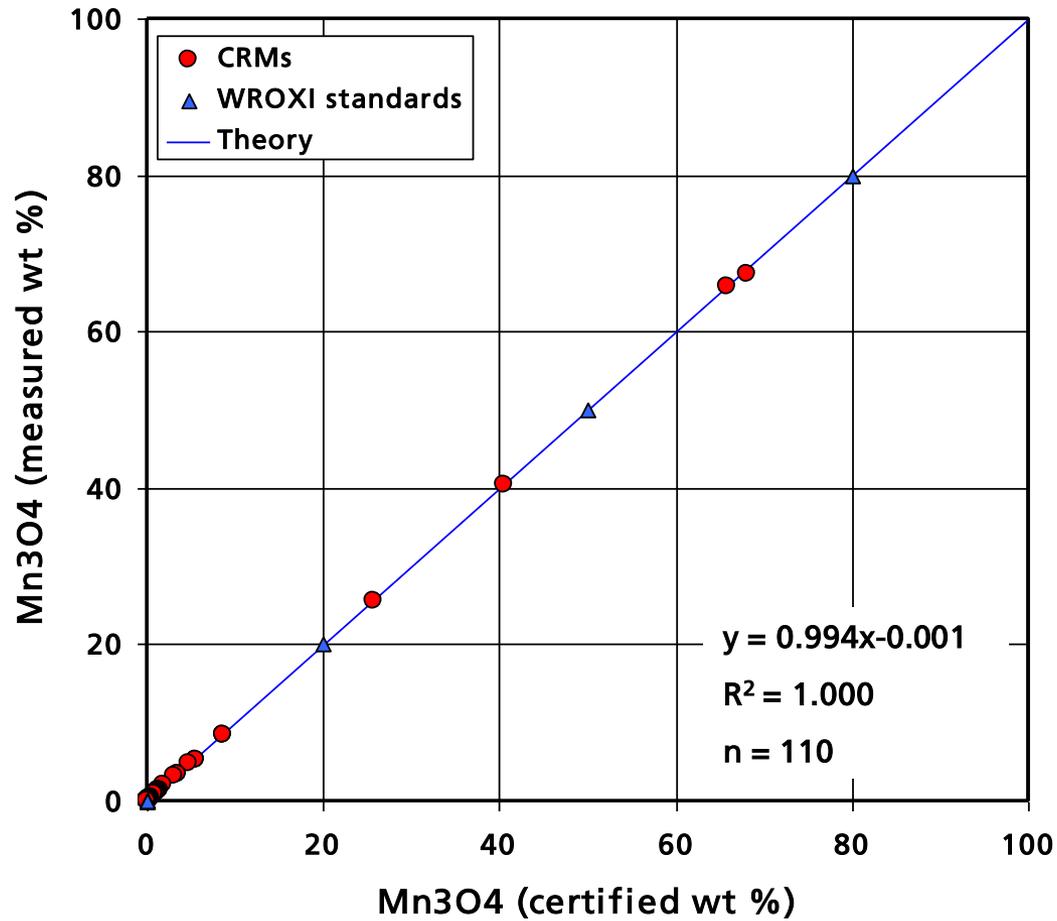
WROXI – K₂O



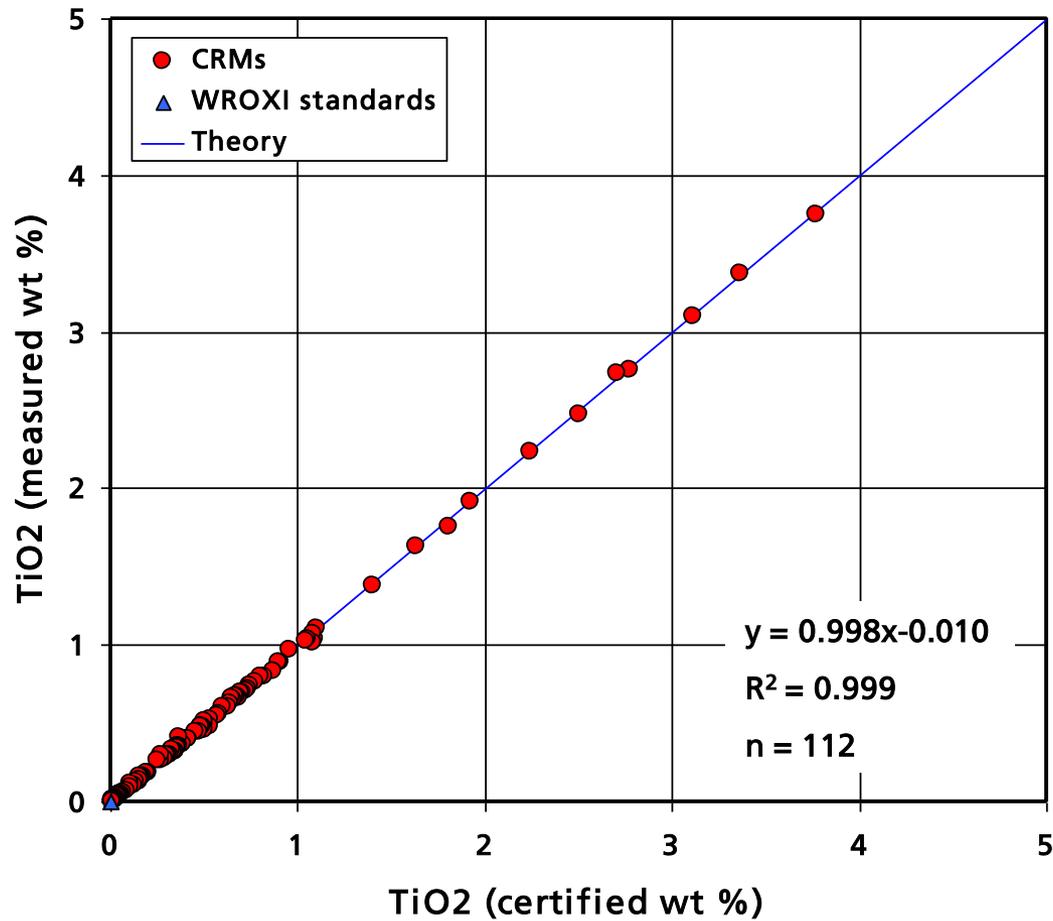
WROXI – Fe₂O₃



WROXI – Mn₃O₄



WROXI – TiO₂



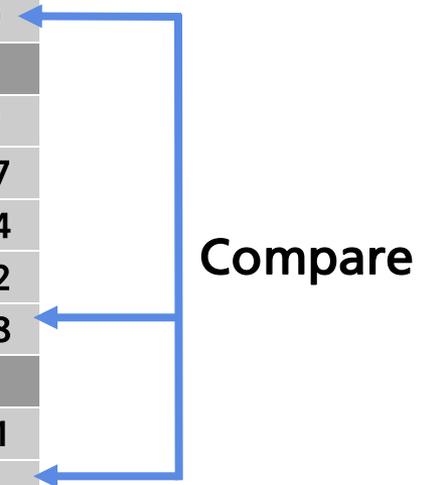
WROXI – Exatidão

| | Conc. Range | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | *SO ₃ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | Mn ₃ O ₄ | Fe ₂ O ₃ |
|--------------------|---------------|-------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Av Abs Diff (wt %) | >1 wt% | 0.069 | 0.222 | 0.147 | 0.473 | 0.063 | 0.107 | 0.051 | 0.284 | 0.022 | 0.136 | 0.107 | 0.210 |
| Av Rel Diff (%) | | 2.49 | 3.85 | 1.49 | 1.50 | 1.25 | 1.10 | 1.54 | 1.95 | 1.43 | 2.51 | 2.15 | 1.76 |
| No of samples (n) | | 39 | 71 | 90 | 109 | 17 | 38 | 46 | 85 | 17 | 2 | 19 | 94 |
| Av Abs Diff (wt %) | 0.1 – 1.0 wt% | 0.024 | 0.043 | 0.042 | 0.044 | 0.012 | 0.013 | 0.017 | 0.055 | 0.016 | 0.013 | 0.006 | 0.022 |
| Av Rel Diff (%) | | 10.3 | 10.2 | 18.2 | 9.30 | 5.60 | 12.5 | 4.84 | 6.55 | 4.44 | 4.04 | 3.01 | 3.69 |
| No of samples (n) | | 32 | 29 | 22 | 7 | 50 | 10 | 19 | 22 | 70 | 15 | 46 | 12 |

* Dados de SO₃ é para uma série de amostras de cimento e gipsita fundidas a uma temperatura mais baixa (1050°C), para impedir a perda de enxofre.

WROXI – Precisão (GBW07105 – basalt)

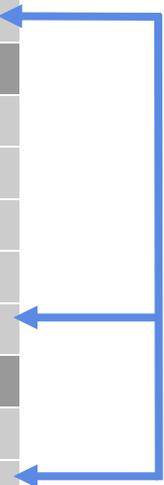
| Compound | Na ₂ O (wt %) | MgO (wt %) | Al ₂ O ₃ (wt %) | SiO ₂ (wt %) | P ₂ O ₅ (wt %) | SO ₃ (wt %) |
|--|-----------------------------|---------------|--|----------------------------|---|---------------------------|
| Certified conc. | 3.38 | 7.77 | 13.83 | 44.64 | 0.946 | 0.02 |
| Repeatability (15 consecutive measurements) | | | | | | |
| Mean concentration | 3.36 | 7.69 | 13.96 | 44.47 | 0.991 | 0.019 |
| Min. concentration | 3.33 | 7.66 | 13.92 | 44.4 | 0.979 | 0.017 |
| Max. concentration | 3.39 | 7.71 | 13.99 | 44.54 | 0.999 | 0.02 |
| RMS concentration | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.005 | 0.001 |
| RMS rel. conc. % | 0.42 | 0.17 | 0.12 | 0.09 | 0.51 | 4.69 |
| Reproducibility (14 days) | | | | | | |
| Mean Concentration | 3.36 | 7.69 | 13.95 | 44.44 | 0.988 | 0.02 |
| Min. Concentration | 3.34 | 7.65 | 13.92 | 44.34 | 0.973 | 0.017 |
| Max. Concentration | 3.39 | 7.72 | 13.97 | 44.54 | 0.999 | 0.024 |
| RMS Concentration | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.007 | 0.002 |
| RMS rel. conc. % | 0.44 | 0.23 | 0.11 | 0.13 | 0.72 | 10.18 |
| Counting Statistical Error | | | | | | |
| CSE in wt % | 0.01 | 0.015 | 0.019 | 0.035 | 0.005 | 0.001 |
| CSE rel (%) | 0.3 | 0.19 | 0.14 | 0.08 | 0.53 | 5 |



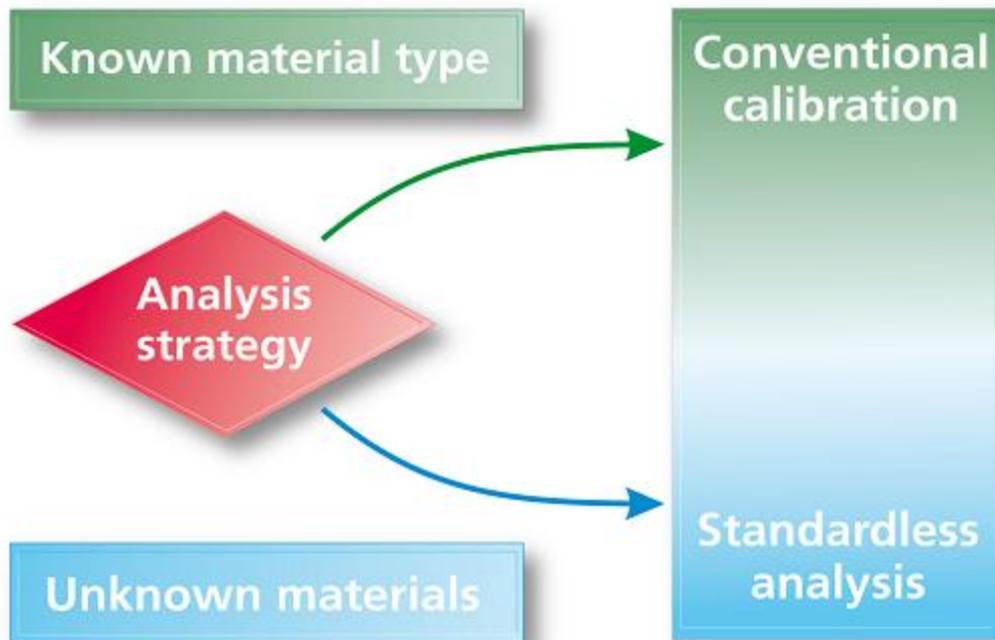
WROXI – Precisão (GBW07105 – basalt)

| Compound | K ₂ O (wt %) | CaO (wt %) | TiO ₂ (wt %) | Cr ₂ O ₃ (wt %) | Mn ₃ O ₄ (wt %) | Fe ₂ O ₃ (wt %) |
|--|----------------------------|---------------|----------------------------|--|--|--|
| Certified conc. | 2.32 | 8.81 | 2.37 | 0.02 | 0.182 | 13.4 |
| Repeatability (15 consecutive measurements) | | | | | | |
| Mean concentration | 2.34 | 9.02 | 2.37 | 0.022 | 0.185 | 13.35 |
| Min. concentration | 2.33 | 9 | 2.35 | 0.02 | 0.182 | 13.32 |
| Max. concentration | 2.36 | 9.03 | 2.38 | 0.026 | 0.189 | 13.39 |
| RMS concentration | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.002 | 0.002 | 0.02 |
| RMS rel. conc. (%) | 0.35 | 0.1 | 0.34 | 7.83 | 1.18 | 0.14 |
| Reproducibility (14 days) | | | | | | |
| Mean Concentration | 2.34 | 9.02 | 2.37 | 0.023 | 0.184 | 13.35 |
| Min. Concentration | 2.33 | 9 | 2.35 | 0.02 | 0.181 | 13.31 |
| Max. Concentration | 2.36 | 9.03 | 2.38 | 0.026 | 0.188 | 13.39 |
| RMS Concentration | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.002 | 0.002 | 0.03 |
| RMS rel. conc. (%) | 0.37 | 0.14 | 0.31 | 7.59 | 1.22 | 0.19 |
| Counting Statistical Error | | | | | | |
| CSE in wt % | 0.008 | 0.014 | 0.008 | 0.002 | 0.003 | 0.017 |
| CSE rel (%) | 0.34 | 0.16 | 0.34 | 10 | 1.65 | 0.13 |

Compare



Estratégias Analíticas



- Maior precisão
 - Maior exatidão
 - Maior eficiência de medição
 - Total rastreabilidade
-
- Total flexibilidade
 - Boa exatidão sem o uso de padrões específicos
 - Boa para análise comparativa
 - Ferramenta de varredura ideal

Introdução à Análise Standarless

- Composição completa da maior parte das amostras desconhecidas pode ser quantificada com apenas um programa de calibração:
 - Conjunto de calibração com uma faixa de calibração selecionada para calibrar a resposta do instrumento.
 - Cobre todos os elementos comuns que podem ser medidos via XRF, padrão O – U.
 - Utiliza um algoritmo de parâmetros fundamentais para corrigir todos os efeitos de matriz específicos da amostra.

Análise Standarless - Omnian

Analisa a maior parte dos tipos de amostra comuns ao XRF: Sólidos, pós-prensados, pastilhas fundidas, pós-soltos e líquidos.



Exemplo Omnian – Cálculo de composto de matriz escura

- Exemplo: B em vidro

- Claramente indica que usar a intensidade compton gera um resultado de maior extatidão.

| NBS 1411, glass | | | |
|--------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | Certified (wt%) | Measured (wt%) | Measured (wt%) |
| B ₂ O ₃ | 10.94 | Compton 10.1 | Balance 20.2 |
| F | ~0.5 | 0 | 0 |
| Na ₂ O | 10.14 | 11.1 | 10.3 |
| MgO | 0.33 | 0.32 | 0.29 |
| Al ₂ O ₃ | 5.68 | 6.04 | 5.43 |
| SiO ₂ | 58.04 | 57.9 | 51.6 |
| K ₂ O | 2.97 | 2.7 | 2.33 |
| CaO | 2.18 | 2.2 | 1.89 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.05 | 0.059 | 0.049 |
| ZnO | 3.85 | 4.04 | 3.36 |
| SrO | 0.09 | 0.092 | 0.076 |
| BaO | 5 | 5.33 | 4.35 |
| TiO ₂ | 0.02 | 0 | 0 |

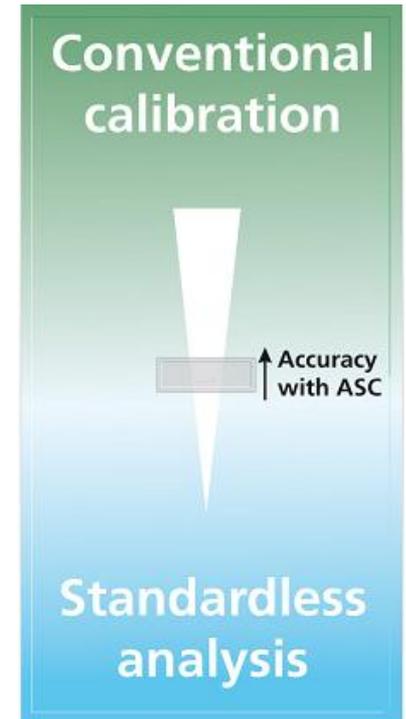
- Exemplo: LOI in Calcáreo

- Não há muita diferença entre calcular LOI como balanço ou a partir do compton, mas a comparação dos resultados dá uma indicação clara da qualidade do resultado.

| GBW07215a. Limestone fused bead | | | |
|---------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | Certified (wt%) | Measured (wt%) | Measured (wt%) |
| Na ₂ O | | 0.072 | 0.072 |
| MgO | 2.99 | 2.266 | 2.262 |
| Al ₂ O ₃ | 0.77 | 0.812 | 0.811 |
| SiO ₂ | 1.8 | 1.951 | 1.947 |
| SO ₃ | 0.755 | 0.716 | 0.714 |
| K ₂ O | 0.168 | 0.134 | 0.133 |
| CaO | 51.2 | 51.31 | 51.041 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.446 | 0.571 | 0.562 |
| SrO | | 0.041 | 0.039 |
| L.O.I.: | | Compton 40.549 | Balance 42.42 |

Ominian – Aumentando a Versatilidade e Exatidão

- **Adaptive Sample Characterization (ASC)**
 - Ponte entre as separações entre análise convencional e standarless.
 - ASC automaticamente seleciona a linha de calibração que melhor se adequa:
 - Matrizes amostrais específicas e faixas de concentração.
 - Variações em métodos de preparação de amostras.
 - Aumentando a exatidão enquanto mantém a flexibilidade.



Exemplo Omnian – Uso do ASC

- Uso do ASC para linhas de calibração para linhas de Al, Si and Ca.
- Uso do ASC aumenta exatidão.

| Rawmix pressed pellet | | | |
|--------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | ASC | Default |
| | Certified (wt%) | Measured (wt%) | Measured (wt%) |
| Na ₂ O | 0.202 | 0.206 | 0.205 |
| MgO | 1.504 | 1.267 | 1.252 |
| Al ₂ O ₃ | 3.194 | 3.358 | 2.591 |
| SiO ₂ | 12.726 | 13.331 | 10.547 |
| P ₂ O ₅ | 0.118 | 0.082 | 0.077 |
| SO ₃ | 0.631 | 0.595 | 0.56 |
| K ₂ O | 0.608 | 0.529 | 0.494 |
| CaO | 44.06 | 44.778 | 39.85 |
| TiO ₂ | 0.314 | 0.307 | 0.278 |
| MnO | 0.054 | 0.043 | 0.038 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.035 | 2.063 | 1.673 |
| SrO | 0.074 | 0.07 | 0.063 |
| CO ₂ | 34.48 | 33.159 | 42.177 |

| CKD 238 Al alloy | | | |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | ASC | Default |
| | Certified (wt%) | Measured (wt%) | Measured (wt%) |
| Mg | 0.32 | 0.296 | 0.301 |
| Si | 11.78 | 12.083 | 13.949 |
| Ti | 0.16 | 0.163 | 0.14 |
| Cr | | 0.004 | 0.004 |
| Mn | 0.145 | 0.138 | 0.133 |
| Fe | 0.56 | 0.584 | 0.579 |
| Ni | 0.03 | 0.021 | 0.025 |
| Cu | 0.37 | 0.395 | 0.474 |
| Zn | 0.32 | 0.236 | 0.307 |
| Ga | | 0.008 | 0.008 |
| Zr | | 0.001 | 0.001 |
| Pb | | 0.007 | 0.007 |
| Al (bal) | | 86.064 | 84.071 |

Exemplo Omnian – Análise de Falha

- Limalhas de Metal
 - Prensadas em ácido bórico
 - Calibração padrão é utilizada



CKD 238 Al alloy

| Element | Certified | Measured |
|---------|-------------|-------------|
| | Conc. (ppm) | Conc. (ppm) |
| Si | 0.42 | 0.889 |
| P | 0.016 | 0.01 |
| S | 0.016 | 0.058 |
| V | | 0.029 |
| Cr | 15.2 | 16.008 |
| Mn | 0.78 | 0.789 |
| Fe | | 74.701 |
| Co | 0.040 | 0.034 |
| Ni | 6.26 | 7.003 |
| Cu | | 0.175 |
| As | | 0.023 |
| Mo | | 0 |

Os resultados são obtidos normalizando a soma dos elementos para 100 %

Muito Obrigado!

Leandro Almeida

Technical Sales Specialist

(11) 98819-2431 / (11) 5188-8249

leandro.almeida@panalytical.com