



Universidade de São Paulo - USP
Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA
Análise de Solo e Planta – CEN 0409



MÉTODOS ANALÍTICOS

Professores: **Cassio Hamilton Abreu Junior** – cahabreu@cena.usp.br
Takashi Muraoka – muraoka@cena.usp.br

Estagiário PAE: **Dalila Lopes da Silva** – dalila.ls@usp.br
Supervisor: **Juan Ricardo Rocha** – jr.rocha@usp.br

Piracicaba – SP 30/03/2023

MÉTODOS ANALÍTICOS

➤ Bibliografias recomendadas

631.41 S546m2 e.1

12438

Biblioteca:

CENA e ESALQ

631.42 F411 e.6 109408

Biblioteca: ESALQ

631.8 I59b e.3 117935

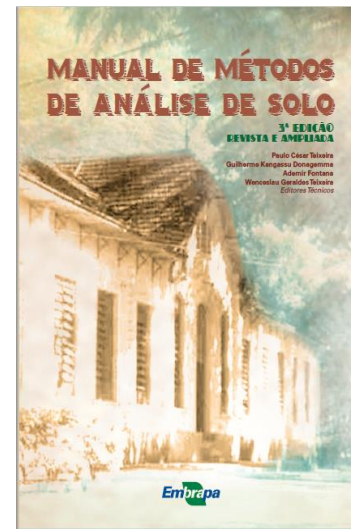
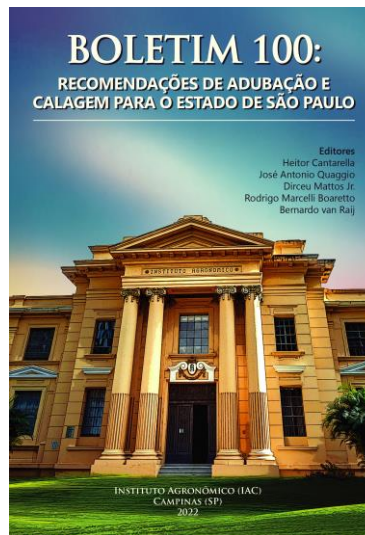
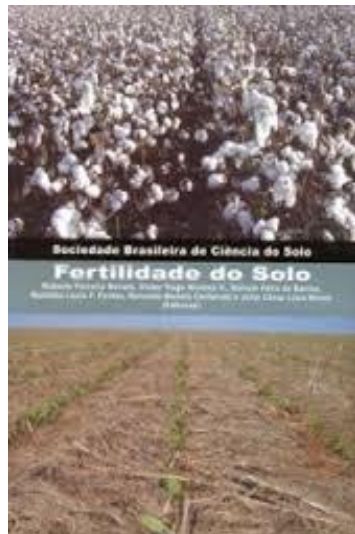
Biblioteca: ESALQ

Disponível para download
no site da Embrapa

631.452 A532 10009

Biblioteca:

CENA e ESALQ

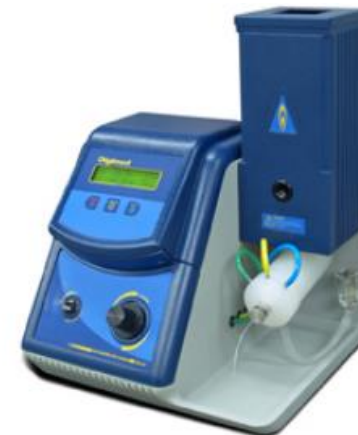
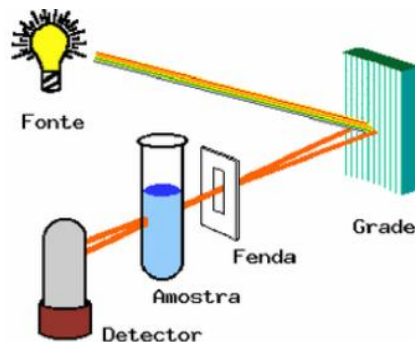


MÉTODOS ANALÍTICOS

- Os métodos de análise podem ser classificados em:
 - **Clássicos:** tem como base medidas de massa ou de volume



- **Instrumentais:** requerem medida de alguma propriedade física do sistema químico



Raij et al. (2001)

MÉTODOS ANALÍTICOS

- São técnicas utilizadas para identificar, quantificar e separar componentes de uma amostra.
- Utilizados em diversas áreas, como química, farmácia, biologia, meio ambiente, ciências agrárias, entre outras. Essas técnicas são essenciais para a obtenção de informações precisas e confiáveis sobre as amostras analisadas.

MÉTODOS ANALÍTICOS

- A seleção de um procedimento de análise deve considerar:

- A natureza do problema como um todo;
- A precisão e exatidão requeridas;
- Disponibilidade de amostra;
- Intervalo de concentração a ser medido;
- Potenciais interferentes;
- Propriedades químicas e físicas da matriz;
- Quantidade de medidas a serem efetuadas.

**Qualidade
dos resultados**

Laboratórios de rotina → devem ter capacidade para analisar um grande número de amostras em espaço de tempo relativamente curto, com boa **precisão e exatidão**.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Exatidão: Refere-se à proximidade entre um valor medido e um valor verdadeiro ou aceito. A exatidão é expressa como um desvio ou erro relativo em relação ao valor verdadeiro. Uma medida precisa pode não ser exata se estiver desviada do valor verdadeiro.

MÉTODOS ANALÍTICOS

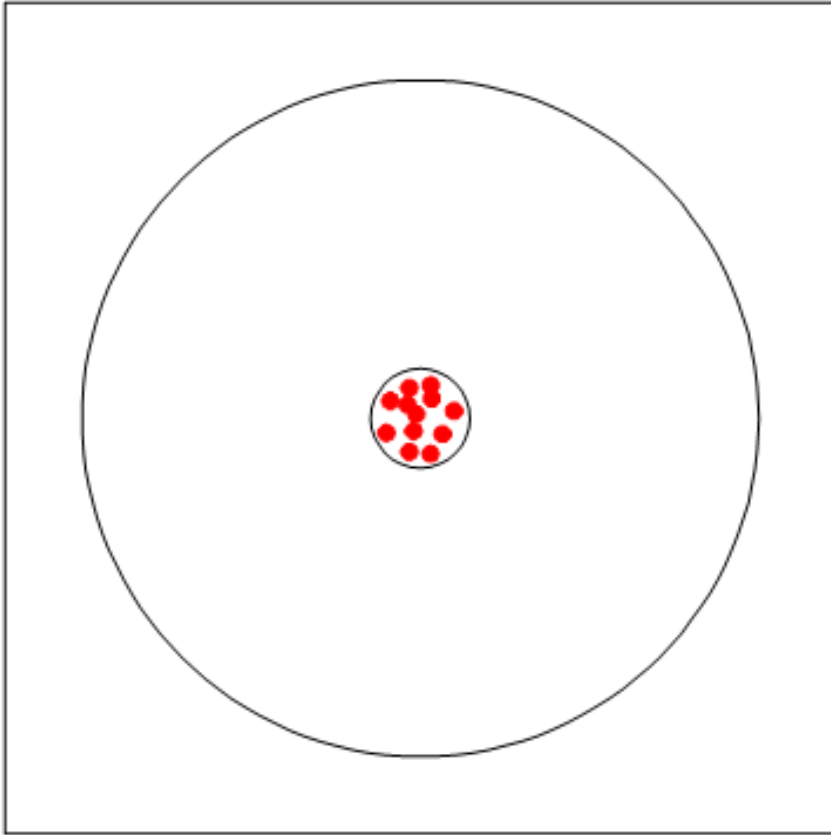
Precisão: Refere-se à repetibilidade ou consistência de um conjunto de medidas. A precisão é expressa como a variabilidade ou desvio padrão das medidas. Uma medida precisa pode não ser exata se as medidas estiverem desviadas do valor verdadeiro.

MÉTODOS ANALÍTICOS

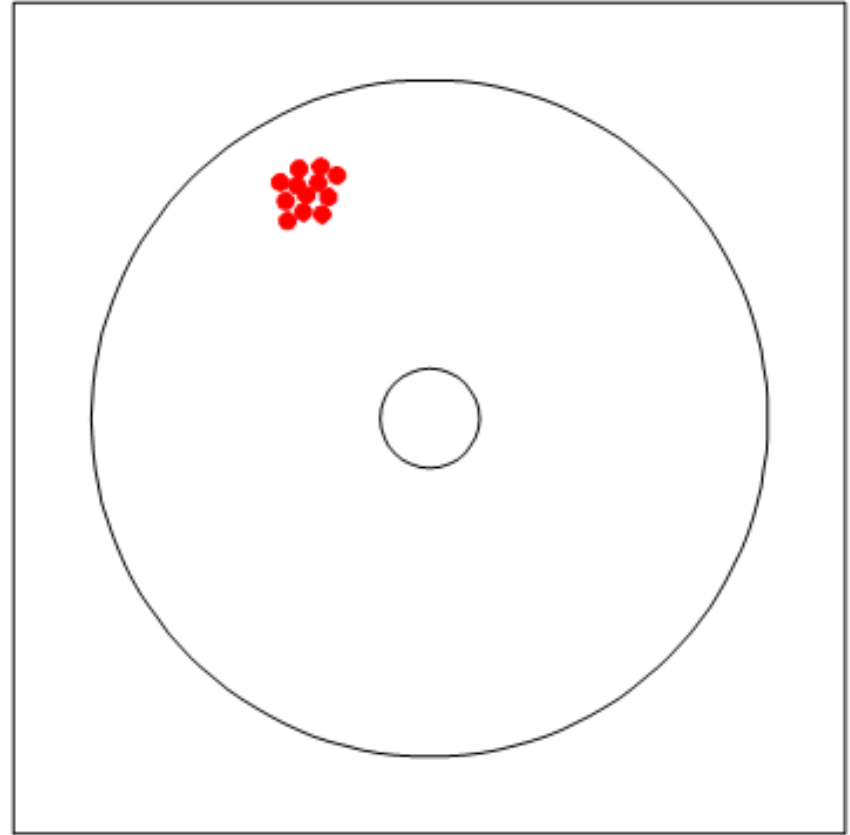
Acurácia: Refere-se à combinação de exatidão e precisão, ou seja, a medida da proximidade entre um valor medido e um valor verdadeiro ou aceito, levando em consideração a consistência ou repetibilidade das medidas. Uma medida acurada é tanto exata quanto precisa.

MÉTODOS ANALÍTICOS

- **Exatidão, precisão e acurácia**



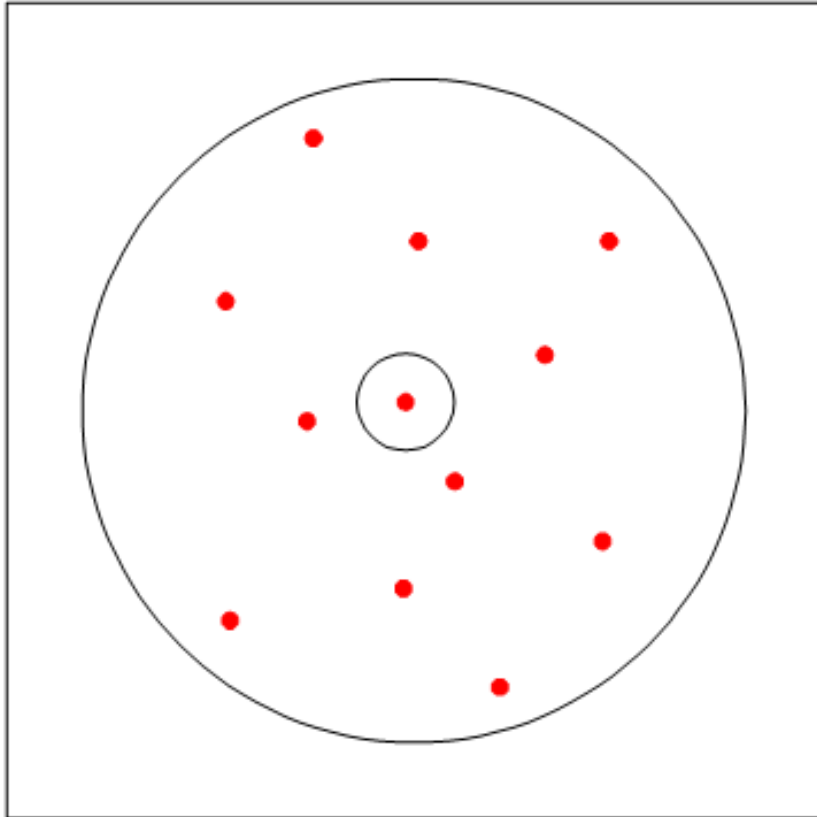
Análise exata e precisa



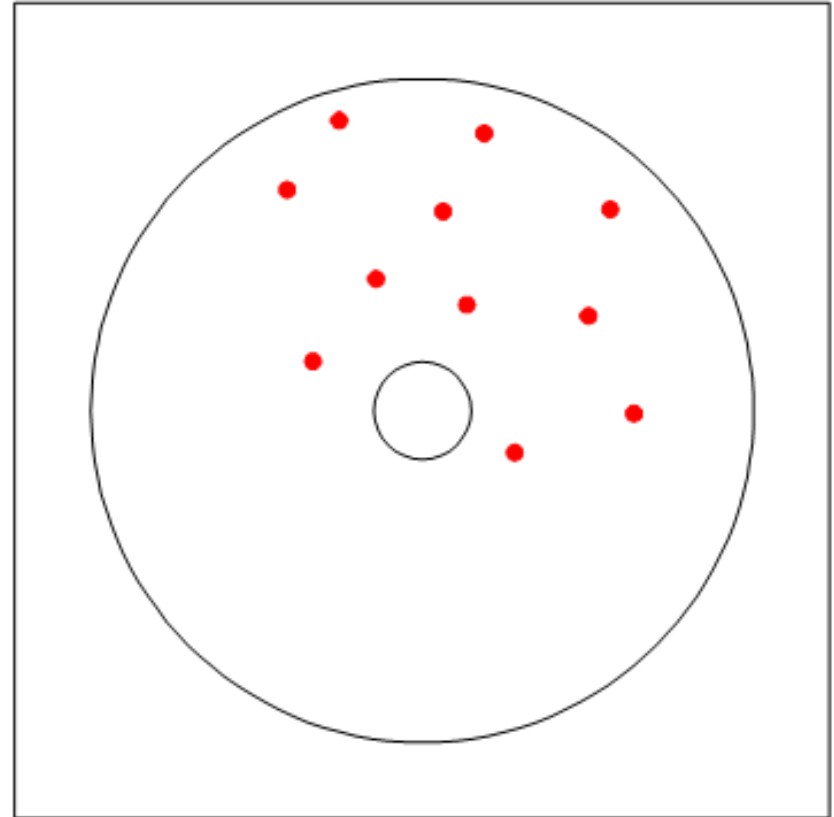
Análise inexata, mas precisa

MÉTODOS ANALÍTICOS

- **Exatidão, precisão e acurácia**



Análise exata, mas imprecisa



Análise inexata e imprecisa

MÉTODOS ANALÍTICOS



Em resumo

A exatidão refere-se à proximidade com o valor verdadeiro, a precisão refere-se à consistência ou repetibilidade das medidas, e a acurácia é uma medida combinada de exatidão e precisão.



MÉTODOS ANALÍTICOS

- **Análise** → É todo procedimento pelo qual se procura **conhecer um todo** (uma realidade) **por meio de suas partes**.
- **Exatidão e precisão** → É a **proximidade do valor analítico ao valor REAL** com a convergência das repetições dentro de uma série de análises.
- **Acurácia** → Implica em ter ao mesmo tempo, **exatidão e precisão**. Pode-se esperar uma medida acurada, mas dificilmente há métodos acurados.

MÉTODOS ANALÍTICOS

- Métodos analíticos mais utilizados em laboratórios de análise de solo e planta:

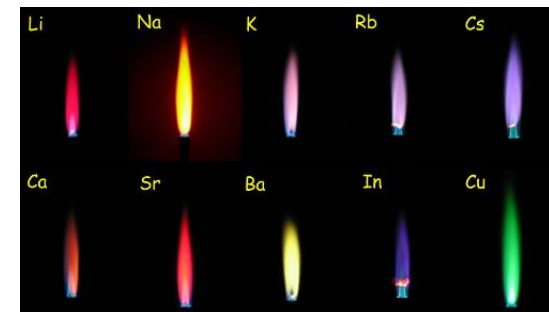
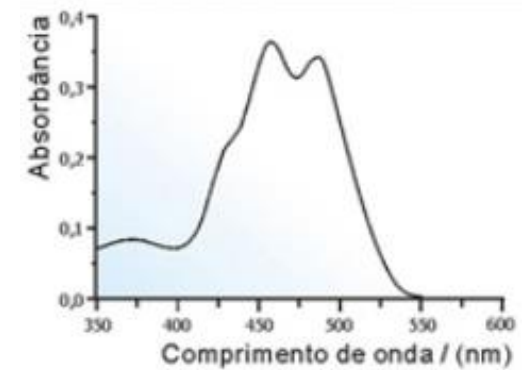
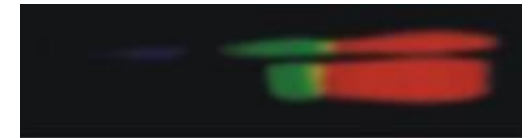


➤ Potenciometria

- Geralmente empregada para medidas de pH

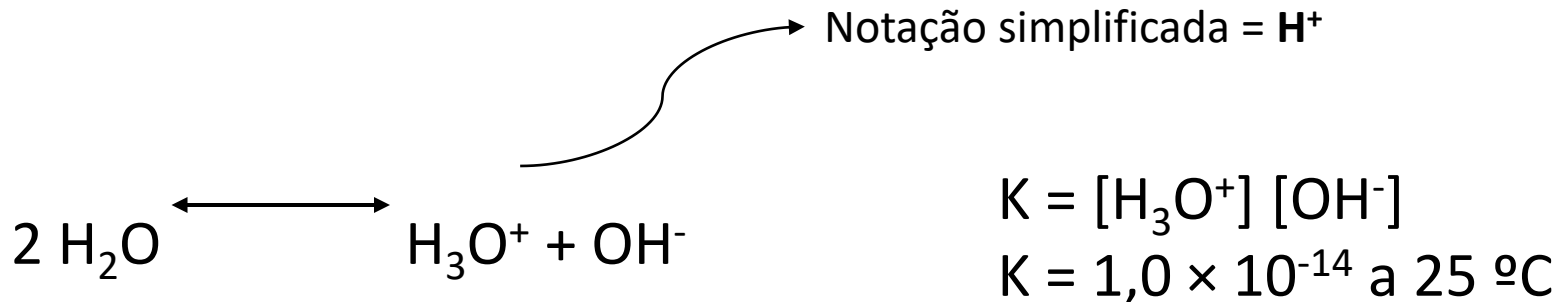
➤ Espectrofotometria

- Absorção molecular na região do UV-Visível
- Absorção atômica
- Emissão atômica



MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Potenciometria



$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+) \quad \longrightarrow \quad \text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$(\text{H}^+) = f [\text{H}^+]$ Para soluções aquosas diluídas $(\text{H}^+) \sim [\text{H}^+]$

$(\text{H}^+) =$ Atividade de H^+

$[\text{H}^+] =$ Concentração de H^+

$f =$ Coeficiente de atividade



MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Potenciometria

- ✓ As medidas de pH são efetuadas em potenciômetros ou, mais usualmente, em voltímetros.

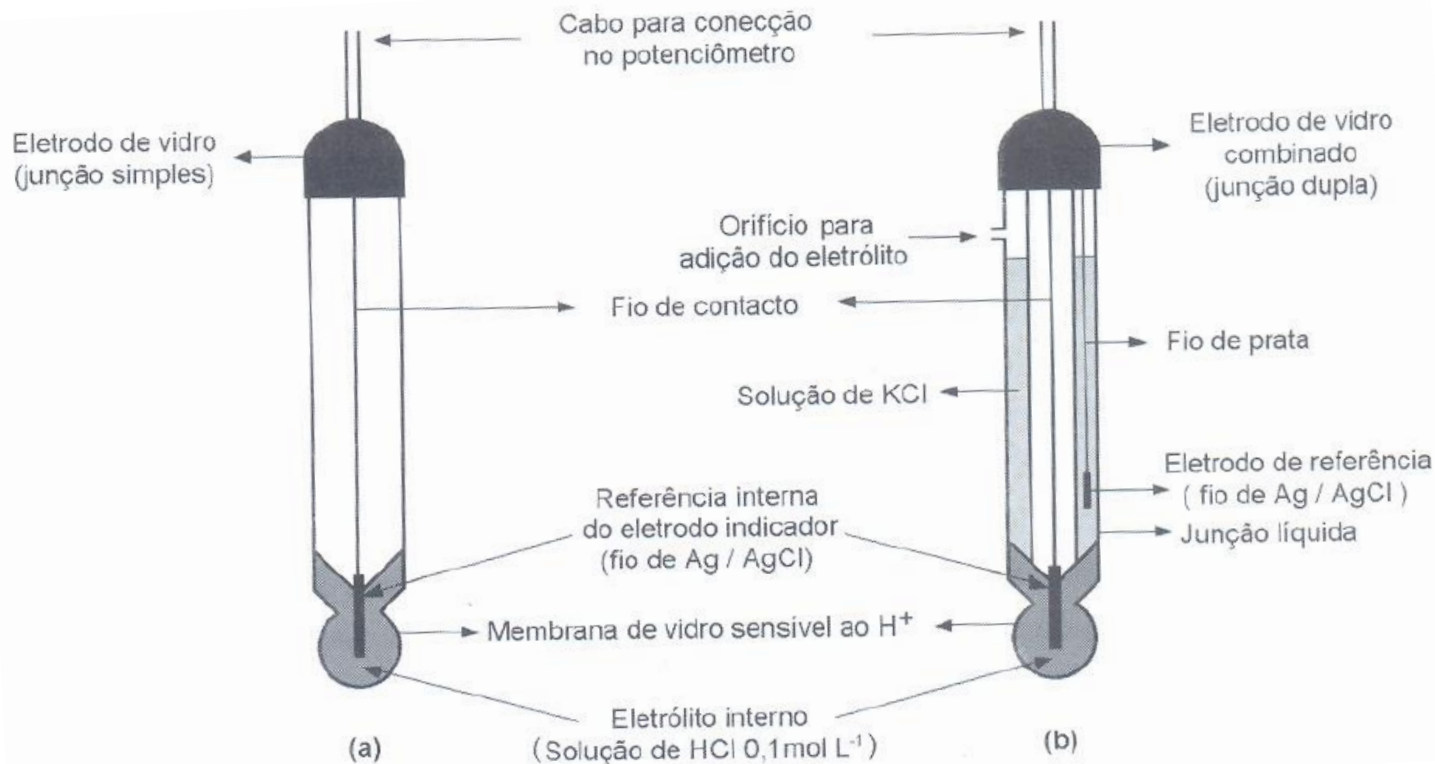


- ✓ A célula eletroquímica é composta por um **eletrodo de referência** e um **eletrodo indicador**.
- ✓ O eletrodo de referência é o fator de comparação do indicador; os tipos mais empregados são de calomelano saturado (Hg/HgCl_2 , KCl sat) e de Ag/AgCl , (Ag/AgCl , KCl sat)

MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Potenciometria

Esquemas de eletrodos de pH. a) Eletrodo de vidro simples; b) eletrodo de vidro combinado



Calibração

pH = 7,0

pH = 4,0

pH = 10.0

MÉTODOS ANALÍTICOS



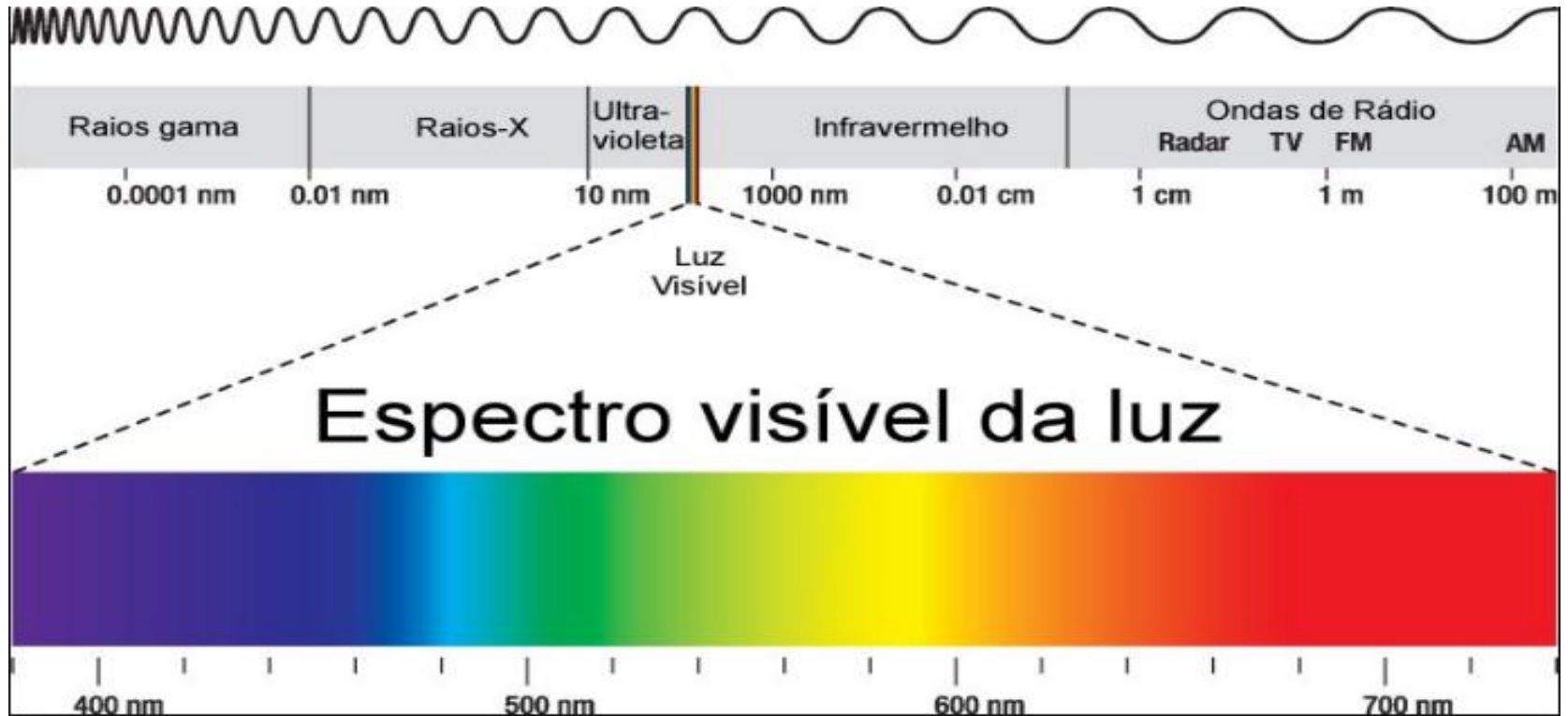
2. Absorção molecular na região do UV-Visível

- **Espectrometria** → ramo da ciência que trata da medida de espectros;
- **Espectroscopia** → termo mais usado para significar a separação, a detecção e o registro de trocas de energia (picos de ressonância) envolvendo núcleos, átomos ou moléculas;
- **Espectrofotometria** → mede basicamente a variação da intensidade das trocas de energia (emissão, absorção ou espalhamento) em um dado comprimento de onda fixo.



MÉTODOS ANALÍTICOS

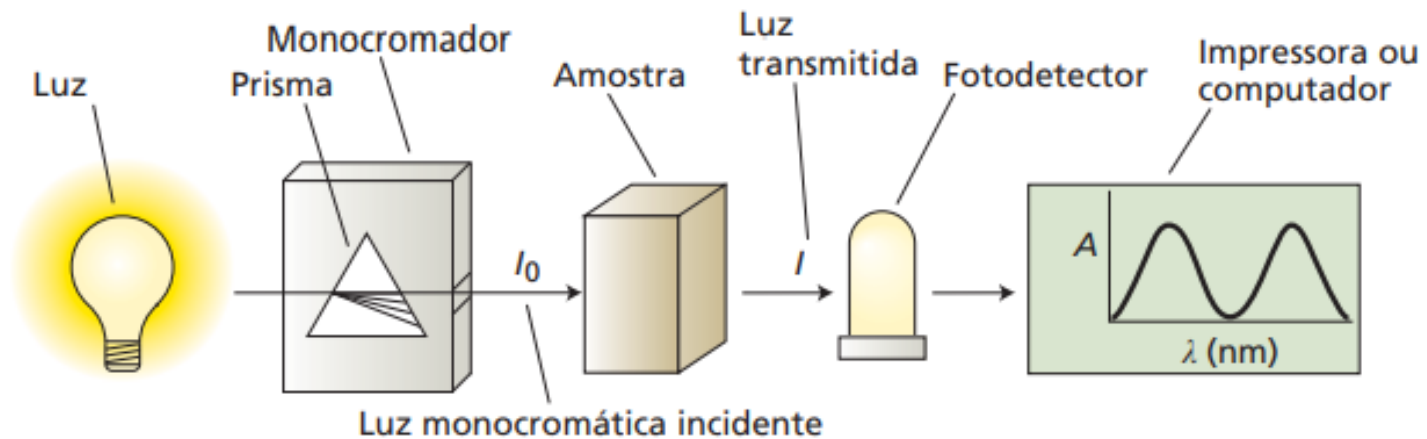
➤ Espectro eletromagnético



- ✓ As medidas espectroscópicas usadas na rotina dos laboratórios de análise de solo e planta são feitas nas regiões do ultravioleta e do visível, onde ocorrem as transições eletrônicas.

MÉTODOS ANALÍTICOS

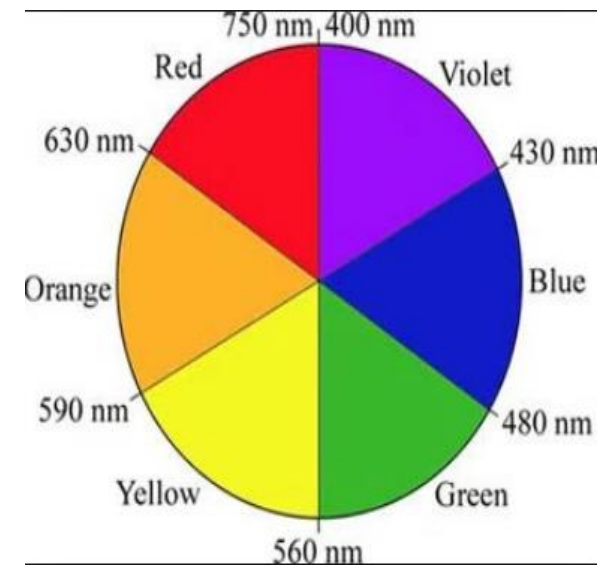
- Diagrama esquemático de um espectrofotômetro:



MÉTODOS ANALÍTICOS

➤ Absorção da luz visível

| λ nm | Cor absorvida | Cor observada (refletida ou transmitida) |
|-----------------|-----------------------|---|
| < 380 | Ultravioleta | ----- |
| 380 – 435 | Violeta | Verde amarelada |
| 435 – 480 | Azul | Amarela |
| 480 – 490 | Azul esverdeada | Laranja |
| 490 – 500 | Verde azulada | Vermelha |
| 500 – 560 | Verde | Púrpura |
| 560 – 580 | Verde amarelada | Violeta |
| 580 – 595 | Amarela | Azul |
| 595 – 650 | Laranja | Azul esverdeada |
| 650 – 780 | Vermelha | Verde azulada |
| > 780 | Infravermelho próximo | ----- |

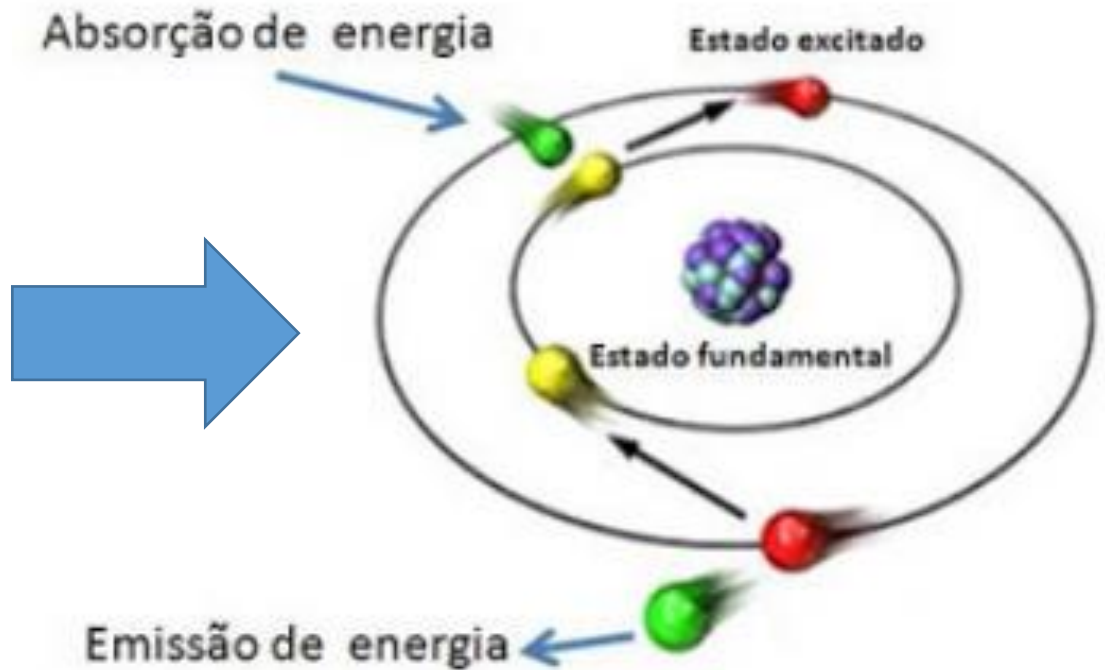


MÉTODOS ANALÍTICOS

➤ Absorção e emissão de radiação

Absorção → processo no qual há transferência de energia de um feixe de energia radiante para a matéria.

Emissão → Processo no qual a energia absorvida pela matéria é convertida e energia radiante





10 mL da S.E.
no Erlenmeyer

MÉTODOS ANALÍTICOS

➤ Leis quantitativas dos processos de absorção

- ✓ Quando um feixe monocromático de radiação, com intensidade I_0 incide sobre uma cubeta contendo uma solução, vários fenômenos ocorrem, de acordo com a relação a seguir:

$$I_0 = I_r + I_e + I_a + I_t$$

I_0 = Intensidade do feixe incidente

~~I_r = Intensidade do feixe refletido~~ ➔

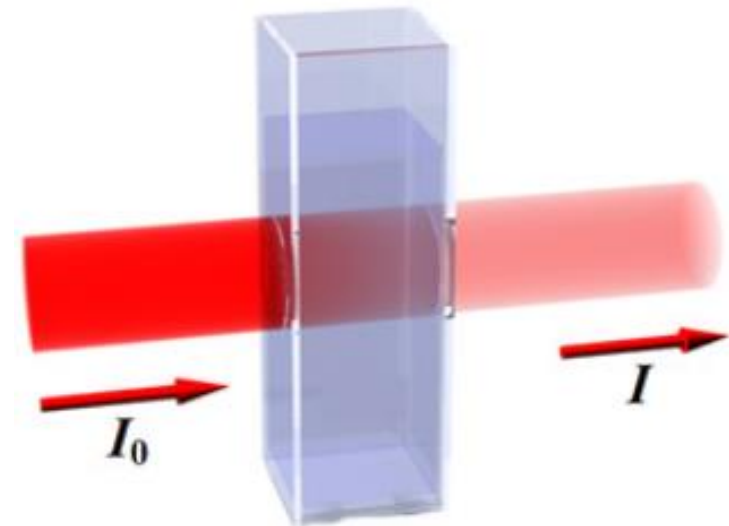
Uso de cubetas com paredes homogêneas

~~I_e = Intensidade do feixe espalhado~~ ➔

Desprezível pois o meio deve ser homogêneo

I_a = Intensidade do feixe absorvido

I_t = Intensidade do feixe transmitido



MÉTODOS ANALÍTICOS

➤ Leis quantitativas dos processos de absorção

- ✓ Quando um feixe monocromático de radiação, com intensidade I_0 incide sobre uma cubeta contendo uma solução, vários fenômenos ocorrem, de acordo com a relação a seguir:

$$I_0 = I_a + I_t$$

I_0 = Intensidade do feixe incidente



Medida diretamente

I_a = Intensidade do feixe absorvido

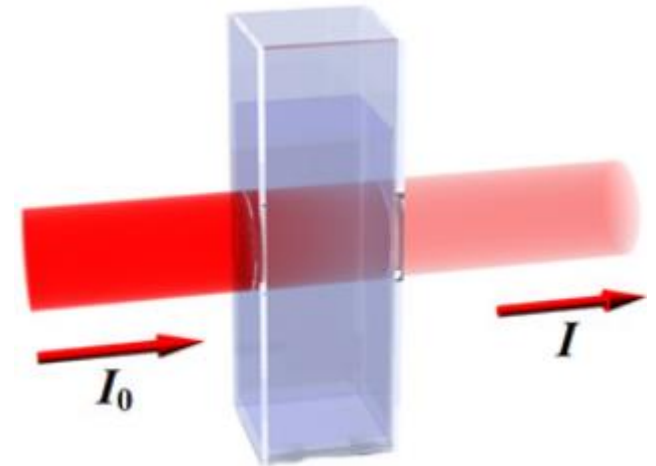


Determinada como $I_t - I_0$

I_t = Intensidade do feixe transmitido



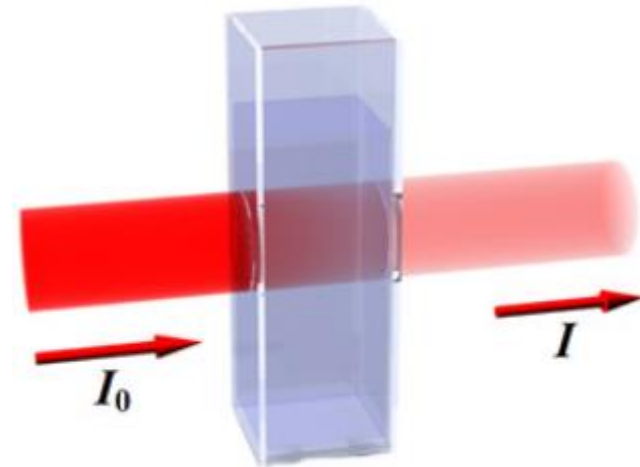
Medida diretamente



MÉTODOS ANALÍTICOS

➤ Leis quantitativas dos processos de absorção

- ✓ A intensidade de luz monocromática transmitida por um corpo homogêneo é proporcional à intensidade da luz incidente;
- ✓ A intensidade da luz monocromática transmitida decresce exponencialmente como aumento da espessura da camada do corpo homogêneo.



Lei de Lambert-Beer → $A = -\log(I_t / I_0)$

MÉTODOS ANALÍTICOS

➤ Cuidados experimentais

- ✓ Verificar se a leitura do aparelho está sendo feita em transmitância ou absorbância;
- ✓ Escolha correta do comprimento de onda de leitura, deve-se posicionar na região de máxima absorção e o mais longe possível da absorção de outras espécies;
- ✓ Diminuir ou eliminar efeito de interferentes;
- ✓ O pH tem um papel importante na formação de complexos;
- ✓ Concentração dos reagentes, excesso ou falta de reagente pode influenciar na sensibilidade do método;
- ✓ Tempo, depende da cinética do sistema químico.

MÉTODOS ANALÍTICOS

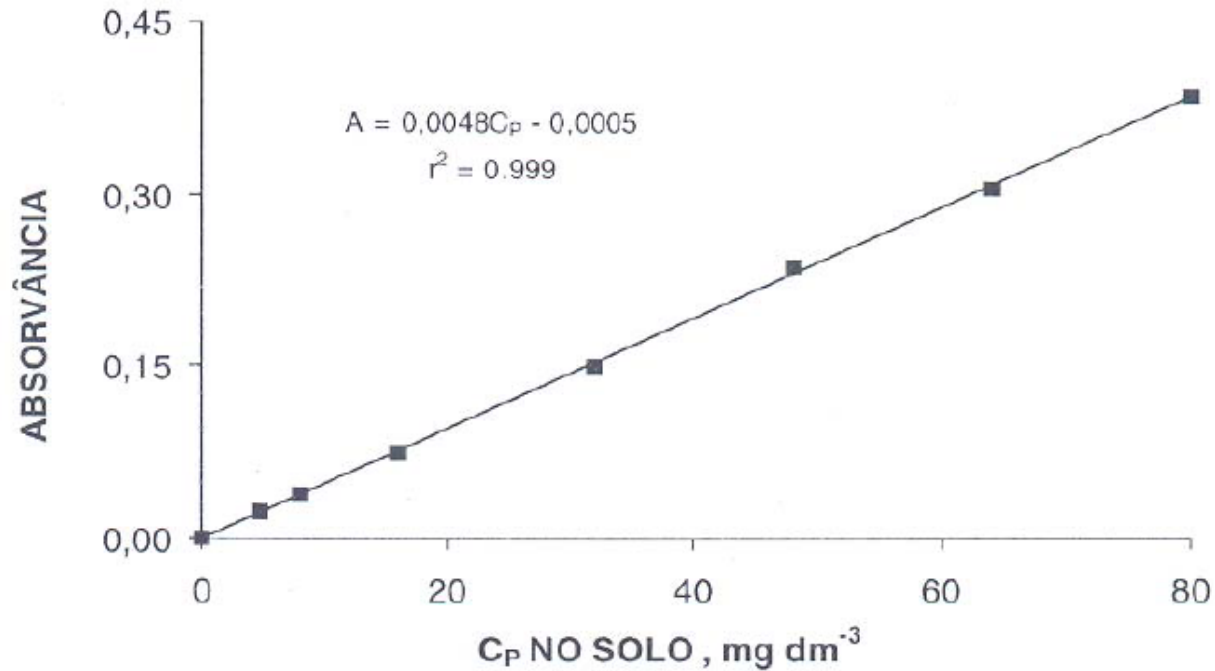
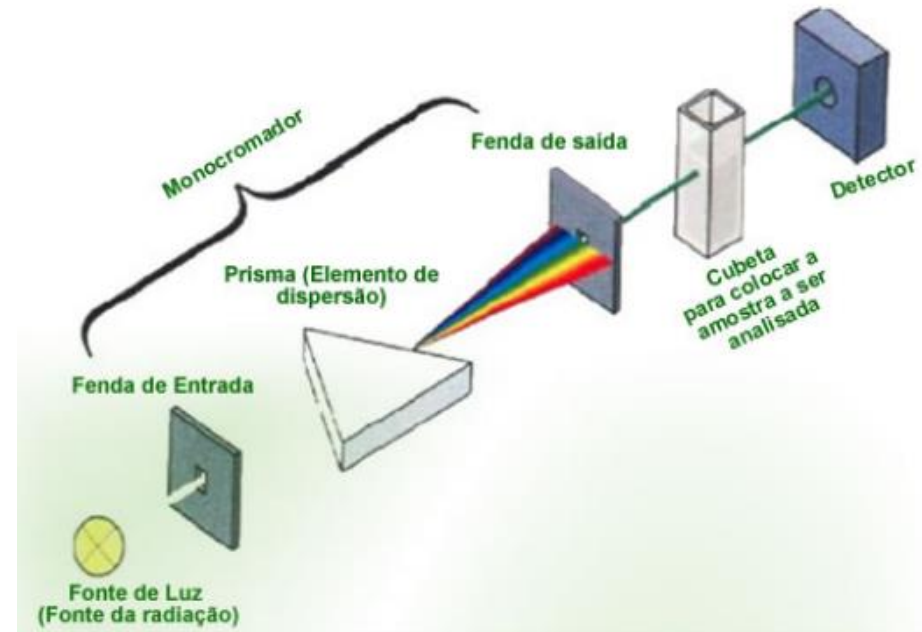


Figura 5.5. A representação gráfica da Lei de Beer. Reta padrão para a determinação espectrofotométrica de fósforo (na forma de fosfato) em solos, pelo método do azul de molibdênio. Dados obtidos em 660 nm, usando uma cela de vidro com espessura de 1 cm.

MÉTODOS ANALÍTICOS

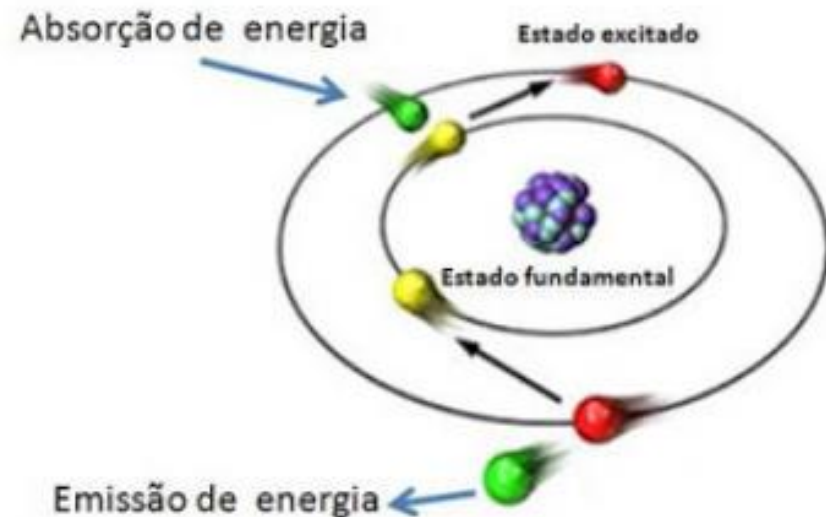
2. Absorção molecular na região do UV-Visível



MÉTODOS ANALÍTICOS

3. Espectrofotometria de absorção atômica

Fundamento → medida da intensidade da radiação absorvida por átomos de um elemento no estado fundamental em altas temperaturas, no comprimento de onda da linha de ressonância (Walsh, 1995). **É uma técnica que obedece à Lei de Lambert-Beer.**



MÉTODOS ANALÍTICOS

3. Espectrofotometria de absorção atômica

✓ A **seletividade** é uma das principais vantagens

- **Montagem básica:**

- ✓ Fonte de luz estável

- ✓ Dispositivo onde possa ser gerado o vapor atômico

- ✓ Monocromador

- ✓ Elemento de detecção

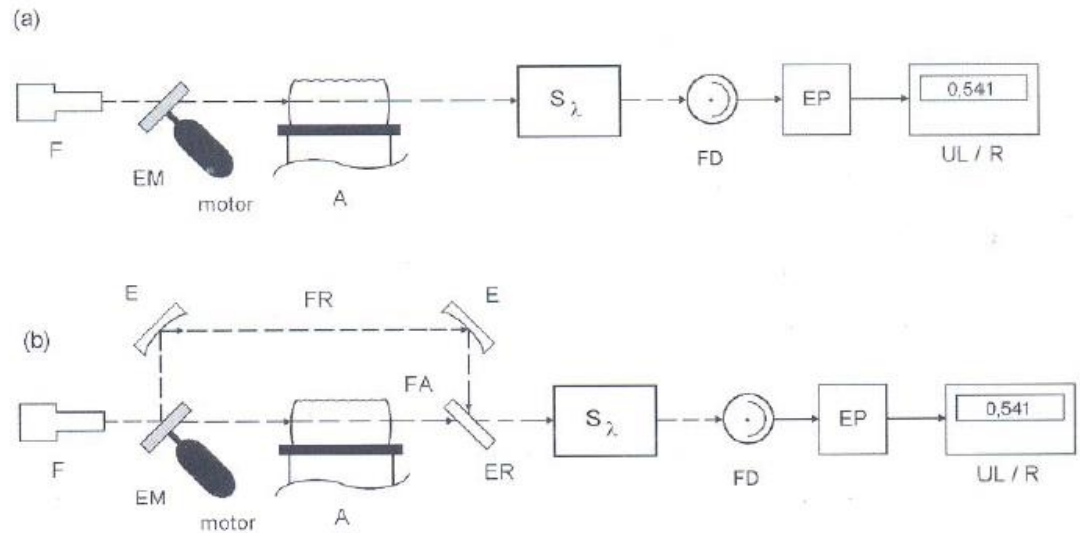


Figura 5.7. Diagrama de blocos dos espectrofotômetros de absorção atômica. **(a)** Feixe simples; **(b)** Feixe duplo. **F**: fonte de radiação (lâmpada de cátodo oco ou EDL - ver texto); **EM**: espelho modulador (chopper); **A**: atomizador (chama ou forno de grafite); **E**: espelho; **FR**: feixe de referência; **FA**: feixe da amostra; **S_λ**: seletor de comprimento de onda (monocromador); **ER**: espelho reticulado (recombinador de feixe); **FD**: fotodetector; **EP**: eletrônica para o processamento do sinal; **UL/R**: unidade de leitura e registro (analógica ou digital).



MÉTODOS ANALÍTICOS

3. Espectrofotometria de absorção atômica

- A fonte de radiação mais comumente empregada é a lâmpada de cátodo oco, conforme esquemas baixo:

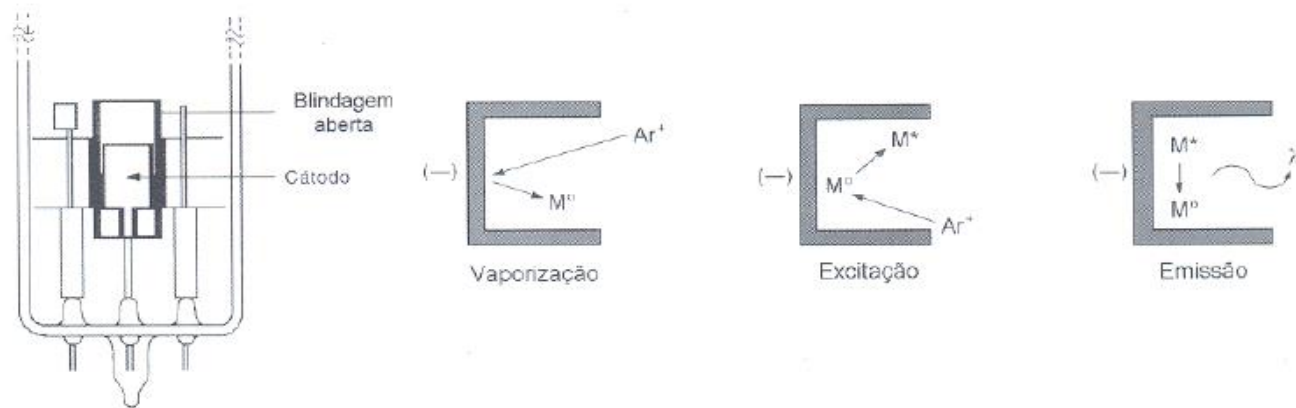
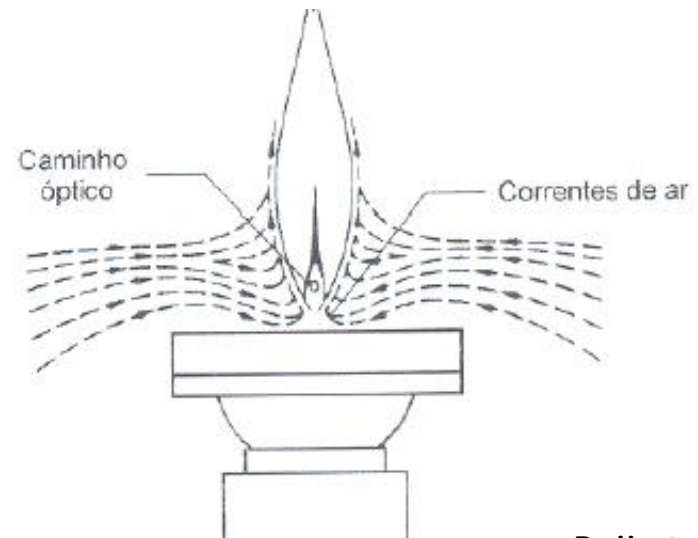
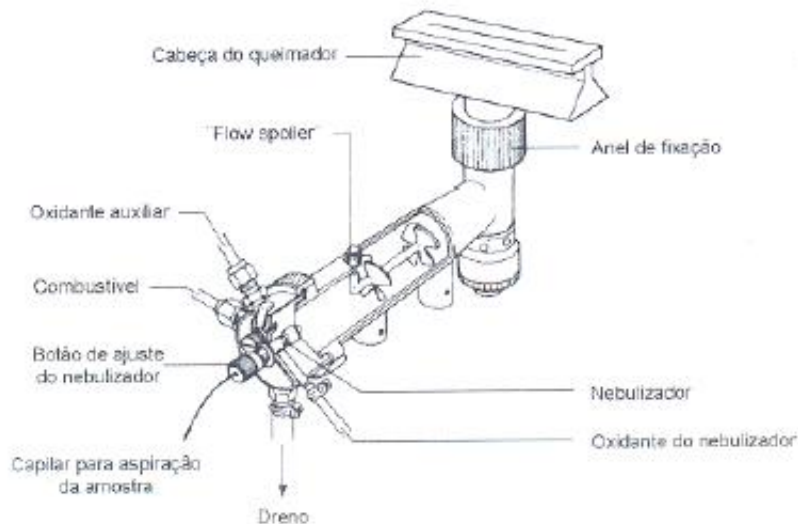


Figura 5.8. Lâmpada de cátodo oco. Perfil da montagem básica e esquema de funcionamento do cátodo.

MÉTODOS ANALÍTICOS

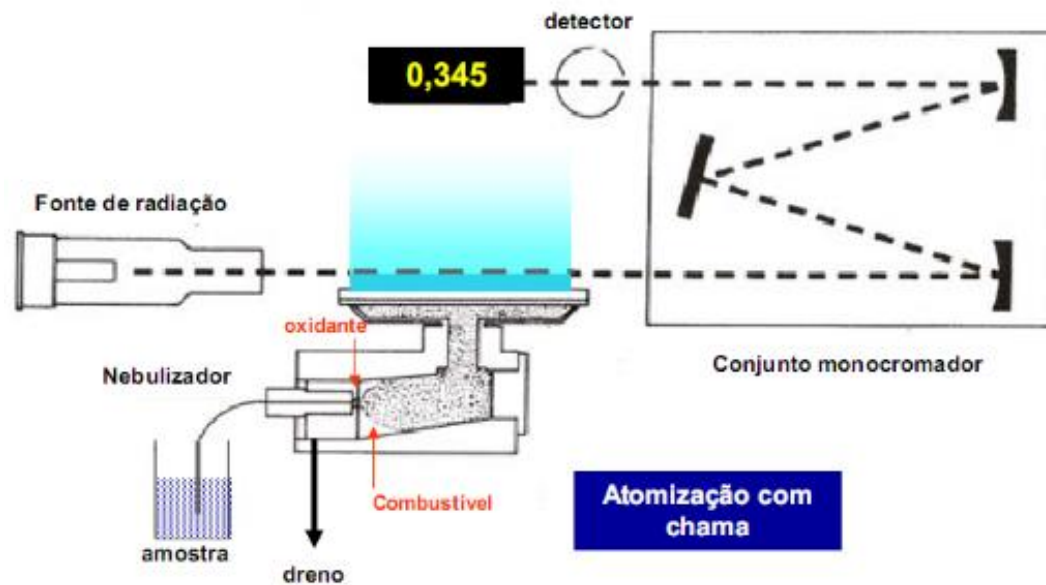
3. Espectrofotometria de absorção atômica

- Existem diferentes técnicas para introdução de amostras líquidas, gasosas e sólidas;
- A atomização é efetuada por nebulização da amostra no atomizador (chama), sendo uma das etapas mais críticas (abaixo esquema de nebulizador tipo “Premix”);



MÉTODOS ANALÍTICOS

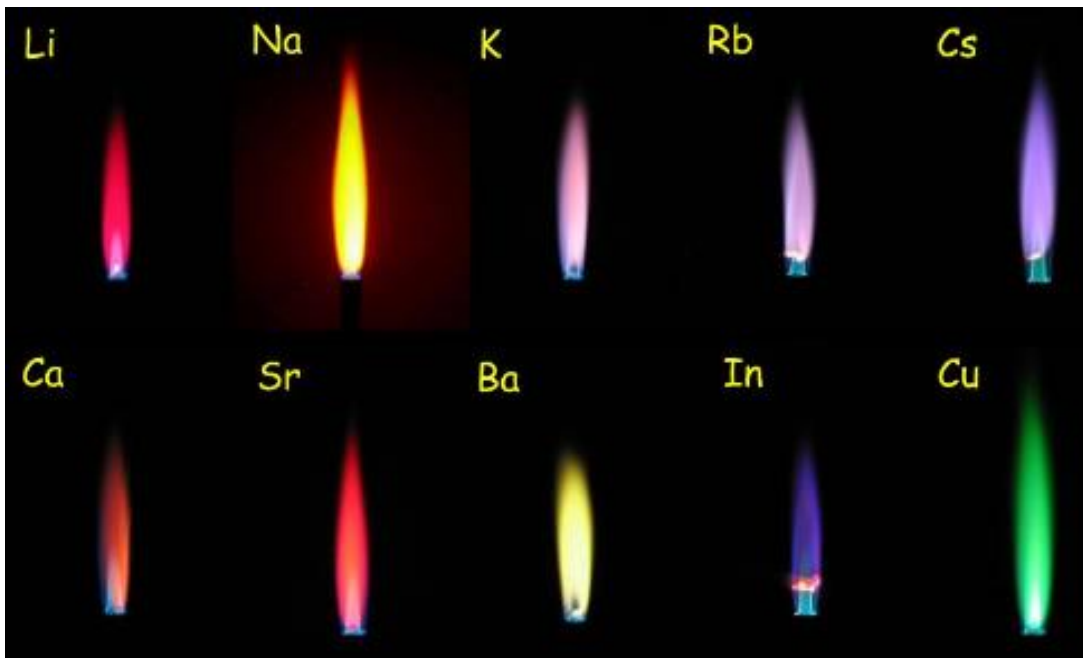
3. Espectrofotometria de absorção atômica



MÉTODOS ANALÍTICOS

4. Espectrofotometria de emissão atômica

Fundamento → Baseada na emissão da radiação eletromagnética por átomos livres no estado excitado. Os comprimentos de onda emitidos são característicos para cada elemento.



MÉTODOS ANALÍTICOS

4. Espectrofotometria de emissão atômica

- Quando uma quantidade suficiente de energia é fornecida a uma substância, seus átomos podem ser elevados do estado fundamental a um estado excitado.
- As medidas de emissão atômica em chama envolvem processos de atomização a temperaturas inferiores a 3.000 °C.

Tabela 5.4. Porcentagem de átomos no estado excitado em várias temperatura

| Elemento | Linha nm | g_1/g_0 | $(N_1/N_0) \times 100$ | | |
|----------|-------------|-----------|------------------------|--------------------|--------------------|
| | | | 2.000 K | 3.000 K | 4.000 K |
| Césio | 851,1 | 2 | 0,04 | 0,72 | 2,98 |
| Sódio | 589,0 | 2 | 1×10^{-3} | 0,06 | 0,44 |
| Cálcio | 422,7 | 3 | 1×10^{-5} | 4×10^{-3} | 0,06 |
| Zinco | 213,9 | 3 | 7×10^{-13} | 6×10^{-8} | 1×10^{-5} |

Adaptado de ROBINSON, 1996 - p.25.

MÉTODOS ANALÍTICOS

4.1. Espectrofotometria de emissão em chama

A determinação de metais como K, Na e Li não requer altas temperaturas, de modo que uma chama de ar-butano, com temperatura de cerca de 1.900 °C, é suficiente para estas determinações.

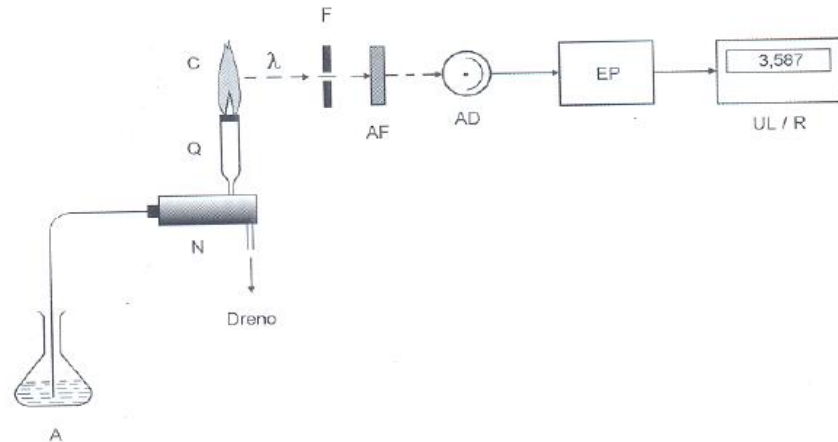


Figura 5.14. Diagrama de blocos de um fotômetro de emissão atômica. **A**: amostra (aspirada); **N**: nebulizador; **Q**: queimador; **C**: chama; λ : linhas de emissão atômica; **F**: fenda; **AF**: arranjo de filtros ópticos; **AD**: arranjo de fotodetectores; **EP**: eletrônica para o processamento do sinal; **UL/R**: unidade de leitura e registro (analógica ou digital). Os equipamentos mais comuns usam filtros para selecionar os comprimentos de onda, mas pode-se também empregar monocromadores, apesar do maior custo.

MÉTODOS ANALÍTICOS

4.1. Espectrofotometria de emissão em chama

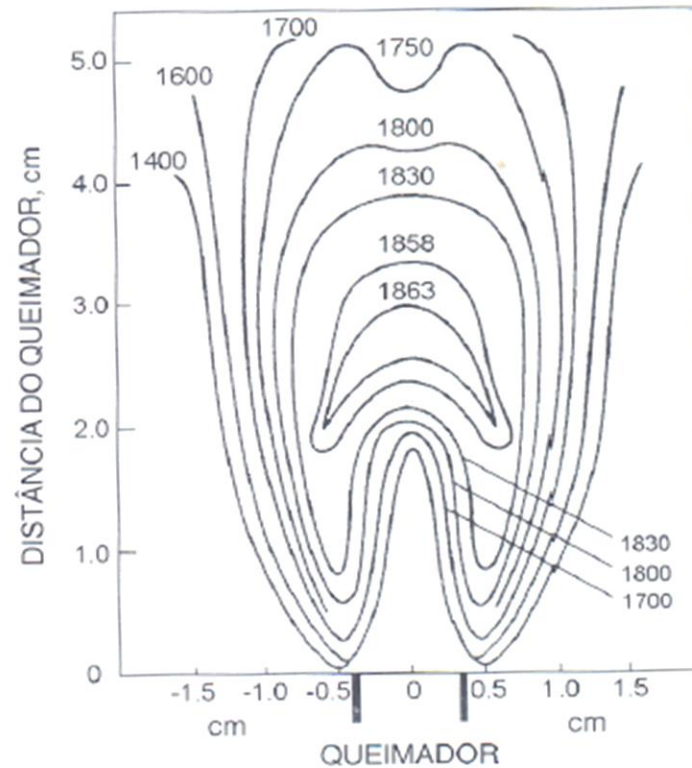
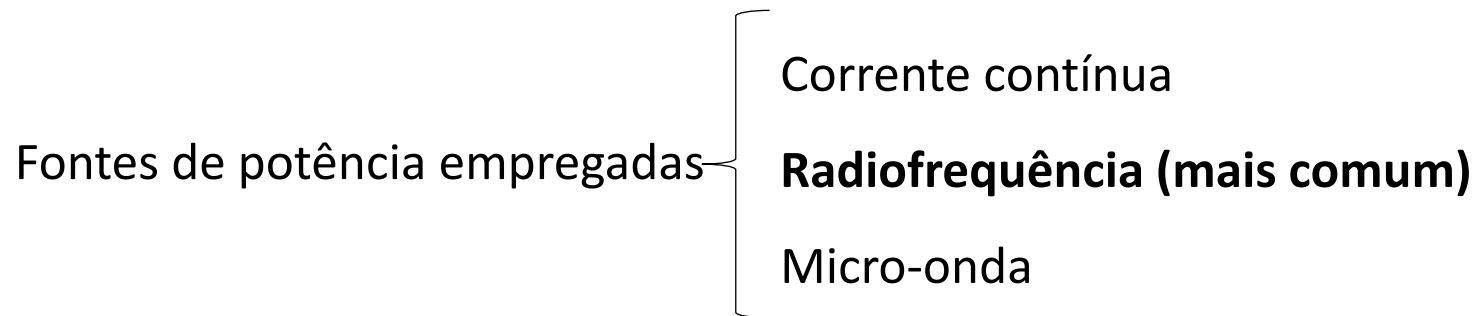


Figura 5.15. A distribuição espacial da temperatura de uma chama usada em fotometria de chama. As temperaturas estão mostradas em graus Celcius, segundo LEWIS e von ELBE, 1943 (Adaptado de DEAN, 1960, p. 23).

MÉTODOS ANALÍTICOS

4.2. Espectrofotometria de emissão com plasma

- ✓ **Plasma** → parte de uma descarga gasosa em que o gás se apresenta parcialmente ionizado, mas em um estado eletricamente neutro. Um plasma é qualquer sistema em alta temperatura caracterizado pelo seu grau de ionização.



Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)

↪ fonte de excitação mais efetiva

MÉTODOS ANALÍTICOS

4.2. Espectrofotometria de emissão com plasma

Sistema ICP-AES → Consiste basicamente em uma fonte de excitação de alta frequência; sistema para introdução de amostras, de uma tocha (plasma), de um sistema de gases, de um sistema óptico de detecção e de um sistema computacional para gerenciamento dos dados e controle do equipamento.

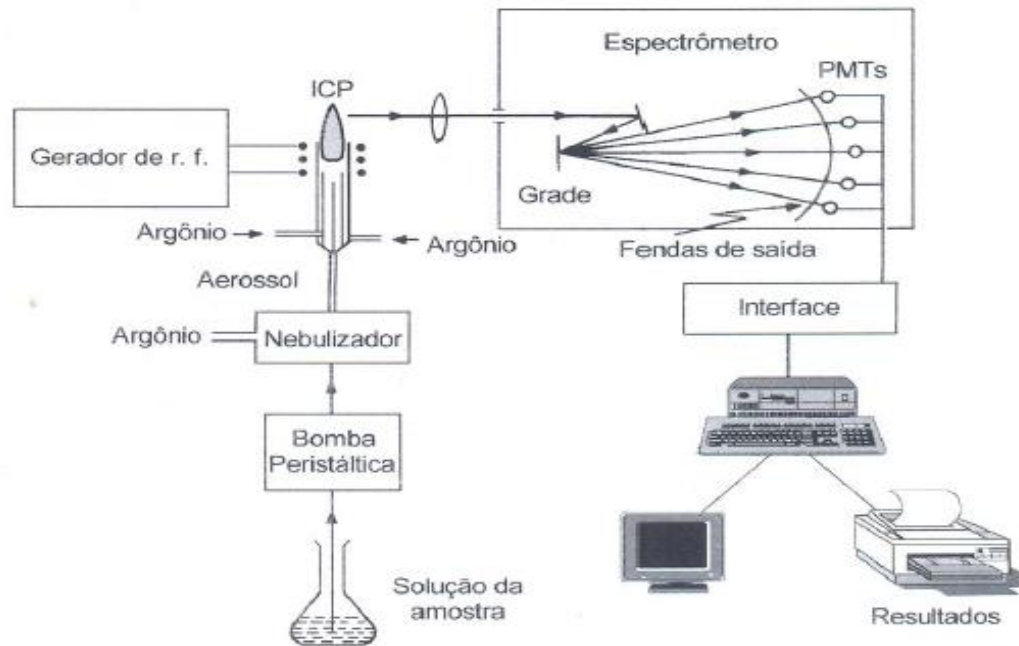


Figura 5.16. Esquema básico de um espectrômetro de emissão atômica simultâneo (Adaptado de MOORE, 1989 - p.115).

MÉTODOS ANALÍTICOS

4.2. Espectrofotometria de emissão com plasma

- ✓ **Sistema ICP-AES** → O plasma é gerado pelo aquecimento indutivo de um gás, a pressão atmosférica, em geral, o argônio, que flui através de um conjunto de tubos concêntricos de quartzo. O plasma é iniciado por uma faísca de alta energia através do gás, produzindo íons e elétrons, tornando o gás ionizado.

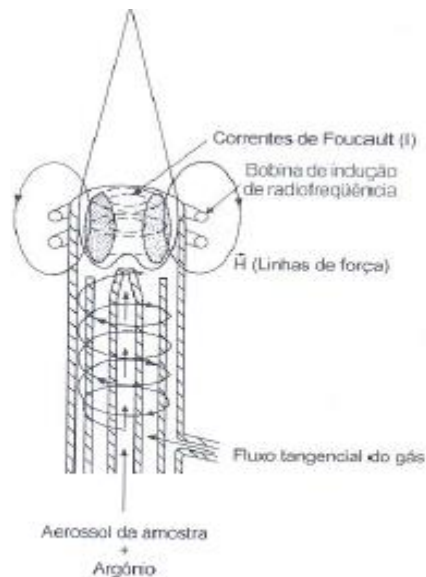


Figura 5.17. Tocha do plasma (FASSEL, 1978).

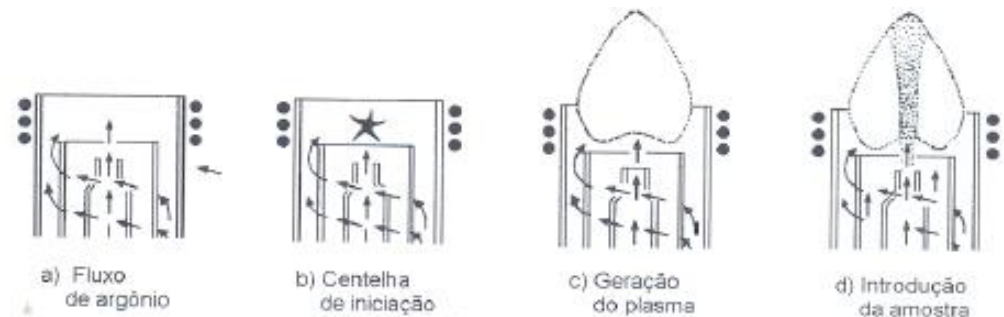


Figura 5.18. Etapas de geração do plasma induzido de argônio, mostrando os fluxos de gás e a introdução da amostra na zona de excitação (NOVOZAMSKY e van der LEE, 1986 - p.63).

MÉTODOS ANALÍTICOS

4.2. Espectrofotometria de emissão com plasma

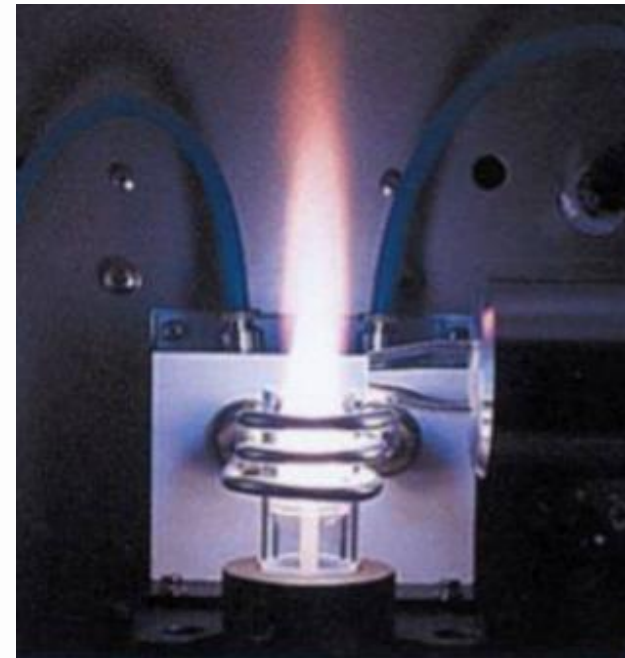
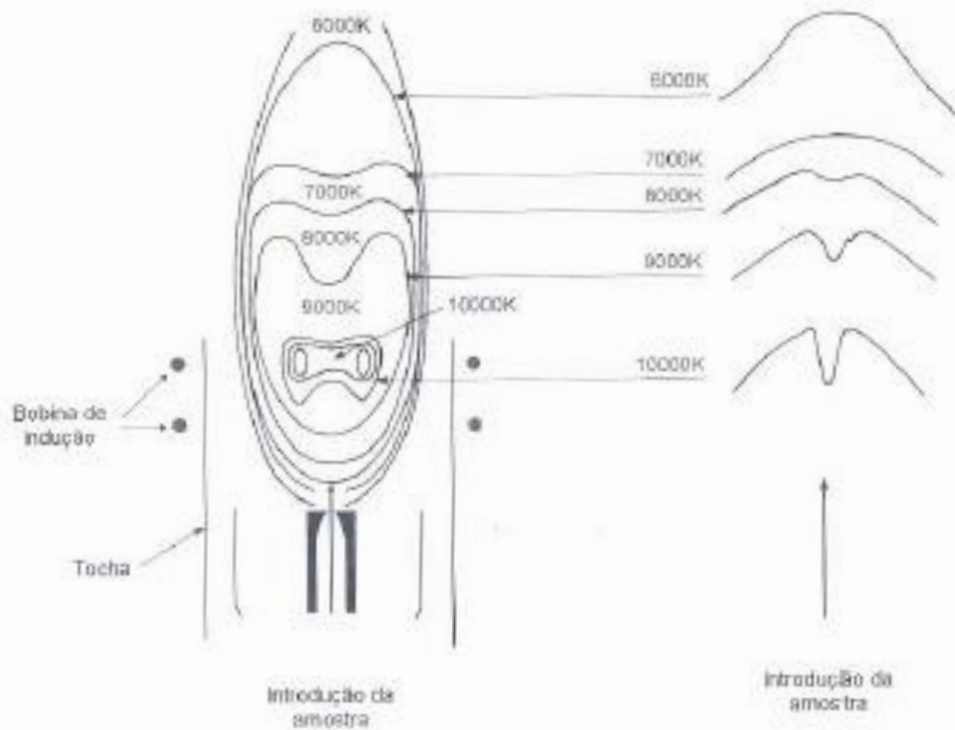


Figura 5.19. Esquema da distribuição de temperatura em um plasma (Adaptado de Fassel, 1978).

MÉTODOS ANALÍTICOS

4.2. Espectrofotometria de emissão com plasma

✓ Sistema ICP-AES



MÉTODOS ANALÍTICOS

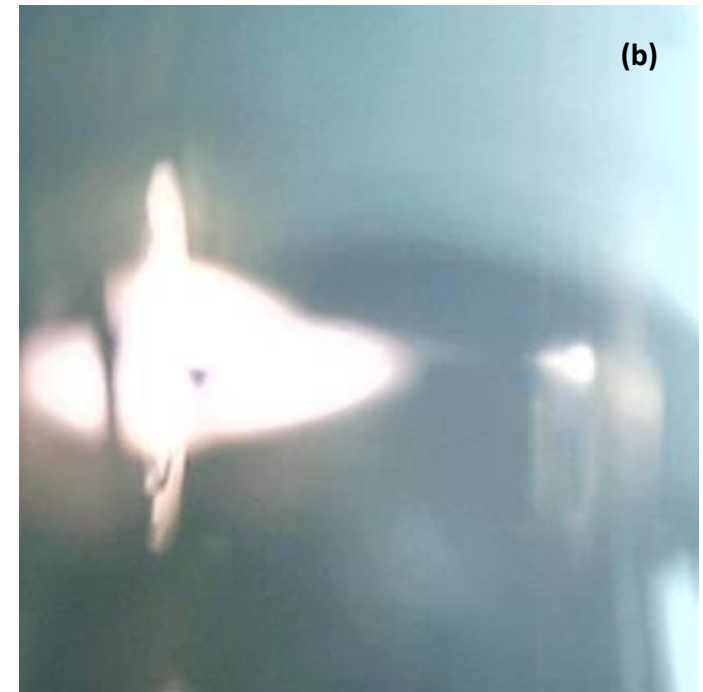
4.3. Espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente

✓ Sistema ICP-MS



MÉTODOS ANALÍTICOS

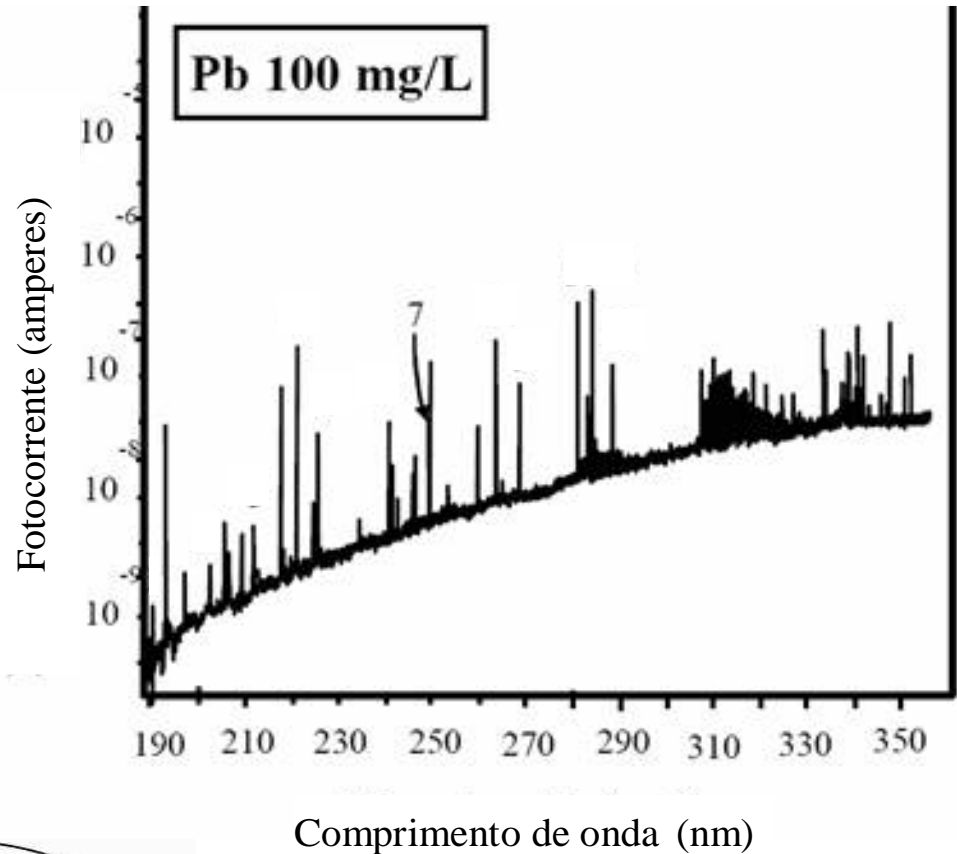
4.3. Espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente



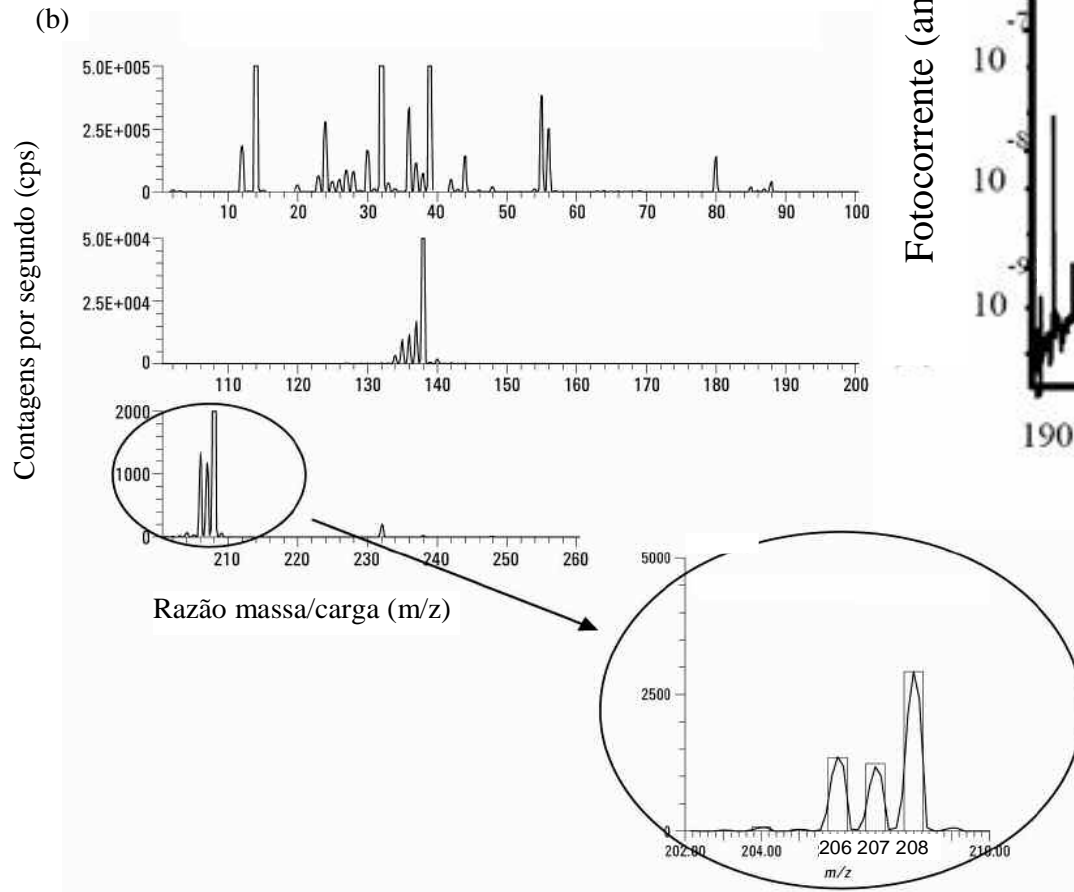
Plasmas típicos em espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), com tocha montada verticalmente (a), e em espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), com a tocha montada horizontalmente (b)

MÉTODOS ANALÍTICOS

(a)



Espectro de emissão atômica obtido por ICP-OES para uma solução com **100 mg L⁻¹** de Pb (a) e espectro de massa por ICP-MS para uma solução com **10 µg L⁻¹** de Pb (b).



MÉTODOS ANALÍTICOS

4.3. Espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente.

| Técnica | Elementos analisados | Limite de detecção | Vantagens | Desvantagens |
|------------|---|---|---|---|
| ICP-MS | Maioria dos metais e não metais | ng L ⁻¹ (ppt) | Análise rápida, sensível, multielementar, faixa analítica ampla e bom controle de interferências | Sensível aos sólidos totais dissolvidos (STS) > 2 g L ⁻¹ e à interferência isobárica |
| ICP-OES | Maioria dos metais e não metais | Intermediário entre µg L ⁻¹ (ppb) a mg L ⁻¹ (ppm) | Análise rápida, multielementar e tolerante a sólidos totais dissolvidos (STS) > 2 g L ⁻¹ | Interferências complexas e sensibilidade relativamente baixa |
| GFAA | Maioria dos metais (normalmente, As, Cd, Co, Cu, Ni, Pb e Se) | ng L ⁻¹ (ppt) | Sensível e poucas interferências | Um único elemento e faixa analítica limitada |
| AA-hidreto | Elementos formadores de hidreto (As, Bi, Pb, Sb, Se, Te e Tl) | ng L ⁻¹ (ppt) a µg L ⁻¹ (ppb) | Sensível e poucas interferências | Um único elemento, lenta e complexa |
| CVAA | Hg | ng L ⁻¹ (ppt) | Sensível, simples e poucas interferências | Um único elemento e lenta |

VALORES

1 ppb = 1 em 1 bilhão de reais

1 pb = 1 em 100 bilhões de reais

1 kb = 1 em 1000 bilhões de reais

1 mb = 1 em 1000 bilhões de reais

| | |
|-------|---------------------------------|
| 1 ppb | = 1 em 10 ⁶ segundos |
| 1 pb | = 1 em 10 ⁹ segundos |
| 1 kb | = 1 em 10 ³ segundos |
| 1 mb | = 1 em 10 ⁶ segundos |

Osibatec

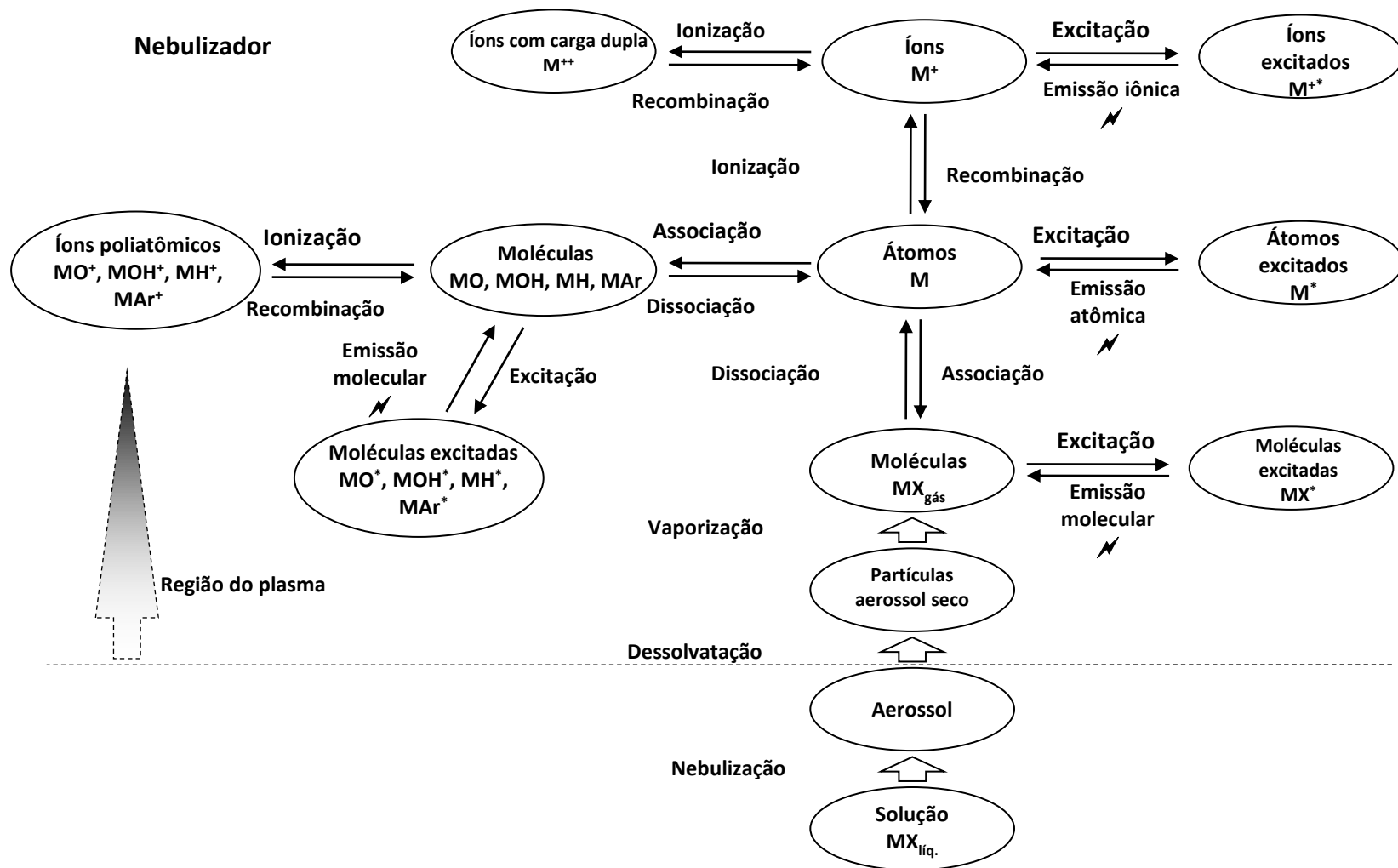
América Latina (AS)

1 em 1 bilhão de reais (BR)

1 ppb ~ R\$ 1 em 1 bilhão de reais

1 ppb ~ 1 s em 31,7 anos

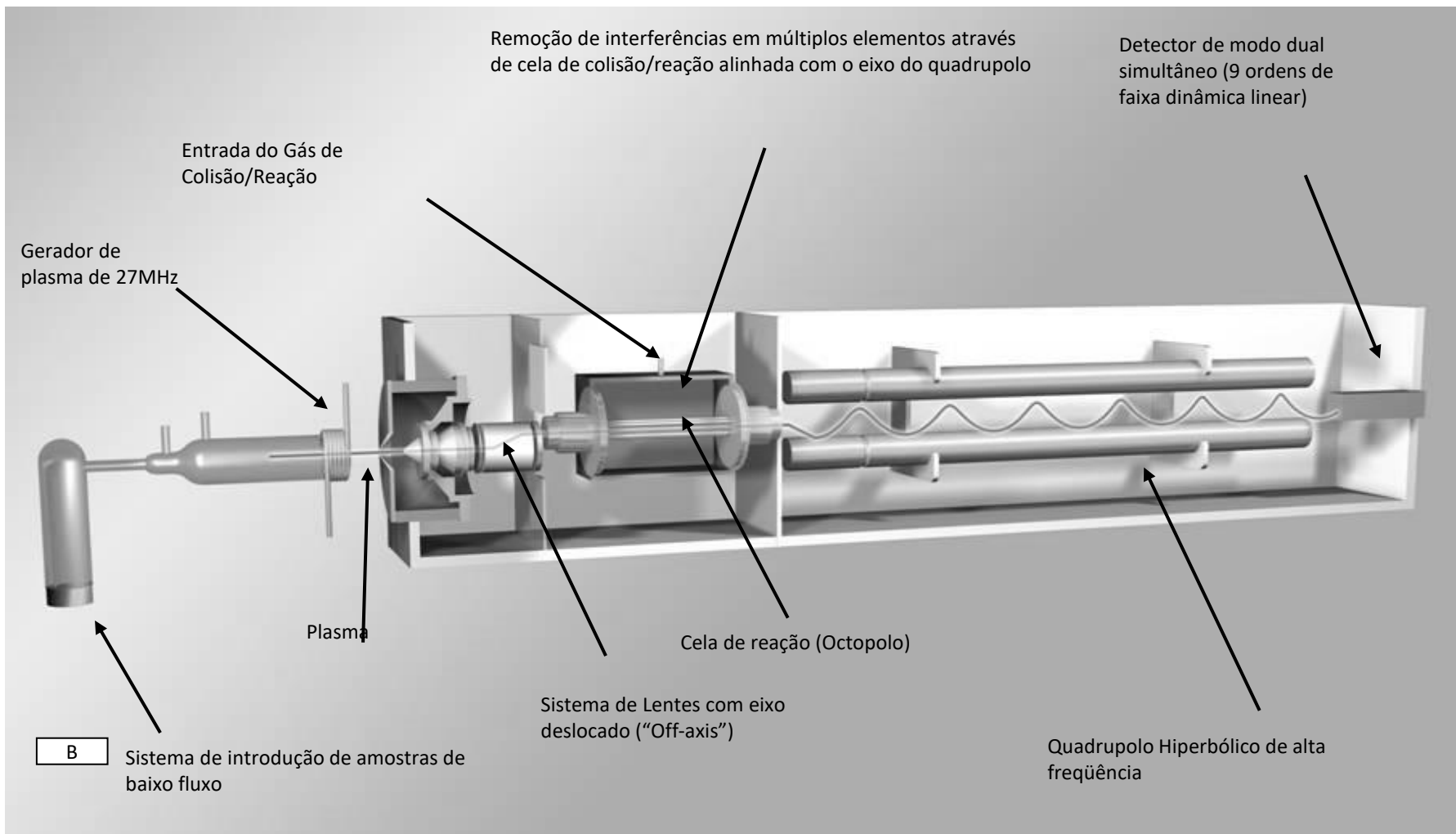
MÉTODOS ANALÍTICOS



Esquema dos processos e das espécies coexistentes no equilíbrio da fase gasosa no plasma. Os processos de emissão estão associados à ICP-OES, pela emissão de luz, e os processos de excitação e ionização, à ICP-MS, pela geração das espécies iônicas.

| Íon molecular | Massa/carga (m/z) | (1)Analito afetado pelo íon interferente |
|--|-------------------|--|
| | Sinal de fundo | |
| NH ⁺ | 15 | -- |
| OH ⁺ | 17 | -- |
| OH ₂ ⁺ | 18 | -- |
| C ₂ ⁺ | 24 | Mg |
| CN ⁺ | 26 | Mg |
| CO ⁺ , N ₂ ⁺ | 28 | Si |
| N ₂ H ⁺ | 29 | Si |
| NO ⁺ | 30 | Si |
| NOH ⁺ | 31 | P |
| O ₂ ⁺ | 32 | S |
| O ₂ H ⁺ | 33 | - |
| ³⁶ ArH ⁺ | 37 | Cl |
| ³⁸ ArH ⁺ | 39 | K |
| ⁴⁰ ArH ⁺ | 41 | - |
| CO ₂ ⁺ | 44 | Ca |
| CO ₂ ⁺ H | 45 | Sc |
| ArC ⁺ , ArO ⁺ | 52 | Cr |
| ArN ⁺ | 54 | Cr |
| ArNH ⁺ | 55 | Mn |
| ArO ⁺ | 56 | Fe |
| ArH ⁺ | 57 | Fe |
| ⁴⁰ Ar ³⁶ Ar ⁺ | 76 | Se |
| ⁴⁰ Ar ³⁸ Ar | 78 | Se |
| ⁴⁰ Ar ₂ ⁺ | 80 | Se |

Agilent 7500ce ICP-MS com sistema de reação octopolo (ORS)



| Elemento | SRM 1640 | Valores determinados | | | |
|---------------|----------|-----------------------|--------|--------|--------|
| | | 1:10 | 1:5 | 1:2 | 1:1 |
| | | $\mu\text{g kg}^{-1}$ | | | |
| Be / 9 [#3] | 34,94 | 34,50 | 34,80 | 34,96 | 35,12 |
| Na / 23 [#3] | 29350 | 29000 | 28740 | 28890 | 28635 |
| Mg / 24 [#3] | 5819 | 5818 | 5769 | 5802 | 5720 |
| Al / 27 [#3] | 52 | 19,71 | 42,83 | 50,18 | 45,12 |
| K / 39 [#3] | 994 | 820 | 903 | 928 | 918 |
| Ca / 43 [#3] | 7045 | 6357 | 6755 | 6814 | 6638 |
| V / 51 [#2] | 12,99 | 9,72 | 11,04 | 11,29 | 11,79 |
| Cr / 52 [#2] | 38,6 | 36,0 | 36,8 | 36,5 | 36,4 |
| Mn / 55 [#3] | 121,5 | 125,30 | 124,60 | 121,50 | 117,50 |
| Fe / 56 [#1] | 34,32 | 19,17 | 31,26 | 34,03 | 33,42 |
| Co / 59 [#3] | 20,28 | 20,75 | 20,76 | 20,66 | 20,57 |
| Ni / 60 [#2] | 27,4 | 27,49 | 26,89 | 28,66 | 27,38 |
| Cu / 63 [#2] | 85,2 | 86,88 | 90,91 | 88,55 | 86,92 |
| Zn / 66 [#3] | 53,2 | 49,43 | 50,13 | 50,14 | 50,79 |
| As / 75 [#2] | 26,67 | 24,42 | 25,31 | 25,62 | 25,94 |
| Se / 78 [#1] | 21,96 | 22,04 | 22,80 | 22,97 | 23,53 |
| Mo / 95 [#3] | 46,75 | 42,21 | 43,01 | 42,95 | 43,11 |
| Ag / 107 [#3] | 7,62 | 7,60 | 7,77 | 7,67 | 7,52 |
| Cd / 111 [#3] | 22,79 | 22,13 | 22,43 | 22,80 | 22,73 |
| Sb / 121 [#3] | 13,79 | 12,64 | 13,01 | 13,31 | 13,42 |
| Ba / 137 [#3] | 148 | 141,50 | 144,60 | 145,50 | 146,25 |
| Pb / 208 [#3] | 27,89 | 26,57 | 27,39 | 27,37 | 27,38 |
| Th / 232 [#3] | - | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| U / 238 [#3] | - | 0,74 | 0,75 | 0,74 | 0,75 |

| Elemento | Planta (NIST SRM 1515) | | | Solo (NIST SRM 2710) | | | Lodo de esgoto (NIST SRM 2781) | | |
|-------------------|------------------------|-------------|------------------------|----------------------|--------------|-------------|--------------------------------|--------------|-------------|
| | Total | Determinado | | Total | Lixiviado | Determinado | Total | Lixiviado | Determinado |
| | | HNO3 | HNO ₃ + HCl | | | | | | |
| ----- mg/kg ----- | | | | | | | | | |
| Be / 9 [#3] | | 0,017 | 0,017 | --- | --- | 0,302 | --- | --- | 0,21 |
| Na / 23 [#3] | 24,4 | 34,62 | 26,82 | 11400 | 5400 | 832 | 2100 | --- | 831 |
| Mg / 24 [#3] | 2710 | 2575 | 2525 | 8530 | 5700 | 6226 | 5900 | 4850 | 4315 |
| Al / 27 [#3] | 286 | 257 | 247 | 64400 | 18000 | 25306 | 16000 | 8040 | 8978 |
| K / 39 [#3] | 16100 | 15363 | 15158 | 21100 | 4500 | 6393 | 4900 | --- | 2240 |
| Ca / 43 [#3] | 15260 | 13970 | 13653 | 12500 | 4100 | 4668 | 39000 | 36440 | 32718 |
| V / 51 [#2] | 0,26 | 0,162 | 0,173 | --- | --- | 55,19 | --- | --- | 71,37 |
| Cr / 52 [#2] | 0,3 | 0,199 | 0,322 | 39* | 19 | 22,71 | 202 | 143 | 125 |
| Mn / 55 [#3] | 54 | 51,3 | 50,0 | 10100 | 7700 | 8042 | --- | --- | 693 |
| Fe / 56 [#1] | 83 | 80,7 | 82,8 | 33800 | 27000 | 29236 | 28000 | 24300 | 23023 |
| Co / 59 [#3] | 0,09 | 0,12 | 0,12 | 10* | 8,2 | 7,89 | --- | --- | 4,93 |
| Ni / 60 [#2] | 0,91 | 0,94 | 0,91 | 14,3 | 10,1 | 12,16 | 80,2 | 72,3 | 64,0 |
| Cu / 63 [#2] | 5,64 | 5,64 | 5,33 | 2950 | 2700 | 2829 | 627,4 | 601 | 595,3 |
| Zn / 66 [#3] | 12,5 | 11,78 | 11,46 | 6952 | 5900 | 6194 | 1273 | 1120 | 1186 |
| As / 75 [#2] | 0,038 | 0,50 | 0,48 | 626 | 590 | 607,6 | 7,82 | --- | 7,478 |
| Se / 78 [#1] | 0,05 | 0,116 | 0,112 | --- | --- | 0,920 | 16 | --- | 14,26 |
| Mo / 95 [#3] | 0,094 | 0,102 | 0,077 | 19* | 20 | 15,18 | 46,7 | --- | 34,97 |
| Ag / 107 [#3] | | 0,008 | 0,013 | 35,3 | 28 | 29,91 | 98 | 86,3 | 13,43 |
| Cd / 111 [#3] | 0,013 | 0,017 | 0,018 | 21,8 | 20 | 20,17 | 12,78 | 11 | 11,31 |
| Sb / 121 [#3] | 0,013 | 0,012 | 0,011 | 38,4 | 7,9 | 13,70 | --- | --- | 4,17 |
| Ba / 137 [#3] | 49 | 45,17 | 45,27 | --- | --- | 360,3 | --- | --- | 554 |
| Hg / 202 [#3] | 0,044 | 0,057 | 0,064 | 32,6 | 32 | 30,82 | 3,64 | | 3,47 |
| Tl / 205 [#3] | --- | --- | --- | --- | --- | 0,626 | --- | --- | 0,16 |
| Pb / 208 [#3] | 0,47 | 0,530 | 0,531 | 5532 | 5100 | 4661 | 202,1 | 183 | 187,1 |
| Th / 232 [#3] | 0,03 | 0,026 | 0,027 | --- | --- | 9,93 | --- | --- | 1,64 |
| U / 238 [#3] | 0,006 | 0,006 | 0,007 | 25* | | 18,97 | --- | --- | 27,11 |

Atividade para entregar HOJE



Fazer um breve resumo dos tópicos:

2. Amostragem de solo e de folhas (pág. 5)
3. Representação dos resultados de análises de solos e folhas (pág. 6)
4. Interpretação de resultados de análise de solo e de folhas (pág. 7)



Aponte sua câmera



Universidade de São Paulo - USP
Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA
Análise de Solo e Planta – CEN 0409



Obrigado!

Perguntas?

Professores: **Cassio Hamilton Abreu Junior** – cahabreu@cena.usp.br
Takashi Muraoka – muraoka@cena.usp.br

Estagiário PAE: **Dalila Lopes da Silva** – dalila.ls@usp.br
Supervisor: **Juan Ricardo Rocha** – jr.rocha@usp.br